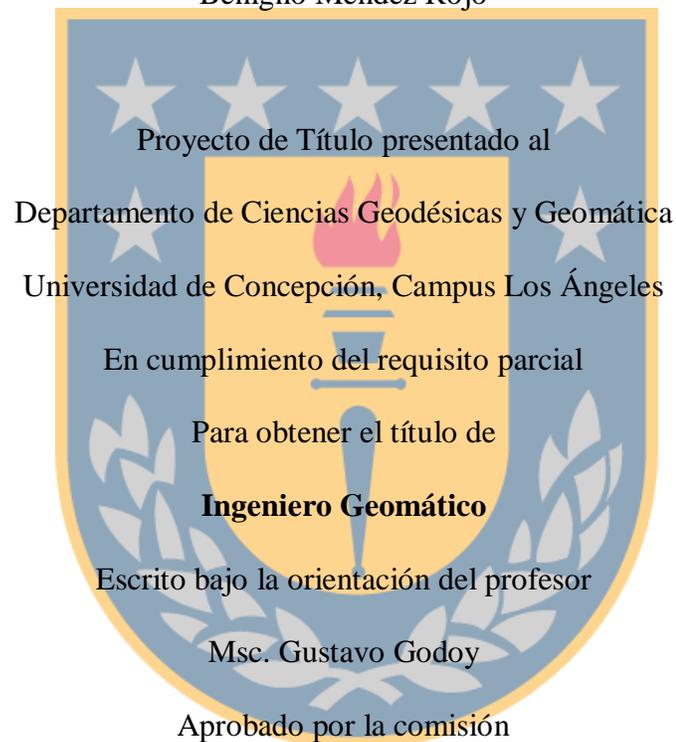


**ANÁLISIS ESPACIAL SOBRE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA CIUDAD
DE LOS ÁNGELES, REGION DEL BIO BIO ENTRE LOS AÑOS 2010 A 2016**

Benigno Méndez Rojo



Sr Rubén Cabalin

Msc. Luis Navarrete

Los Ángeles

[Diciembre, 2018]

RESUMEN

En el siguiente informe de Proyecto de título se presentará un análisis espacial de los accidentes de tránsito en la ciudad de los Ángeles.

En el primer capítulo se plantean las generalidades del proyecto, se define el problema y los objetivos ligados para resolverlo, junto con la metodología.

En el segundo capítulo se confecciona el marco teórico que abordará todos los aspectos que serán utilizados para fundamentar el proyecto, abarcando desde los antecedentes y teorías existentes en el análisis espacial hasta las técnicas estadísticas necesarias para abordar este proyecto.

El tercer capítulo se enfoca en el desarrollo del proyecto, comenzando con la definición del área de estudio, generando la base de datos de los accidentes de tránsito y la geocodificación de direcciones necesarios para el análisis SIG (Sistema de Información Geográfica).

En el cuarto capítulo se realizan los resultados y análisis, mediante la aplicación de las técnicas estadísticas, creación de índices de accidentes de tránsito, etc.

Finalmente, en el quinto capítulo, se expondrán las conclusiones de los resultados generados, dando así respuestas a los objetivos planteados para resolver el problema.

El informe presente, abordará alternativas para la resolución del problema planteado a través de un SIG (Sistema de Información Geográfica), que servirá tanto para realizar los análisis planteados como para la generación de mapas temáticos.

DEDICATORIA



AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía Gustavo Godoy, por su colaboración a lo largo de este proyecto entregando sus certeras opiniones, comentarios y sugerencias en cada momento.

A mis padres, Javier y Ana quienes me dieron en cada momento su apoyo incondicional en momentos difíciles, quienes han sido un apoyo constante para mi formación, no solo académica sino como persona.



Índice de Contenidos

RESUMEN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
Índice de Contenidos	v
Lista de Tablas	viii
Lista de Figuras	x
Lista de Símbolos, Nomenclatura o Abreviaciones	1
1. Capítulo I: Introducción	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Metodología	4
2. Capítulo II: Marco Conceptual.....	6
2.1. Antecedentes de los accidentes de tránsito.....	6
2.2. Factores relevantes.....	7
2.3. Variables independientes y dependientes.....	14
2.4. Antecedentes de accidentes de tránsito en Chile.....	15
2.4.1. Tipos de accidentes de tránsito	18
2.5. Principales avances en seguridad de tránsito en Chile.....	19
2.6. Indicadores de tránsito.....	21
2.7. Sistema de Información Geográfica (SIG) aplicado a los accidentes de tránsito.....	22
2.8. Hotspots.....	24
2.9. Modelado del problema en un entorno SIG.....	24
2.10. Geocodificación.....	26

2.11.	Dependencia espacial.....	26
2.12.	Autocorrelación espacial.....	27
2.13.	Escala de análisis.....	28
2.14.	Estadística espacial.....	29
2.14.1.	Análisis de patrones espaciales.....	29
2.14.2.	Análisis de Densidad.....	32
3.	Capítulo III: Diseño metodológico.....	34
3.1.	Descripción del área de estudio: Ciudad de Los Ángeles.....	34
3.2.	Recopilación de la información.....	36
3.2.1.	Información de los accidentes de tránsito.....	36
3.2.2.	Información cartográfica.....	36
3.2.3.	Información demográfica.....	36
3.3.	Base de datos de accidentes de tránsito.....	36
3.4.	Diseño del SIG.....	37
3.4.1.	Modelo conceptual.....	37
3.4.2.	Modelo lógico.....	38
3.4.3.	Modelo físico.....	39
3.5.	Estandarización de las direcciones registradas.....	39
3.6.	Geocodificación en ArcGIS.....	40
3.6.1.	Geocodificación de los eventos.....	40
3.6.2.	Depuración y ajuste de direcciones no concordantes.....	41
3.7.	Densidad de Kernel.....	41
3.8.	Identificación de zonas críticas de accidentes de tránsito en la ciudad de Los Ángeles.....	42
3.9.	Creación de mapas temáticos.....	42
3.10.	Población en la ciudad de Los Ángeles.....	43
3.11.	Formulación de los indicadores.....	43
3.11.1.	Tasa de accidentes por población.....	43
3.11.2.	Tasa de accidentes por vehículos en circulación.....	44
3.11.3.	Índice de mortalidad por habitantes.....	44

3.11.4.	Índice de mortalidad por vehículo en circulación.....	44
3.11.5.	Índice de morbilidad por habitantes.....	45
3.11.6.	Índice de morbilidad por vehículo en circulación.	45
3.11.7.	Índice de severidad	45
4.	Resultados y análisis.	46
4.1.	Frecuencia de víctimas lesionadas o fatales.....	46
4.2.	Frecuencia por tipo de accidente de tránsito.....	47
4.3.	Parque vehicular en circulación en la ciudad de Los Ángeles.	52
4.4.	Índices.....	53
4.4.1.	Tasa de accidentes por población.....	53
4.4.2.	Tasa de accidentes por vehículos en circulación.....	53
4.4.3.	Índice de mortalidad por habitantes.	54
4.4.4.	Índice de mortalidad por vehículo en circulación.	55
4.4.5.	Índice de morbilidad por habitantes	55
4.4.6.	Índice de morbilidad por vehículo en circulación.....	56
4.4.7.	Índice de severidad.....	57
4.5.	Análisis de patrones espaciales.	57
4.5.1.	Técnica del vecino más cercano.....	57
4.5.2.	I de Moran Global.	65
4.6.	Análisis de hotspots mediante Kernel Density Estimation (KDE)	67
4.7.	Identificación de zonas críticas de accidentes de tránsito en la ciudad de Los Ángeles.	70
4.7.1.	Frecuencia por horario del día.	78
4.7.2.	Frecuencia por tipología	84
5.	Conclusiones.....	90
6.	Sugerencias.....	93
7.	Referencias	94
	Anexos	98

Lista de Tablas

Tabla 1: Vecino más Cercano 2010-2016.....	58
Tabla 2: resumen de distribución 2010-2016.....	59
Tabla 3: Vecino más Cercano por atropello 2010-2016.....	60
Tabla 4: Vecino más Cercano por colisión 2010-2016	61
Tabla 5: Vecino más Cercano por choque 2010-2016	62
Tabla 6: Vecino más Cercano por caídas 2010-2016.....	63
Tabla 7: Vecino más Cercano volcaduras 2010-2016.....	63
Tabla 8: Vecino más Cercano otros 2010-2016.....	64
Tabla 9: I de Moran 2010 – 2016.....	65
Tabla 10: Zonas críticas de ciudad de Los Ángeles 2010-2016	71
Tabla 11: Causas de accidentes en Av. Vicuña Mackenna con San Martin	71
Tabla 12: Causas de accidente Av. Sor Vicenta con Av. Las Industrias.....	72
Tabla 13: Causas de accidentes Av. Oriente con Av. Sor Vicenta	72
Tabla 14: Causas de accidente Valdivia con Av. Ricardo Vicuña.....	73
Tabla 15: Causas de accidente Av. Las Industrias con Av. Gabriela Mistral.....	73
Tabla 16: Resumen de los principales puntos críticos de la ciudad de Los Ángeles por año.	74
Tabla 17: Resumen de las principales causas de accidentes de la ciudad de Los Ángeles por año	76
Tabla 18: Puntos críticos durante la mañana	81
Tabla 19: Puntos críticos durante la tarde.....	82
Tabla 20: Puntos críticos durante la noche	84

Tabla 21:Puntos críticos por colisión.86

Tabla 22:Puntos críticos por choque 2010-2016.....87

Tabla 23:Puntos críticos por atropello 2010-201689



Lista de Figuras

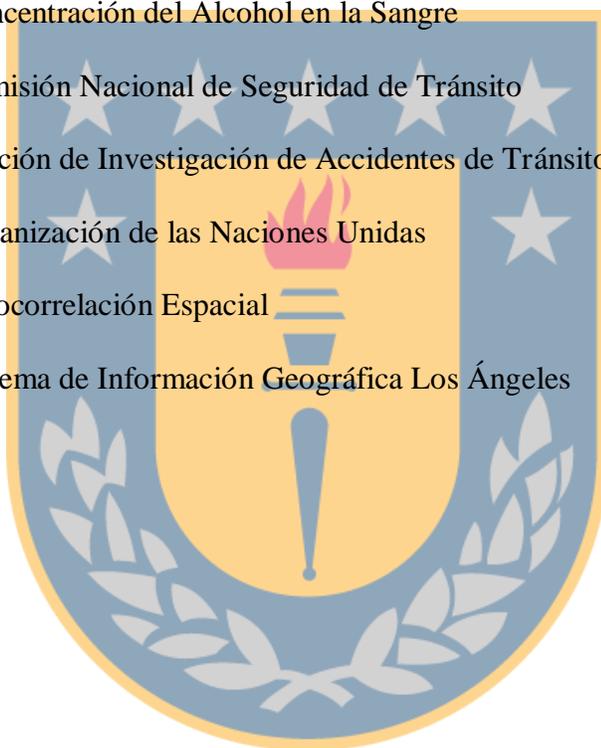
Figura 1: Matriz de Haddon.....	8
Figura 2: Legislación sobre límites de velocidad en ciudad, América del Sur.....	10
Figura 3: Leyes sobre conducción bajo los efectos del alcohol, América del Sur.....	11
Figura 4: Leyes sobre el uso del casco y normas para homologar los cascos, América del Sur.....	12
Figura 5: Leyes sobre el uso del cinturón de seguridad, América del Sur.	13
Figura 6: Leyes sobre el uso de sistemas de retención infantil, América del Sur.....	14
Figura 7: Evolucion de parque vehicular y fallecidos en siniestros de tránsito en chile (Periodo 1972-2017).....	15
Figura 8: Organizaciones gubernamentales relacionadas al tránsito en Chile.	17
Figura 9: Modelo de diseño	25
Figura 10: Tipos de autocorrelación espacial	28
Figura 11: Densidad de Kernel	33
Figura 12: Área de Estudio, ciudad de Los Ángeles	35
Figura 13: Limite Urbano Los Ángeles.....	35
Figura 14: Diagrama del modelo conceptual de la base de datos.	37
Figura 15: Diagrama del modelo lógico	38
Figura 16: Diagrama del modelo físico	39
Figura 17: Diagrama de Proceso para Geocodificar las direcciones.....	40
Figura 18: Diagrama de Proceso para lograr obtener la densidad Kernel.....	41

Figura 19: Diagrama de Proceso para lograr obtener la mayor frecuencia de accidentes.	42
Figura 20: Frecuencia de víctimas lesionadas o fatales por año.	46
Figura 21: Frecuencia según tipo de accidente del año 2010 al 2016.	47
Figura 22: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2010.	48
Figura 23: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2011.	49
Figura 24: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2012.	49
Figura 25: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2013.	50
Figura 26: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2014.	50
Figura 27: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2015.	51
Figura 28: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2016.	51
Figura 29: Parque vehicular en circulación en la ciudad de Los Ángeles.	52
Figura 30: Tasa de accidentes por población 2010-2016.	53
Figura 31: Tasa de accidentes por vehículos en circulación 2010-2016.	54
Figura 32: Índice de mortalidad por habitantes 2010-2016.	54
Figura 33: Índice de mortalidad por vehículo en circulación 2010-2016.	55
Figura 34: Índice de morbilidad por habitantes 2010-2016.	56
Figura 35: Índice de morbilidad por vehículo en circulación 2010-2016.	56
Figura 36: Índice de severidad 2010-2016.	57
Figura 37: Análisis del vecino más cercano.	59
Figura 38: Autocorrelación espacial 2010, 2011 y 2015.	66
Figura 39: Autocorrelación espacial 2012, 2013, 2014 y 2016.	66
Figura 40: Densidad Kernel 2010.	67

Figura 41: Densidad Kernel 2011	67
Figura 42: Densidad Kernel 2012	68
Figura 43: Densidad Kernel 2013	68
Figura 44: Densidad Kernel 2014	68
Figura 45: Densidad Kernel 2015	68
Figura 46: Densidad Kernel 2016	69
Figura 47: Análisis de Frecuencia de accidente de tránsito periodo 2010- 2016	70
Figura 48: Accidentes según Horario del día 2010-2016.....	78
Figura 49: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito durante la madrugada 2010-2016.	79
Figura 50: Puntos Críticos en la madrugada.....	79
Figura 51: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito durante la mañana 2010-2016	80
Figura 52: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito durante la tarde 2010-2016	82
Figura 53: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito durante la noche 2010-2016	83
Figura 54: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito por colisión 2010-2016. 85	
Figura 55: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito por choque 2010-2016 ..87	
Figura 56: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito por atropello 2010-201688	

Lista de Símbolos, Nomenclatura o Abreviaciones

OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
AT	Accidentes de Tránsito
SIG	Sistema de Información Geográfica
PIB	Producto Interno Bruto
CAS	Concentración del Alcohol en la Sangre
CONASET	Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito
SIAT	Sección de Investigación de Accidentes de Tránsito
ONU	Organización de las Naciones Unidas
AE	Autocorrelación Espacial
SIGLA	Sistema de Información Geográfica Los Ángeles



1. Capítulo I: Introducción

1.1. Planteamiento del problema

El aumento de la población mundial y del parque automotriz ha generado nuevas problemáticas en el flujo del tráfico, desde principios de los años noventa, el aumento de la demanda de transporte y del tránsito vial han causado, particularmente en las ciudades grandes, más congestión, demoras, accidentes y problemas ambientales. El rápido aumento de la mortalidad y lesiones por accidentes de tránsito tienen ahora una prioridad importante (Gundogdu, Sari, & Esen, 2008).

Los accidentes de tránsito como bien sabemos siempre están presentes en nuestra sociedad y la gran mayoría de ellos se producen en calles, avenidas o carreteras de gran flujo vehicular, generando así las interrogantes de cuales de ellas son las de mayor accidentabilidad dentro de los sectores de una ciudad. Debido a esta problemática y las características que presenta se propone realizar este proyecto, el cual busca ser una herramienta útil para la comunidad de la ciudad de Los Ángeles, y dar a conocer de manera espacial los accidentes de tránsito presentes en la ciudad.

La institución de Carabineros de Chile posee un registro de los accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad, donde uno de sus datos es la dirección estimada que indica la ubicación de cada uno de ellos. Estos datos públicos solo son informados al país mediante la generación de informes anuales los cuales solo entregan datos a nivel de prefectura provincial.

Poder saber la localización de estos datos accidentales, mediante una representación digital, ya sea con gráficos y/o mapas temáticos, facilita de gran medida el análisis y el trabajo de

la localización de la información, esto ayudaría a tomar de mejor forma alguna medida de prevención a las instituciones encargadas en el área.

Es por ello que la aplicación de un SIG (Sistema de Información Geográfica.), mediante el análisis de los accidentes de tránsito ayudará a localizar los sectores de la ciudad con mayor número de eventos. Aplicando métodos de análisis espacial, nos será de gran ayuda para poder visualizar los puntos críticos que posee la ciudad y saber cuál es el tipo de accidente, sus causas y la cantidad de estos.

Por eso que es importante poder llevar a cabo un análisis de este tipo para poder contar con la información necesaria para tomar medidas tanto de prevención como de seguridad vial, es por ello que contar con datos de instituciones gubernamentales le agrega al presente proyecto fidelidad de los resultados obtenidos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un estudio de los accidentes de tránsito en la ciudad de Los Ángeles entre los años 2010 y 2016.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir los fundamentos teóricos, mediante una revisión bibliográfica.
- Generar la base de datos en un SIG de los accidentes de tránsito de acuerdo con los datos obtenidos de Carabineros de Chile.
- Definir patrones espaciales de los accidentes de tránsito mediante estadística espacial.
- Generar mapas temáticos espacio-temporales de los accidentes de tránsito.

- Analizar los resultados y generar conclusiones.

1.3. Metodología

La metodología comprende tres fases asociadas a cada uno de los objetivos específicos planteados:

Fase 1: Definición

- Revisión bibliográfica de estudios relacionados con el análisis de accidentes de tránsito.
- Revisión de los datos ya obtenidos con respuesta a la solicitud ID N° AD009W 0036431 a través del sistema online Gobierno Transparente de Carabineros de Chile, cuya base de datos consta de los siguientes atributos IdAccidente, Fecha, Año, Hora, Tipo de accidente (Atropello, Caida, Choque, Colision, Volcadura, Otros), causas, Tipo de lesionados (Muertos, Graves, Menos graves, Leves) con su respectiva cantidad y su ubicación.
- Obtener la información Geográfica (shapefiles delimitación de la ciudad, calles, rutas, etc.) necesaria para este trabajo a través de la Municipalidad de los Ángeles con su SIGLA (Sistema de Información Geográfica Los Ángeles).

Fase 2: Desarrollo

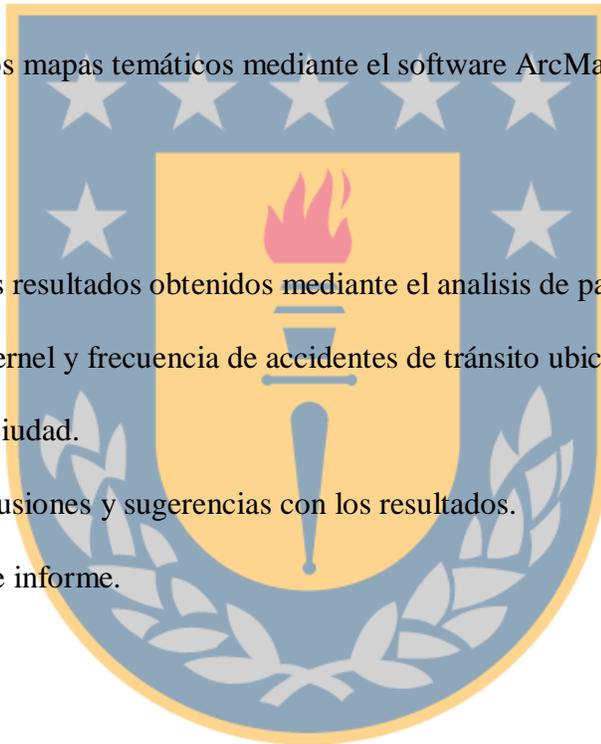
- Importar la base de datos de los accidentes de tránsito al software ArcMap, el método a utilizar es la “Geocodificación”, para ubicar los accidentes de tránsito ocurridos en el área urbana de la ciudad de Los Angeles.
- Utilizar la estadística espacial para el desarrollo del posterior análisis de este proyecto. Esto se llevara a cabo mediante el uso del software SIG ArcMap y sus

extensiones para calcular y determinar los patrones y métricas espaciales, para mostrar la evolución de estos siniestros ya sea por año o por su tipo de accidente (atropello, colisión, choque, caída, volcadura u otros), donde se utilizará el método de autocorrelación espacial *I de Moran* y el vecino más cercano promedio. La estimación de la densidad de Kernel para la representación de los *hot spot* (puntos calientes) para cada uno de los años, desde 2010 a 2016 por separado. Para mostrar el comportamiento de cada año y poder compararlos entre ellos.

- Creación de los mapas temáticos mediante el software ArcMap.

Fase 3: Resultados

- Análisis de los resultados obtenidos mediante el análisis de patrones espaciales, densidad de kernel y frecuencia de accidentes de tránsito ubicados en los puntos críticos de la ciudad.
- Generar conclusiones y sugerencias con los resultados.
- Realización de informe.



2. Capítulo II: Marco Conceptual

2.1. Antecedentes de los accidentes de tránsito.

Un accidente de tránsito es el resultado de una distorsión en la interacción del sistema “usuario-vehículo-vía” del transporte automotor, el cual tiene como consecuencia daños materiales y víctimas, por ende, grandes pérdidas económicas para el país (Naranjo y Sánchez, 1992). Mientras que la Organización Panamericana de la Salud señala que “una colisión en las vías de tránsito es el resultado de una combinación de factores relacionados con los componentes del sistema, vial que incluyen las calles, los caminos, el entorno vial, los vehículos y los usuarios de la vía pública y la manera que interactúan. (OPS, 2004).

Mucho antes de que se inventaran los automóviles, las lesiones causadas por los accidentes de tránsito se veían involucrados carruajes, carros, animales y personas. Las cifras aumentaron exponencialmente con la aparición y constante proliferación de automóviles, autobuses, camiones y otros vehículos de motor. La primera muerte por un accidente de tránsito de vehículo de motor se produjo en Birr, una pequeña localidad del centro de Irlanda, en el año 1869 (Fallon & O'Neill, 2005). El primer caso registrado de traumatismo en el que participó un vehículo a motor fue de un ciclista de la ciudad de Nueva York, el 30 de mayo de 1896, y el de un peatón de Londres fue el primer caso registrado de muerte causada por un vehículo de motor, el 17 de agosto de ese mismo año (OMS 2004).

Los accidentes de tránsito se han convertido en un fenómeno recurrente en los espacios más urbanizados con mayor parque automotriz, involucrando la movilización de recursos económicos y humanos para atender las consecuencias, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) informó que los traumatismos causados por el tránsito se han convertido en la principal causa de muerte en el grupo de edad de 15 a 29 años y se estima que el 3%

del PIB se pierde a nivel global por muertes y lesiones en el tránsito (OMS,2015; OMS, 2018).

También de acuerdo con cifras de 2017 de la OMS, cada año mueren en el mundo cerca de 1,3 millones de personas en accidentes de tránsito, y entre 20 y 50 millones padecen traumatismos no mortales causantes de discapacidad. Los accidentes viales, además, constituyen una de las principales causas de mortalidad en todos los grupos etarios, principalmente entre personas de entre 15 y 19 años. (OMS,2017)

2.2. Factores relevantes.

Los tres factores que parecen determinar el nivel de seguridad al conducir un vehículo son el vehículo mismo, la infraestructura, y el factor humano (Brewer, 2000).

William Haddon Jr describió el transporte por carretera como un sistema “hombre máquina” mal concebido que debía ser objeto de un tratamiento sistémico integral. Ideó lo que ahora se conoce como matriz de Haddon, que ilustra la interacción de tres factores:

Ser humano, vehículo y entorno durante las tres fases de un choque: la previa, la del choque mismo y la posterior. La matriz de Haddon resultante simula el sistema dinámico, y cada una de sus nueve celdas ofrece posibilidades de intervención para reducir las lesiones causadas por el tránsito (véase la figura 1). Este trabajo propició considerables avances en el conocimiento de los factores comportamentales y relacionados con la vía pública y el vehículo que influyen en el número y la gravedad de las víctimas del tránsito (OMG,2004).

Figura 1: Matriz de Haddon

Fase		Factores		
		Humano	Vehículos y Equipamiento	Ambiental
Antes del choque	Prevención de los choques	Información. Actitudes. Disminución de las facultades. Aplicación de la ley.	Condiciones mecánicas. Luces. Frenos. Maniobrabilidad. Gestión de la velocidad.	Diseño y trazado del camino. Límites de la velocidad. Elementos seguridad peatonal.
Choque	Prevención de traumatismos durante el choque	Uso de dispositivos de protección. Disminución de las facultades.	Cinturones de seguridad. Otros dispositivos de seguridad. Diseño vehicular antichoques.	Elementos protectores a los costados del camino.
Después del choque	Preservación de la vida	Nociones de primeros auxilios. Acceso a la atención médica.	Facilidad de accesos. Riesgo de incendio.	Equipamiento de socorro. Congestión.

Fuente: OMS, 2004

De los tres, es el factor humano el que parece explicar la mayor cantidad de varianza estadística en los análisis que se realizan sobre los accidentes de tránsito (Evans, 1991).

La legislación sobre seguridad vial contribuye a mejorar el comportamiento de los usuarios de las vías de tránsito y permite reducir los accidentes de tráfico, los traumatismos y

muerres derivados de estos. En especial las leyes relativas a los cinco factores de riesgo más importantes que afectan a la seguridad vial: la velocidad, la conducción bajo los efectos del alcohol, el uso del casco cuando se circula en motocicleta, el uso del cinturón de seguridad y el uso de sistemas de retención infantil (OMS,2015).

