



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – TRANSPORTE

**METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS
MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, TRAMO
MÉXICO – TOLUCA**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. RICARDO CORREA VARGAS

TUTOR PRINCIPAL
M.I. HÉCTOR DANIEL RESÉNDIZ LÓPEZ
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM

MÉXICO, D. F. JUNIO 2015

MÉXICO, D. F. JULIO 2015

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Acosta Flores José Jesús

Secretario: Dr. Chías Becerril Luis

Vocal: M.I. Reséndiz López Héctor Daniel

1^{er}. Suplente: Dr. Aceves García Ricardo

2^{do}. Suplente: M.I. Rivera Colmenero José Antonio

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, México D.F.

TUTOR DE TESIS:

M.I. HÉCTOR DANIEL RESÉNDIZ LÓPEZ

FIRMA

ÍNDICE

I.	Introducción.....	1
II.	Antecedentes teóricos del transporte y de los accidentes de tránsito	2
1.1.	Los accidentes de tránsito dentro del sistema de transporte.....	2
1.1.1.	Teoría general de sistemas.....	2
1.1.2.	Configuración del sistema de transporte	3
1.1.3.	Los accidentes de tránsito como problema de salud pública.....	5
1.1.4.	Los costos asociados a los accidentes de tránsito	6
1.2.	Marco conceptual de los accidentes de tránsito	7
1.2.1.	Definición de accidente de tránsito	7
1.2.2.	Tipos de accidentes	10
1.2.3.	Causas de los accidentes de tránsito.....	12
1.2.4.	Factores que intervienen en los accidentes de tránsito.....	13
III.	Herramientas para el análisis de la accidentabilidad vial.....	15
2.1.	Matriz de Haddon.....	15
2.2.	Auditorías de seguridad vial.....	18
2.3.	Los sistemas de Información Geográfica, definición y utilidad para el análisis de accidentes de tránsito	22
2.3.1.	Definición de los SIG.....	22
2.3.2.	Componentes de un SIG	24
2.3.3.	Estructura de los datos utilizados en los SIG	27
2.3.4.	Aplicaciones de los SIG	28
2.3.5.	Los sistemas de información Geográfica en el Transporte	29
2.3.6.	Los sistemas de Informarmación geográfica y la seguridad vial.....	31
IV.	Caracterización geográfica y operativa del tramo carretero México – toluca.....	34
3.1.	Ubicación del tramo de estudio	34
3.2.	Factores físico –geográficos.....	36
3.2.1.	Hipsometría	36
3.2.2.	Grados de pendiente.....	40

3.2.3.	Climatología	42
3.2.4.	Precipitación media anual	43
3.2.5.	Clima.....	45
3.3.	Características operativas del tramo carretero.....	47
3.3.1.	Tránsito diario promedio anual (tdpa)	47
3.3.2.	Elementos de infraestructura carretera.....	50
3.4.	Aspectos demográficos.....	54
3.4.1.	Localidades urbanas y rurales próximas a la carretera	54
3.4.2.	Taza de motorización municipal	58
V.	Análisis espacial de los accidentes de tránsito	60
4.1.	Fundamentos teórico-metodológicos del análisis espacial	60
4.2.	Planteamiento de la metodología empleada.....	61
4.2.1.	Integración de información estadística y espacial de accidentes de tránsito	63
4.2.2.	Caracterización de la carretera.	66
4.2.3.	Matriz estructurada de datos espaciales.....	66
4.3.	Análisis de datos espaciales de forma descriptiva y exploratoria.....	68
4.3.1.	Perfil carretero del subtramo 1 “Constituyentes – La marquesa (Cuota)”.....	68
4.3.2.	Aplicación de Geoestadística para el subtramo 1.....	72
4.3.3.	Perfil carretero del subtramo 2 “Constituyentes – La marquesa (Libre)”	73
4.3.4.	Aplicación de geo estadística para el subtramo 2.....	77
4.3.5.	PERFIL CARRETERO DEL SUBTRAMO 3 “La Marquesa – Los encinos (LIBRE)”	79
4.3.6.	Aplicación de geo estadística para el subtramo 3.....	84
4.4.	Perfil carretero del subtramo 4 “Toluca – La Marquesa (libre)”	85
4.4.1.	Aplicación de geo estadística para el subtramo 4.....	88
4.5.	Zonas de alto riesgo de la carretera	89

INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tránsito en las carreteras causan miles de muertes cada año a nivel mundial como indican diversos estudios e informes (Organización Mundial de la Salud, 2013), debido a esto desde hace varios años la Organización mundial de la Salud (OMS) los considera como un problema de salud pública (Organización Mundial de la Salud, 2009, pág. 6). En México, según el Programa Nacional de Salud 2007-2012, los accidentes de tránsito son la séptima causa de muerte en hombres y la décima quinta en mujeres (Secretaría de Salud, gobierno de México, 2007, pág. 32). Según la Subsecretaría de prevención y promoción de la salud de México (SPPS)¹ el registro de muertes por accidentes viales duplica el estándar internacional, se registran un promedio de 24,000 muertes anuales (SPPS, 2012). Las afectaciones de los accidentes viales, no sólo se ven en términos de salud, en México las lesiones por discapacidad y muerte por causa de tránsito cuestan más de 120 mil millones de pesos. En 2008, la Secretaría de Seguridad Pública estimó que los costos por accidentes equivalen a 1.3% del Producto Interno Bruto Nacional, PIB. En este sentido queda clara la necesidad de estudiar este fenómeno desde una perspectiva sistémica, que permita contribuir a la prevención y disminución de la accidentalidad vial.

En la presente investigación se propone una metodología para identificar los patrones territoriales de los accidentes de tránsito y los puntos con mayor accidentalidad a lo largo del tramo carretero México – Toluca mediante la utilización de sistemas de información geográfica.

Se utilizarán para esta investigación los datos históricos desde el año 1998 hasta el año 2008 para el tramo carretero México – Toluca.

HIPÓTESIS

La frecuencia de los accidentes de tránsito en carreteras no ocurre de manera aleatoria, sino que tiene una alta correlación con las condiciones de la población, infraestructura carretera y aspectos físicos del territorio que se presentan a lo largo del tramo carretero.

JUSTIFICACIÓN

1. La perspectiva geográfica del transporte permite comprender las causas espaciales que contribuyen a la incidencia de los accidentes de tránsito en las carreteras a partir del estudio de sus características espaciales como la localización, distribución, concentración y correlación.
2. A pesar de ser una de las principales carreteras en el tramo México - Toluca actualmente no existe un análisis geoespacial de los accidentes de tránsito.
3. Esta investigación no sólo busca organizar y desarrollar conocimiento sobre el tema, sino que se plantearán acciones que permitan reducir la ocurrencia de accidentes de tránsito sobre la carretera bajo estudio.

OBJETIVO PRINCIPAL

Aplicar conceptos, modelos y herramientas de transporte para diseñar una metodología que permita el mejoramiento de la seguridad vial en carreteras mediante la identificación de los puntos negros de accidentabilidad y el análisis geoespacial con ayuda de un SIG para el tramo México-Toluca.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Conocer herramientas para el análisis de la accidentalidad vial.
2. Identificar la correlación espacial entre los aspectos físicos de la carretera, la infraestructura actual existente y los accidentes de tránsito mediante un análisis geoespacial.
3. Integrar los datos estadísticos y geográficos requeridos para presentar los Kilómetros y zonas con mayor riesgo de la carretera.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES TEÓRICOS DEL TRANSPORTE Y DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

1.1. LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO DENTRO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

Para estudiar al sistema de transporte es necesario en primer lugar conocer la definición de sistema, la cual se delimitará a partir de una breve explicación de la Teoría General de los Sistemas, debido a que es la base bajo la cual se crea la concepción del transporte como un sistema. Este análisis se realizará para estructurar como tal al sistema de transporte y comprender el lugar que ocupan los accidentes viales dentro de éste y desde una perspectiva geográfica.

1.1.1. TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS

Anteriormente, la ciencia trataba de explicar los fenómenos observables reduciéndolos a unidades elementales que podían estudiarse independientemente unas de las otras; pero en la ciencia contemporánea aparecen actitudes que se ocupan de estudiar a la llamada totalidad es decir, a los problemas de organización, a los fenómenos no divisibles en acontecimientos locales, etc. En una palabra: la ciencia contemporánea busca estudiar sistemas de varios órdenes, los cuales no llegan a ser comprensibles únicamente investigando sus respectivas partes aisladas.

Concepciones y problemas de tal naturaleza han aparecido en todas las ramas de la ciencia, sin importar que el objeto de estudio sean cosas inanimadas, organismos vivientes o fenómenos sociales. Esta correspondencia es más llamativa en vista de que cada ciencia siguió un curso independiente, casi sin contacto con las demás y basándose todas en hechos diferentes y filosofías contradictorias. (Bertalanffy, 1986)

Estas consideraciones fueron las que condujeron al biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy, en el año de 1968, a publicar y proponer una nueva disciplina científica, a la cual llamó: Teoría General de los Sistemas, cuyo tema es la formulación de principios válidos para los sistemas en general, sea cual fuere la naturaleza de sus elementos componentes y las relaciones o fuerzas reinantes entre ellos. La Teoría General de los Sistemas postula a los sistemas como un conjunto de elementos en interacción y tiene como metas principales las siguientes (Bertalanffy, 1986):

- Una tendencia general hacia la integración en las varias ciencias, naturales y sociales.
- Un recurso importante para buscar una teoría exacta en los campos no físicos de la ciencia.
- Al elaborar los principios unificadores que existen verticalmente por el universo de las ciencias, esta teoría nos acerca a la meta de unidad de la ciencia.
- Esto puede conducir a una integración científica.