La velocidad: Un peatón tiene menos del 20 % de probabilidades de morir si es atropellado por un automóvil que circula a menos de 50 km/hora, pero casi un 60 % de posibilidades si es atropellado a 80 km/hora. A medida que aumenta la velocidad media, también aumenta la probabilidad de accidente y la gravedad de sus consecuencias, en especial para los peatones, los ciclistas y los motociclistas. Los países que han logrado reducir el número de muertes por accidente de tránsito, lo han conseguido dando prioridad a la seguridad en la gestión de la velocidad. Solamente 47 países (que representan 950 millones de personas) cumplen esos dos criterios legislativos, gestión de la velocidad en las zonas urbanas: existencia de un límite de velocidad máximo en vías urbanas nacionales de 50 km/h, y el hecho de dotar a las autoridades locales de competencias que les faculten para reducir ese límite, a fin de garantizar la aplicación de límites de velocidad locales que sean seguros. En la figura 2 se observa la legislación en América del Sur sobre los límites de velocidad en ciudad.

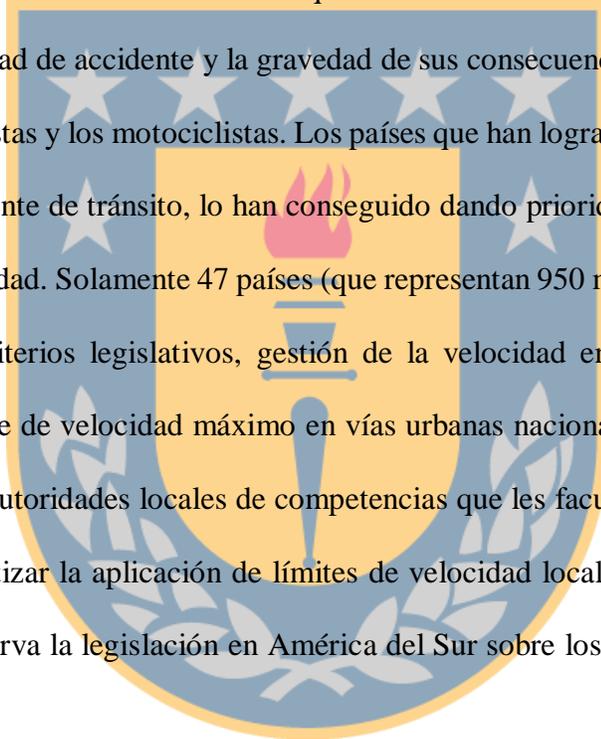
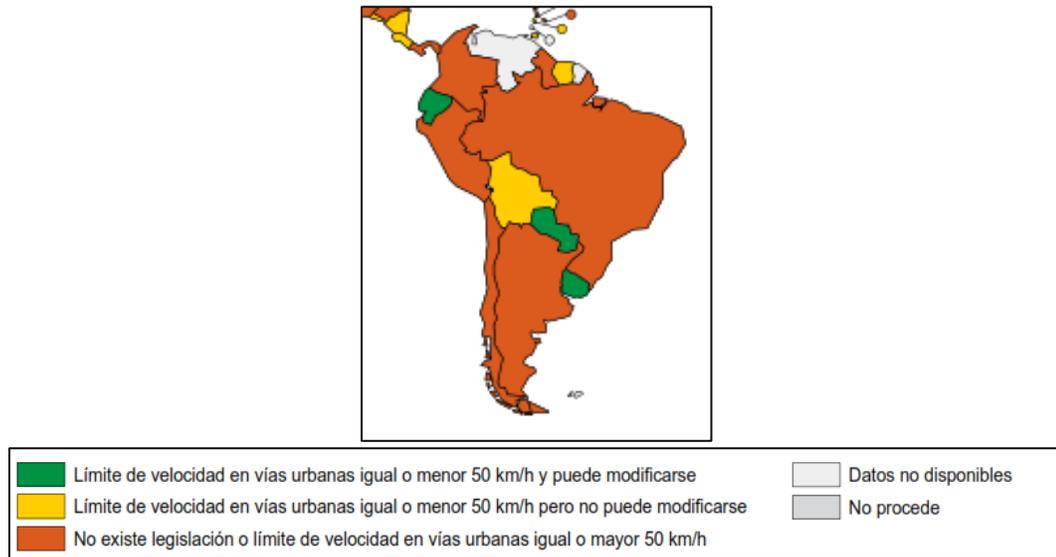


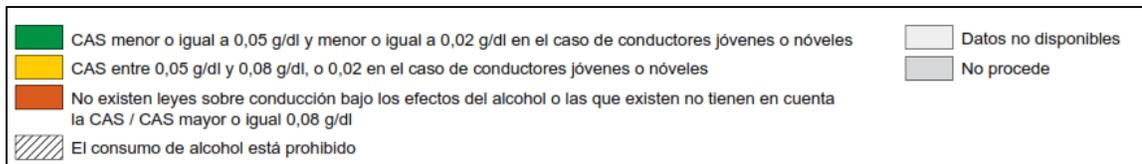
Figura 2: Legislación sobre límites de velocidad en ciudad, América del Sur



Fuente: OMS, 2015

Conducción bajo los efectos del alcohol: Conducir bajo los efectos del alcohol aumenta la probabilidad de accidente y de que este termine en muerte o traumatismo grave. Las leyes establecen un límite de Concentración del Alcohol en la Sangre (CAS) en 0.05g/dl (gramos por decilitros) para reducir considerablemente los accidentes de tránsito causados por personas en estado de ebriedad. Solo 34 países en todo el mundo cuentan con leyes nacionales sobre conducción bajo los efectos del alcohol que establecen el límite de concentración de alcohol en sangre un nivel igual o inferior a 0,05 g/dl, así como un límite más bajo, igual o inferior a 0,02 g/dl, en el caso de conductores jóvenes. En la figura 3 se observa los países de América del Sur que cuentan con leyes sobre la conducción bajo los efectos del alcohol.

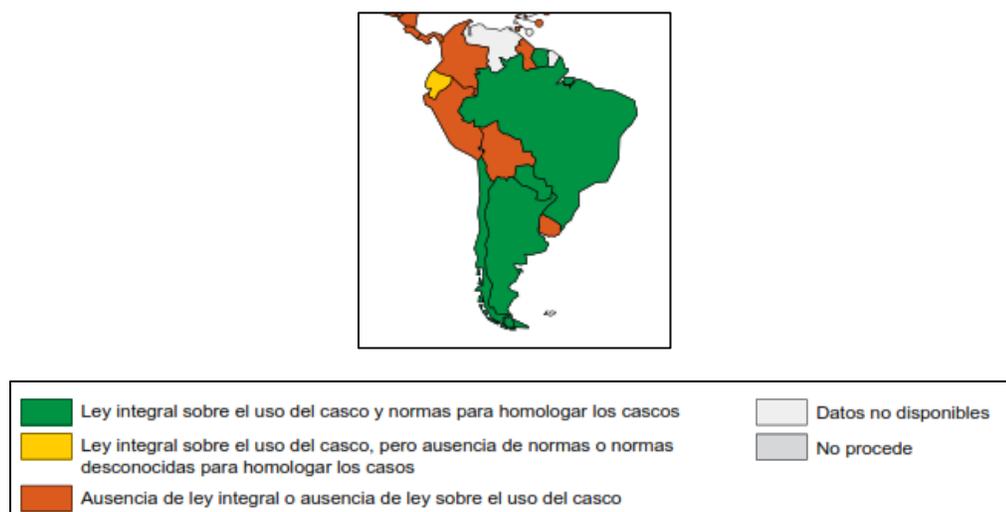
Figura 3: Leyes sobre conducción bajo los efectos del alcohol, América del Sur.



Fuente: OMS, 2015

Uso del casco cuando se circula en motocicleta: El rápido aumento en muchos países del uso de vehículos de motor de dos ruedas se ha visto acompañado por un aumento de los traumatismos y la mortalidad entre los usuarios de motocicletas, pero llevar casco puede reducir el riesgo de muerte en casi un 40% y el de sufrir traumatismos graves en aproximadamente un 70 %. Solamente 44 países (que representan 1200 millones de personas) tienen leyes que: se apliquen a todos los conductores, pasajeros, carreteras y tipos de motor; exijan que el casco vaya siempre abrochado. En la figura 4 se observa aquellos países de América del Sur que tienen leyes sobre el uso del casco y normas para homologar los cascos.

Figura 4: Leyes sobre el uso del casco y normas para homologar los cascos, América del Sur.



Fuente: OMS, 2015

Uso del cinturón de seguridad: Llevar cinturón de seguridad reduce el riesgo de muerte entre los conductores y los pasajeros de los asientos delanteros entre un 45% y 50%, y el riesgo de traumatismos leves y graves entre un 20% y un 45%, respectivamente. En lo que respecta a los pasajeros de los asientos traseros, el uso del cinturón de seguridad reduce el número de muertes y de traumatismos graves en un 25%, mientras que la reducción de los traumatismos leves puede llegar hasta un 75%. En 105 países se han promulgado leyes integrales sobre el uso del cinturón de seguridad que contemplan a todos los pasajeros del vehículo y abarcan el 67% de la población mundial. En la figura 5 se observa aquellos países de América del Sur que tienen leyes sobre el uso del cinturón de seguridad.

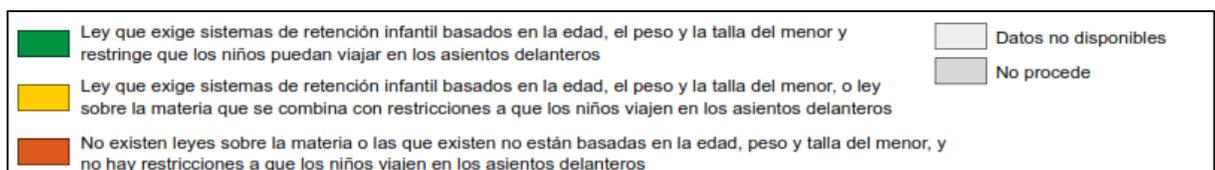
Figura 5: Leyes sobre el uso del cinturón de seguridad, América del Sur.



Fuente: OMS, 2015

Uso de sistemas de retención infantil: El uso de sistemas de retención infantil reduce la probabilidad de accidente mortal en aproximadamente un 90% en los lactantes y entre un 54% y un 80% en niños de corta edad. Además, los niños viajan más seguros en la parte trasera de un vehículo que en la delantera. Únicamente 53 países (que representan 1200 millones de personas) cuentan con leyes en materia de sistemas de retención infantil basadas en la edad, la altura y el peso del menor, y exigen que se cumplan una serie de requisitos en cuanto a edad o peso para que el niño pueda viajar en el asiento delantero. En la figura 6 se observa aquellos países de América del Sur que tienen leyes sobre el uso de sistemas de retención infantil.

Figura 6: Leyes sobre el uso de sistemas de retención infantil, América del Sur.



Fuente: OMS, 2015

2.3. Variables independientes y dependientes.

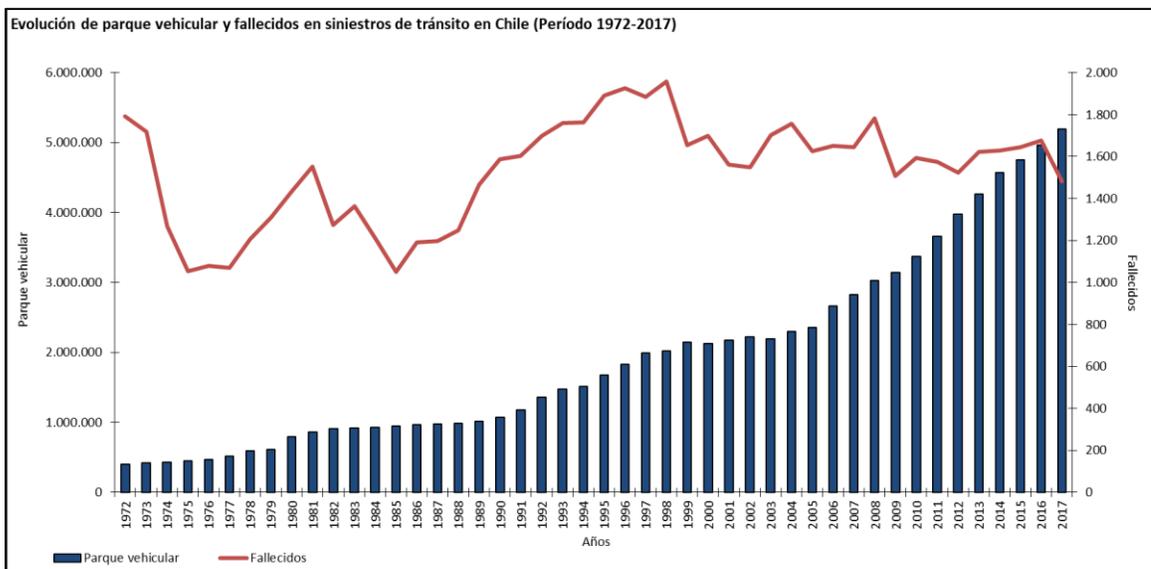
Una variable independiente es la causa supuesta de la variable dependiente. La variable independiente es el antecedente; la dependiente es la consecuente. Dado que uno de los objetivos de la ciencia es descubrir relaciones entre diferentes fenómenos, la búsqueda de las relaciones entre variables independientes y dependientes lo logra. Se asume que la variable independiente influye en la dependiente (Kerlinger y Lee, 2002, pp. 43).

En términos claros es lo que nosotros controlamos o hacemos dentro de un experimento. En otros términos, la variable dependiente es hacia la que se hace la predicción, mientras que la independiente es aquella a partir de la cual se predice. De este modo la “variable dependiente es el resultado medido que el investigador usa para determinar si los cambios en la variable independiente tuvieron un efecto” (Kerlinger y Lee, 2002, pp.44).

2.4. Antecedentes de accidentes de tránsito en Chile.

Carabineros de Chile registro desde 1972 la cantidad anual de siniestros de tránsito. En 1972 ocurrieron 26 mil accidentes de tránsito, en 1982 se duplicaron con 55 mil siniestros. Durante la década de los 90 y 2000 las cifras se mantuvieron entre 40 mil y 57 mil accidentes de tránsito por año, cifra que a partir del año 2011 ha ido aumentando hasta alcanzar los 94 mil siniestros viales el 2017, la cifra más alta en 45 años.

Figura 7: Evolucion de parque vehicular y fallecidos en siniestros de tránsito en chile (Periodo 1972-2017)



Fuente: CONASET, 2018

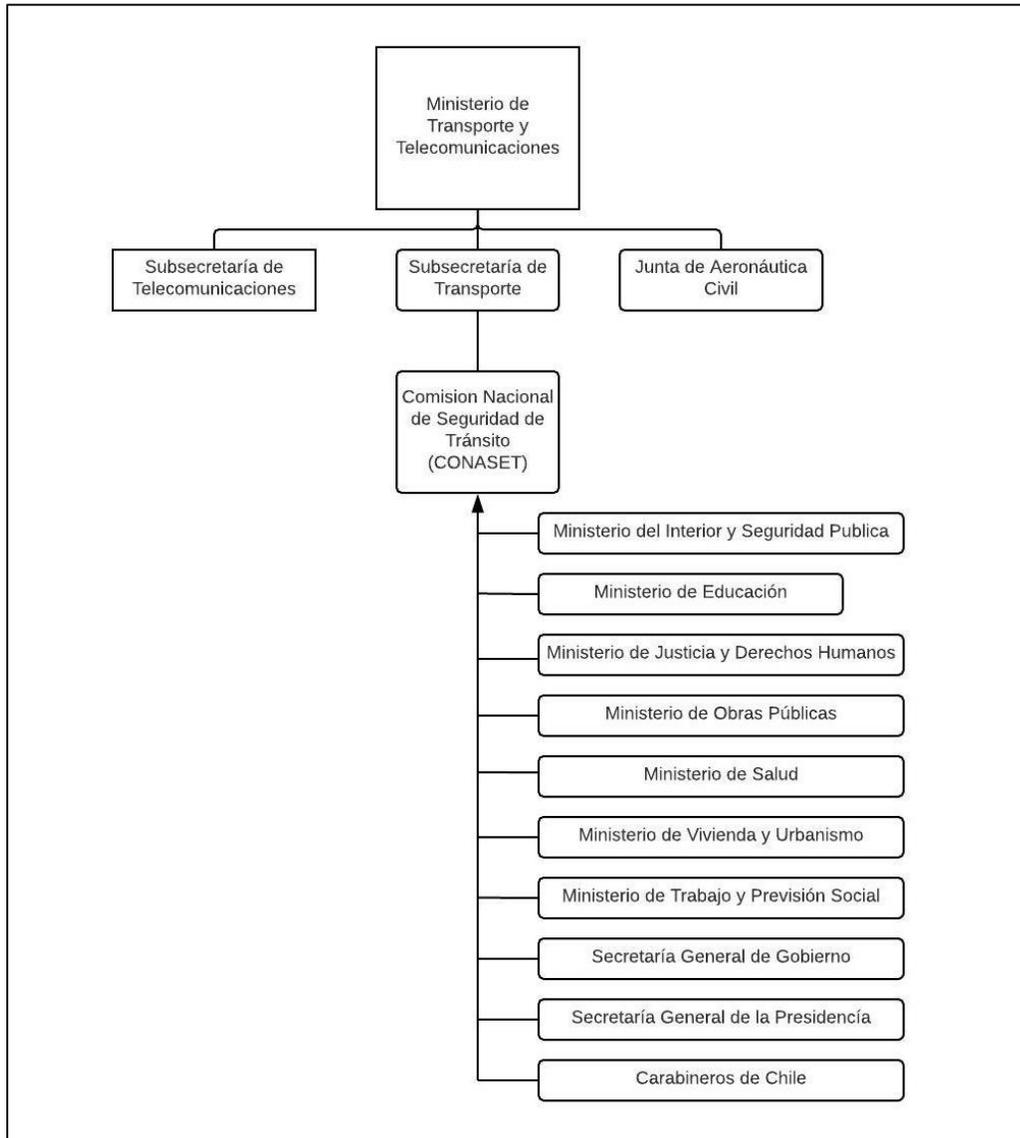
Una de las causas que se puede relacionar con el aumento de los accidentes de tránsito, es el crecimiento del parque vehicular en el país. Mientras en 1972 había apenas 401 mil vehículos, en 1980 se alcanzó los 797 mil automóviles. En tanto, en 1990, cuando se inició un periodo de reactivación económica, ya había 1.074.228 vehículos. El 2000 se duplicó el parque vehicular. Y aunque las cifras son preliminares, el país llegó a 5,2 millones de automóviles a fines del año 2017.

Es por ello que a lo largo del tiempo se han creado instituciones con el propósito de investigar, registrar los siniestros, asesorar y proponer planes, proyectos y programas tendientes a reducir la elevada tasa de accidentes de tránsito que ocurren en el país.

Una de ellas es la Sección de Investigación de Accidentes de Tránsito (SIAT) la cual tiene su origen el 13 de febrero de 1961 mediante Orden General Nro. 1098 la Dirección General de Carabineros de Chile, de primera instancia es creada para investigar los accidentes en el tránsito con participación de vehículos policiales (Carabineros de Chile), posteriormente debido al aumento del parque vehicular en Chile, la SIAT comenzó a satisfacer la necesidad que existía de poder esclarecer las causas y la dinámica de los constantes accidentes que comenzaron a generarse en Chile, convirtiéndose esta sección en el brazo auxiliar por excelencia en materia de investigación de accidentes en el tránsito de los distintos tribunales y posteriormente del Ministerio Público.

El año 1993 fue creada la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET) con el objetivo central de prevenir siniestros de tránsito y sus consecuencias, coordinando las labores en materia de seguridad vial de los siguientes diez ministerios: Interior y Seguridad Pública, Educación, Justicia y Derechos Humanos, Obras Públicas, Salud, Vivienda y Urbanismo, Transportes y Telecomunicaciones, Trabajo y Previsión Social, Secretaría General de Gobierno, Secretaría General de la Presidencia; además de Carabineros de Chile.

Figura 8: Organizaciones gubernamentales relacionadas al tránsito en Chile.



Fuente: Elaboración propia a partir de información publicada en página web de Ministerio de Transporte y CONASET.

2.4.1. Tipos de accidentes de tránsito

Los accidentes de tránsito pueden producirse en variadas circunstancias y pueden resultar de la interacción de vehículos motorizados o no motorizados con otros vehículos, personas, animales e infraestructura. Según lo anterior, éstos pueden clasificarse como (CONASET 2010):

- Choque: Embestimiento de un vehículo en movimiento contra un obstáculo fijo, que puede ser parte de la infraestructura vial (poste, muro, letrero, árbol, roca, carga desprendida de otro móvil, etc.), como también un vehículo detenido sobre la misma vía. También en este caso se debe consignar si es frontal, lateral o posterior, considerando como elemento activo al vehículo en movimiento.
- Volcadura: Es el giro de un vehículo en movimiento sobre su eje longitudinal respecto de su destino de marcha, apoyando cualquier parte de su carrocería sobre el suelo.
- Colisión: Encuentro más o menos violento entre dos vehículos o más vehículos en movimiento, pudiendo ser frontal, lateral, por alcance o perpendicular.
- Atropello: Encuentro entre un vehículo con un peatón, en el cual el primero embiste con cualquier parte de su estructura.
- Caída: Descenso brusco o desprendimiento de un pasajero del vehículo que lo transporta, perdiendo el equilibrio de la vertical.
- Otros: son todos aquellos accidentes que no involucren otro vehículo.

2.5. Principales avances en seguridad de tránsito en Chile.

Comenzando con la creación de la CONASET en el año 1993, se han llevado a cabo numerosos cambios normativos y políticas públicas para el mejoramiento de la seguridad de tránsito en Chile.

En 1994 se establece la obligatoriedad para vehículos livianos nuevos de contar con apoyacabezas y espejos retrovisores laterales. Ya en 1996 se reglamentaron los resaltos reductores de velocidad (lomos de toro) y se introdujo por primera vez el alcohótest como instrumento para que Carabineros de Chile realizara fiscalizaciones de alcohol en la conducción. En 1997 se creó la figura del conductor profesional y en el año 2000 se aumentaron las exigencias de los elementos de seguridad para automóviles, motocicletas y camiones, al siguiente año se aumentan las exigencias de seguridad para motocicletas y para los motociclistas, incluyendo uso de casco protector, guantes y calzado cerrado.

En el año 2005, se hizo obligatorio el uso del cinturón de seguridad en los asientos traseros, se reduce a 30 km/h la velocidad en zonas de escuelas en horarios de entrada y salida de clase, los niños menores de 8 años deben ir en asientos traseros, el uso obligatorio de casco para ciclistas en zonas urbanas y se catalogó como falta grave el uso del teléfono móvil mientras se conduce.

Ya en el 2006 se establecen los requisitos que deben cumplir los sistemas de frenos, luces, señalizadores, aparatos sonoros, entre otros, de los vehículos motorizados. En el 2007 los niños menores de 4 años deben ir en silla y es obligatorio el uso de luces cuando se circula en rutas interurbanas.

En 2009, el Ministerio de Obras Públicas comenzó a ejecutar obras de mejoramiento en los entornos de escuelas rurales del país, para dotar de facilidades que protejan el

desplazamiento de los alumnos durante los horarios de entrada y salida. En el año 2011, Chile se sumó a la “Década para la Acción de la Seguridad Vial 2011-2020”, proclamada por la ONU, que establece la primera meta mundial: reducir en 50% los fallecidos por siniestros viales. Ese mismo año, el uso del cinturón de seguridad en buses interurbanos se convirtió en una obligación en Chile.

En el 2012 se promulgó la Ley Tolerancia Cero de alcohol en conducción y, a través del Ministerio de Educación, se incorporó la educación vial en los programas de estudios de la enseñanza básica. En los años 2012 y 2013 se realizó una reforma para la obtención de licencia de conductor con nuevos y más exigentes exámenes teóricos y prácticos.

El 2014, entra en vigencia la Ley Emilia, que sanciona con cárcel efectiva de al menos un año a conductores en estado de ebriedad que generen lesiones gravísimas o la muerte a causa de un siniestro de tránsito.

En el 2015 se exige airbag en asiento de conductor y copiloto en vehículos livianos.

Durante los años 2016 y 2017 es obligatorio el porte de chaleco reflectante dentro del vehículo, además se implementaron cambios a la Ley de Tránsito para proteger la vida de los niños mientras se trasladan en automóviles. Se estableció que los menores de 12 años sean trasladados en el asiento trasero de los vehículos y, además, se normó la obligatoriedad de llevar a los niños menores de 9 años en sistemas de retención infantil adecuados según su peso, talla y edad. Estas medidas complementaron la normativa del año 2006 que obligaba llevar a los niños en silla hasta cumplir los 4 años.

2.6. Indicadores de tránsito.

Algunas definiciones de indicador:

“Los indicadores son series estadísticas y todas las formas de prueba que nos permiten evaluar en dónde nos encontramos y hacia dónde nos dirigimos en relación con valores y objetivos y también evaluar programas concretos y determinar sus repercusiones” (Bauer 1966 citado por Horn 1993).

“Los indicadores reflejan o representan condiciones o conceptos complejos. Son estadísticas u otras formas de prueba con que se trata de interpretar el carácter incierto de lo desconocido, extrayendo ideas simples a partir de ideas complejas” (Innes 1990, citado por McCracken y Scott 1998).

Los factores causantes de los accidentes de tránsito se pueden clasificar en tres factores: humano, vehículo y entorno. En 2014, Córdova y Paucar establecieron que cada factor se le puede asociar un indicador ya sea un índice de accidentabilidad, de resultado, morbilidad o mortalidad. Para poder relacionar variables con el objetivo de obtener por ejemplo un índice de mortalidad por vehículo, o su tasa de accidentes por población, etc.

2.7. Sistema de Información Geográfica (SIG) aplicado a los accidentes de tránsito.

Los beneficios que supone el empleo de un sistema informatizado para la gestión y procesamiento de la información espacial son variados (Gamir, Ruiz & Seguí 1995, citado por Lühr,2015) son las siguientes:

- El Formato magnético de la información permite su almacenamiento físico compactado, reduciendo costes en su mantenimiento y acelerando el acceso de los datos.
- El mantenimiento de la información espacial estructurada.
- La facilidad de actualización de la información.
- La accesibilidad a la información, facilita su revisión y actualización, contribuyendo a que la información corresponda más fielmente a la realidad geográfica que representan.
- El análisis de la información, donde el formato digital facilita el tratamiento de la información georreferenciada mediante la aplicación de operadores matemáticos o lógicos que, combinados, facultarán para la implementación de modelos de procesamiento cartográfico.

En las últimas décadas se ha incrementado el uso de los sistemas de información geográfica. Los países desarrollados han logrado explotar la herramienta SIG en muchas ramas de las ciencias como meteorología, vulcanología, seguridad ambiental y recientemente la accidentalidad vial. Los SIG constituyen una herramienta fundamental en el fortalecimiento de todo el proceso de información, gestión y análisis en vigilancia epidemiológica, y además proporcionan un excelente medio para visualizar y analizar datos

geoespaciales, revelando las tendencias, dependencias, interrelaciones y agrupaciones (Johnson & Johnson,2001).

Algunos estudios realizados en otros países han analizado la distribución espacial de los accidentes de tránsito utilizando SIG y técnicas de análisis espacial para detectar patrones de riesgo y excesos de accidentes (Erdogan,2009; Anderson,2009; Erdogan, Yilmaz, Baybura and Gullu,2008)

Por ejemplo, en 1996 se realizó un estudio sobre accidentes de tránsito con SIG y métodos espacio-temporales en Norfolk, Reino Unido. En el estudio, se utilizó el método de análisis espacial para identificar la presencia o ausencia de un *hotspot* agrupado. Los investigadores, al encontrar accidentes centralizados agrupados, pudieron reducir la cantidad de accidentes en estos puntos (Jones, Langford & Bentham, 1996).

Erdogan et al. (2008) realizó una investigación en Turquía para evaluar la distribución de accidentes en una carretera, ubicada en la entrada de la ciudad de Afyonkarashisar. Esta investigación utilizó el análisis de densidad del Kernel para la identificación de los puntos críticos, con los resultados obtenidos los investigadores ofrecieron una serie de estrategias a los departamentos de tráfico para resolver el problema.

No obstante, estas tecnologías aún son poco empleadas en Chile, por lo que su utilización contribuiría a prevenir y abordar los accidentes de tránsito (AT) para disminuir su impacto en la sociedad, especialmente en la ciudad de Los Ángeles, caracterizada por altos flujos de automóviles que circulan en la ciudad.

2.8. Hotspots.

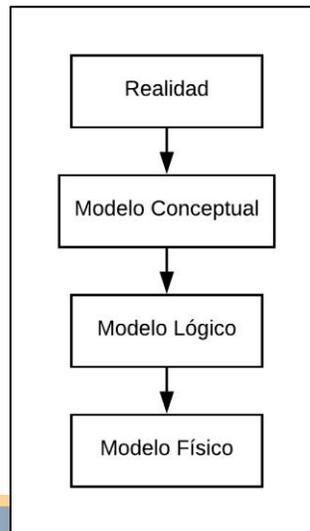
Este tipo de análisis busca identificar las zonas donde se presentan patrones espaciales (Clúster) de la información, a través de la relación de cada dato con la cercanía a sus datos más próximos (vecinos). Estos patrones espaciales son denominados puntos calientes o *Hot spot*.

El análisis *Hotspots* tiene como objetivo ayudar a identificar lugares con alta concentración inusual de ocurrencia. Existe una amplia gama de información en la literatura sobre qué es un *Hotspots*, cómo se define numéricamente y espacialmente. Es la técnica más utilizada para determinar si una ubicación tiene un problema de seguridad ya que se basa en el historial de accidentes de tránsito y en la determinación del "punto caliente" (Erdogan et al. 2008).

2.9. Modelado del problema en un entorno SIG.

Antes de diseñar un SIG se debe entender en primer lugar que el entorno de información que se incorpora al sistema son objetos que representan la vida real, los cuales tienen características específicas y que la incorporación de estas dependerá del diseñador del sistema y de la aplicación que se le va a dar. Por lo tanto, la relación objeto y entidad van siempre juntas. De esta manera el diseño de SIG empieza en tres etapas que van desde la realidad del ambiente hasta llegar al nivel de abstracción. (figura 9)

Figura 9: Modelo de diseño



Fuente: Elaboración Propia

Modelo Conceptual

Es la conceptualización de la realidad por medio de la definición de objetos de la superficie de la tierra (entidades) con sus relaciones espaciales y características (atributos) que se representan en un esquema describiendo esos fenómenos del mundo real.

Para obtener el modelo conceptual, se considera los siguientes pasos:

- Análisis del fenómeno y sus características.
- Análisis de la información y los datos disponibles.
- Determinación de las entidades y los atributos con las relaciones que aquellas guardan, de acuerdo con el flujo de información temática que se va a desarrollar.

Modelo Lógico

Es el diseño de la base de datos que contendrá información alfa – numérica, con los atributos que describen cada entidad, identificadores, conectores, tipo de dato (numérico o carácter) y su longitud; además, se define la geometría (punto, línea o área) de cada una de ellas.

Modelo Físico

Es la implementación de los modelos anteriores en el programa seleccionado. El modelo Físico determina en qué forma se debe almacenar los datos, cumpliendo con las restricciones y aprovechando las ventajas del programa SIG seleccionado para este trabajo.

2.10. Geocodificación

La geocodificación permite transformar una descripción de una ubicación, por ejemplo, un par de coordenadas, una dirección o un nombre de un lugar, 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. Las ubicaciones que se obtienen se transforman en entidades geográficas con atributos, que se pueden utilizar para la representación cartográfica o el para análisis espacial. En otras palabras, es el proceso que permite señalar la ubicación de un objeto, un lugar, un evento, un edificio o una dirección donde ha ocurrido algo de interés. (Navarrete Z., Aspectos Básicos sobre la Geocodificación, 2016).

2.11. Dependencia espacial.

La autocorrelación espacial tiene sus bases en la primera Ley de la Geografía que menciona que todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las distantes (Tobler, 1970).

La dependencia espacial significa que los valores de una misma variable, que son medidos en localidades que son cercanas entre sí, tienden a ser similares, es decir, a mayor cercanía geográfica corresponde una mayor similitud en los valores. La dependencia espacial se produce, entonces, cuando el valor de la variable dependiente en una unidad espacial funge

como el valor de la misma variable en unidades vecinas. (Flint, Harrower & Edsall, 2000). La base de la idea se deriva de la primera ley de Geografía formulada por Tobler, esto significa que, en general, lugares más cercanos son más propensos a tener un valor similar. Lo contrario de la dependencia espacial es ya sea aleatoriedad espacial o heterogeneidad espacial.

2.12. Autocorrelación espacial

Definida de manera simple la autocorrelación espacial (AE) es la concentración o dispersión de los valores de una variable en un espacio. Dicho de otra manera, la AE refleja el grado en que objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas (Goodchild, 1987). Este tipo de autocorrelación prueba la primera ley geográfica de Tobler (1970) anteriormente mencionada.

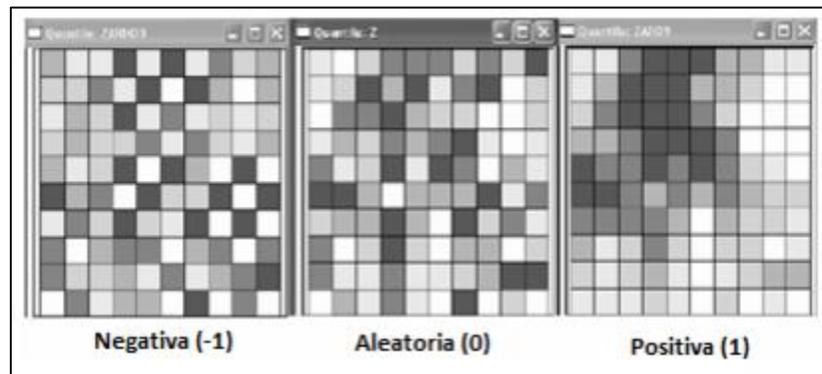
Según Celemin (2009) se acepta que existe autocorrelación espacial (AE) siempre que haya una variación espacial sistemática en los valores de una variable a través de un mapa, es decir un patrón en el comportamiento de la variable según la ubicación geográfica del dato. Si los valores altos de una localización están asociados con valores altos en los vecinos, la autocorrelación espacial es positiva siendo la situación opuesta la de autocorrelación espacial negativa (Velázquez y Cepeda, 2004).

Según Celemin (2009) los valores para determinar la Autocorrelación Espacial estarán dados por (Figura 10):

- Positiva (1): cuando las unidades espaciales vecinas presentan valores próximos. Tendencia al agrupamiento.

- Negativa (-1): cuando las unidades vecinas presentan valores disímiles. Tendencia a la dispersión.
- Nula (0): cuando no ocurre ninguna de las situaciones anteriores. Las unidades vecinas presentan distribución aleatoria.

Figura 10: Tipos de autocorrelación espacial



Fuente: Anselin, 2003

2.13. Escala de análisis.

En el entorno de los SIG a la hora de estudiar algún fenómeno podemos hacerlo a distintos niveles y, dependiendo del nivel elegido, los resultados serán de una u otra naturaleza.

La escala obedece no sólo a una representación a escala de la realidad si no a las interacciones que en el espacio geográfico se desarrollen, de acuerdo a esto y en conjunto con la cantidad de información recabada, la escala debe ajustarse a la realidad de estudio.

Es por ello que la escala de análisis debe ir inseparablemente relacionada con el fenómeno que pretendemos analizar.

2.14. Estadística espacial.

El análisis espacial es un conjunto de procedimientos utilizados para entender y estudiar los datos geográficos, donde se consideran sus características espaciales.

Para comprender de mejor forma lo plasmado en la ciudad, esto se analizará utilizando la ubicación de los accidentes de tránsito en la ciudad de Los Ángeles.

2.14.1. Análisis de patrones espaciales.

El siguiente paso es analizar una distribución de puntos para ver si hay algún patrón espacial reconocible.

Vecino más cercano promedio.

También llamado “ANN” por su escritura en inglés (*Average Nearest Neighbor*). Este mide la distancia entre cada centroide de entidad y la ubicación del centroide de su vecino más cercano. A continuación, calcula el promedio de todas las distancias de vecinos más próximos. Si la distancia promedio es menor que el promedio de una distribución hipotética aleatoria, se considera que la distribución de las entidades que se analiza es agrupada. Si la distancia promedio es mayor que la distribución hipotética aleatoria, se considera que las entidades están dispersas. La relación de vecino más cercano promedio se calcula como la distancia promedio observada dividida por la distancia promedio esperada (con la distancia promedio esperada basada en una distribución hipotética aleatoria con el mismo número de entidades que cubren la misma área total).

Para obtener esto, se deben realizar los siguientes cálculos:

Primero, la relación del vecino más cercano se da como:

$$ANN = \frac{\bar{D}_O}{\bar{D}_E} \quad (1)$$

Donde \bar{D}_O es la distancia media observada entre cada entidad y su vecino más cercano.

$$\bar{D}_O = \frac{\sum_{i=0}^n d_i}{n} \quad (2)$$

Y \bar{D}_E es la distancia media esperada por la entidad en un patrón aleatorio, para la entidad dada.

$$\bar{D}_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/A}} \quad (3)$$

En las ecuaciones anteriores d_i , es igual a la distancia entre la entidad i y la entidad vecina que se encuentra más cercano. n corresponde al número total de entidades, y A es el área de un rectángulo mínimo que encierra todas las entidades a analizar, este valor debe ser especificado para A .

El puntaje promedio del vecino más cercano (z) para la estadística representa la desviación estándar y se calcula como:

$$z = \frac{\bar{D}_O - \bar{D}_E}{SE} \quad (4)$$

Teniendo que,

$$SE = \frac{0,26136}{\sqrt{n^2/A}} \quad (5)$$



I de Moran global.

Mide la autocorrelación espacial en base a las ubicaciones de entidades y los valores de atributo mediante la estadística I de Moran global. Dado un conjunto de entidades y un atributo asociado, la Autocorrelación espacial evalúa si el patrón expresado está agrupado, disperso o es aleatorio.

Se calcula el valor del Índice I de Moran la cual posee una puntuación z y un valor P para evaluar la significancia de ese índice. Donde los valores P son aproximaciones numéricas del área debajo de la curva de una distribución conocida, limitada por la estadística de prueba.

Este método de autocorrelación espacial, utiliza para su análisis una hipótesis nula, la cual establece que el atributo que se analiza está distribuido en forma aleatoria entre las entidades del área de estudio; es decir, los procesos espaciales que promueven el patrón de valores observado constituyen una opción aleatoria.

La estadística espacial para la autocorrelación del I de Moran se da como:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (6)$$

Donde z_i es la desviación del atributo de una entidad i en comparación a su media $w_{i,j}$ es el peso espacial entre la entidad i y j , n es igual al número de entidades, y S_0 es la suma de todos los pesos espaciales:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (7)$$

El valor z_I para el estadístico es calculado por:

$$z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (8)$$

Donde

$$E[I] = -\frac{1}{n-1} \quad (9)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (10)$$

Después de ya calculado el valor del Índice, se calcula el valor del Índice esperado. Luego se comparan los valores del Índice esperado y del Índice observado. Dado el número de entidades presentes para el análisis y la varianza del total de los valores de los datos, se calcula una puntuación z y un valor P que indican si esta diferencia es estadísticamente significativa. Los valores del índice no se pueden interpretar directamente; sólo se pueden interpretar dentro del contexto de la hipótesis nula.

2.14.2. Análisis de Densidad.

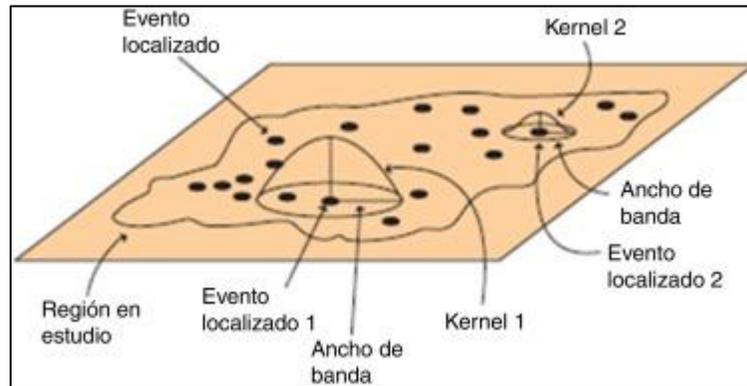
El análisis de densidad toma cantidades conocidas de algunos fenómenos y las expande a través del paisaje basándose en la cantidad que se mide en cada ubicación y la relación espacial de las ubicaciones de las cantidades medidas.

Densidad Kernel.

Esta es una forma de estimar una función de densidad que no siga un modelo conocido (Normal, Binomial, Exponencial, etc.). Tiene una enorme flexibilidad y lo que hace es construir una función de densidad girando en torno a los valores muestrales. Es decir, se especifica una vecindad que calcula la densidad de la población alrededor de cada celda de salida. La Densidad Kernel expande la cantidad conocida de la población para cada punto fuera de la ubicación del punto. Las superficies resultantes que rodean a cada punto en la densidad Kernel se basan en una fórmula cuadrada con el valor más alto en el centro de la superficie (la ubicación del punto) y se estrechan hasta cero en la distancia de radio de

búsqueda. Para cada celda de salida, se calcula el número total de intersecciones acumuladas de las superficies de expansión individual.

Figura 11: Densidad de Kernel



3. Capítulo III: Diseño metodológico

3.1. Descripción del área de estudio: Ciudad de Los Ángeles

La comuna de Los Ángeles es la capital de la provincia del Biobío ubicada en la octava región del Biobío a una distancia de 510 kilómetros de la capital de Chile, Santiago.

Posee una superficie de 1.748 kilómetros cuadrados y una población de 202.331 habitantes según el censo 2017, de los cuales el 74,7 % corresponde a la población de área urbana y el 25,3 % corresponde al área rural (CENSO, 2018).

La comuna de Los Ángeles se encuentra ubicada entre los paralelos $37^{\circ} 10'$ y $37^{\circ} 40'$ y entre los meridianos $72^{\circ} 40'$ y $72^{\circ} 0'$. A una altura de 139 metros sobre el nivel del mar, medición practicada en la Plaza de Armas de esta ciudad (Municipalidad de Los Ángeles, 2010, pág.3).

Santa María de Los Ángeles, recibió el título de ciudad el 7 de diciembre de 1852, 113 años después de su fundación. Actualmente, la ciudad ocupa el mismo sitio que escogió su fundador en 1739, el que se encuentra a $37^{\circ} 28'$ de latitud sur y $72^{\circ} 21'$ de longitud oeste (Municipalidad de Los Ángeles, 2005), como se muestra en la figura 12.

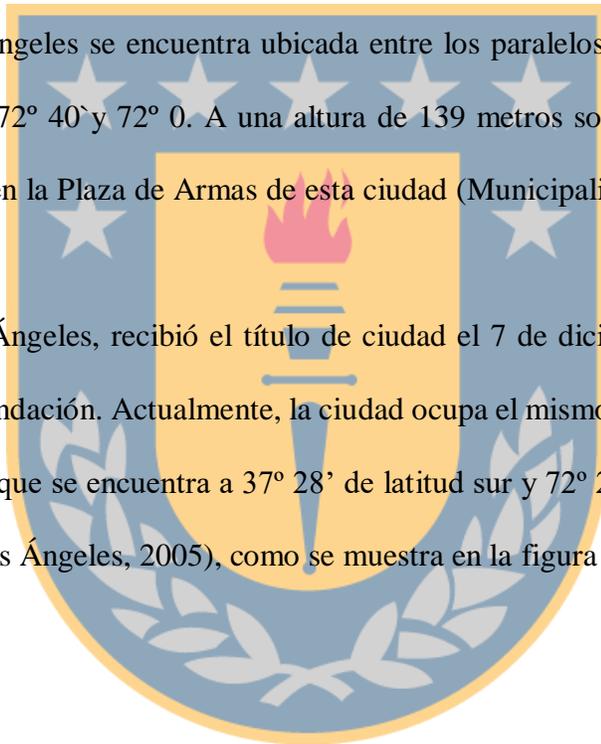
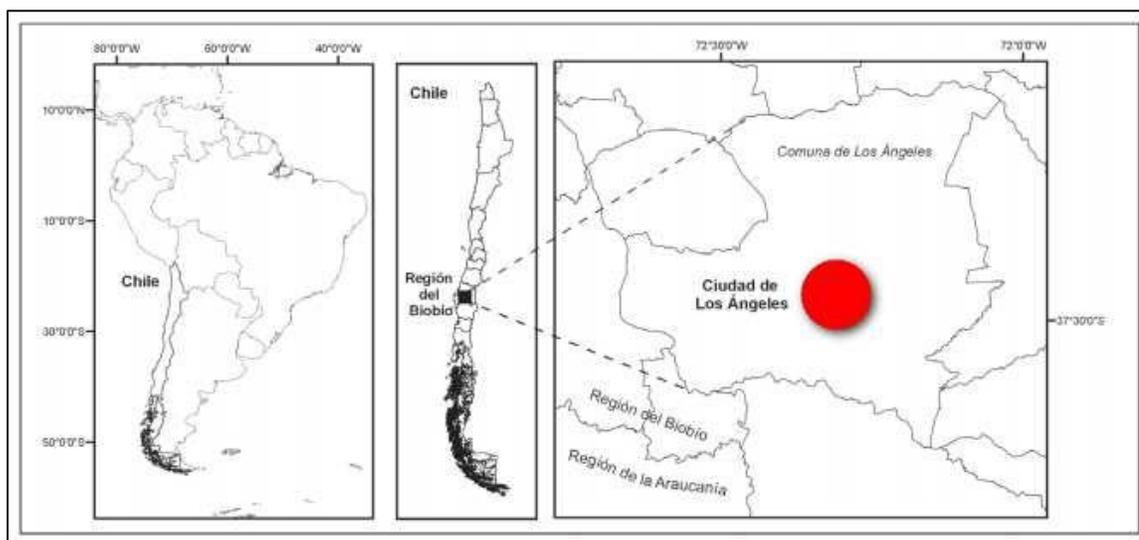


Figura 12: Área de Estudio, ciudad de Los Ángeles



Fuente: Tesis Andrew Rifo, 2015

El Límite Urbano de Los Ángeles (ver figura 13) posee 3.773,07 Hectáreas y es determinado por 50 puntos que se unen a través de líneas para formar un polígono que delimita lo urbano de lo rural (Municipalidad de Los Ángeles, 2011, pág. 6). Es este límite el que se usará como área de estudio

Figura 13: Limite Urbano Los Ángeles.



Fuente: Municipalidad de Los Ángeles, 2005, pág. 54.

3.2. Recopilación de la información.

3.2.1. Información de los accidentes de tránsito.

La información de los AT ocurridos en la ciudad de Los Ángeles durante el periodo 2010 – 2016 fue obtenida a través de la ley 20.285 de transparencia del gobierno de Chile. Los datos fueron entregados en formato digital mediante un Excel, con 9338 registros de accidentes de tránsito ocurridos en la comuna de Los Ángeles.

3.2.2. Información cartográfica.

La información fue proporcionada por la Ilustre Municipalidad de Los Ángeles con su Sistema de Información Geográfica de Los Ángeles (SIGLA) donde se utilizaron las siguientes capas:

- Ejes_Numeración
- Limite Urbano

3.2.3. Información demográfica.

La información fue adquirida a través del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). Gracias al reciente censo realizado en abril del 2017.

3.3. Base de datos de accidentes de tránsito.

La base de datos proporcionada por Carabineros de Chile contiene las siguientes variables:

- IdAccidente
- Fecha y Hora
- Tipo de accidente (Atropello,Caida,Choque,Colision,Volcadura,Otros)
- Causas

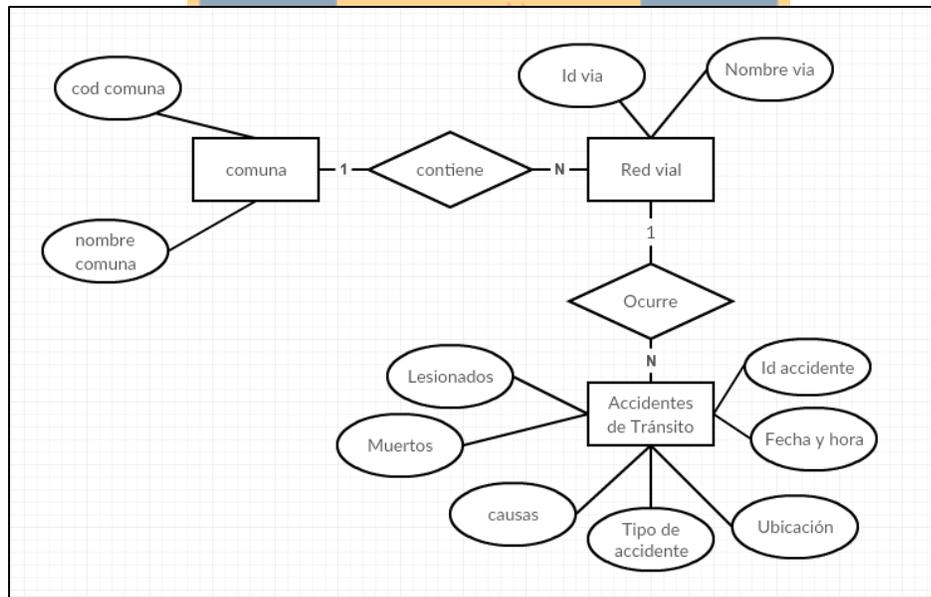
- Tipo de lesionados (Muertos, Graves, Menos graves, Leves) con su respectiva cantidad
- y su ubicación.

3.4. Diseño del SIG.

3.4.1. Modelo conceptual.

Para la construcción de la base de datos se utilizó un diagrama conceptual mediante un modelo de entidad-relación, para representar las relaciones entre las entidades y sus atributos. El diagrama se muestra en la figura 14.

Figura 14: Diagrama del modelo conceptual de la base de datos.

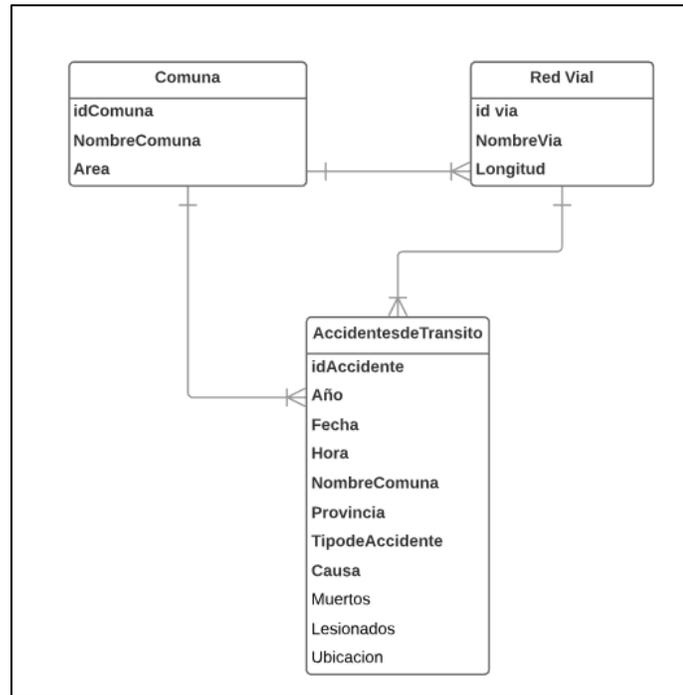


Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Modelo lógico.