De manera general, esta teoría busca desarrollar una forma de acercarse a la realidad desde una perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. El enfoque sistémico permite estudiar a los fenómenos de cualquier naturaleza desde el punto de vista del todo, donde cada uno forma parte de un fenómeno mayor y donde todos sus elementos están relacionados entre sí. (Giménez, 1986)

1.1.2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

Desde la perspectiva de la geografía del transporte, Potrykowski define a un sistema de transporte como el cúmulo de interrelaciones que existen entre los elementos individuales del transporte y las relaciones de sus elementos con el medio ambiente. (Potrykowski, 1984).

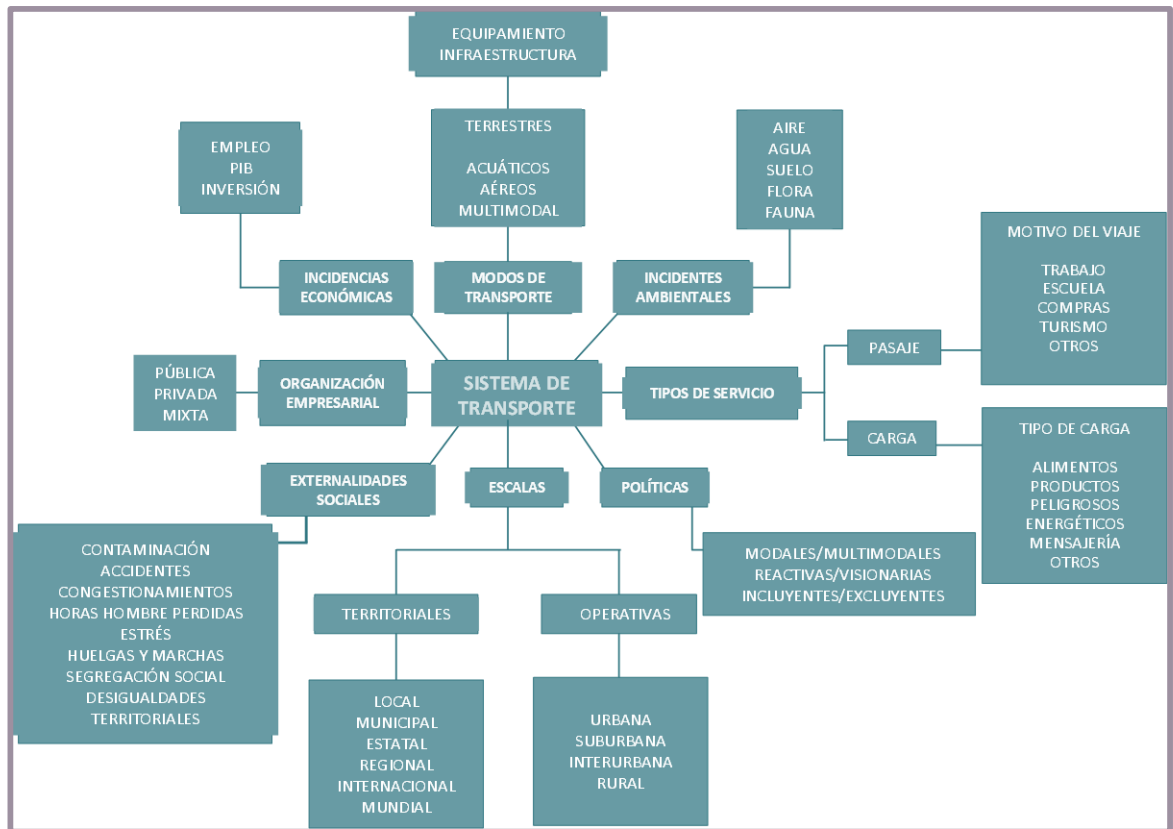
Recientemente, Chías L. en 1997 propone que, por sistema de transporte debemos entender a un conjunto interactivo de elementos técnicos, organizacionales, económicos y socioambientales que inciden en la estructura, organización y funcionalidad de todo sistema urbano regional. (Chías L. , 1997). Por su parte Garrido, 2001, en IMT – SCT, 2007, sostiene que el transporte es un sistema organizacional y tecnológico que apunta a trasladar personas y mercancías de un lugar a otro para balancear el desfase espacial y temporal entre los centros de oferta y demanda. Lo anterior plantea el problema de realizar este traslado en forma eficiente y sustentable.

El estudio del transporte desde la perspectiva geográfica es muy importante, debido a su inherente relación con el espacio, por lo cual las implicaciones de su funcionamiento influyen territorialmente; en este sentido los principales componentes de un sistema de transporte se pueden clasificar en (Chías Becerril, 2012):

- TERRITORIALES: Espacio de desplazamiento, localización y escala del sistema de transporte y factores físicos que inhiben o facilitan la circulación.
- TÉCNICAS: Infraestructura, equipamiento y desarrollo tecnológico.
- ECONÓMICAS: Oferta y demanda de productos y servicios.
- OPERATIVAS: Administración y logística de servicios.
- NORMATIVAS: Políticas, programas y reglamentos.
- AMBIENTALES: De orden físico geográfico.
- SOCIALES: Segregación y riesgos provocados por externalidades.

En la figura 1.1 se muestran los componentes de los sistemas de transporte.

Figura 1.1 El transporte como un sistema complejo multidimensional.



Fuente: (Chías Becerri, 2012)

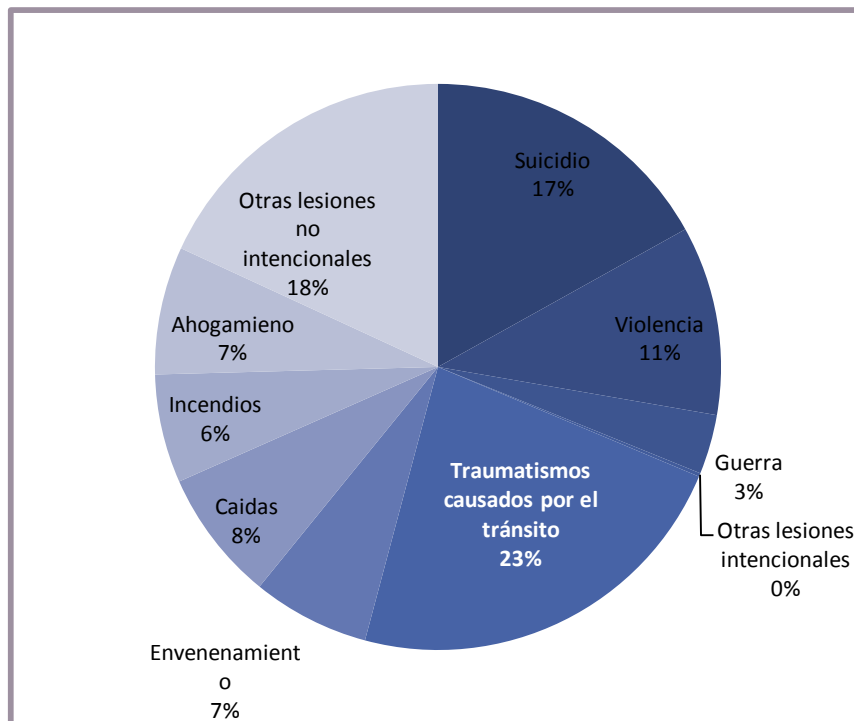
1.1.3. LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO COMO PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA

La gravedad de los accidentes de tránsito se puede medir, como cualquier otro problema de salud pública con indicadores de mortalidad. Sin embargo para reflejar la carga debida a colisiones en la vía pública es importante evaluar y tener en cuenta los resultados no mortales – o la morbilidad de los traumatismos - . Por cada muerte debida a un traumatismo causado por el tránsito, docenas de sobrevivientes quedan con discapacidades permanentes o de corto plazo que pueden limitar en forma constante su funcionamiento físico, tener consecuencias psicosociales o disminuir su calidad de vida. La evaluación de la magnitud de los traumatismos causados por el tránsito que se presenta en este capítulo, considera no sólo la mortalidad sino también los traumatismos y las discapacidades.

Los datos de la OMS para 2008 muestran que cerca de 1.2 millones de personas en el mundo perdieron la vida como consecuencia de traumatismos causados por el tránsito, lo que representa una media de 3,242 personas defunciones diarias en todo el mundo por esta causa. Además de las defunciones se estima que entre 20 y 50 millones de personas sufren heridas y quedan discapacitadas en el mundo todos los años.

Según datos de la OMS correspondiente a 2008, los traumatismos causados por el tránsito representaron el 2.1% de todas las defunciones mundiales y ocuparon el lugar 9 en la lista de principales causas de muerte. (OMS, 2012)

Gráfico 1.1 Distribución de mortalidad debido a traumatismos, por causa.