A partir del modelo conceptual se construye el modelo lógico, utilizando el mismo modelo entidad-relación. En la figura 15 se presentan las entidades con sus respectivos atributos.

Figura 15: Diagrama del modelo lógico

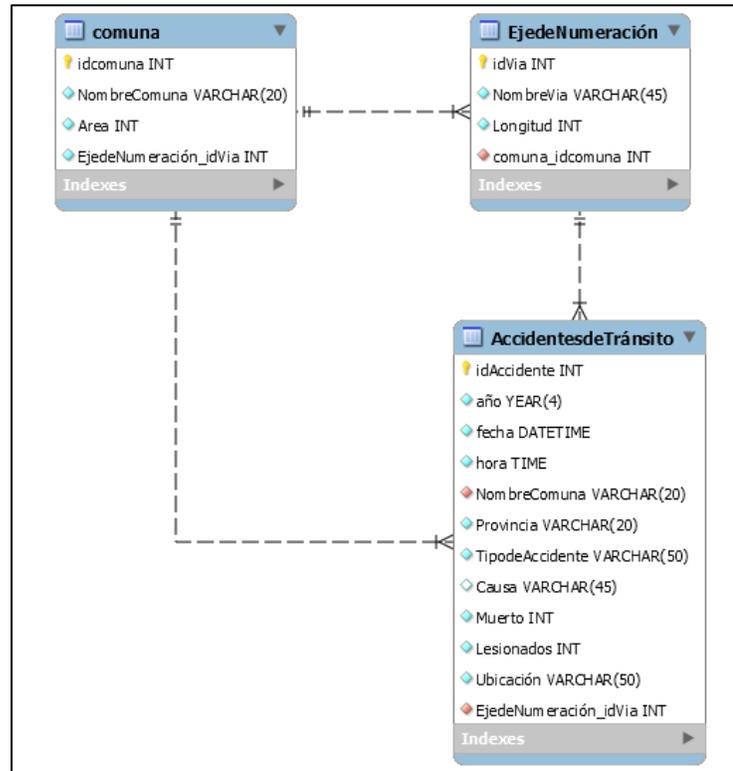


Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Modelo físico.

En el diagrama del diseño físico se presenta el esquema principal de la BDG en el software Arcgis Desktop versión 10.4.1.

Figura 16: Diagrama del modelo físico



Fuente: Elaboración propia

3.5. Estandarización de las direcciones registradas.

Para el uso de la herramienta de geocodificación, es necesario realizar una estandarización de las direcciones registradas. Esta base de datos fue filtrada con la herramienta “Filtro” de Microsoft Excel, la cual nos permitió corregir los nombres de calles y avenidas mal digitadas por Carabineros de Chile.

3.6. Geocodificación en ArcGIS.

La geocodificación se llevó a cabo con la herramienta Geocodificación proporcionada por el software ArcMap 10.4.1. Esta útil herramienta nos permite localizar direcciones en un área de estudio seleccionada por el usuario.

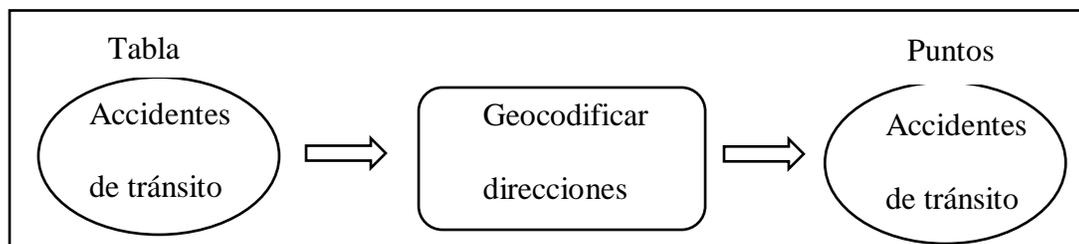
3.6.1. Geocodificación de los eventos.

La geocodificación de los datos se realizó mediante el localizador de direcciones “Word Geocode Service (ArcGIS Online), este localizador online nos permite ubicar las direcciones de los eventos de accidente de tránsito ocurridos en la comuna de Los Ángeles entre los años 2010 y 2016.

Este proceso (figura 17) le asigna a cada evento una posición geográfica a cada registro de la base de datos, con la creación de una capa vectorial de tipo punto con sistema de coordenadas geográfica WGS -84. Se geocodificaron 9338 eventos de accidentes de tránsito.

Luego de tener nuestra capa vectorial punto de todos los accidentes de la comuna, se llevó el estudio a solo el área urbana de la ciudad de Los Ángeles, para eso se utilizó la herramienta de geoprocresamiento Recortar de ArcMap, donde la capa vectorial punto de los accidentes de tránsito se recortó con la capa de límite urbano obtenido del SIGLA obteniendo solo los eventos que serán necesarios para continuar con nuestro análisis.

Figura 17: Diagrama de Proceso para Geocodificar las direcciones



Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Depuración y ajuste de direcciones no concordantes.

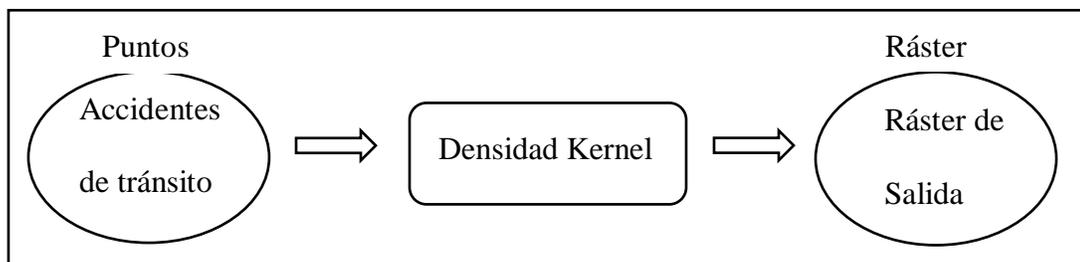
Como en toda geocodificación las direcciones pueden no coincidir automáticamente aplicando la herramienta Geocodificar direcciones, es por ello que se realizó un reajuste de las direcciones revisando manualmente (con la ayuda del software ArcMap) aquellos puntos donde las frecuencias de accidentes eran mayores. Algunas direcciones no coinciden con el primer proceso porque el programa no puede determinar a qué lado de la vía ubicar el punto, porque existen varias posibilidades para una dirección o porque existen cambios en la vía o en la nomenclatura de las direcciones respecto a la fecha de ocurrido el accidente.

3.7. Densidad de Kernel.

Se utilizó la técnica *Kernel Density* con un ancho de banda predeterminado, obteniendo la relación que surge de la distancia entre cada uno de los accidentes de tránsito, presentando mayor densidad aquellos lugares donde los puntos se encuentren más cercanos entre ellos dentro del área de estudio. Esta relación se manifestó bajo tres niveles de intensidad de color rojo, siendo el más intenso para las mayores intensidades y el color azul, al menos intenso para las bajas densidades.

En la figura se presenta el diagrama de procesos efectuado con el SIG para obtener la densidad de Kernel de los accidentes de tránsito.

Figura 18: Diagrama de Proceso para lograr obtener la densidad Kernel



Fuente: Elaboración propia

3.8. Identificación de zonas críticas de accidentes de tránsito en la ciudad de Los Ángeles.

Para obtener el conteo de los eventos en los puntos con mayor accidentabilidad se utilizó la herramienta de estadística espacial Recopilar eventos la cual Convierte datos de eventos, como incidentes de delitos o enfermedades, etc., en datos de punto ponderado.

Figura 19: Diagrama de Proceso para lograr obtener la mayor frecuencia de accidentes.



Fuente: Elaboración propia

3.9. Creación de mapas temáticos.

Para mostrar los resultados obtenidos en este proyecto se han confeccionado una colección de mapas temáticos con todas las capas resultantes del análisis anterior. Para todos los mapas se empleó el sistema de referencia WGS84 y la proyección UTM Huso 18S.

Como todo mapa temático, la representación de la información temática debe estar acompañada de una cartografía base que ayude a localizar espacialmente los valores de cada variable, para este proyecto se empleó la limitación urbana de la ciudad de Los Ángeles y el mapa base de *Openstreetmap* proporcionado por el software ArcMap para ubicar la red vial de la ciudad. En el caso de la información temática, para su representación se emplearon variables visuales de tipo forma puntual para ubicar los AT, la variable tamaño y tono para diferenciar los eventos con mayor frecuencia y los con menor.

3.10. Población en la ciudad de Los Ángeles.

Dado que solo se tiene los resultados de población de los censos realizados en Chile de los años 2002 y 2017, y debemos saber la población de nuestros años de estudio, se aplicará un método matemático lineal para su cálculo expresado en la siguiente formula.

$$N_t = N_0(1 + rt) \quad (11)$$

Donde:

N_0 y N_t = Poblacion al inicio y al final del periodo.

t = Tiempo en Año, entre N_0 y N_t .

r = Tasa de crecimiento observado en el periodo.

Esto nos ayudara a proyectar la población para los años de nuestro estudio que son desde el año 2010 hasta el año 2016, con estos resultados los podremos utilizar para el cálculo de indicadores.

3.11. Formulación de los indicadores.

Los indicadores de accidentabilidad, mortalidad y morbilidad son los más conocidos a nivel internacional y con los que se compara el estado general de accidentalidad.

3.11.1. Tasa de accidentes por población.

Esta relación representa la frecuencia con que se producen accidentes de tránsito expresada por cada 10.000 habitantes.

$$Tasa\ de\ accidentes\ por\ población = \frac{total\ de\ accidentes}{población\ total} * 10.000 \quad (12)$$

3.11.2. Tasa de accidentes por vehículos en circulación.

Establece la cantidad de accidentes de tránsito producidos en una región por el número de vehículos en circulación. Su utilidad puede basarse en dos puntos, el primero como indicador de exposición del vehículo que equivale a la de conductor de sufrir un accidente de tránsito, la segunda una medida de frecuencia de accidentes respecto al parque vehicular existente.

$$\text{Tasa de accidentes por vehículos en circulación} = \frac{\text{total de accidentes}}{\text{N}^\circ \text{ total de vehiculos en circulacion}} * 1.000 \quad (13)$$

3.11.3. Índice de mortalidad por habitantes.

Este índice permite evidenciar el número de fallecimientos a causa de los accidentes de tránsito por cada 10.000 personas.

$$\text{Indice de mortalidad por habitantes} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de muertos en accidentes de transito}}{\text{total de poblacion}} * 10.000 \quad (14)$$

3.11.4. Índice de mortalidad por vehículo en circulación.

Este indicador relaciona los fallecimientos por accidentes de tránsito con el número total de vehículos en circulación expresado por cada 10.000 vehículos.

$$\text{Indice de mortalidad por vehiculo en circulacion} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de muertos en accidentes de transito}}{\text{N}^\circ \text{ total de vehiculos en circulacion}} * 10.000 \quad (15)$$

3.11.5. Índice de morbilidad por habitantes.

Expresa la probabilidad de resultar lesionado en un accidente de tránsito al ser habitante de una región determinada, se basa en el número total de lesionados en accidentes de tránsito respecto a la población tomando como referencia 1.000 habitantes.

$$\text{Índice de morbilidad por habitantes} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de lesionados en accidentes de tránsito}}{\text{total de población}} * 1.000 \quad (16)$$

3.11.6. Índice de morbilidad por vehículo en circulación.

Es la relación entre el número de accidentes con lesionados que ocurren en la unidad geográfica considerada y el número de vehículos en circulación en la misma.

$$\text{Índice de morbilidad por vehículo en circulación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de lesionados en accidentes de tránsito}}{\text{N}^\circ \text{ total de vehículos en circulación}} * 1.000 \quad (17)$$

3.11.7. Índice de severidad

Corresponde a la relación entre el número de fallecidos y número de accidentes por cada 100 accidentes, como se muestra en la siguiente ecuación

$$\text{Índice de severidad} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de fallecido}}{\text{N}^\circ \text{ de accidentes de tránsito}} * 1.000 \quad (18)$$

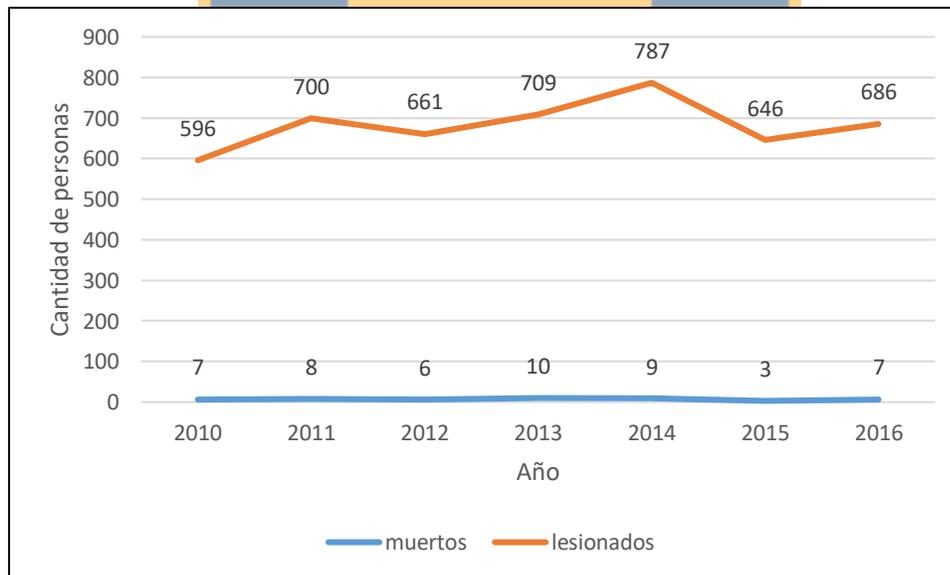
4. Resultados y análisis.

4.1. Frecuencia de víctimas lesionadas o fatales.

Para saber la cantidad de personas que se ven involucradas en los accidentes de tránsito en la ciudad de Los Ángeles, se presentan por cada año de estudio el número de víctimas lesionadas y fatales. En la figura 20 muestra que en el período 2010-2016 el año con mayor número de lesionados (787) por accidentes de tránsito en la ciudad de los ángeles es el año 2014. También se puede observar que el rango de víctimas lesionadas esta entre las 600 y 700 por año.

El número de víctimas fatales causada por los accidentes de tránsito por año presentan una baja mortalidad, siendo el 2013 el año con mayor número de personas fallecidas.

Figura 20: Frecuencia de víctimas lesionadas o fatales por año.



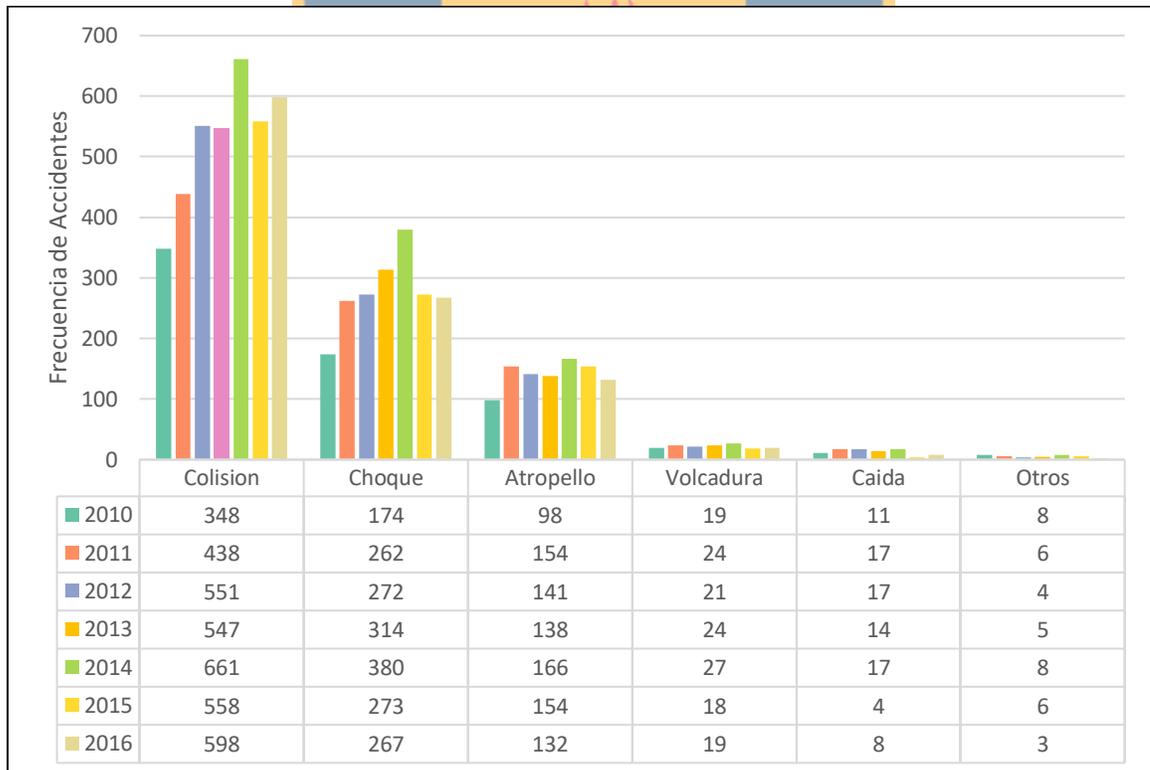
Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos de Carabineros de Chile

4.2. Frecuencia por tipo de accidente de tránsito.

Para tener una idea general del comportamiento de los accidentes de tránsito en la ciudad de Los Ángeles, se presentan por cada año de estudio, tablas de frecuencia por tipo de accidente.

En la figura 21, se observa la cantidad de accidentes por tipo para el período analizado, donde los accidentes por colisión representan una mayor ocurrencia, seguida por los choques y atropellos. A su vez, las volcaduras muestran un comportamiento similar durante este período. Los accidentes por caída y otras causas presentan los registros más bajos, mostrando en ambos una disminución en estos en los dos últimos años de estudio.

Figura 21: Frecuencia según tipo de accidente del año 2010 al 2016.



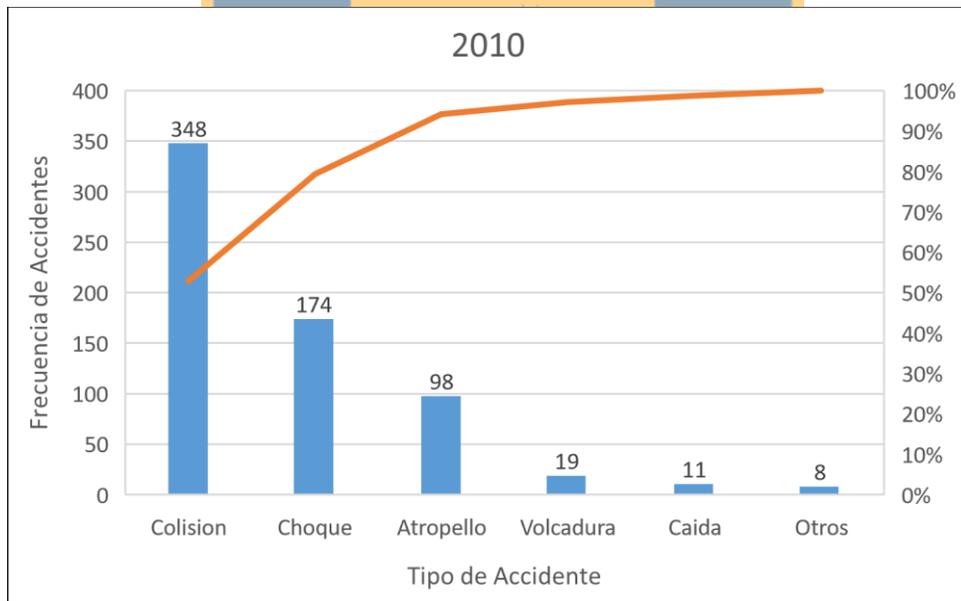
Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos de Carabineros de Chile

También se puede apreciar en la figura 21 que el año con mayor ocurrencia en los 6 tipos de accidentes de tránsito es el año 2014, mientras que el año 2010 presenta el menor número de accidentes en todas las tipologías.

Ahora viendo el último año de nuestro estudio, el año 2016 se puede observar que las colisiones, volcaduras y caídas han tenido un aumento en comparación al año 2015, no así los choques, atropellos y otros que han mostrado una disminución en los accidentes.

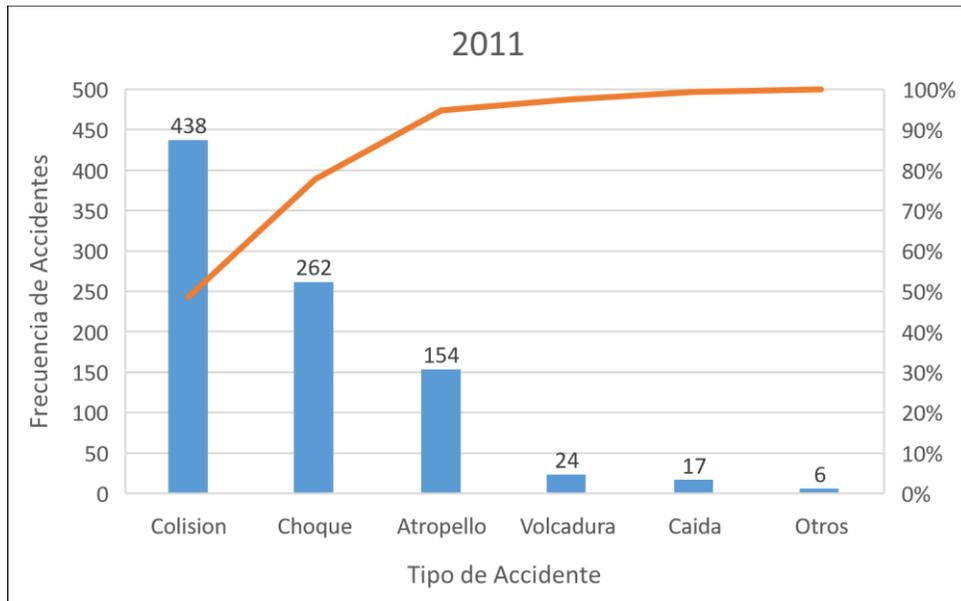
Para tener una mirada más personalizada de los accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad de Los Ángeles en el periodo 2010 al 2016 se presentan por cada año de estudio las siguientes figuras 22-28.

Figura 22: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2010



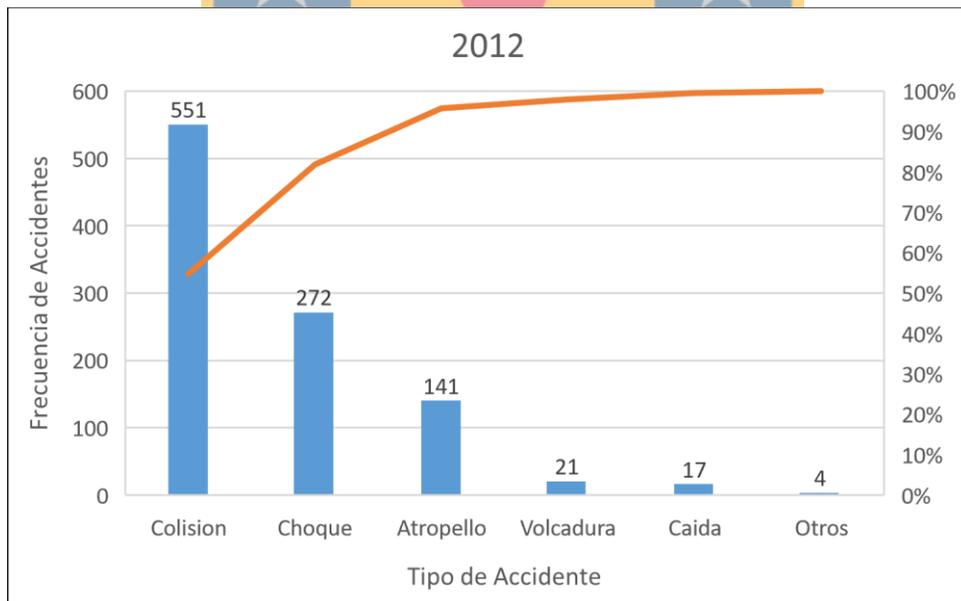
Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2011



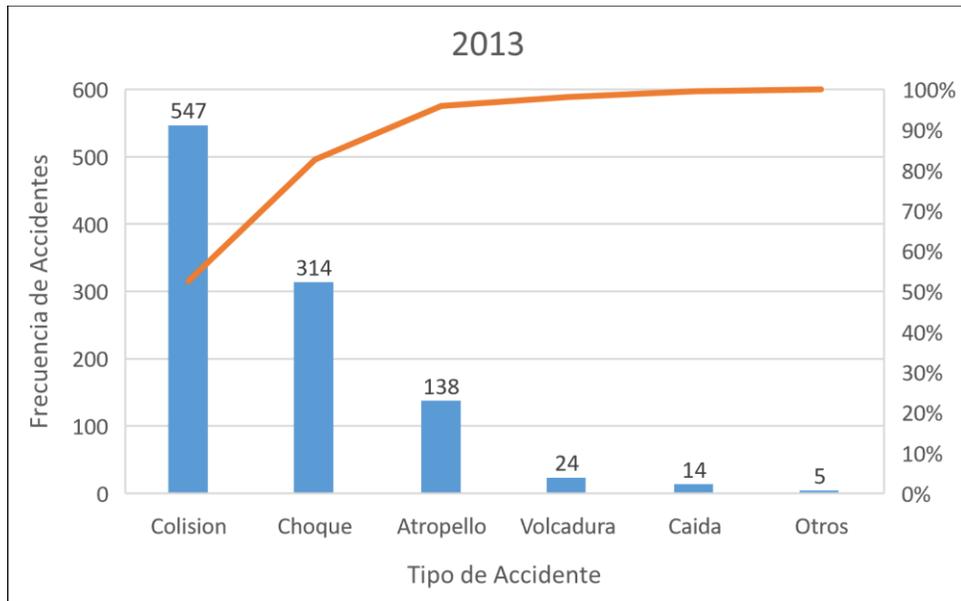
Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2012



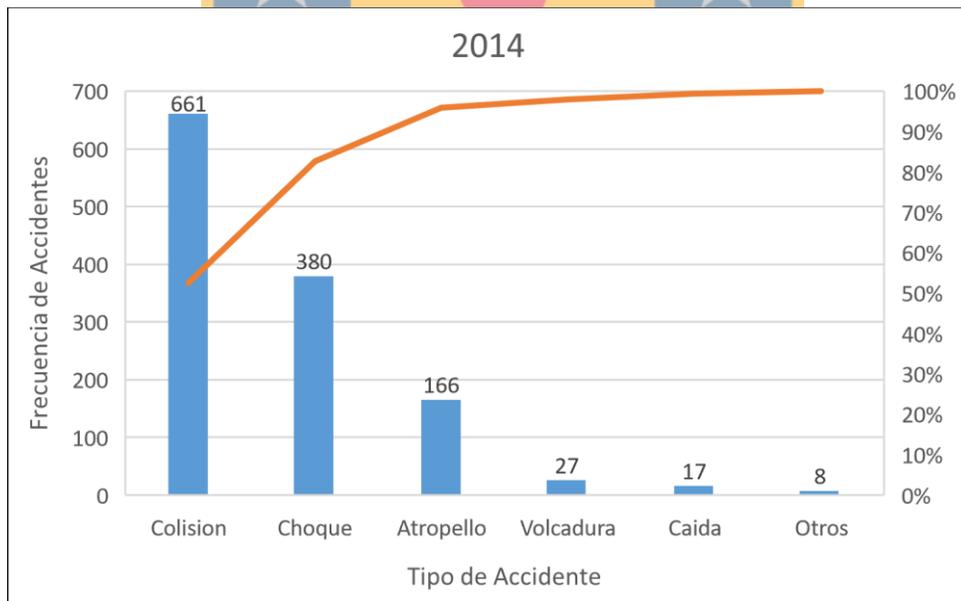
Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2013



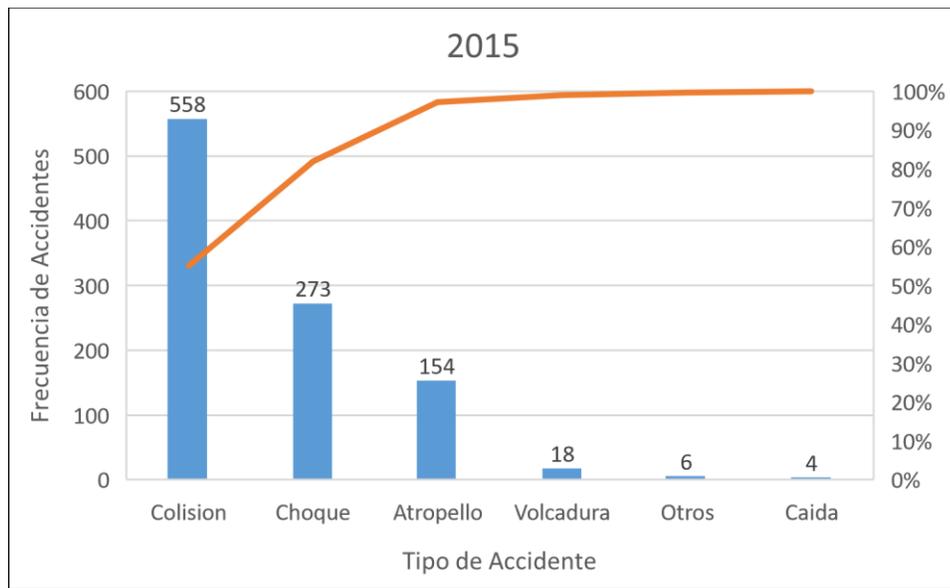
Fuente: Elaboración propia

Figura 26: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2014



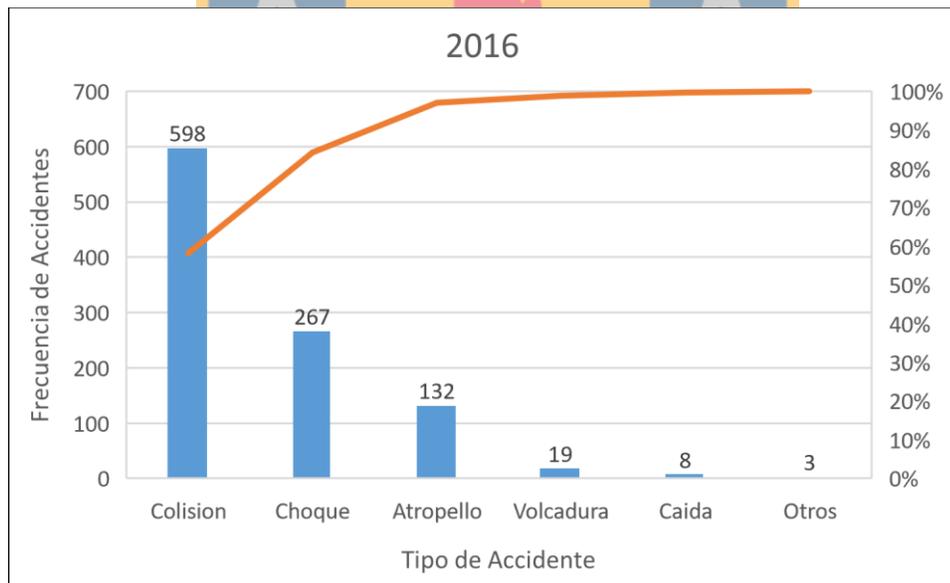
Fuente: Elaboración propia

Figura 27: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2015



Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Cantidad de accidentes por tipo en la ciudad de Los Ángeles Año 2016



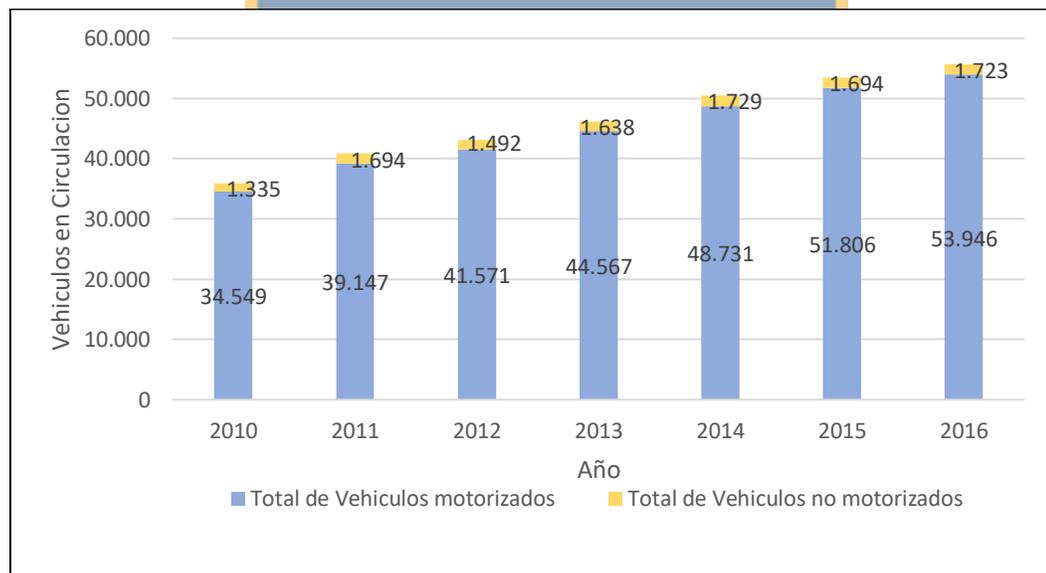
Fuente: Elaboración propia

A través de los resultados se puede observar que en todos los años la tipología con mayores accidentes es del tipo colisión le sigue los choques y los atropellos. Las volcaduras, caídas y otras en cambio tiene muy poca presencia en los siniestros por accidentes en la ciudad de Los Ángeles.

4.3. Parque vehicular en circulación en la ciudad de Los Ángeles.

El porcentaje de vehículos en circulación va en aumento en Chile y la ciudad de Los Ángeles no está exenta de esta tendencia, que por lo general ocasiona que el número de accidentes de tránsito incremente de forma directa con el incremento de vehículos en circulación. En la figura 29, se presenta el número de vehículos motorizados y no motorizados en circulación de la ciudad de Los Ángeles desde el año 2010 hasta el año 2016.

Figura 29: Parque vehicular en circulación en la ciudad de Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

Ecuación de la línea de tendencia:

$$Y = -90,7619048x^2 + 368695,6429x + -3,74E + 08 \quad (19)$$

Donde:

Y = Número total de vehículos en circulación.

x = Año.

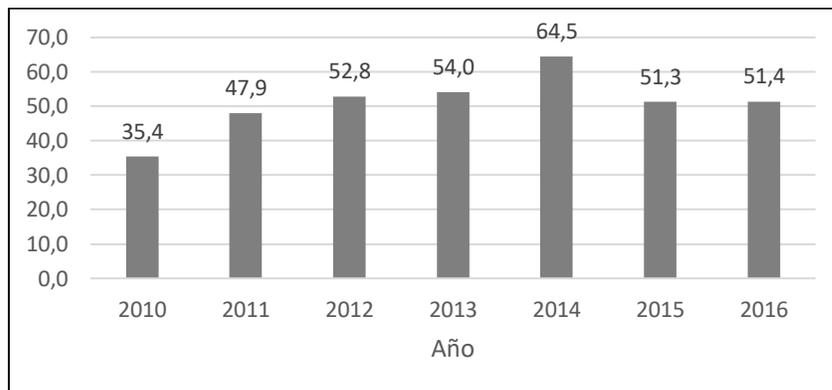
Con esta ecuación podremos estimar el número total de vehículos en circulación para los años siguientes.

4.4. Índices.

4.4.1. Tasa de accidentes por población.

Mediante este indicador se obtiene el resultado de la tasa de accidentes por cada 10.000 habitantes entre los años 2010 y 2016.

Figura 30: Tasa de accidentes por población 2010-2016



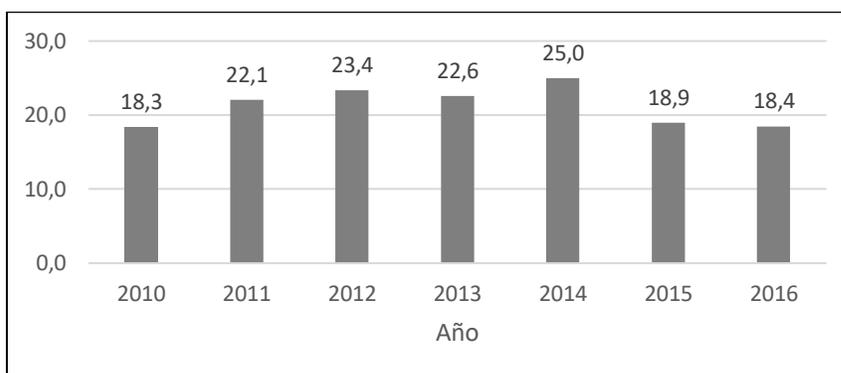
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 30, se puede observar que la mayor tasa por accidentes por población se registra en el año 2014, y el mayor aumento de accidentes entre años, se da entre los años 2010 y 2011 con un aumento de 12,5 accidentes por cada 10.000 habitantes.

4.4.2. Tasa de accidentes por vehículos en circulación.

Mediante este indicador se interpreta el resultado de la tasa de accidente por cada 1000 vehículos entre los años 2010 y 2016.

Figura 31: Tasa de accidentes por vehículos en circulación 2010-2016



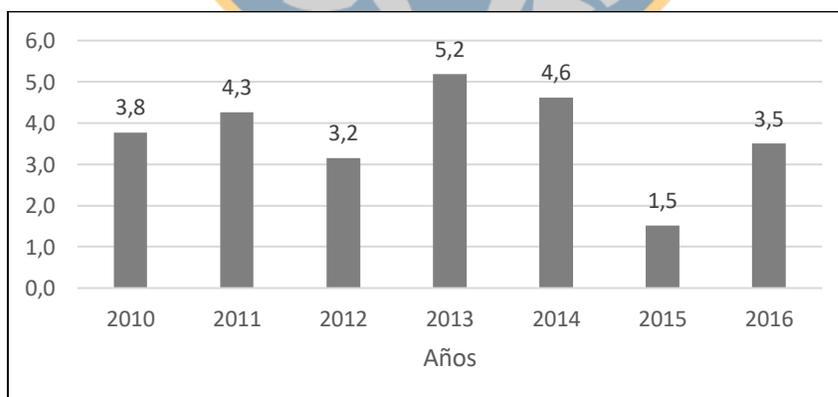
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 31 se ilustra, que el año 2014 por cada 1000 vehículos en circulación tuvo una mayor tasa, que corresponde a los accidentes de tránsito comparado con los demás años. También se puede observar que en el año 2015 existe una disminución de 6 accidentes por cada 1000 vehículos en circulación, el siguiente año 2016, también muestra una leve disminución.

4.4.3. Índice de mortalidad por habitantes.

Mediante este indicador se obtiene el resultado del índice de mortalidad por habitantes (por cada 10.000 habitantes) entre los años 2010 y 2016.

Figura 32: Índice de mortalidad por habitantes 2010-2016



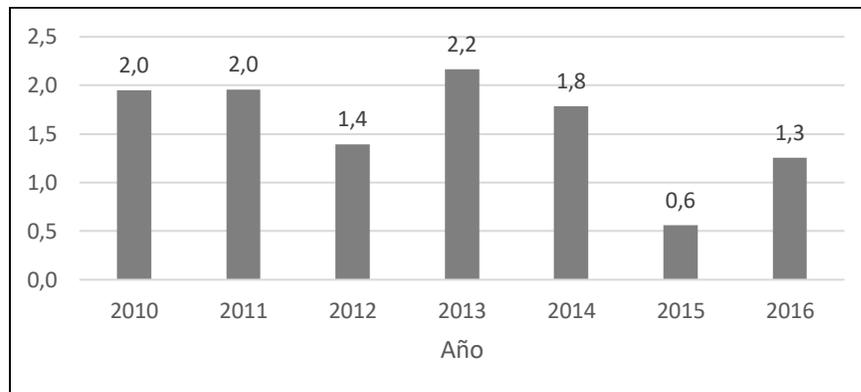
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 32, se puede observar que, en el año 2013 por cada 10.000 habitantes, hubo una mayor tasa de mortalidad de 5,2.

4.4.4. Índice de mortalidad por vehículo en circulación.

Con este indicador se realiza la interpretación del resultado de mortalidad por vehículos (por cada 10.000 vehículos) en circulación en la ciudad de Los Ángeles entre los años 2010 y 2016.

Figura 33: Índice de mortalidad por vehículo en circulación 2010-2016



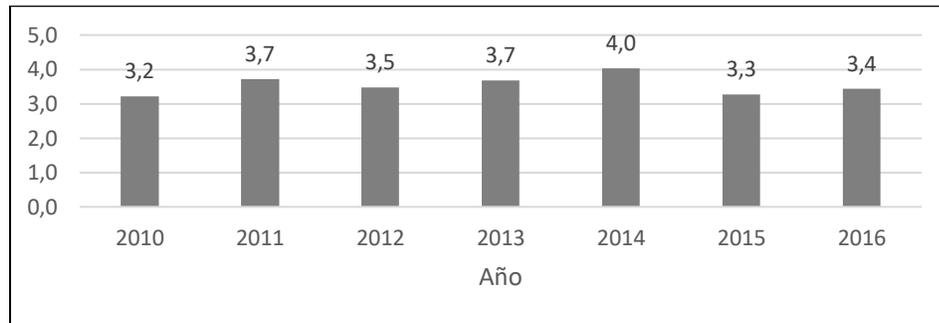
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 33 se ilustra, que en el año 2013 el índice de mortalidad por cada 10.000 vehículos fue mayor. El año que obtuvo el menor índice es el año 2015.

4.4.5. Índice de morbilidad por habitantes

Con este indicador se realiza la interpretación del resultado de morbilidad por habitantes (por cada 1000 habitantes) de la ciudad de Los Ángeles entre los años 2010 y 2016

Figura 34: Índice de morbilidad por habitantes 2010-2016



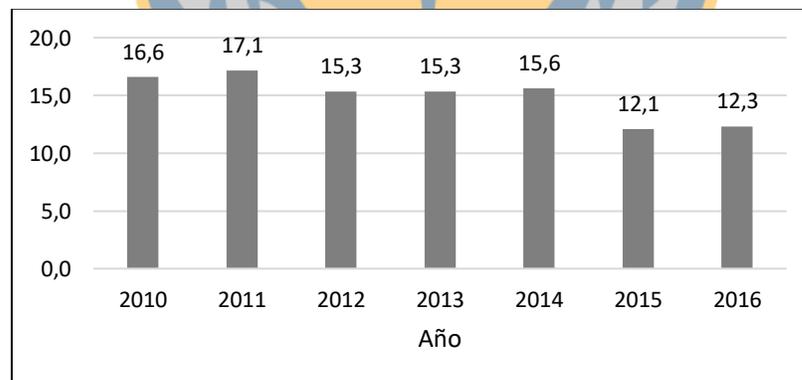
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 34, se puede observar que, en el año 2014 el índice de morbilidad por 1000 habitantes fue el mayor en comparación con los demás años, también se puede apreciar que el índice muestra poca variación manteniendo un índice de lesionados entre 3,2 a 4.

4.4.6. Índice de morbilidad por vehículo en circulación.

Con este indicador se interpreta el resultado del índice de morbilidad por vehículos en circulación (por 1000 vehículos) dentro de la ciudad de Los Ángeles entre los años 2010 y 2016.

Figura 35: Índice de morbilidad por vehículo en circulación 2010-2016



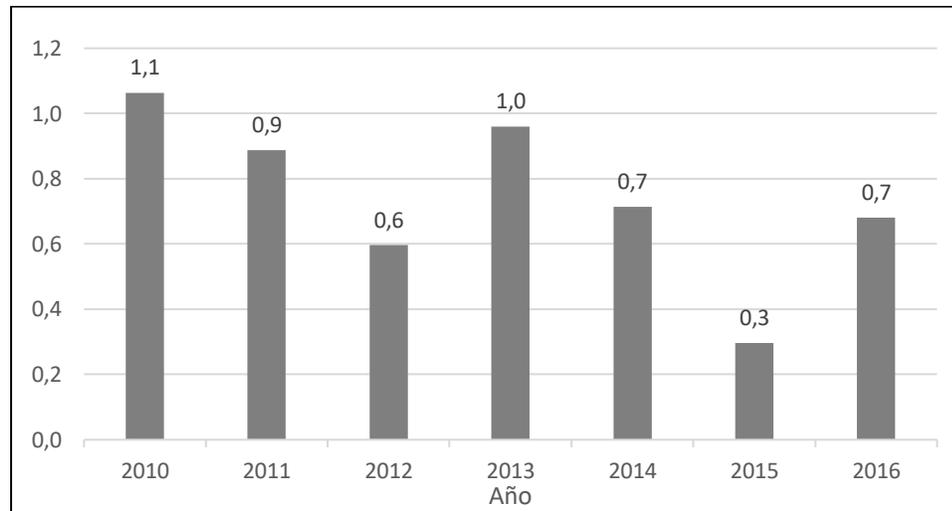
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 35 se ilustra, que la tasa de morbilidad por vehículo en circulación ha ido disminuyendo en los últimos años de nuestro estudio.

4.4.7. Índice de severidad.

Con este indicador se realiza la interpretación del resultado del índice de severidad por número de accidentes (100 accidentes) dentro de la ciudad de Los Ángeles entre los años 2010 y 2016.

Figura 36: Índice de severidad 2010-2016



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 36 se puede observar que, el mayor índice se produjo el año 2010, en el 2015 hay una considerable disminución.

4.5. Análisis de patrones espaciales.

4.5.1. Técnica del vecino más cercano.

Este método se aplicó al grupo de puntos que está dentro del límite urbano de la ciudad de Los Ángeles.

El análisis de agrupación espacial se aplicó primero tomando todos los eventos de accidentes de tránsito por cada año del estudio. Luego se realizó el mismo análisis, pero por cada tipo de accidente.

El análisis espacial de la información nos muestra la distribución de los datos en una figura (37), donde nos entrega los valores que muestran la distancia media observada, distancia media esperada, relación del vecino más cercano y la puntuación z (tabla 1).

Tabla 1: Vecino más Cercano 2010-2016

Año	Distancia media observada (m)	Distancia media esperada(m)	Relación de vecino más cercano	puntuación (z)
2010	41,9	141,2	0,29656	-34,52
2011	33,2	123,4	0,26861	-42,00
2012	33,6	119,5	0,28120	-43,62
2013	32,8	120,2	0,27304	-44,89
2014	25,6	117,8	0,21750	-53,12
2015	32,4	131,2	0,24698	-45,85
2016	35,0	143,0	0,24504	-46,29

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar la tabla 1 muestra los resultados del promedio del vecino más cercano, donde se observa que en todos los años la relación del vecino más cercano es menor a 1, eso quiere decir que poseen un patrón de agrupamiento.

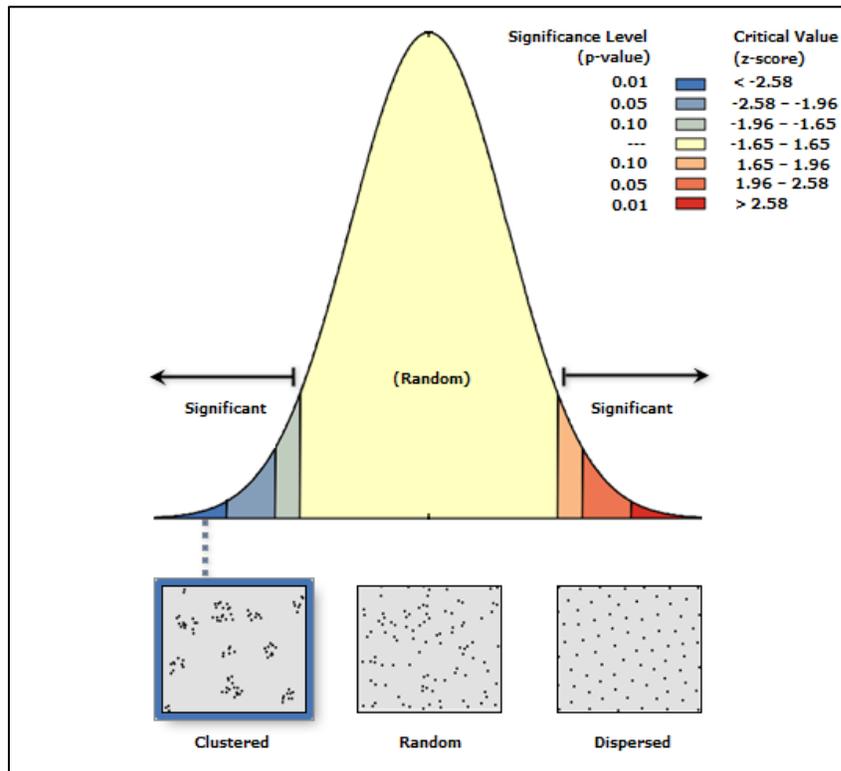
Además, los patrones más agrupados están asociados cuando la distancia media observada es menor a la distancia media esperada.

También los resultados muestran que la puntuación z, es menor a -2.58 en todos los años, eso quiere decir que, existe una probabilidad menor al 1% de que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una verosimilitud aleatoria.

También se puede observar que en el año 2010 la distancia media observada fue mayor eso quiere decir que hubo mayores distancias entre los eventos.

En la siguiente tabla 2 se puede ver el resumen de la distribución por cada año.

Figura 37: Análisis del vecino más cercano.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: resumen de distribución 2010-2016

Año	Distribución
2010	Agrupada
2011	Agrupada
2012	Agrupada
2013	Agrupada
2014	Agrupada
2015	Agrupada
2016	Agrupada

Fuente: Elaboración propia

Para tener una visión del comportamiento de los accidentes de tránsito por cada tipo de accidente se decide trabajar cada uno por separado para analizar el patrón espacial de la misma forma que se hizo para el grupo de accidentes en su totalidad.

- Atropello

Tabla 3: Vecino más Cercano por atropello 2010-2016

Año	Distancia media observada (m)	Distancia media esperada(m)	Relación de vecino más cercano	puntuación z	Distribución
2010	150,6	348,8	0,43193	-10,76	agrupada
2011	132,9	201,4	0,66002	-8,07	agrupada
2012	134,0	305,6	0,43852	-12,75	agrupada
2013	137,2	320,0	0,42875	-12,84	agrupada
2014	133,6	270,6	0,49383	-12,48	agrupada
2015	155,1	294,6	0,52657	-11,24	agrupada
2016	126,8	304,6	0,41625	-12,83	agrupada

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 3, que en todos los años la relación del vecino más cercano es menor a 1, eso quiere decir que poseen un patrón de agrupamiento. Además, los patrones más agrupados están asociados cuando la distancia media observada es menor a la distancia media esperada. La puntuación z, es menor a -2.58 en todos los años, eso quiere decir que, existe una probabilidad menor al 1% de que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una verosimilitud aleatoria.

También se puede observar que la distancia promedio observada del año 2016 fue menor a los demás años, eso quiere decir que los accidentes de tránsito por atropello se encontraron más agrupados en el 2016.