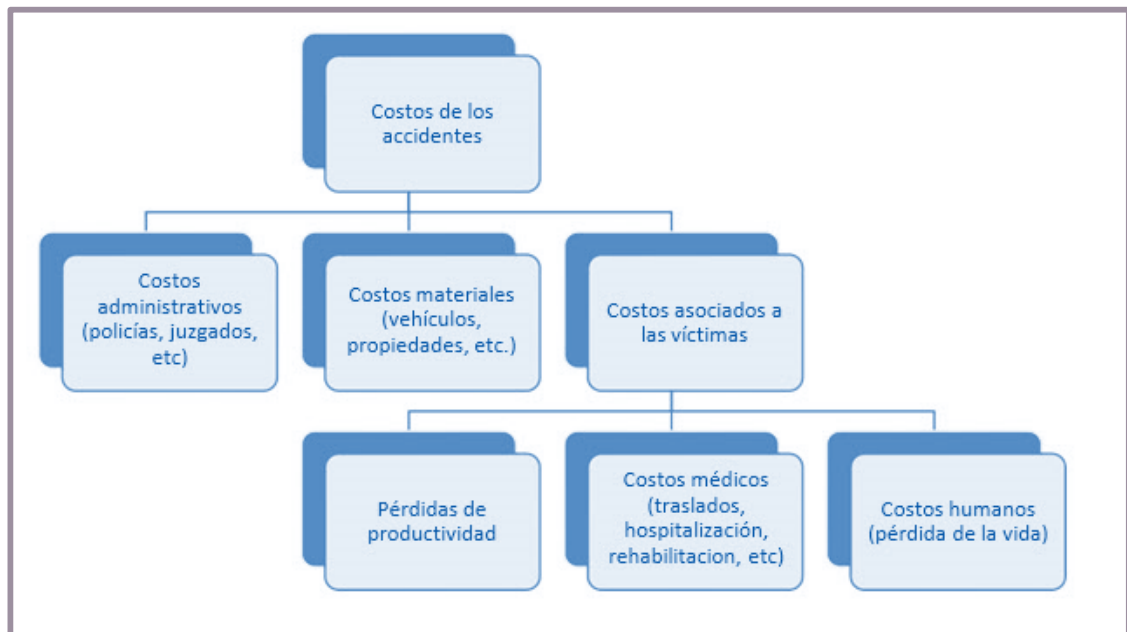
Fuente: OMS, Causa mundial de morbilidad, 2002.

1.1.4. LOS COSTOS ASOCIADOS A LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Otra variable para medir la gravedad de los accidentes de tránsito son los costos económicos asociados a éstos. Se estima que el costo económico de los accidentes viales es de alrededor del 1.7% del Producto Interno Bruto (PIB) (Secretaría de Salud, gobierno de México, 2007), en atención hospitalaria y reparación de los daños causados por el accidente.

En la figura 1.8 se muestra los costos asociados a los accidentes de tránsito:

Figura 1.2 Los costos asociados a los accidentes de tránsito.



Fuente: (Baeza Martínez, 2015)

En los costos administrativos se incluye el trabajo realizado por los policías, jueces, abogados, compañías de seguros, quienes gestionan administrativamente los accidentes. En comparación con los otros componentes estos costos son menores.

En los costos materiales se incluyen los de reparación o sustitución de los vehículos implicados en los accidentes, los costes de reparación de los daños ocasionados a las vías, señalamientos, elementos de alumbrados o mobiliario urbano dañado. En el caso de los accidentes sin víctimas, los costes materiales pueden ser los más relevantes, mientras que en el caso de los accidentes con heridos graves o muertos, los costes materiales representan un porcentaje menor.

Los costos asociados a las víctimas son los más importantes. Entre estos costos se incluyen: a) los costes médicos asociados a la asistencia recibida en el lugar del hecho, en el hospital y en el proceso de recuperación; b) los costos asociados a la pérdida de productividad por el periodo de baja laboral debido a las lesiones o en el caso del fallecimiento o de discapacidad la baja

total; c) los costos humanos los cuales son aquellos asociados al sufrimiento infligido por los accidentes viales en las víctimas, estos son los más difíciles de valorar.

Otra clasificación de los costes de los accidentes de tránsito es donde los costes son valorados con base a tres componentes:

1. Costos directos:

En esta categoría se encuentran los costos médicos, daños a la propiedad y los costos administrativos: juzgados, policías y compañías de seguros

2. Costos indirectos:

Son los costos por pérdida de productividad asociada a la víctima: valor de bienes y servicios que habría sido producidos de no suceder el accidente.

3. Costo humano o valor intrínseco del riesgo:

Valoriza conceptos tales como: pérdida de la calidad de vida, el dolor, la pena de los familiares y amigos de las víctimas, pérdida intrínseca del goce de la vida y otros.

1.2. MARCO CONCEPTUAL DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

El estudio de los accidentes de tránsito vistos como una externalidad social de los sistemas de transporte así como el planteamiento de metodologías propuestas de mejora para sus minimización será de gran importancia para de este modo aumentar la productividad, competitividad del país así como ayudar a solucionar uno de los mayores problemas de salud pública que se ha vivido en los últimos años.

En este apartado se definirán los conceptos que se han estudiado alrededor de los accidentes de tránsito.

1.2.1. DEFINICIÓN DE ACCIDENTE DE TRÁNSITO

De manera general se define como accidente al hecho súbito que ocasiona daños a la salud y que se produce por la concurrencia de condiciones potencialmente prevenibles (Ley General de Salud, capítulo IV, artículo 162). La Organización Panamericana de la Salud define al accidente, como la cadena de eventos y circunstancias que llevan a la ocurrencia de una lesión no intencional.

La Organización Mundial de la Salud define accidente como: un evento independiente del deseo del hombre, causado por una fuerza externa, ajena, que actúa súbitamente y deja heridas en el cuerpo y en la mente. Un accidente de tránsito puede ser definido como un evento del tipo descrito, que envuelve al menos un vehículo que circula, normalmente por una vía para tránsito, pudiendo ser el vehículo motorizado o no. Esta definición no queda clara, además de que lo define como un “evento independiente [...] causado por una fuerza externa [...]” propiedades de una visión tradicional y no visto de forma sistémica.

El INEGI define como accidente de tránsito a percance vial que se presenta súbita e inesperadamente, determinado por condiciones y actos irresponsables potencialmente previsibles, atribuidos a factores humanos, vehículos preponderantemente automotores, condiciones climatológicas, señalización y caminos, los cuales ocasionan pérdidas prematuras de vidas humanas y/o lesiones, así como secuelas físicas o psicológicas, perjuicios materiales y daños a terceros.

Por otro lado el IMT define un accidente de tránsito como “la consecuencia de un evento fortuito multicausal, precedido por una falla en alguno de los elementos que conforman el sistema de tránsito.” A mí parecer esta es una definición clara, precisa y con una visión más actual de lo que es un accidente, ya que menciona que es precedido de alguno de los elementos que conforma el sistema de tránsito, dichos elementos son el usuario, la vía, el vehículo y la normativa.

Por su parte, Domínguez define al accidente de tránsito como un acontecimiento vehicular carretero y/o vial, indeseable; repentino y violento, que puede ser diferenciado, y se considera problema de tránsito terrestre; sus causas pueden ser inherentes o no al conductor y/o a su vehículo, en la mayoría de los casos es potencialmente prevenible, sus consecuencias pueden ser daños mentales, corporales, y/o materiales; además, es un fenómeno geográfico que tiene por características la espacialidad y la temporalidad. (Hernández, 2004).

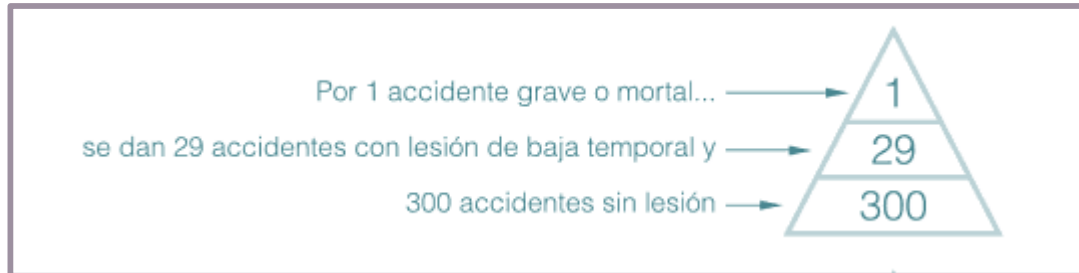
Acorde con lo anterior, y como plantea la hipótesis de esta tesis, es necesario profundizar en el estudio y la forma en que los accidentes de tránsito se pueden prevenir, conociendo y analizando geográficamente la información disponible; como sostiene Villena (Villena Sánchez, Análisis espacial de los accidentes de tránsito del corredor México-Tijuana en 2008. Tesis para obtener el título de licenciada en geografía. , 2014), demostrar que los factores considerados “azarosos” en realidad pueden ser medidos y cuantificados para su estudio geográfico y generación de propuestas preventivas; en este sentido como **accidente de tránsito** se considera a un evento espacial y temporal, resultado del movimiento entre personas y vehículos en un espacio y tiempo determinado; tratándolo como un proceso que tiene una localización, distribución, intensidad, temporalidad y causalidad propia, de naturaleza no aleatoria sino probabilística y por tanto es prevenible.