- Colisión

Tabla 4: Vecino más Cercano por colisión 2010-2016

Año	Distancia media observada (m)	Distancia media esperada(m)	Relación de vecino más cercano	puntuación z	Distribución
2010	59,9	193,3	0,30985	-24,63	agrupada
2011	54,9	174,6	0,31414	-27,46	agrupada
2012	44,0	159,8	0,27531	-32,54	agrupada
2013	44,9	161,4	0,27810	-32,30	agrupada
2014	38,9	160,7	0,24188	-37,29	agrupada
2015	45,5	172,5	0,26401	-33,26	agrupada
2016	48,8	187,4	0,26062	-34,59	agrupada

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 4, que en todos los años la relación del vecino más cercano es menor a 1, eso quiere decir que poseen un patrón de agrupamiento. Además, los patrones más agrupados están asociados cuando la distancia media observada es menor a la distancia media esperada. La puntuación z, es menor a -2.58 en todos los años, eso quiere decir que, existe una probabilidad menor al 1% de que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una verosimilitud aleatoria.

- Choque

Tabla 5: Vecino más Cercano por choque 2010-2016

Año	Distancia media observada (m)	Distancia media esperada(m)	Relación de vecino más cercano	puntuación z	Distribución
2010	116,2	267,4	0,43460	-14,27	agrupada
2011	84,8	224,3	0,37811	-19,26	agrupada
2012	97,9	217,9	0,44917	-17,38	agrupada
2013	82,3	208,9	0,39389	-20,55	agrupada
2014	66,5	194,5	0,34187	-24,54	agrupada
2015	93,7	217,3	0,43127	-17,98	agrupada
2016	95,9	232,7	0,41206	-18,38	agrupada

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 5, que en todos los años la relación del vecino más cercano es menor a 1, eso quiere decir que poseen un patrón de agrupamiento. Además, los patrones más agrupados están asociados cuando la distancia media observada es menor a la distancia media esperada. La puntuación z, es menor a -2.58 en todos los años, eso quiere decir que, existe una probabilidad menor al 1% de que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una verosimilitud aleatoria.

- Caídas

Tabla 6: Vecino más Cercano por caídas 2010-2016

Año	Distancia media observada (m)	Distancia media esperada(m)	Relación de vecino más cercano	puntuación z	Distribución
2010	632,3	450,0	1,40512	2,57	disperso
2011	467,8	394,4	1,18586	1,47	aleatorio
2012	305,0	601,1	0,50732	-3,89	agrupada
2013	462,2	861,2	0,53663	-3,32	agrupada
2014	546,5	484,9	1,12702	1,00	aleatorio
2015	1053,8	466,5	2,25903	4,82	disperso
2016	954,6	726,4	1,31419	1,70	disperso

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 6, que solo los años 2012 y 2013 la relación del vecino más cercano es menor a 1, y poseen un patrón de agrupamiento. Los años 2010, 2015 y 2016 poseen un patrón disperso, ya que la relación de vecino más cercano es mayor a 1 y la puntuación z es mayor a 1,65.

En los años 2011 y 2014 el patrón de los accidentes de tránsito es aleatorio, ya que los resultados de la relación de vecino más cercano es 1 y la puntuación z se encuentra en -1,65 y 1,65.

- Volcaduras

Tabla 7: Vecino más Cercano volcaduras 2010-2016

Año	Distancia media observada (m)	Distancia media esperada(m)	Relación de vecino más cercano	puntuación z	Distribución
2010	494,5	769,8	0,64240	-2,98	agrupada
2011	367,8	570,8	0,64436	-3,33	agrupada
2012	451,2	681,5	0,66206	-2,96	agrupada
2013	494,8	646,3	0,76566	-2,20	agrupada
2014	268,9	620,0	0,43375	-5,63	agrupada
2015	482,1	715,3	0,67408	-2,65	agrupada
2016	361,0	578,7	0,62381	-3,14	agrupada

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 7, que en todos los años la relación del vecino más cercano es menor a 1, eso quiere decir que poseen un patrón de agrupamiento. Además, los patrones más agrupados están asociados cuando la distancia media observada es menor a la distancia media esperada. La puntuación z, es menor a -2.58 en todos los años, eso quiere decir que, existe una probabilidad menor al 1% de que el patrón agrupado pueda ser el resultado de una verosimilitud aleatoria.

- Otros

Tabla 8: Vecino más Cercano otros 2010-2016

Año	Distancia media observada (m)	Distancia media esperada(m)	Relación de vecino más cercano	puntuación z	Distribución
2010	295,7	257,0	1,15065	0,82	aleatorio
2011	2089,4	1008,1	2,07272	5,03	dispersa
2012	2585,2	947,9	2,72726	6,61	dispersa
2013	2026,9	949,9	2,13384	4,85	dispersa
2014	1623,9	879,2	1,84702	4,58	dispersa
2015	902,6	467,3	1,93130	4,36	dispersa
2016	1141,4	268,8	4,24656	10,76	dispersa

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 8, que los accidentes de tránsito del año 2010 el patrón parece no ser considerablemente diferente al aleatorio, dado el resultado de la relación de vecino más cercano y la puntuación z se encuentra en -1,65 y 1,65.

Del año 2011 al 2016 poseen un patrón disperso, la relación de vecino más cercano es mayor a 1 y la puntuación z es mayor a 1,65 eso quiere decir que existe una probabilidad menor al 1% de que el patrón disperso pueda ser el resultado de una verosimilitud aleatoria.

4.5.2. I de Moran Global.

Como segundo paso se calculó la autocorrelación espacial con el índice *I de Moran* para determinar si el conjunto de entidades, siendo el atributo asociado el “número de lesionados” que presenta cada accidente de tránsito, muestra un patrón agrupado, disperso o es aleatorio.

Solo se trabajó con el número de lesionados por accidente ya que están presentes en gran parte de los eventos.

Tabla 9: I de Moran 2010 – 2016

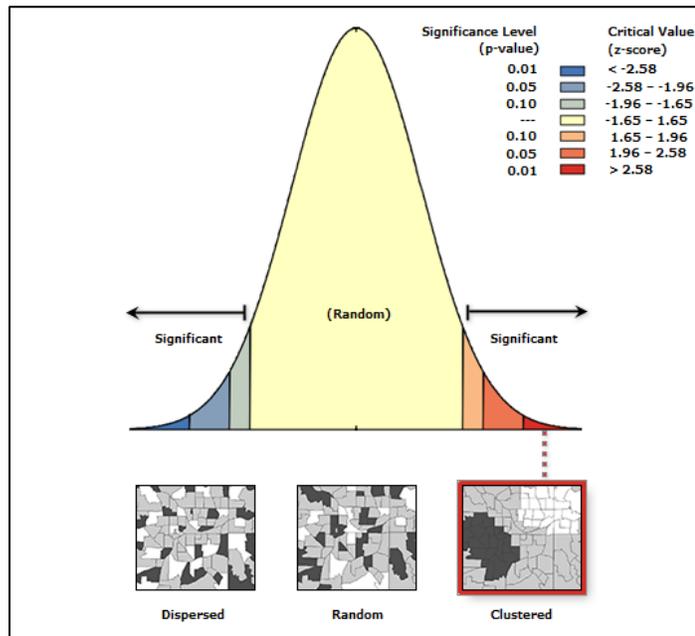
Año	Índice de Moran	Índice esperado	Varianza	Puntuación z	Distribución
2010	0,25194	-0,00152	0,00101	7,96	Agrupada
2011	0,07652	-0,00111	0,00046	3,61	Agrupada
2012	0,01538	-0,00100	0,00033	0,90	Aleatoria
2013	0,02111	-0,00096	0,00030	1,28	Aleatoria
2014	0,02073	-0,00080	0,00027	1,30	Aleatoria
2015	0,12686	-0,00099	0,00044	6,13	Agrupada
2016	0,01073	-0,05556	0,05289	0,19	Aleatoria

Fuente: Elaboración propia

El cálculo indicó que, en los años 2010, 2011 y 2015 la autocorrelación espacial fue positiva, es decir, las unidades espaciales vecinas presentaron valores similares. El patrón espacial es agrupado, se rechaza la hipótesis nula, dada la puntuación z de cada año al ser mayor de 1,65, existe una probabilidad menor al 1% de que el patrón agrupado sea resultado de una verosimilitud aleatoria. (Figura 38)

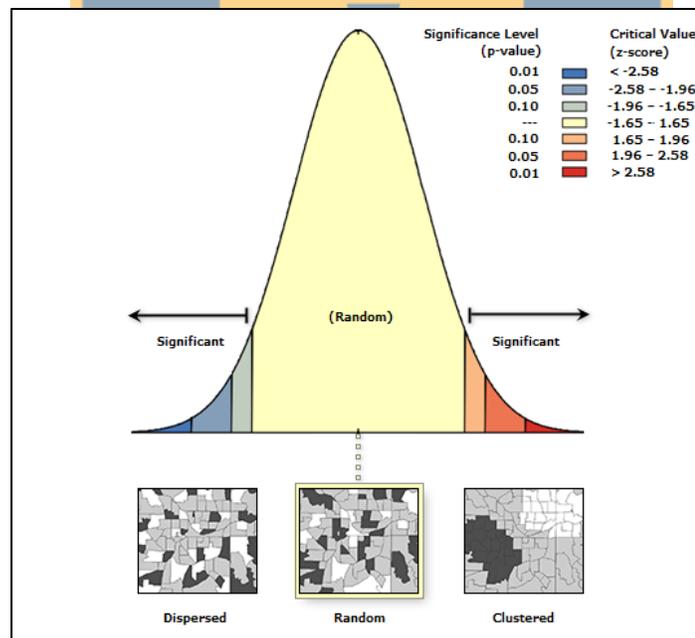
En los años 2012, 2013, 2014 y 2016 se puede decir que, al compararla con una distribución normal estándar, el patrón que presentan los accidentes de tránsito con la asignación de peso, por “número de lesionados” posee una distribución no significativamente diferente al azar, es decir, un patrón aleatorio, dado que el valor de Z se encuentra entre -1,65 y 1,65. (Figura 39)

Figura 38: Autocorrelación espacial 2010, 2011 y 2015



Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Autocorrelación espacial 2012, 2013, 2014 y 2016



Fuente: Elaboración propia

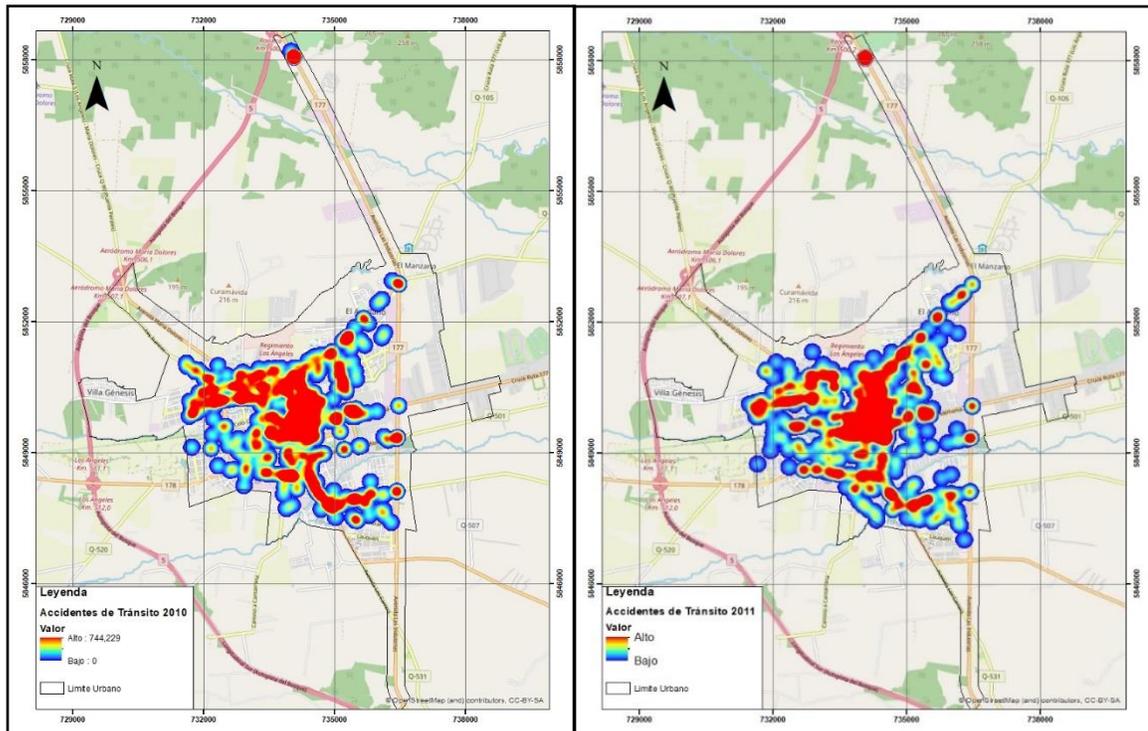
4.6. Análisis de hotspots mediante Kernel Density Estimation (KDE)

Con el objetivo de analizar las zonas de mayor agrupación espacial de los accidentes de tránsito, se realizó por cada año de estudio un análisis de densidad de Kernel.

En las ilustraciones siguientes se presentan las superficies ráster generadas, donde el tamaño de celda utilizado fue de 10 y el valor de ancho de banda fue 200.

Figura 40: Densidad Kernel 2010

Figura 41: Densidad Kernel 2011



Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Densidad Kernel 2012

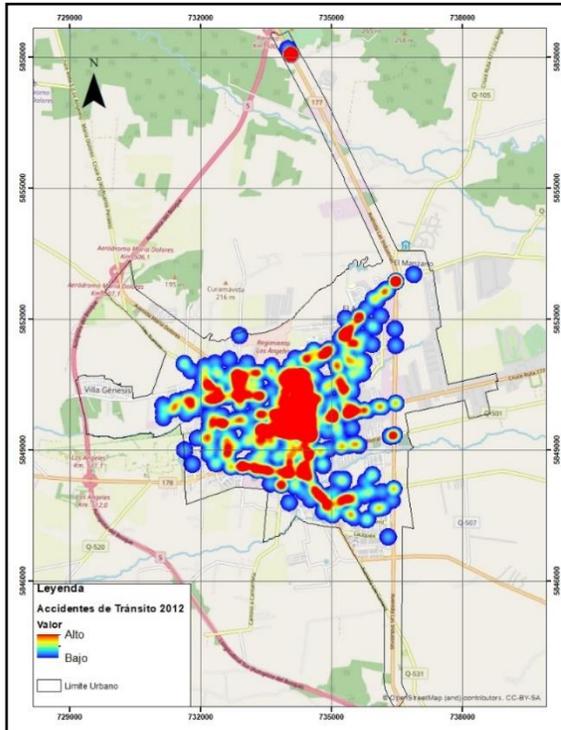


Figura 43: Densidad Kernel 2013

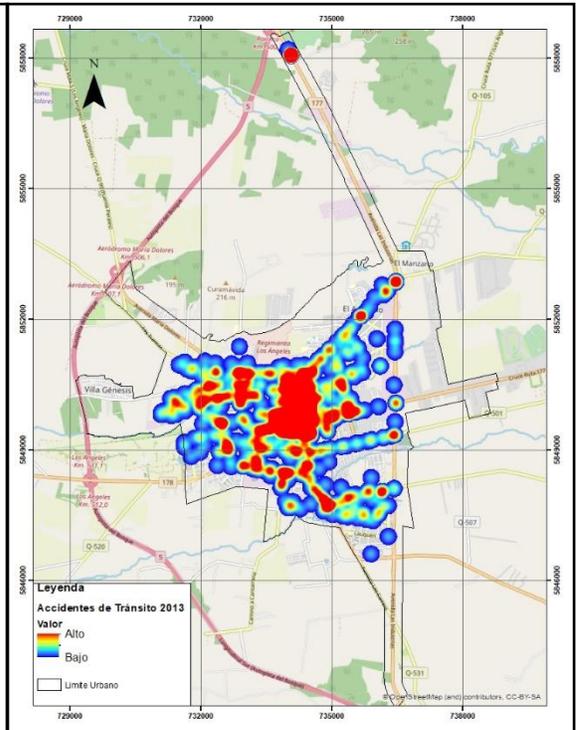


Figura 44: Densidad Kernel 2014

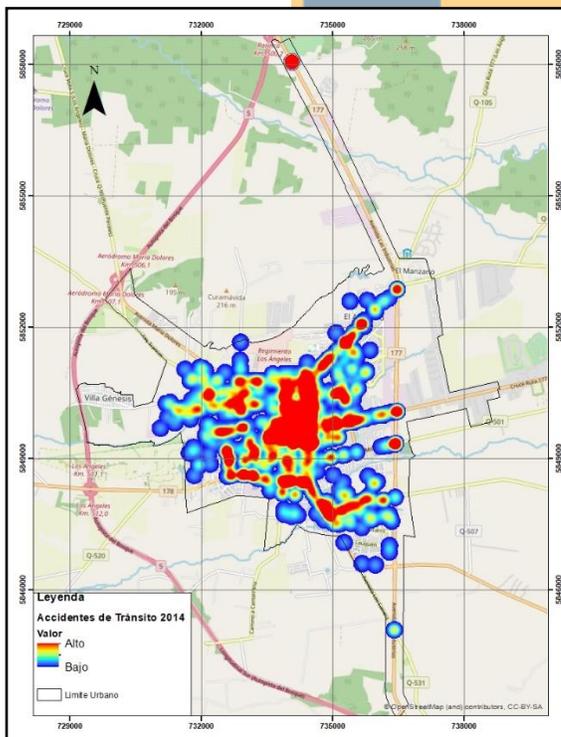
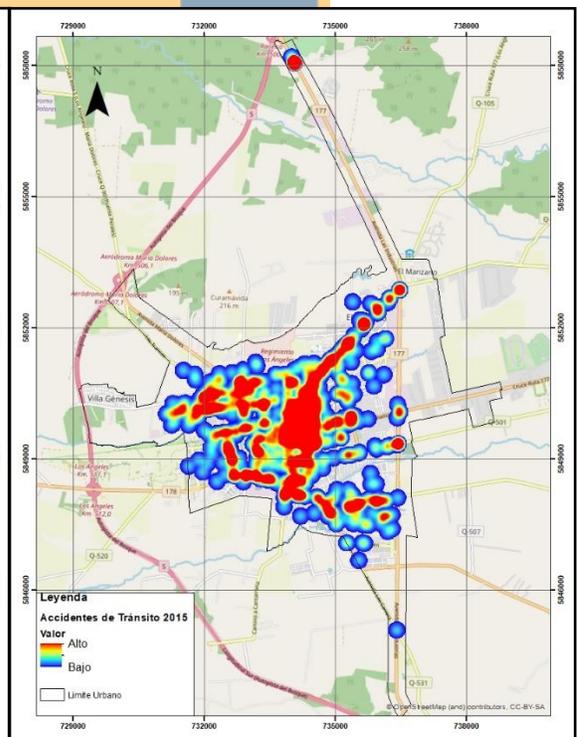
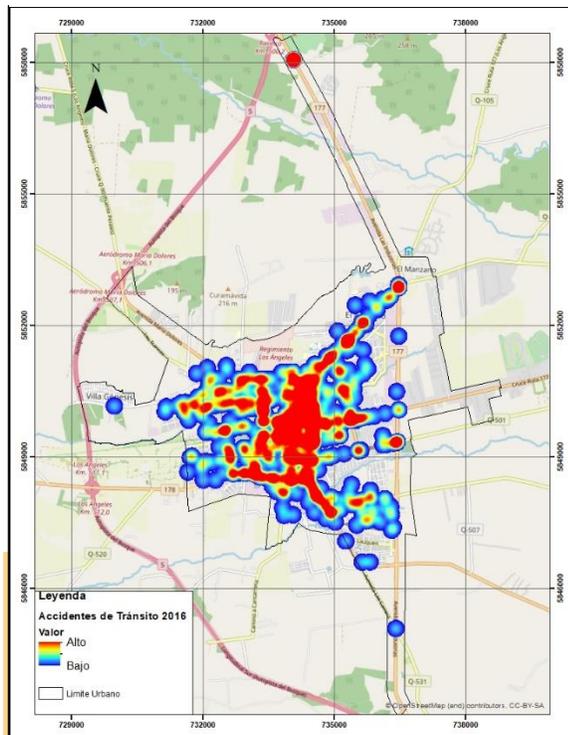


Figura 45: Densidad Kernel 2015



Fuente: Elaboración propia

Figura 46: Densidad Kernel 2016



Fuente: Elaboración propia

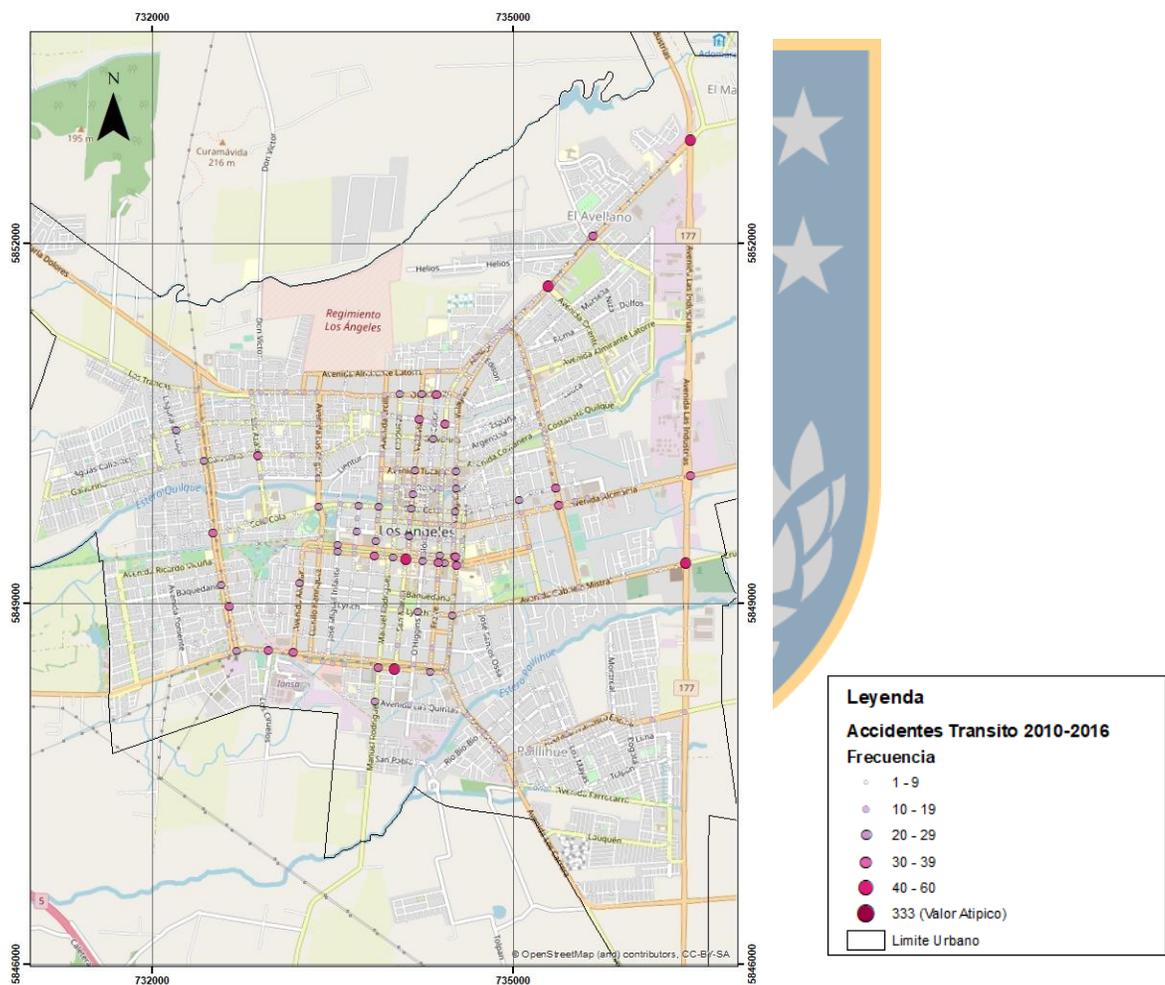
Mediante los resultados obtenidos se aprecia claramente que la mayor densidad de accidentes de tránsito se localiza en el sector céntrico de la ciudad de Los Ángeles, generando un perímetro entre la Av. Ricardo Vicuña y las calles Villagrán, Orompello y Erquilla.

También en los principales accesos (al noreste por Av Sor Vicenta, al noreste por calle Galvarino, al sureste por Av. La carrera y por el sureste por Av Vicuña Mackenna,) de la ciudad se generan altas densidades.

4.7. Identificación de zonas críticas de accidentes de tránsito en la ciudad de Los Ángeles.

Las zonas críticas son aquellas que presentan agrupaciones más frecuentes de accidentes de tránsito durante el periodo 2010 - 2016. Al analizar los accidentes de tránsito durante todos los años en conjunto (figura 47), se observa el patrón de mayores ocurrencias de accidentes en la ciudad de Los Ángeles.

Figura 47: Análisis de Frecuencia de accidente de tránsito periodo 2010- 2016



Fuente: Elaboración propia

Se identificaron principalmente 22 puntos críticos en la zona urbana de Los Ángeles (Tabla 10).