Se han realizado varios estudios que demuestran que los accidentes no son un fenómeno aleatorio sino determinístico, los “accidentes” no son accidentales sino causados, materia de seguridad laboral, en 1931 los trabajos realizados por H. W. Heinrich en los que se introduce por primera vez el concepto de “**accidente blanco**”, que sin causar lesiones en las personas originaban, pérdidas o daños materiales considerables.

Para H. W. Heinrich por cada accidente que se producía originando lesión con incapacidad, había 29 accidentes con lesiones de menor importancia y 300 accidentes que no causaban lesiones pero sí daños a la propiedad.

Este planteamiento es conocido como pirámide de Heinrich por su representación gráfica y fue el origen de una nueva filosofía de los costos de los accidentes, en la que empezaron a contabilizarse unos costos que hasta entonces no habían sido tenidos en cuenta. (Cortés Díaz, 2007)

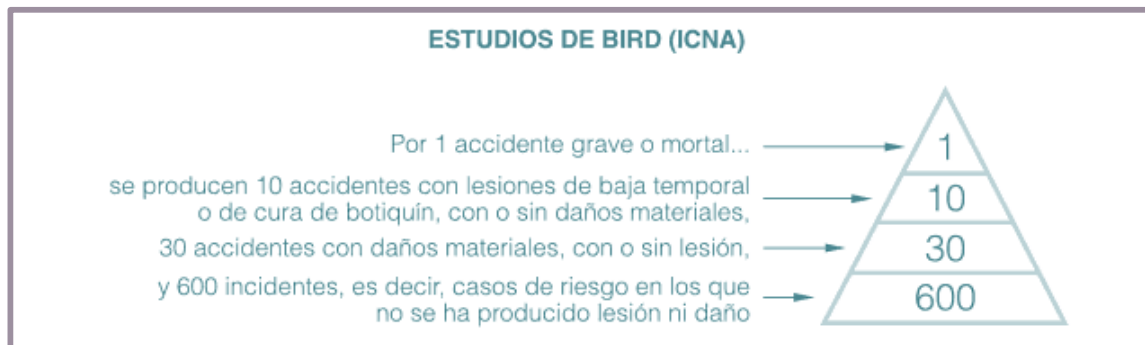
Figura 1.3 Pirámide de Heinrich



Fuente: (Cortés Díaz, 2007)

F.E. Bird actualizó la teoría de Heinrich con base en un estudio que realizó de noventa mil accidentes en siete años en la empresa Lukens Steel Co. Estableció una nueva relación que se representa en la figura 1.3.

Figura 1.4 Pirámide de Bird.



Fuente: (Cortés Díaz, 2007)

Estas relaciones descubiertas por Heinrich y Bird, demuestran que cualquier accidente, es prevenible. Con base en estas relaciones causales, de la misma manera, se puede construir una pirámide homóloga para los accidentes de tránsito.

1.2.2. TIPOS DE ACCIDENTES

La clasificación de los tipos de accidentes es muy variada y de quién realiza dicha clasificación. En México, el levantamiento de los datos cuando ocurre un accidente lo realiza la policía federal y la clasificación por tipo de accidentes es como sigue²:

- Salida del camino
- Choque lateral
- Choque por alcance
- Choque contra objeto fijo
- Choque de frente
- Colisión con usuario vulnerable
- Volcadura
- Choque contra semoviente
- Desprendimiento de remolque/Caída de carga
- Otro

Otro tipo de clasificación la realiza el *International Road Assessment Programme*³ (iRAP), la cual clasifica a los accidentes en carreteras como tipos de colisiones. El tipo de clasificación

Cuadro 1.1 Tipos de colisiones en carretera

Tipo de colisión	Descripción
Vehículo -Peatón	Los peatones son usuarios vulnerables de las vías. En muchos países, las colisiones con peatones son la principal causa de muertes y lesiones en las vías. En algunos países, más de la mitad de todas las muertes en las carreteras son causadas por colisiones entre vehículos y peatones.
Frontal	La posibilidad de sobrevivir a una colisión frontal se reduce, aun en los autos más modernos, si el vehículo va a una velocidad superior de 70 km/h. En caso de vehículos más viejos o en colisiones de varios vehículos de diferente tamaño, la posibilidad es aún menor a velocidades mucho más bajas.
Por alcance	Una colisión por alcance involucra a un vehículo o usuario de la vía que impacta contra la parte trasera de otro vehículo o usuario de la vía. Esto puede ocurrir cuando el vehículo delantero reduce la velocidad o

² Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2010) IMT

³ROAD SAFETY TOOLKIT. <http://toolkit.irap.org/default.asp?page=crashtype&id=1>

Tipo de colisión	Descripción
	se detiene, o porque el vehículo que le sigue está transitando a una mayor velocidad que el vehículo que va delante.
Cambio de carril	Las colisiones por cambio de carril ocurren cuando un vehículo intenta cambiar de carril o colisiona con otro vehículo que viaja en la misma dirección. Este tipo de colisión es más común en vías de alto volumen con múltiples carriles (como las autopistas y las vías principales de las ciudades).
Salida de la vía	Las colisiones por salirse de la vía son comunes, especialmente en áreas de alta velocidad. Ocurren tanto en las curvas como en los tramos rectos. Sus consecuencias pueden ser graves en áreas de alta velocidad, particularmente si chocan con un objeto (por ejemplo, árboles, postes, peatones) o si hay un terraplén empinado o precipicio.
Vehículo - ciclista	En algunos países donde las bicicletas constituyen el principal medio de transporte, las muertes y lesiones sufridas por ciclistas representan una parte importante de las víctimas. La gravedad de las colisiones sufridas por ciclistas a menudo es más alta que las colisiones sufridas por vehículos pesados o de pasajeros en situaciones similares, debido a la falta de protección física.
Maniobrabilidad	Cuando se maniobran vehículos pueden ocurrir diferentes tipos de colisiones. La maniobrabilidad incluye a vehículos que entran o salen de la calzada, que giran en puntos que no son intersecciones (incluidas las vueltas en 'U') y que aparcen.
Intersecciones	Cuando se maniobran vehículos pueden ocurrir diferentes tipos de colisiones. La maniobrabilidad incluye a vehículos que entran o salen de la calzada, que giran en puntos que no son intersecciones (incluidas las vueltas en 'U') y que aparcen.

Fuente: International Road Assessment Programme (iRAP)

1.2.3. CAUSAS DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Según el artículo “A motor vehicle accident causal system: the human element”, son muchos y complejos los factores que se encuentran implicados en un accidente. Los factores que desembocan en un accidente surgen dentro de la compleja red de interacciones entre el vehículo, la vía, el estado de la señalización, la normativa, la gestión de la seguridad, la supervisión policial, el comportamiento del conductor y la situación de sus capacidades psicofísicas.

“Los accidentes de tráfico no son, el resultado de un factor simple, sino más bien el producto de una conjunción de muchos factores”. Por supuesto, no tiene la misma importancia cada variable del entramado multifactorial en la causa de los accidentes; en todo caso, los factores de riesgo más importantes parece que se asocian en todas las investigaciones con el llamado factor humano, y en segundo lugar los debidos al estado de la vía y a los elementos del vehículo. (Pimentel Montiel, 2012)

Las causas de los accidentes de tráfico pueden dividirse en dos grupos:

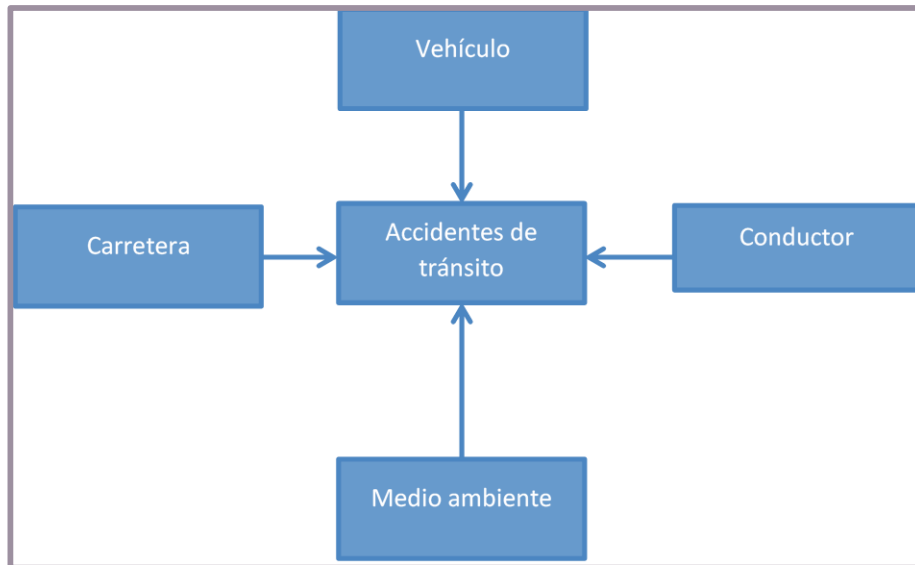
- **Causas inmediatas:** constituyen la causa principal e intervienen en el accidente de forma directa. Un ejemplo de estas causas son: las infracciones de tráfico, velocidad excesiva o inadecuada, deficiencias en la percepción, errores en la evasión, consumo de sustancias.
- **Causas mediatas:** Son circunstancias que influyen en su ocurrencia, pero no se relacionan con el accidente de un modo directo. Un ejemplo de estas causas son: el frenado, suspensión y dirección del vehículo, el trazado y mal estado del firme de la vía, los fenómenos atmosféricos, los relativos a la persona.