Tabla 10: Zonas críticas de ciudad de Los Ángeles 2010-2016

Intersección de Avenidas o calles		N° de accidentes
AV. VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	60
AV. SOR VICENTA	AV. LAS INDUSTRIAS	48
AV. ORIENTE	AV. SOR VICENTA	41
VALDIVIA	AV. RICARDO VICUÑA	41
AV. LAS INDUSTRIAS	AV. GABRIELA MISTRAL	41
VALDIVIA	JANEQUEO	39
AV. LOS CARRERA	AV. RICARDO VICUÑA	37
1241 AV. VICUÑA MACKENNA		37
AV. RICARDO VICUÑA	ERCILLA	36
AV. ALEMANIA	AV. MARCONI	35
COLO COLO	AV. PADRE HURTADO	33
AV. SOR VICENTA	AV. NIEVES VASQUEZ	32
AV. VICUÑA MACKENNA	ALCÁZAR	32
JANEQUEO	ALMAGRO	31
AV. MARCONI	COLO COLO	31
147 AV. RICARDO VICUÑA		31
AV. RICARDO VICUÑA	FREIRE	31
AV. ALEMANIA	AV. LAS INDUSTRIAS	30
COLON	OROMPELLO	30
GALVARINO	LAS AZALEAS	30
AV. PADRE HURTADO	LYNCH	30
AV. VICUÑA MACKENNA	MANUEL RODRIGUEZ	30

Fuente: Elaboración propia

Las causas de los accidentes de tránsito de los 5 primeros puntos críticos son:

- AV. VICUÑA MACKENNA y SAN MARTIN

Tabla 11: Causas de accidentes en Av. Vicuña Mackenna con San Martín

CAUSAS	FRECUENCIA
NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO A VEHICULO	18
SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL CEDA EL PASO	17
CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	12
SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL PARE	4
CAUSAS NO DETERMINADAS	3
CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	2
CONDUCCION SIN MANTENER DISTANCIA RAZONABLE NI PRUDENTE	1
NO RESPETAR DERECHO DE PASO A PEATON	1
SEÑALIZACION, DESOBEDECER LUZ ROJA DE SEMAFORO	1
VIRAJES INDEBIDOS	1

Fuente: Elaboración propia

- AV. SOR VICENTA y AV. LAS INDUSTRIAS

Tabla 12: Causas de accidente Av. Sor Vicenta con Av. Las Industrias

CAUSAS	FRECUENCIA
CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	16
CAUSAS NO DETERMINADAS	7
CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	7
OTRAS CAUSAS	5
CONDUCCION, CAMBIAR SORPRESIVAMENTE PISTA CIRCULAR	2
CONDUCCION BAJO LA INFLUENCIA DEL ALCOHOL	1
CONDUCCION CONTRA SENTIDO DEL TRANSITO	1
CONDUCCION POR IZQUIERDA EJE CALZADA	1
COMDUCCION SIN MANTENER DISTANCIA RAZONABLE NI PRUDENTE	1
FALLAS MECANICAS, NEUMATICOS	1
HECHO DELICTUAL	1
NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO DE VEHICULO	1
PEATON, CRUZA CALZADA FORMA SORPRESIVA O DESCUIDADA	1
PERDIDA CONTROL VEHICULO	1
VEHICULO EN RETROCESO, CONDUCIR	1
VIRAJES INDEBIDOS	1

Fuente: Elaboración propia

- AV. ORIENTE y AV. SOR VICENTA

Tabla 13: Causas de accidentes Av. Oriente con Av. Sor Vicenta

CAUSAS	FRECUENCIA
CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	17
CAUSAS NO DETERMINADAS	6
OTRAS CAUSAS	3
SEÑALIZACION, DESOBEDECER LUZ ROJA DE SEMAFORO	3
CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	2
CONDUCCION SIN MANTENER DISTANCIA RAZONABLE NI PRUDENTE	2
PEATON, CRUZA CALZADA FORMA SORPRESIVA O DESCUIDADA	2
VIRAJES INDEBIDOS	2
HECHO DELICTUAL	1
NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO A PEATON	1
PEATON PERMANECE SOBRE LA CALZADA	1
SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL PARE	1

Fuente: Elaboración propia

- VALDIVIA y AV. RICARDO VICUÑA

Tabla 14: Causas de accidente Valdivia con Av. Ricardo Vicuña

CAUSAS	FRECUENCIA
CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	16
CAUSAS NO DETERMINADAS	11
SEÑALIZACION, DESOBEDECER LUZ ROJA DE SEMAFORO	6
CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	3
OTRAS CAUSAS	2
CONDUCCION SIN MANTENER DISTANCIA RAZONABLE NI PRUDENTE	1
FALLA MECANICAS, MOTOR	1
PEATON, IMPRUDENCIA DEL	1

Fuente: Elaboración propia

- AV. LAS INDUSTRIAS y AV. GABRIELA MISTRAL

Tabla 15: Causas de accidente Av. Las Industrias con Av. Gabriela Mistral

CAUSAS	FRECUENCIA
CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	13
CAUSAS NO DETERMINADAS	7
CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	3
CONDUCCION SIN MANTENER DISTANCIA RAZONABLE NI PRUDENTE	3
OTRAS CAUSAS	3
CONDUCCION, CAMBIAR SORPRESIVAMENTE PISTA CIRCULAR	2
VIRAJES INDEBIDOS	2
CONDUCCION CONTRA SENTIDO DEL TRANSITO	1
FALLAS MECANICAS, DIRECCION	1
NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO A PEATON	1
PEATON, CRUZA CALZADA FUERA PASO PEATONES	1
PERDIDA CONTROL VEHICULO	1
SEÑALIZACION MAL INSTALADA O MANTENIDA FORMA DEFECTUOSA	1
SEÑALIZACION, DESOBEDECER LUZ ROJA DE SEMAFORO	1
SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL CEDA EL PASO	1

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en las tablas las causas más frecuentes en un accidente de tránsito son no respetar derecho preferente de paso a vehículo, conducción no atento a condiciones de tránsito y de señalización al desobedecer señal ceda el paso.

Tabla 16: Resumen de los principales puntos críticos de la ciudad de Los Ángeles por año.

Año	Intersección de Avenidas o calles		N° de accidentes
2010	AVDA VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	9
	AVDA RICARDO VICUÑA	JOSE MIGUEL INFANTE	7
	AVDA RICARDO VICUÑA	ERCILLA	6
	COLO COLO	MENDOZA	6
	GALVARINO	LAS AZALEAS	6
	COLO COLO	AVDA MARCONI	6
2011	GALVARINO	LAS AZALEAS	8
	AVDA VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	7
	JANEQUEO	VALDIVIA	7
	COLO COLO	AVDA PADRE HURTADO	6
	LAUTARO	ALMAGRO	6
	AVDA RICARDO VICUÑA	AVDA LOS CARRERA	6
	AVDA GABRIELA MISTRAL	AVDA LAS INDUSTRIAS	6
2012	AVDA SOR VICENTA	AVDA LAS INDUSTRIAS	9
	VALDIVIA	AVDA TUCAPEL	9
	VALDIVIA	JANEQUEO	8
	AVDA VICUÑA MACKENNA #1241		7
	AVDA VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	7
	AVDA RICARDO VICUÑA	JOSÉ MIGUEL INFANTE	7
	VALDIVIA	JANEQUEO	10
2013	AV. LAS INDUSTRIAS	AV. SOR VICENTA	8
	VALDIVIA #472		8
	OROMPELLO	COLON	7
	ERCILLA	COLO COLO	7
	AV. RICARDO VICUÑA	ERCILLA	7
	MANUEL RODRIGUEZ	AV. VICUÑA MACKENNA	7
	AV. ORIENTE	AV. SOR VICENTA	14
2014	AV. VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	12
	AV. RICARDO VICUÑA	URENDA	11
	VALDIVIA	AV. RICARDO VICUÑA	11
	1241 AV. VICUÑA MACKENNA		10
	COLON	OROMPELLO	10
	AV. ALEMANIA	AV. LAS INDUSTRIAS	10
	AV. VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	11
2015	AV. SOR VICENTA	AV. NIEVES VASQUEZ	9
	AV. ORIENTE	AV. SOR VICENTA	9
	AV. LAS INDUSTRIAS	AV. GABRIELA MISTRAL	9
	AV. SOR VICENTA	AV. LAS INDUSTRIAS	8

	COLON	GALVARINO	8
2016	AV. LOS ANGELES	COSTANERA QUILQUE NORTE	12
	AV. RICARDO VICUÑA	FREIRE	11
	AV. VICUÑA MACKENNA	ALCAZAR	10
	AV. RICARDO VICUÑA	AV. LOS CARRERA	10
	AV. SOR VICENTA	AV. LAS INDUSTRIAS	9
	AV. ORIENTE	AV. SOR VICENTA	8
	AV. ALEMANIA	AV. MARCONI	8
	AV. VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	8

Fuente: Elaboración propia

La intersección que se repite con mayor frecuencia de accidentes en todos los años es la Av. vicuña Mackenna con San Martín. El problema de tantos eventos ocurridos en esa ubicación se da por el alto flujo vehicular que tiene, ya sea por el transporte particular como el público que lo circulan, además de no contar con un semáforo en dicha intersección.



Tabla 17: Resumen de las principales causas de accidentes de la ciudad de Los Ángeles por año

Año	Causas	frecuencia
2010	CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	192
	CAUSAS NO DETERMINADAS	52
	CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	49
	NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO A VEHICULO	39
	SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL PARE	36
2011	CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	262
	CAUSAS NO DETERMINADAS	100
	CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	65
	SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL PARE	43
	NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO A VEHICULO	42
	PEATON, CRUZA CALZADA FORMA SORPRESIVA O DESCUIDADA	42
2012	CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	338
	CAUSAS NO DETERMINADAS	70
	CONDUCCION SIN MANTENER DISTANCIA RAZONABLE NI PRUDENTE	59
	CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	58
	SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL PARE	51
	NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO A VEHICULO	42
	CONDUCCION, CAMBIAR SORPRESIVAMENTE PISTA CIRCULACION	40
2013	CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	411
	CAUSAS NO DETERMINADAS	119
	CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	76
	NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO A VEHICULO	47
	OTRAS CAUSAS	42
	SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL PARE	42
2014	CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	487
	CAUSAS NO DETERMINADAS	180
	CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	77
	OTRAS CAUSAS	63
	NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO A VEHICULO	58
	SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL PARE	52
	CONDUCCION SIN MANTENER DISTANCIA RAZONABLE NI PRUDENTE	45
2015	CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	418
	CAUSAS NO DETERMINADAS	145
	CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	67
	SEÑALIZACION, DESOBEDECER SEÑAL PARE	54
	OTRAS CAUSAS	40
2016	CONDUCCION NO ATENTO CONDICIONES TRANSITO MOMENTO	425
	CAUSAS NO DETERMINADAS	118
	OTRAS CAUSAS	99

CONDUCCION EN ESTADO DE EBRIEDAD	74
NO RESPETAR DERECHO PREFERENTE DE PASO A VEHICULO	40

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se puede apreciar que las principales causas de los accidentes de tránsito son por no conducir atento a las condiciones del tránsito, causas no determinadas y conducir en estado de ebriedad, esta última muestra un alarmante comportamiento de los usuarios, el cual puede ser motivo de un estudio futuro.

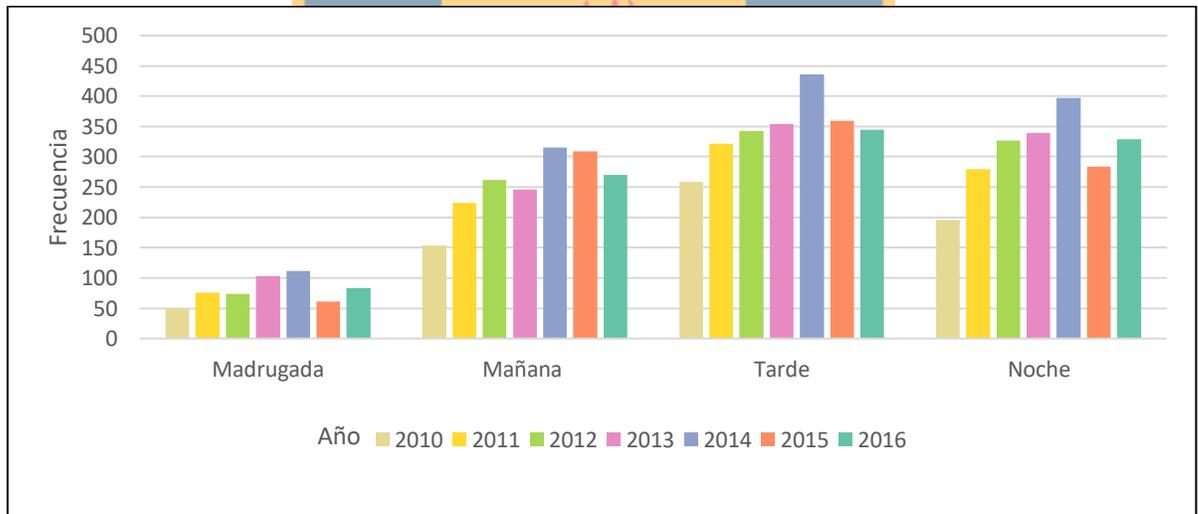


4.7.1. Frecuencia por horario del día.

También se analizó la ocurrencia de accidentes según el horario del día en la ciudad de Los Ángeles (figura 48), se observa baja presencia durante la madrugada (00:01 – 06:00), el horario de mayor accidentabilidad ocurre durante la tarde (12:01 – 18:00), seguida del horario de la noche (18:01 – 00:00) y posteriormente el horario de la mañana (06:01 – 12:00).

Donde se puede ver que el año con mayor siniestro en todos los horarios fue el año 2014 y el menor fue el año 2010, sin superar los 260 siniestros en ninguno de los horarios.

Figura 48: Accidentes según Horario del día 2010-2016.

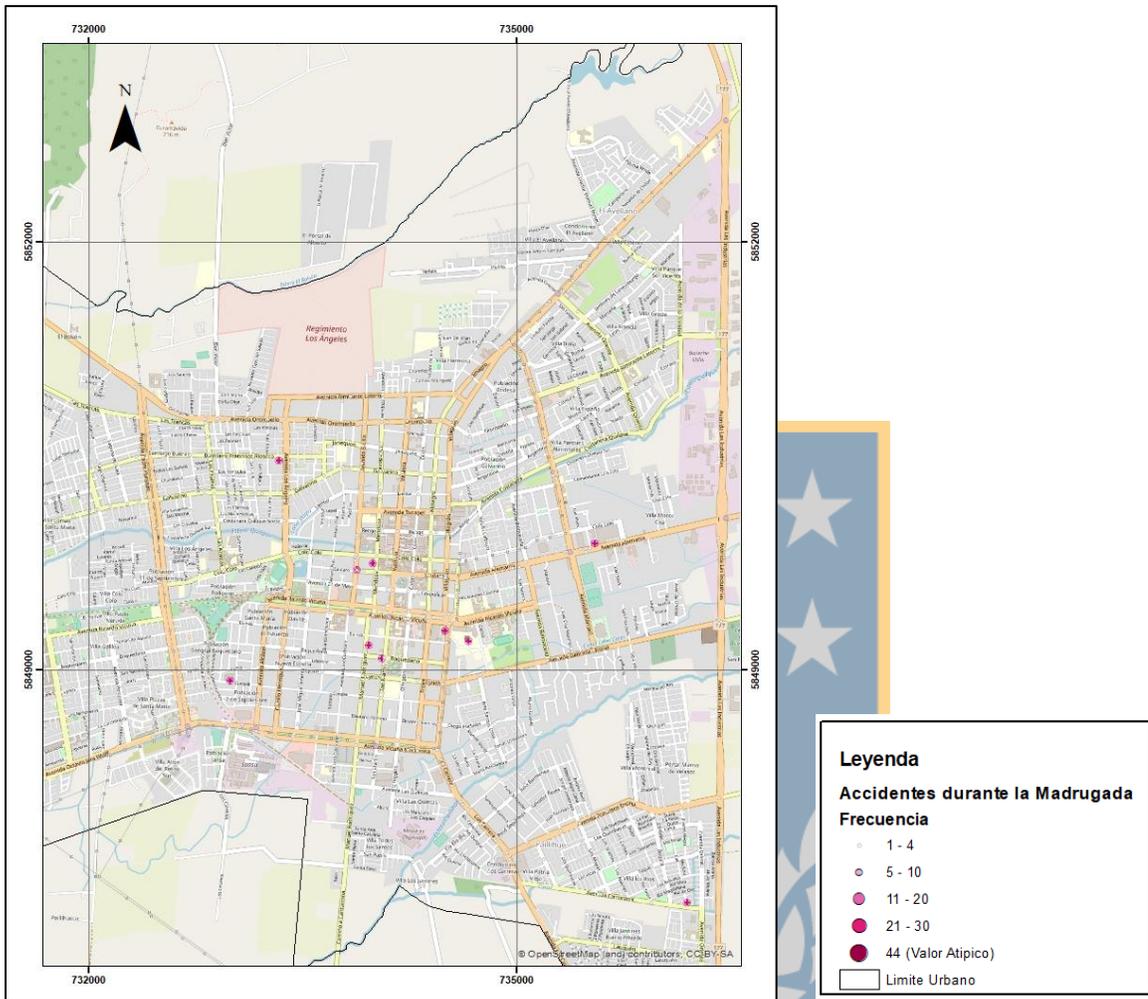


Fuente: Elaboración propia

Las siguientes ilustraciones muestran la distribución espacial de los accidentes en los periodos del día.

▪ **Accidentes durante la madrugada**

Figura 49: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito durante la madrugada 2010-2016.



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se mencionan las intersecciones de calles o avenidas, en donde ocurren el mayor número de accidentes en la ciudad de Los Ángeles durante la madrugada.

Figura 50: Puntos Críticos en la madrugada

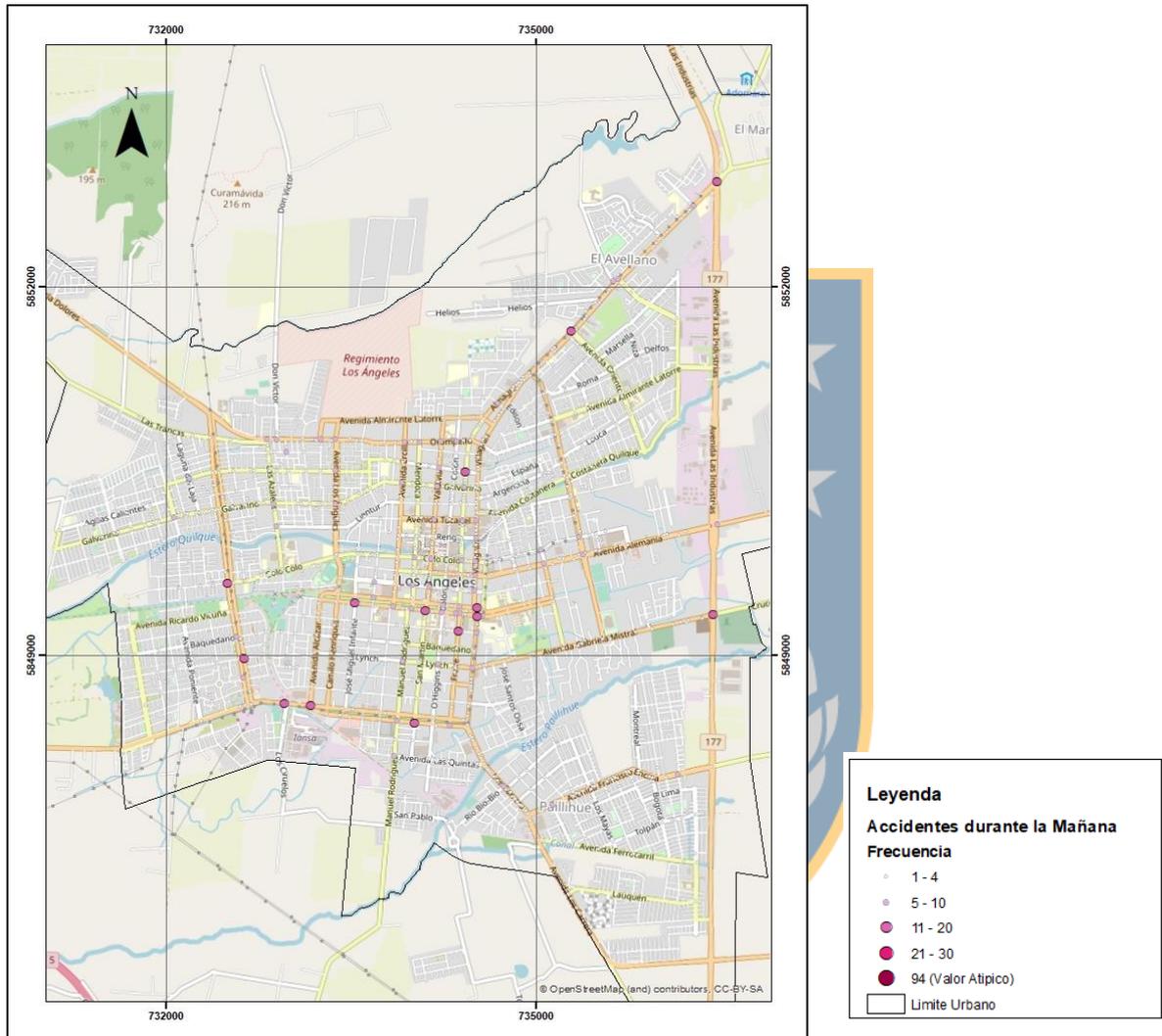
Intersección de Avenidas o calles		Nº de accidentes
AV SOR VICENTA	AV LAS INDUSTRIAS	9
AV VICUÑA MACKENNA	AV PADRE HURTADO	8
AV ALEMANIA	AV MARCONI	8
AV RICARDO VICUÑA	VALDIVIA	7
AV ALEMANIA	AV LAS INDUSTRIAS	7

Fuente: Elaboración propia

Las principales causas son la conducción no atento condiciones transito momento y conducción en estado de ebriedad.

- **Accidentes durante la mañana.**

Figura 51: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito durante la mañana 2010-2016



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se mencionan las intersecciones de calles o avenidas, en donde ocurren el mayor número de accidentes en la ciudad de Los Ángeles durante la mañana.

Tabla 18: Puntos críticos durante la mañana

Intersección de Avenidas o calles		N° de accidentes
AV. VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	17
AV. RICARDO VICUÑA	JOSE MANSO DE VELASCO	17
AV. SOR VICENTA	AV. LAS INDUSTRIAS	15
AV. LAS INDUSTRIAS	AV. GABRIELA MISTRAL	13
COLO COLO	AV. PADRE HURTADO	12
JOSE MIGUEL INFANTE	AV. RICARDO VICUÑA	12
AV. PADRE HURTADO	LYNCH	12
AV. VICUÑA MACKENNA	ALCÁZAR	12

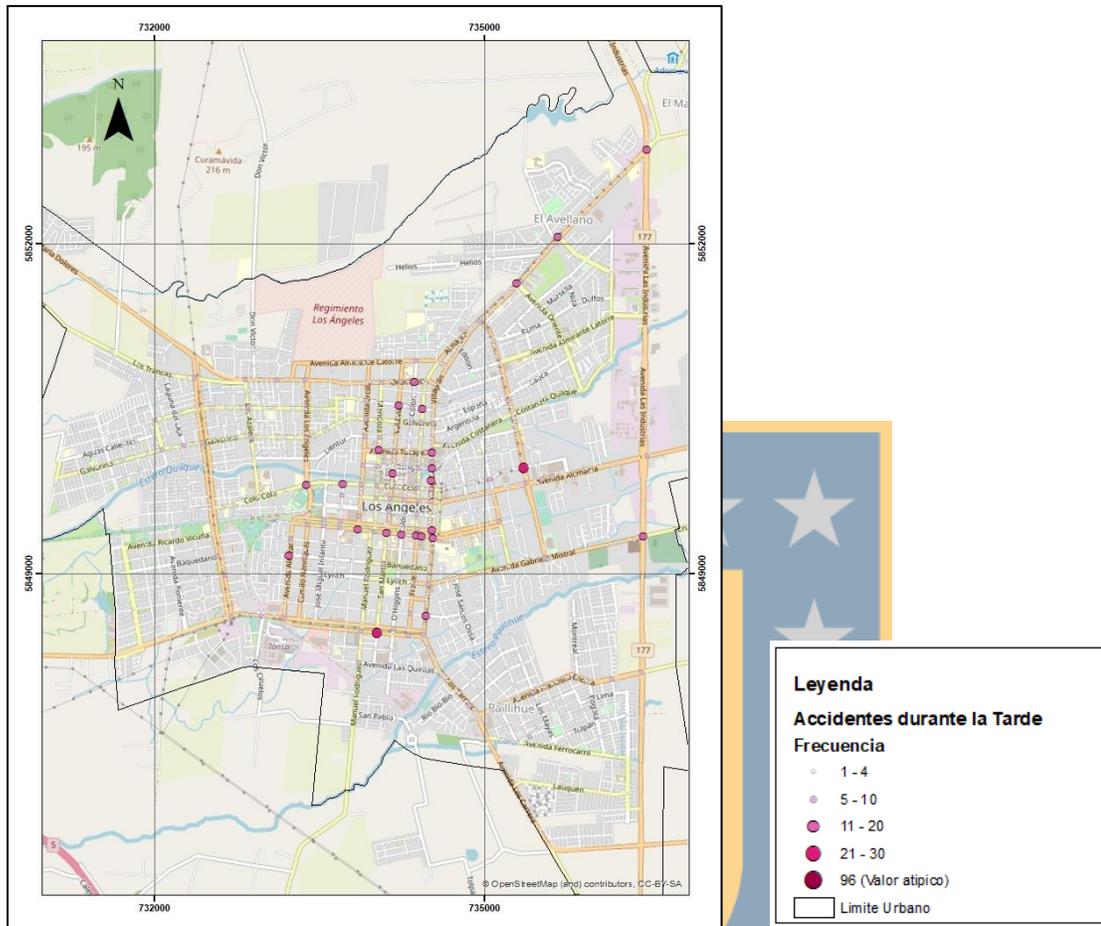
Fuente: Elaboración propia

Las principales causas son desobedecer señal ceda el paso, la conducción no atento condiciones tránsito, conducción en estado de ebriedad, no respetar derecho preferente de paso a vehículo y la conducción sin mantener distancia razonable ni prudente.