Según el “Manual de Seguridad Vial: El factor humano” se han realizado numerosas investigaciones para ver el peso diferencial que pueda tener en la accidentalidad cada uno de los grandes componentes del sistema de tráfico. Cabe destacar el proyecto REAGIR, desarrollado en Francia durante muchos años y en el que se han estudiado a fondo miles de accidentes. Los estudios llevados a cabo por el Transport Research Laboratory (TRL) en Gran Bretaña; o en Estados Unidos los realizados por la National Highway Traffic Safety Administration o el Indiana Tri-Level Study, una investigación llevada a cabo durante más de cinco años sobre unos cinco mil accidentes de circulación de todo tipo. Estos últimos estudios están considerados entre los más importantes y completos del mundo desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo. Sus hallazgos son prácticamente coincidentes. En concreto, en el realizado por la Universidad de Indiana, descubrieron que entre los factores causantes del accidente de tráfico, el factor humano se encontraba implicado entre el 93 y 71% de los casos; los factores ambientales entre el 34 y el 12% y las causas debidas al vehículo entre el 13 y el 4,5%.” (Pimentel Montiel, 2012)

1.2.4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Las causas que intervienen para que ocurra un choque son múltiples y complejas e incluyen varios factores. Los cuales pueden agruparse en cuatro categorías: acciones del conductor o del operador, condiciones mecánicas del vehículo, características geométricas del camino y el ambiente físico o climático en el que opera el vehículo; en la figura 1.5 se muestra los factores implicados en un accidente de tránsito, según el modelo clásico.

Figura 1.5 Modelo clásico de los Factores causales en un accidente de tránsito.



Fuente: Elaborado con base en (Sebastián Tryols Mateo, 2007)

Conductor. La principal causa que contribuye a situaciones que provocan un choque es, el comportamiento de los conductores de uno o de ambos vehículos involucrados. El error del conductor puede ocurrir de varias maneras; la falta de atención al camino y el tránsito circundante, el no ceder el paso y la violación del reglamento de tránsito o todas ellas. Estas “fallas” pueden ocurrir como resultado de la poca familiaridad con las condiciones del camino, exceso de velocidad, cansancio manejar en estado de ebriedad, el uso de los teléfonos celulares u otras distracciones.

El vehículo. Las condiciones mecánicas de un vehículo pueden ser también la causa del choque, tales como: fallas en el sistema eléctrico, llantas lisas y la ubicación del centro de gravedad del vehículo. Los frenos defectuosos en camiones pesados han causado una gran cantidad de colisiones. Los choques fuera del camino requieren la notificación de urgencia a los equipos de rescate, especialmente en áreas rurales.

El camino. Las condiciones y la calidad del camino, el pavimento, cunetas, intersecciones y el sistema de control de tránsito, pueden ser factores condicionantes para que ocurra un

accidente. Las carreteras deben diseñarse considerando una distancia visual adecuada a la velocidad de diseño, de lo contrario los conductores no tendrán la capacidad de realizar una acción correctiva para evitar el choque. Los semáforos deben estar colocados de forma tal, que puedan proporcionarle al conductor una distancia visual adecuada para tomar decisiones de conducción, cuando la luz cambie de verde a rojo. Los cruces de ferrocarril a nivel, deben diseñarse para operar con seguridad y de esta manera reducir el riesgo de colisiones entre el tránsito propio de la carretera y los vagones del ferrocarril. La sobreelevación de las curvas en la carretera y en vía férrea, deben trazarse cuidadosamente con el radio correcto y las secciones de tránsito adecuadas, para que los vehículos puedan entrar o salir de las curvas con seguridad.

Medio ambiente. El medio ambiente físico y climático que circunda a un vehículo de transporte, también puede ser un factor en la ocurrencia de los choques. El más común es el estado del tiempo. Todos los sistemas de transporte funcionan óptimamente con tiempo soleado, temperatura agradable y cielo despejado. Un estado de tiempo desfavorable puede contribuir a choques en la carretera; por ejemplo, el pavimento mojado reduce la fricción de frenado. Muchos choques graves han sido causados por la niebla, ya que esta impide que los conductores que viajan a altas velocidades, puedan distinguir a tiempo los vehículos que están adelante y al no lograr detenerse o disminuir la velocidad provocar colisiones multivehiculares o taponamientos. La geografía es otra causa ambiental de los choques en los medios de transporte. Las cordilleras montañosas han sido el escenario de accidentes de aviación. Las llanuras anegadas por las lluvias, los deslaves de lodo sobre el pavimento y el desbordamiento de ríos, son algunos factores de accidente en el sistema de ferrocarril y en las carreteras. (Sebastián Tryols Mateo, 2007)

CAPÍTULO II

HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE LA ACCIDENTABILIDAD VIAL

En este capítulo se expondrán los métodos y herramientas para el estudio y comprensión de las accidentabilidad vial; los métodos que se expondrán serán la Matriz de Haddon, las auditorías de seguridad vial y los sistemas de información geográfica, éste último se utilizará principalmente en el desarrollo de esta investigación dónde en el capítulo tres se desarrollara el análisis espacial para un estudio y comprensión a nivel macroscópico. Más adelante en el capítulo 4, se utilizará la matriz de Haddon y una inspección de seguridad vial a nivel puntual.

2.1. MATRIZ DE HADDON

Para el análisis de la accidentabilidad es muy común la utilización de la Matriz de Haddon. Esta matriz fue propuesta por el epidemiólogo estadounidense William J. Haddon en 1970, quien calificó al transporte terrestre como un sistema hombre – máquina mal concebida que requería un tratamiento sistémico integral. (Baeza Martínez, 2015)

La matriz está formada por dos dimensiones, la primera son las tres fases temporales del accidente vial: antes (pre-accidente), durante (accidente) y después (post-accidente) y la segunda dimensión se trata de los factores que intervienen en el accidente, que fueron mencionados en el capítulo anterior (factor humano, vía y vehículo). El modelo resultante simula un sistema de nueve celdas, en la que se tiene una posibilidad de intervención para reducir los traumatismos causados por los accidentes.

Con este modelo se dio un nuevo enfoque en la seguridad vial: el enfoque sistémico, por lo que todo acercamiento para analizar la accidentalidad vial debe de surgir de una comprensión completa del problema, considerándolo un sistema integral.

Un instrumento esencial para para la prevención de daños causados por choques de vehículos es la adopción de un enfoque sistémico que permita:

- Identificar los problemas
- Formular estrategias
- Establecer objetivos
- Supervisar el desempeño

En el cuadro 2.1 se observa el esquema más utilizado de la matriz de Haddon.

El enfoque “sistémico” procura identificar y remediar las principales fuentes de error y las deficiencias de diseño que contribuyen a las colisiones causantes de muertes o lesiones graves, además de mitigar la gravedad y las consecuencias de los traumatismos.

Cuadro 2.1 Matriz de Haddon.

		FACTORES		
FASE		HUMANO	VEHÍCULOS EQUIPAMIENTO	Y 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 de seguridad peatonal
Choque	Prevención de los traumatismos	• Uso de dispositivos de protección • Disminución de las facultades	• Cinturones de seguridad • Otros dispositivos de seguridad • Diseño vehicular anti choques	• Elementos protectores a los costados del camino
Después del choque	Prevención de la vida	• Nociones de primeros auxilios • Accesos a la atención médica	• Facilidad de acceso • Riesgo de incendio	• Equipamiento de socorro • Congestión

Fuente: Elaborado con base en (Villena Sánchez , Análisis espacial de los accidentes de tránsito del corredor México-tijuana en 2008. Tesis para obtener el título de licenciada en geografía. , 2014)

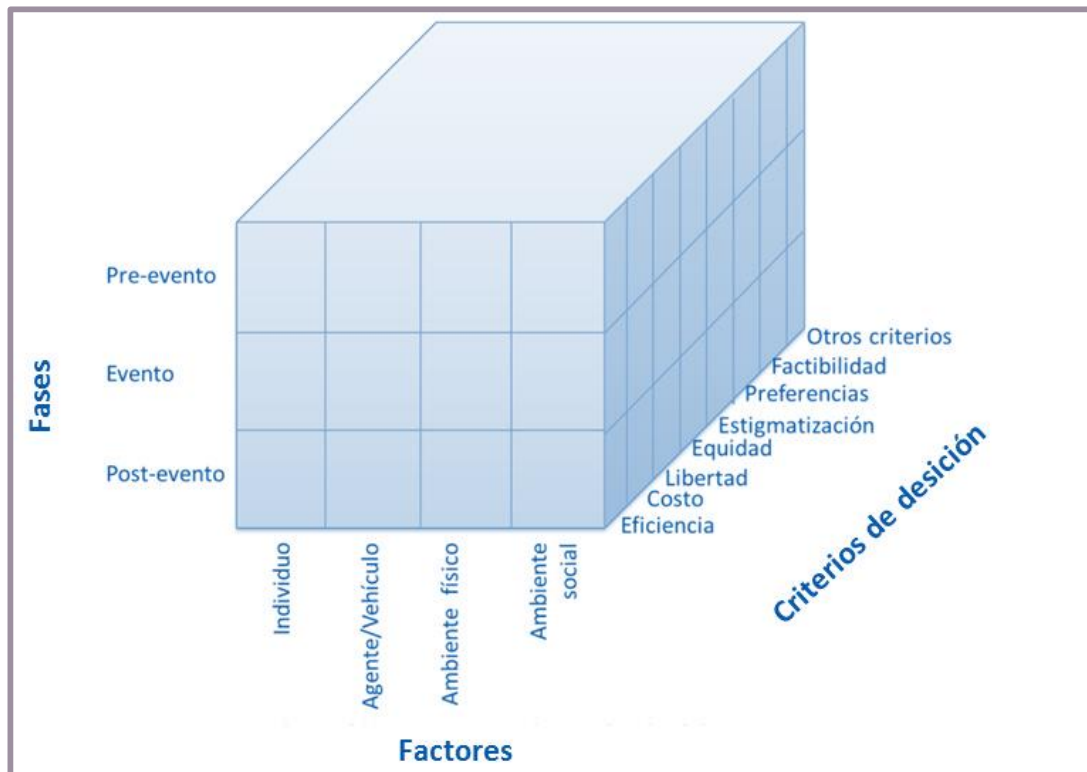
Basadas en las ideas de Haddon, diversas estrategias y técnicas para reducir el número de víctimas mortales se han ensayado a nivel internacional en el marco de investigaciones científicas y de observación empírica. Las estrategias incluyen las siguientes medidas:

- Disminuir la exposición a los riesgos
- Prevenir las colisiones
- Procurar que los traumatismos sean menos graves en caso de colisión
- Atenuar las consecuencias de los traumatismos mejorando la atención después del choque

Este enfoque sistémico de intervenciones se proyecta y se lleva a cabo dentro de un sistema más amplio de gestión de la seguridad.

Sin embargo, el modelo Haddon ha sido criticado, pues a nivel de las personas refleja solo el riesgo individual, sin tener en cuenta el conjunto de factores conductuales. Algunos autores como Runyan proponen introducir una “tercera dimensión”. La cual incluye criterios de carácter humano principalmente que pueden incluir en el accidente, como lo son la eficiencia del conductor y/o vehículo, el costo y factibilidad de tener una vía en buenas condiciones. En la figura 2.1 se muestra la matriz de Haddon modificada.

Figura 2.1 Matriz de Haddon Modificada

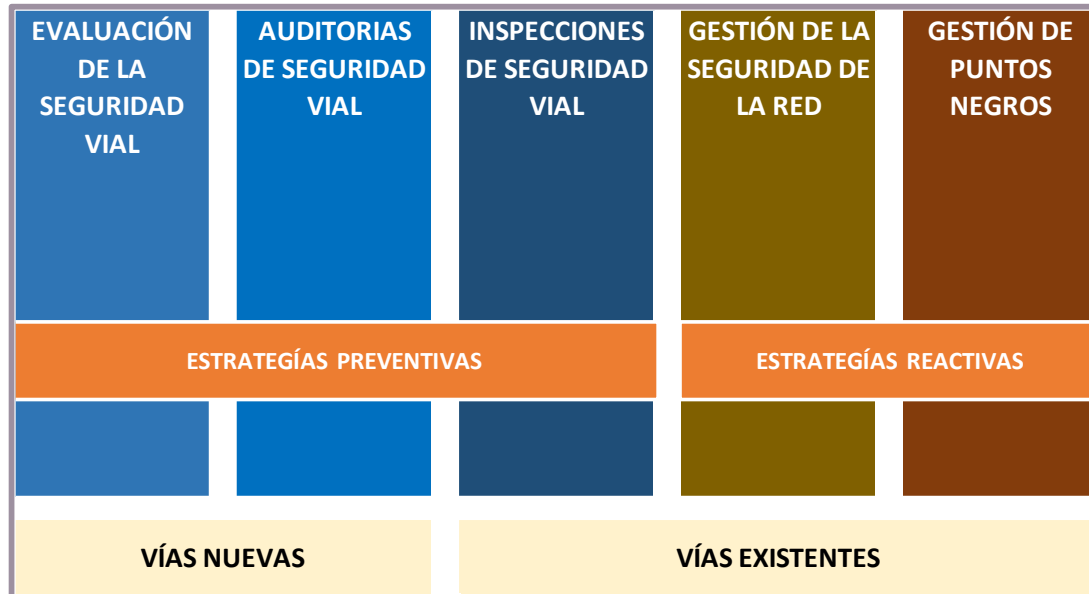


Fuente: Elaboración propia basada en (Runyan, 1998)

2.2. AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL

Las auditorías de seguridad vial son una estrategia preventiva en la construcción de nuevas carreteras, su ubicación dentro de las herramientas para la gestión de la seguridad en la infraestructura vial se muestra en la figura 2.1

Figura 2.2 Herramientas para la gestión de la seguridad en la infraestructura vial



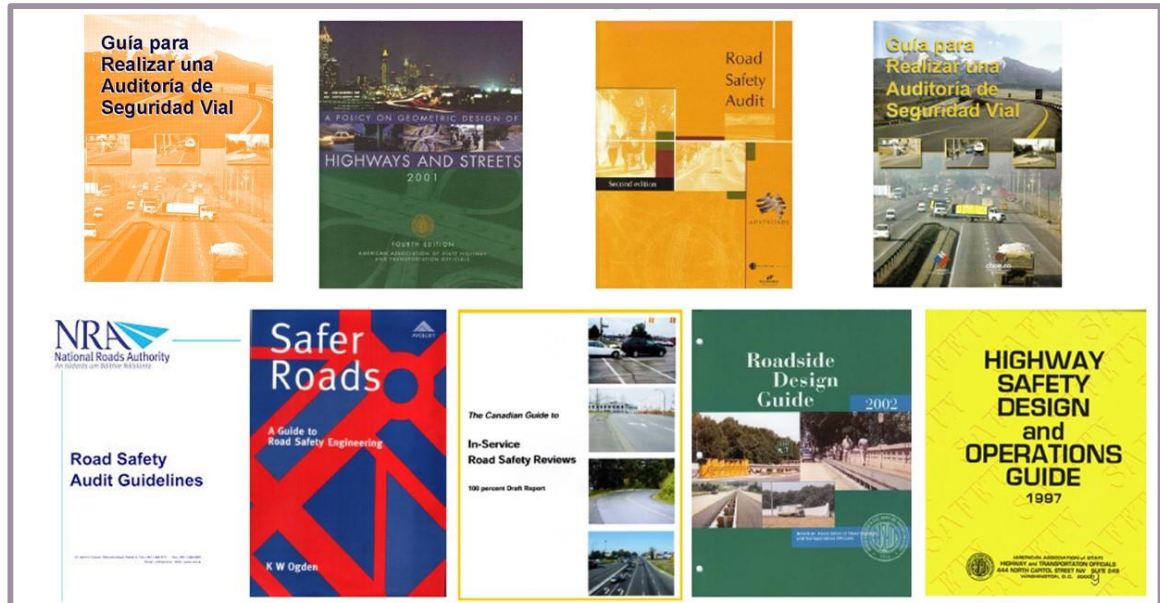
Fuente: Elaboración propia con base en (Instituto de Ingeniería, 2014)

La **auditoría** es el proceso que consiste en el examen crítico, sistemático y representativo del sistema de información de una empresa o parte de ella, realizado con independencia y utilizando técnicas determinadas, con el propósito de emitir una opinión profesional sobre la misma que permita la adecuada toma de decisiones y brindar recomendaciones que mejoren el sistema examinado.

El concepto de **seguridad vial** supone la prevención de accidentes de tráfico con el objetivo de proteger la vida de las personas.

Como definición de auditoría de seguridad vial se tiene la propuesta por Austroads (Austroads, 2002) : “Una auditoría de seguridad vial (ASV) es un examen formal de un proyecto vial, o de tránsito, existente o futuro, o de cualquier proyecto que tenga influencia sobre una vía, en donde un equipo de profesionales calificado e independiente informa sobre el riesgo de ocurrencia de accidentes y del comportamiento del proyecto desde la perspectiva de la seguridad vial”.

Figura 2.3 Auditorías de seguridad vial en el mundo



Fuente: (Instituto de Ingeniería, 2014)

Los aspectos más relevantes de la definición anterior son:

- Es un proceso formal basado en consideración de seguridad vial.
- Es realizada por un equipo de profesionales independientes que no tiene relación anterior con el proyecto.
- Es realizada por un equipo multidisciplinario con el entrenamiento y experiencia pertinente.
- Es una metodología que analiza la seguridad de todos los usuarios de la vía (vehículos motorizados, peatones, ciclistas, tracción animal).

Beneficios de las Auditorías de Seguridad vial:

- Se reduce la probabilidad de accidentes en la red vial.
- Se reduce la severidad de los accidentes.
- Se reduce la necesidad de desarrollar trabajos correctivos.
- Se reduce el costo total para la comunidad, durante la vida útil del proyecto, incluyendo accidentes, interrupciones del tránsito y lesiones.
- Consolidar la inclusión segura de todos los usuarios de la vía y no sólo de los conductores de vehículos motorizados.

- Aumenta la importancia de la seguridad vial en la mente de todos los implicados en la planificación, el diseño, la construcción, y el mantenimiento de proyectos viales.

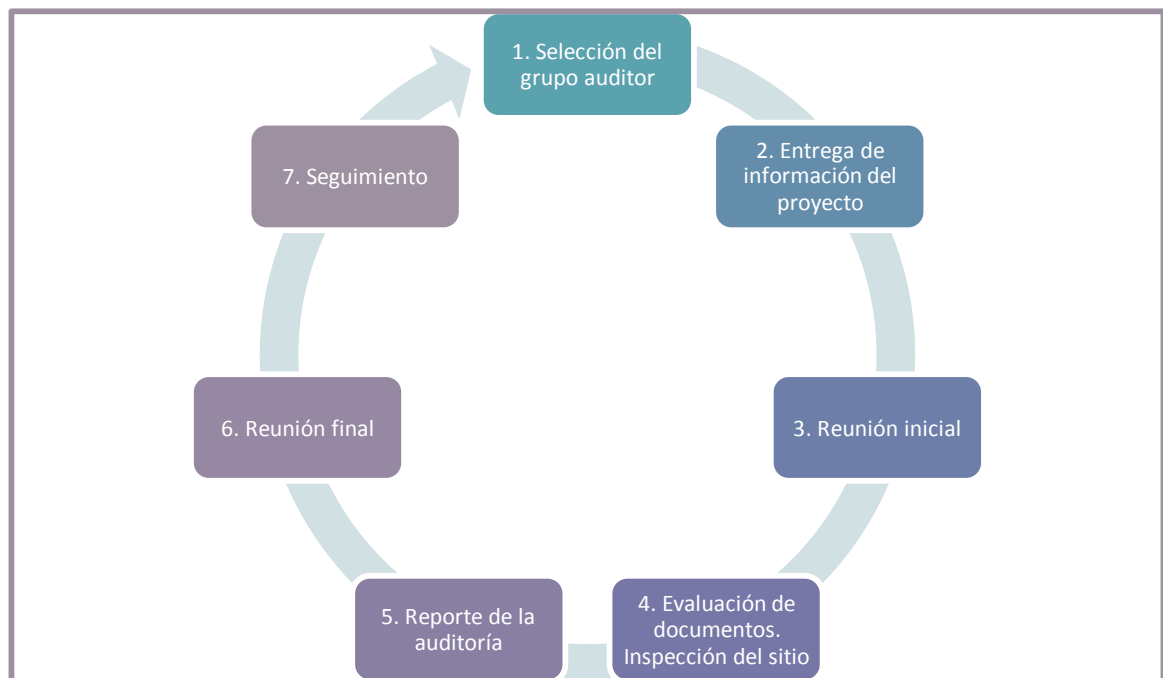
Momentos en que se puede realizar una ASV:

Uno de los aspectos más relevantes dentro del proceso de aplicación de una ASV, es determinar el momento en que ésta puede llevarse a cabo.

Las ASV son eficaces para diferentes tipos de proyectos, en todas las etapas del desarrollo de obras viales en zonas urbanas y rurales, y se aplican a las siguientes fases:

- Pre factibilidad y factibilidad
- Anteproyecto (o pre diseño)
- Proyecto definitivo (o diseño detallado)
- Etapa de construcción
- Pre – operación (antes de abrir el camino al tránsito)
- Operación

Figura 2.4 Proceso de una ASV



Fuente: (Instituto de Ingeniería, 2014)

Características consideradas en una ASV:

- Diseño geométrico
- Superficie de rodamiento
- Señalamiento horizontal y vertical
- Mobiliario vial
- Gestión del tránsito
- Trabajo en la vía
- Usuario de la vía
- Vehículos en la vía
- Cruces ferroviarios

Es importante señalar que las ASV se deben realizar en todas las etapas de un proyecto vial y no sólo cuando ya esté construida; así como recomienda Granados (Instituto de Ingeniería, 2014), con base en la experiencia internacional es necesario generar un Manual de ASV “tropicalizado” para México; también es importante aprovechar las nuevas tecnologías como los dispositivos móviles para disminuir el tiempo de recolecta de datos. Otro tipo de ASV y que también son importantes, son las ASV para personas con discapacidad, donde los grupos de auditores sean interdisciplinarios y creados en las universidades.

2.3. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, DEFINICIÓN Y UTILIDAD PARA EL ANÁLISIS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG por sus siglas en español), es una herramientas para realizar diversos análisis mediante la creación y manipulación de modelos cartográficos; los objetivos de cualquier SIG son el contar con la representación gráfica de la ubicación espacial de un problema, ser un sistema de recolección de datos para tener la información organizada y la modelación de las variables contenidas.

2.3.1. DEFINICIÓN DE LOS SIG

Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar preguntas de modo inmediato.

Como “Sistema de Información” se entiende la unión de la información y herramientas informáticas (software) para su análisis con objetivos concretos. Por otra parte, al incluir el término “Geográfica” se sume que la información es espacialmente explícita, es decir, incluye la posición en el espacio.

La primera referencia al término SIG parece por Tomlinson en 1967, referida a “una aplicación informática cuyo objetivo es desarrollar un conjunto de tareas con información geográfica digitalizada”. Se trataba del Sistema de Información Geográfica de Canada. (C.G.I.S.)

En 1987, el Departament of Enviromment de USA los expresó como “un sistema para capturar, almacenar, chequear, manipular, analizar y representar datos que están espacialmente referenciados en la Tierra”.

En 1998 Burrough y McDonnell, amplían el concepto a “un sistema (normalmente asistido por un ordenador, cuando se utiliza este término) de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real con el fin de satisfacer múltiples propósitos”. La base de datos está compuesta, generalmente, por un gran número de representaciones espaciales de tipo mapa denominadas “coberturas” o “capas”.

En 1990, en National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) de USA los define como “sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espaciales referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”.

La empresa ESRI, define a un SIG como “Un sistema que se utiliza para describir y caracterizar la tierra y otras áreas geográficas con el fin de visualizar y analizar la información geográficamente referenciada”. (ESRI, 2012)

El National Center for Geographic Information & Analysis (www.ncgia.ucsb.edu), considera un SIG como un “sistema compuesto por hardware, soft ware y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación”. Los SIG integran en un mismo concepto datos, equipo de cómputo, programas, intereses diversos (científicos, de gestión y comerciales), disciplinas diversas (matemáticas, ingeniería, cartografía, geografía, economía, geología, biología, informática, etc.), personal (ingenieros, geógrafos, programadores, administradores, etc.) y modelos (espaciales, físicos, económicos, etc.) que permitan realizar análisis de los diversos fenómenos que ocurren en el espacio geográfico. Esta tecnología se construye en esencia sobre un modelo del espacio geográfico que se materializa en un agregado de unidades de información lógico-formales que pueden almacenarse y tratarse en una computadora. La interpretación de la información utilizada en un proyecto de SIG es compleja, implica solidez sobre los conceptos teóricos introducidos al sistema. (Reséndiz López, 2007). En la figura 2.5 se muestra los principales componentes de un SIG. (Reséndiz López, 2007)

2.3.2. COMPONENTES DE UN SIG

Los componentes de un sistema de información geográfico está compuesto por cinco elementos los cuales cumplen con ciertas funciones de tal manera que exista una interacción entre ellos.

A continuación se describen cada uno de los componentes:

1. Hardware

Está conformado por: a) los equipos de cómputo donde se desarrollan las distintas tareas de administración y operación del sistema; b) los servidores donde se almacenan los datos y se ejecutan ciertos procesos; c) los periféricos de entrada tales como scanner, teclados, mouse, dispositivos de lectura de archivos, etc.; d) los periféricos de salida como los monitores, impresoras, plotters, etc.; e) todos los componentes de la red informática. (Baeza Martínez, 2015)

Este elemento es útil para efectuar el procesamiento de las operaciones que, con base a algoritmos, solucionan las relaciones entre geometrías ya que permite la entrada y salida de la información geográfica en diversos medios y formas.

Es importante señalar que los elementos de Hardware deben cumplir ciertos requisitos mínimos en cuanto capacidad de procesamiento, ya que sin un buen Hardware las tareas de análisis y correcto funcionamiento de todo el sistema no se realizarán de la forma más óptima o incluso no podría funcionar.

2. Software

Proporciona las funciones y herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica para lo cual se necesitan de elementos como:

- Herramientas y funciones para la entrada y manipulación de los datos geográficos
- Sistema de administración de la base de datos
- Herramientas y funciones para la consulta, análisis espacial y visualización de los objetos geográficos
- Interfaz gráfica de usuario que facilite el acceso a las herramientas y funciones mencionadas anteriormente

Actualmente existe una variedad de Software SIG, tanto como software comercial como software libre.

3. Datos

Este es el componente e insumo principal para lograr productos de información. Una vez definido el objeto del mundo real, se deben identificar las propiedades que lo forman y sus atributos, los elementos descriptivos y su geometría como elemento espacial.

Los datos quedan almacenados físicamente dentro de una base de datos, la cual queda conformada por elementos gráficos que definen la geometría de los objetos geográficos y atributos que son las características de dichos elementos.

La base de datos se visualiza como capas de datos con distintas temáticas y temporalidad del territorio bajo análisis.

Este componente de gran relevancia, por lo que el manejo de bases de datos para su posterior incorporación al SIG será de gran importancia por lo que requiere un correcto y buen manejo de bases de datos, que al igual que el uso del software, éstos dos componentes tienen curvas de aprendizaje lentas.