▪ **Accidentes durante la tarde**

Figura 52: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito durante la tarde 2010-2016



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se mencionan las intersecciones de calles o avenidas, en donde ocurren el mayor número de accidentes en la ciudad de Los Ángeles durante la tarde.

Tabla 19: Puntos críticos durante la tarde

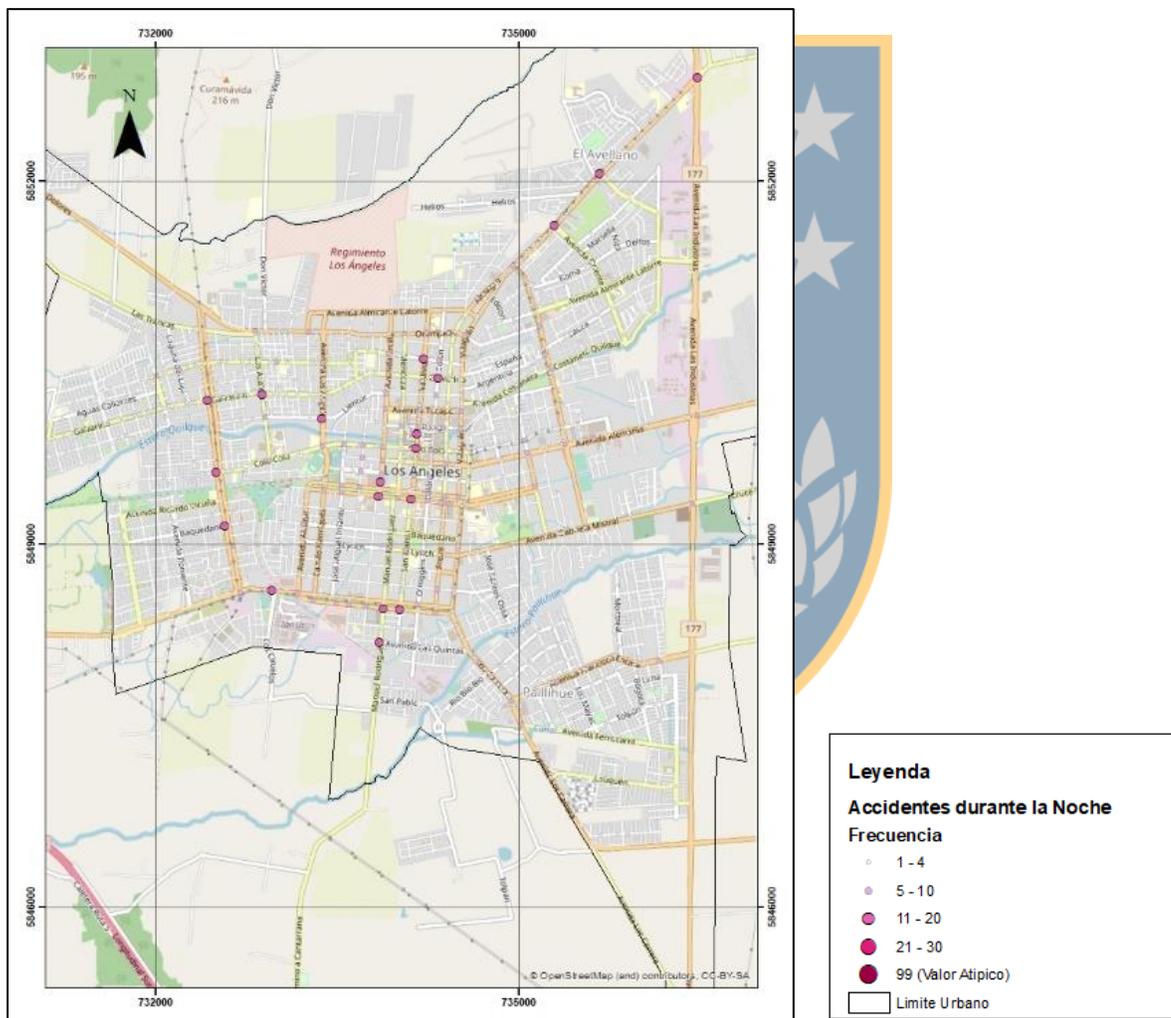
Intersección de Avenidas o calles		Nº de accidentes
AV VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	22
AV MARCONI	COLO COLO	22
JANEQUEO	VALDIVIA	16
COLO COLO	ARTURO PRAT	15
OROMPELLO	COLON	15
AV. LAS INDUSTRIAS	AV. GABRIELA MISTRAL	15
ALMAGRO	JANEQUEO	14

Fuente: Elaboración propia

Las principales causas de accidentes son desobedecer señal ceda el paso, no respetar derecho preferente de paso a vehículo, la conducción no atento condiciones transito, desobedecer luz roja de semáforo y desobedecer señal pare.

▪ **Accidentes durante la noche**

Figura 53: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito durante la noche 2010-2016



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se mencionan las intersecciones de calles o avenidas, en donde ocurren el mayor número de accidentes en la ciudad de Los Ángeles durante la noche.

Tabla 20: Puntos críticos durante la noche

Intersección de Avenidas o calles		Nº de accidentes
COLO COLO	AV. PADRE HURTADO	17
AV. VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	16
GALVARINO	LAS AZALEAS	15
1241 AV. VICUÑA MACKENNA		15
BAQUEDANO	AV. PADRE HURTADO	13
COLO COLO	VALDIVIA	13
GALVARINO	AV. PADRE HURTADO	12
440 VALDIVIA		12
AV. ORIENTE	AV. SOR VICENTA	12
VALDIVIA	AV. RICARDO VICUÑA	12

Fuente: Elaboración propia

Las principales causas de accidentes son la conducción no atenta condiciones tránsito, no respetar derecho preferente de paso a vehículo y conducción en estado de ebriedad.

4.7.2. Frecuencia por tipología

Dada la gran cantidad de siniestros, y los principales tipos son por colisiones, choques y atropellos, se realizó el análisis de la ubicación de estos.

Tabla 21: Puntos críticos por colisión.

Intersección de Avenidas o calles		N° de accidentes
AV VICUÑA MACKENNA	SAN MARTIN	52
VALDIVIA	JANEQUEO	32
AV. SOR VICENTA	AV. LAS INDUSTRIAS	29
AV. RICARDO VICUÑA	VALDIVIA	28
AV. LAS INDUSTRIAS	AV. GABRIELA MISTRAL	26
ALMAGRO	JANEQUEO	26
MANUEL RODRIGUEZ	LAS QUINTAS	25
AV. PADRE HURTADO	LYNCH	25

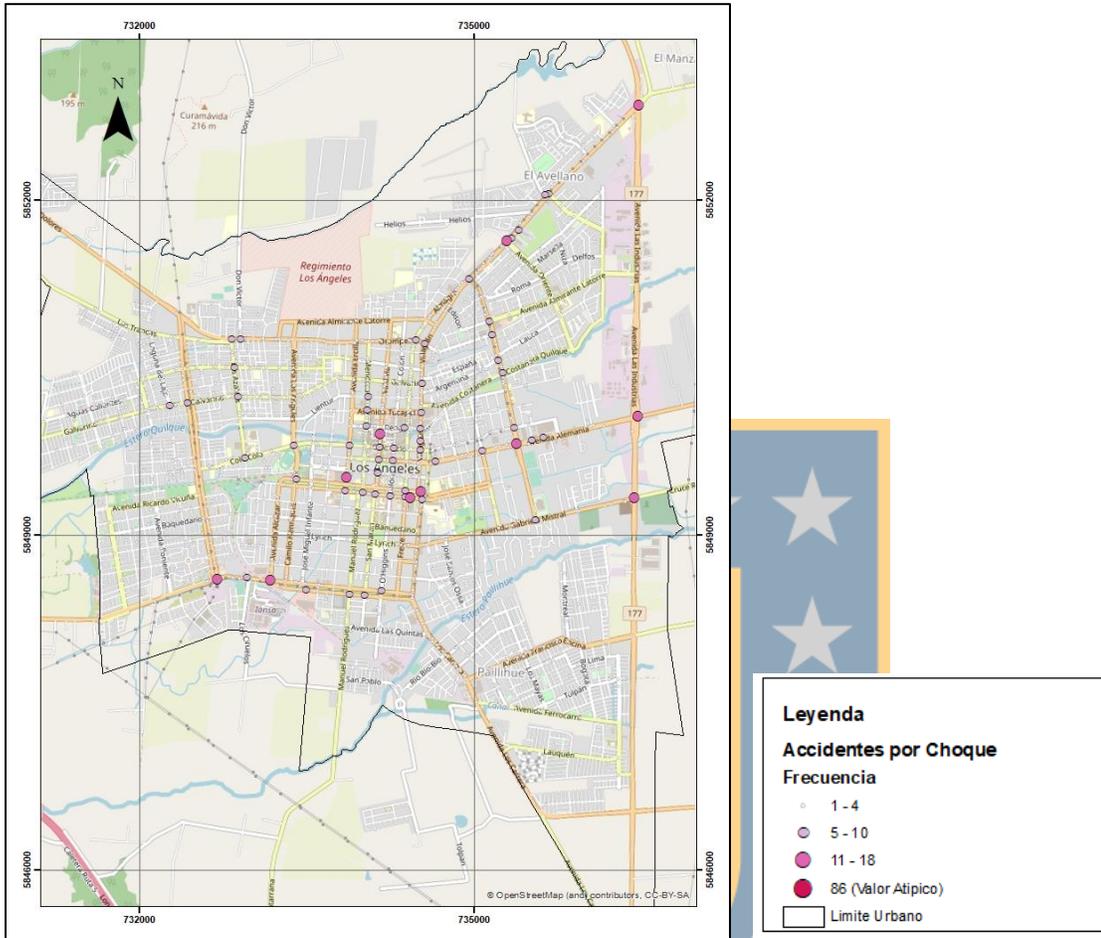
Fuente: Elaboración propia

Las principales causas de accidentes son desobedecer señal ceda el paso, no respetar derecho preferente de paso a vehículo. La conducción no atenta condiciones tránsito, desobedecer luz roja de semáforo y desobedecer señal pare.



- **Accidentes de tránsito por choque.**

Figura 55: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito por choque 2010-2016



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se mencionan las intersecciones de calles o avenidas, en donde ocurren el mayor número de accidentes en la ciudad de Los Ángeles por choque.

Tabla 22: Puntos críticos por choque 2010-2016

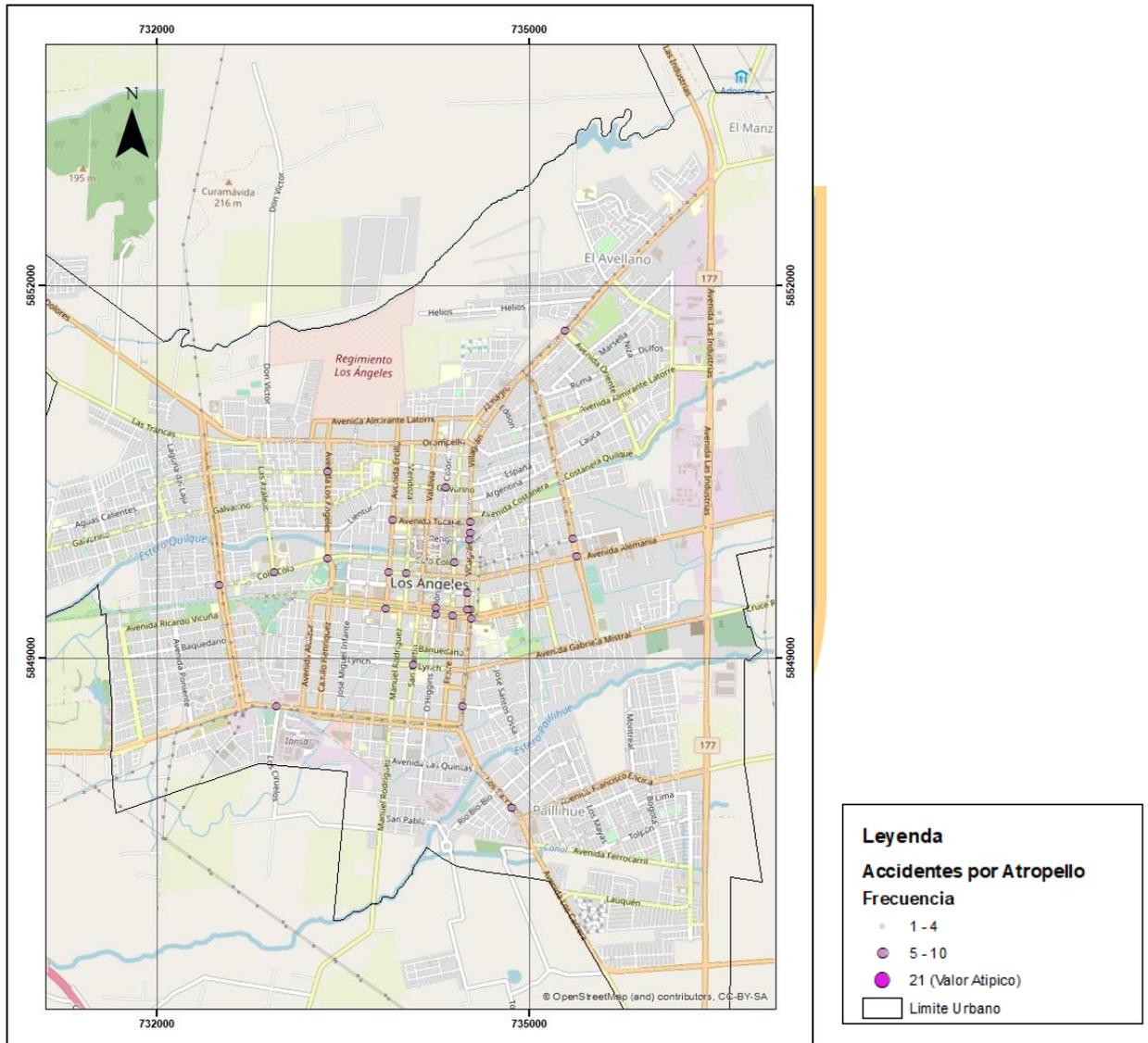
Intersección de Avenidas o calles		Nº de accidentes
AV. SOR VICENTA	AV. LAS INDUSTRIAS	18
440 VALDIVIA		17
190 ERCILLA		16
AV. SOR VICENTA	AV. ORIENTE	16
AV. VICUÑA MACKENNA	ALCAZAR	13
AV. LAS INDUSTRIAS	AV. GABRIELA MISTRAL	13

Fuente: Elaboración propia

Las principales causas de accidentes son la conducción no atento condiciones tránsito y conducción en estado de ebriedad.

- **Accidentes de tránsito por atropello.**

Figura 56: Análisis de frecuencia sobre accidentes de tránsito por atropello 2010-2016



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se mencionan las intersecciones de calles o avenidas, en donde ocurren el mayor número de accidentes en la ciudad de Los Ángeles por atropello.

Tabla 23: Puntos críticos por atropello 2010-2016

Intersección de Avenidas o calles		N° de accidentes
VILLAGRAN	RENGO	10
AV. RICARDO VICUÑA	FREIRE	9
AV. ALEMANIA	AV. MARCONI	8
AV. RICARDO VICUÑA	OHIGINS	7
AV. RICARDO VICUÑA	ERCILLA	7
AV. SOR VICENTA	AV. ORIENTE	7

Fuente: Elaboración propia

Las principales causas de accidentes son por no respetar derecho preferente de paso a peatón, peatón cruza calzada forma sorpresiva o descuidada, conducción no atento condiciones tránsito.



5. Conclusiones.

Tomando en cuenta los fundamentos teóricos planteados en este trabajo se pudo llevar a cabo el objetivo general, que tiene como fin el desarrollo de un estudio de los accidentes de tránsito entre los años 2010 – 2016 de la ciudad de Los Ángeles. A su vez el grado de aporte de los resultados para la facilidad de análisis con respecto al estudio realizado, nos entrega una mirada de donde se concentra la mayor cantidad de accidentes de tránsito en la ciudad.

Con respecto a la realización del presente proyecto la información utilizada fue obtenida de entidades gubernamentales nacionales (Carabineros de Chile, INE y Municipalidad de Los Ángeles) lo cual le da un peso de fidelidad a este trabajo.

Cabe mencionar que gracias al departamento SIAT de Carabineros de Chile, de los accidentes se logra obtener los resultados de muerte y/o lesionados, la causa fundamental que dio origen al mismo, centrandose su actuar en el grado de participación del factor humano. Con estos datos el departamento de la CONASET elabora y publica informes anuales a nivel nacional, con la finalidad de reducir el número de muertos, lesionados y daños materiales generados por accidentes de tránsito.

Por otra parte, la georreferenciación de los accidentes de tránsito permitió visualizar los incidentes ocurridos durante los años 2010 al 2016 en la zona urbana de la ciudad de Los Ángeles. Donde se implementó un sistema de información geográfica para la visualización y análisis de 6906 accidentes en la zona urbana de la ciudad, todo esto fue posible gracias a la correcta geocodificación de los eventos, ya que previamente se debió normalizar las

direcciones, ayudándonos a evitar errores en la ubicación de los accidentes sobre la red vial de la ciudad.

Con respecto al análisis espacial de los siniestros medidos mediante el método de la autocorrelación I de Moran y vecino más cercano, nos sirvieron para indicar si los eventos tenían un patrón de distribución agrupado, disperso o aleatorio por cada año del periodo en estudio.

Por otra parte, el análisis de agrupamiento utilizando el método de densidad de Kernel muestra que para el periodo 2010 – 2016, tanto el sector céntrico de la ciudad como las principales vías de acceso presentan densidades altas, por lo tanto, los puntos críticos se encuentran en las avenidas y calles con mayor tráfico de la ciudad de Los Ángeles.

En lo que respecta sobre los avances en seguridad conseguidos hasta la fecha, la cantidad de fallecidos y lesionados en Los Ángeles a causa de los siniestros de tránsito no ha mostrado una reducción significativa a lo largo del estudio. Más aún, en el año 2016 ha habido un aumento en todos los indicadores propuestos en relación al año 2015.

Los resultados obtenidos nos permitieron identificar patrones espacio-temporales en los accidentes de tránsito de la ciudad de Los Ángeles, como el horario de día con mayor ocurrencia de accidente, que se da entre las 12:01 y 18:00 horas, así también se identificó que los accidentes por colisión tienen una mayor frecuencia respecto a otras tipologías.

La principal causa responsable de los accidentes de tránsito en cada uno de los años de estudio es la conducción no atenta a las condiciones de tránsito, esta causa es de factor humano lo que nos dice que la mayoría de los accidentes no pasan por un factor de infraestructura vial o del vehículo, sino es más bien un problema de los conductores.

Con respecto a los 5 factores de riesgo más importantes que afectan a la seguridad vial en el mundo, Chile cuenta con límites de velocidad de 50 km/hora en la zona urbana, un conductor que tiene más de 0.3 y menos de 0.8 gramos de alcohol por litro de sangre, se encuentra bajo la influencia del alcohol, si supera los 0.8 gramos de alcohol por litro de sangre el conductor ya se encuentra en estado de ebriedad, para ambos casos existen multas si los controlan y se encuentran en ese estado, en el caso de generen accidentes con lesiones gravísimas o muerte a terceros se aplica la ley Emilia, ley que entró en vigencia el año 2012. El uso de casco cuando se circula en motocicleta es obligatorio en todo el país al igual que el uso de cinturón de seguridad y uso de sistemas de retención infantil.

Aquellos lugares donde la ocurrencia de accidentes presenta un punto crítico son Av. Vicuña Mackenna con San Martín, Av. Sor Vicenta con Av. Las Industrias, Av. Oriente con Av. Sor Vicenta, Av. Ricardo Vicuña con Valdivia, Av. Las Industrias con Av. Gabriela Mistral y Valdivia con Janequeo, calles y avenidas de gran flujo vehicular.

Por otra parte, la implementación de un SIG ha sido crucial para el análisis espacial de los accidentes de tránsito en la ciudad de Los Ángeles entre los años 2010 al 2016, ya que representan y muestran una medición de las relaciones espaciales de los datos

representables en mapas que permitan a las instituciones públicas ayudarles en futuras tomas de decisiones de seguridad y prevención de accidentes.

El correcto manejo de los SIG, la buena implementación de los mapas y en general las habilidades y herramientas adquiridas en el proceso de estudio de la carrera de Ingeniería Geomática fueron esenciales durante el desarrollo de este proyecto, haciendo que la ejecución de este se desarrollara a cabo de manera eficiente.

6. Sugerencias

Estos resultados muestran la urgente necesidad de mejorar la fiscalización e implementar nuevas medidas de seguridad vial, con la finalidad de poder reducir los siniestros de tránsito. El análisis también muestra las zonas más críticas de Los Ángeles, en los cuales se debería poner atención y hacer estudios a mayor escala y más detallados, que incluyan un análisis del diseño vial, flujo peatonal, flujo vehicular y velocidad de tránsito, entre otros, para poder aplicar medidas correctivas que permitan la reducción de la siniestralidad en dichos puntos críticos.

7. Referencias

- Anderson, T. K. (2009). Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 359-364.
- Anselin, L. (2003). Spatial Autocorrelation Refresher. Dept. Agricultural and Consumer Economics University of Illinois
- Blazquez, C. A., & Celis, M. S. (2013). A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 304-311.
- Brewer, A. M. (2000). Road rage: what, who, when, where and how?. *Transport reviews*, 20(1), 49-64.
- Celemín, J. P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial: Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía*, 18(1), 11-31.
- CONASET. (2018, Agosto 12). Comisión nacional de seguridad de tránsito. Recuperado <https://www.conaset.cl/wp-content/.../EvoluciónsinuestrostransitoChile-1972-2017.xlsx>
- CONASET. (2010). *Los jóvenes en el tránsito (período 2000-2010)*. Recuperado <https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/06/informe-jovenes-2000-2010.pdf>
- Córdova Guzmán, L. A., & Paucar Flores, C. R. (2014). *Análisis de los indicadores de seguridad vial para la disminución de accidentes de tránsito en el Ecuador*. Licenciatura. Universidad politécnica salesiana sede cuenca.

- Encarnacion , K. & Guachami, J. (2015). *Formulación de indicadores para el análisis de la seguridad vial en la ciudad de cuenca*. Licenciatura. Universidad politécnica salesiana sede cuenca.
- Erdogan, S. (2009). Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and road mortality among the provinces of Turkey. *Journal of safety research*, 40(5), 341-351.
- Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T., & Gullu, M. (2008). Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 174-181.
- Evans, L. (1991). *Traffic safety and the driver*. Science Serving Society.
- Fallon, I. & O'Neill, D. (2005). "The world's first automobile fatality". *Accident Analysis and Prevention*, vol. 37, n° 4, pp. 601-603.
- Flint, C., Harrower, M., & Edsall, R. (2000). But how does place matter? Using Bayesian networks to explore a structural definition of place. In *documento presentado en The New Methodologies for the Social Sciences Conference, University of Colorado, Boulder*.
- Gómez-Barroso, D., López-Cuadrado, T., Llácer, A., Suárez, R. P., & Fernández-Cuenca, R. (2015). Análisis espacial de los accidentes de tráfico con víctimas mortales en carretera en España, 2008-2011. *Gaceta Sanitaria*, 29, 24-29.
- Goodchild, M. F. (1987). A spatial analytical perspective on geographical information systems. *International journal of geographical information system*, 1(4), 327-334.
- Gundogdu, I. B., Sari, F., & Esen, O. (2008). A new approach for geographical information system-supported mapping of traffic accident data.

Horn, R. V. (1993). *Statistical Indicators: For the Economic and Social Sciences*. Cambridge University Press.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2018, Agosto 18)

Johnson, C. P., & Johnson, J. (2001). GIS: a tool for monitoring and management of epidemics. *Proceedings of Map India*.

Jones, A. P., Langford, I. H., & Bentham, G. (1996). The application of K-function analysis to the geographical distribution of road traffic accident outcomes in Norfolk, England. *Social Science & Medicine*, 42(6), 879-885.

Kerlinger, F., & Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento. Métodos de investigación en ciencias sociales*. México, DF.

Lühr, R. (2015). *Análisis espacial sobre hurto y robo en la ciudad de los ángeles entre los años 2012 a 2014 (Tesis de pregrado)*. Universidad de Concepción, Los Ángeles

McCracken, M., & Scott, K. (1998). Social and economic indicators: underlying assumptions, purposes and values. In *Theme II background paper for the Symposium on Gender Equality Indicators*.

Municipalidad de Los Ángeles. (2005). *Memoria explicativa PRCLA*. Los Ángeles.

Naranjo, E., & Sánchez, G. (1992). Aspectos relacionados con los costos de los accidentes de tránsito en Costa Rica. *San José: Universidad de Costa Rica*.

Navarrete Z., L. (2016). *Estadística Descriptiva para el Análisis Espacial*. Los Ángeles: Universidad de Concepción Campus Los Ángeles; Curso: Análisis Espacial.

OMS. Informe sobre la situación mundial de seguridad vial. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2009.

OPS. Informe sobre el Estado de la Seguridad Vial en la Región de la Américas
Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud; 2009.

Organización Mundial de la Salud (2018). Lesiones causadas por el tránsito. Recuperado
de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

Peden M, ScurFeld R, Sleet D, Mohan D, Hyder AA, Jarawan E, Mathers C, editores
Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito,
Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2004.

Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). Spatio-temporal
clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. *Procedia-Social
and Behavioral Sciences*, 21, 317-325.

Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit
region. *Economic geography*, 46(sup1), 234-240.

Velázquez, G., & Cepeda, R. (2004). Análisis de asociación espacial en variables de
calidad de vida en la Argentina. *Revista Geográfica*, 109-131.