Figura 2.5 Componentes de un SIG

4. Capital humano

Son todas aquellas personas que se encargan de administrar el sistema y de desarrollar un proyecto. Entre las personas que se involucran se encuentran los técnicos analistas, desarrolladores, administradores, programadores y los mismos usuarios.

Es importante señalar que el capital humano que manejará los distintos componentes (software, datos, métodos y procesos) tenga, dependiendo de las aplicaciones un perfil adecuado.

Para alcanzar las metas y tener buenos resultados es importante implicar una

interdependencia de los integrantes del grupo de trabajo (capital humano) que comparten una misión de trabajo, realizar un trabajo interdisciplinario solidario y en equipo. (Baeza Martínez, 2015)



Fuente: (Reséndiz López, 2007)

5. Métodos y procesos

Definen las tareas que realizará el sistema utilizando los datos y recursos tecnológicos, que están relacionadas con el diseño, creación y funcionamiento de los SIG, por lo que se requiere de un cuerpo metodológico específico.

Los procesos tienen la finalidad implementar aplicaciones que sustenten la toma de decisiones tales como la forma de introducir la información en formato digital, la forma del

almacenamiento así como las formas de la salida de la información por lo que es muy importante definir los metadatos, el diccionario de datos, diagramas de flujo, etcétera.

2.3.3. ESTRUCTURA DE LOS DATOS UTILIZADOS EN LOS SIG

Para interpretar los fenómenos espaciales, debe comprenderse la naturaleza de los datos geográficos, en los que se distinguen tres componentes (Reséndiz, H., 2007):

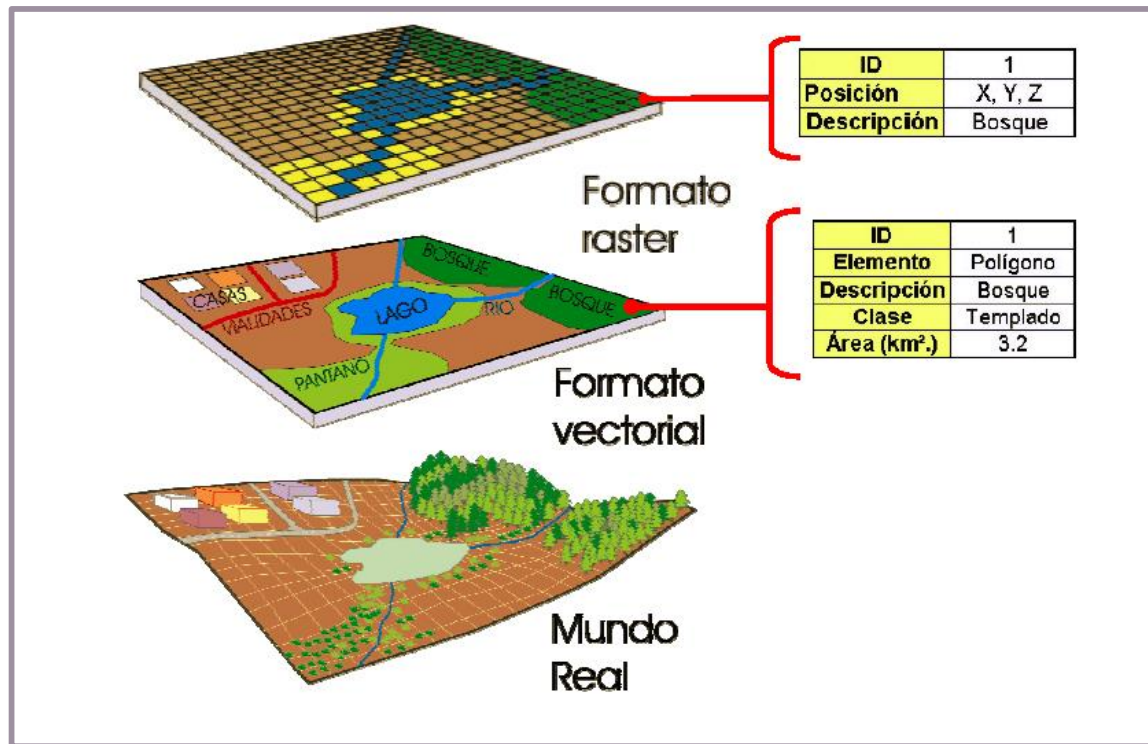
1. Espacial, describe la posición de los objetos geográficos respecto a un sistema de coordenadas conocido y las relaciones locales entre los objetos (relaciones topológicas).
2. Temático, hace referencia al tipo de atributos que definen un objeto geográfico (tipo de material, población, vegetación, elevación, etc.).
3. Temporal, confina la variabilidad del fenómeno en el tiempo, asignando un determinado espacio posicional y temático para un objeto en un determinado instante.

Una vez conocida la naturaleza de los datos espaciales, es necesario elegir una estructura para codificarlos. Para este fin, existen diversos tipos y formatos que pueden utilizarse en un SIG y cada uno representa diversos fines, los principales son:

- Formato vectorial: Conformado por objetos arco-nodo que representan cada objeto geográfico en forma independiente y están definidos por pares de coordenadas, por ejemplo: datos levantados mediante sistemas de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés) y los datos digitalizados.
- Formato raster: Son matrices de datos conformados por pixeles de tamaño regular y centra su interés más en las propiedades del espacio que en la representación precisa de los elementos que lo conforman, por ejemplo: imágenes satelitales y modelos digitales de elevación.

La información espacial es desplegada en el SIG mediante un formato de capas, (o layers en inglés); cada objeto que se encuentra en estas capas tiene relación con una base de datos que en ambas estructuras de datos será necesario que queden reflejadas las relaciones espaciales de los elementos entre sí, lo cual se conoce en el área de las matemáticas como topología. Aplicando esta definición en los SIG, sería la relación que cada objeto geográfico tiene con los de su entorno, como podría ser contigüidad, conectividad, inclusión, etc (Amparo, 2004). En la figura 2.6 se muestra estos dos tipos de estructuras.

Figura 2.6 Representación del mundo real mediante un modelo de datos vectorial y raster en un SIG



Fuente: Elaboración de (Reséndiz López, 2007)

2.3.4. APLICACIONES DE LOS SIG

Las áreas de aplicación son muy diversas, el valor agregado que proporciona un proyecto SIG puede obtenerse siempre que se trata de un planteamiento con información espacial, de esta manera se puede enfocar en los siguientes sectores:

- Abastecimiento de agua.
- Abastecimiento de energía.
- Biodiversidad.
- Catastro.
- Censo y límites municipales-administrativas.
- Codificación de direcciones.
- Defensa-Inteligencia.
- Gobierno local.
- Geología.
- Hidráulica.
- Instalaciones reguladas ambientalmente.
- Localización de sitios.
- Mapas base.
- Marina.
- Petróleo.
- Preservación histórica y arqueología.
- Salud.
- Seguridad pública.
- Silvicultura.
- Telecomunicaciones.
- Tuberías.
- **Transporte**

2.3.5. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL TRANSPORTE

Los SIG para el transporte están especializados en aplicar los principios teóricos y tecnologías de información geográfica a problemas de transporte. La investigación de los SIG de Transporte está orientados en dos direcciones (Shaw, 2002):

1. Desarrollo y mejora de los SIG con el fin de satisfacer las necesidades de otras aplicaciones de transporte.
2. Uso de los SIG para facilitar y mejorar los estudios de transporte.

Los SIG de Transporte sirven para la planeación, el ordenamiento, la administración, el análisis y modelación de sistemas de transporte. En la tabla 2.3 se muestran algunas de las aplicaciones de los SIG en temas de transporte (Reséndiz López, 2007):

Cuadro 2.2 Aplicaciones de los SIG en temas de transporte.

ÁREA	APLICACIÓN
Logística interna	Optimización del uso de almacenes; modelación de la logística.
Ventas y Marketing	Herramienta para análisis de mercados; simulación de la dispersión de productos nuevos; marketing y anuncios dirigidos.
Servicios	Planeación de rutas; mantenimiento de redes de distribución, envíos, pronósticos de mantenimiento, mapeo de señalización, alumbrado público y condiciones de infraestructura.
Operaciones	Mejora del contenido espacial de un proceso o producto.
Logística externa	Planeación de rutas, manejo de flotas, asistencia en entregas
Salud pública	<u>Localización de patrones de accidentes de tránsito</u> para la generación de políticas de seguridad.
Análisis de Riesgos	Identificación de riesgos a infraestructura y Servicios de transporte, diseño de rutas de emergencia.
Análisis de Riesgos	<u>Identificación de riesgos e infraestructura y servicios de transporte,</u> diseño de rutas de emergencia.

Fuente: Elaborado con base en (Reséndiz López, 2007)

En el capítulo tres de esta investigación se desarrollarán las aplicaciones resaltadas en el cuadro 2.2.

Existen SIG de Transporte comerciales con aplicaciones muy variadas, para ejemplificar sus aplicaciones se puede mencionar: Delimitación de áreas de servicios basados en criterios de accesibilidad o analizando tiempos de recorrido para evaluar la idónea localización de determinado elemento. (Figura 2.7)

Figura 2.7 Delimitación de áreas de servicio generado con un software comercial. (Ejemplo de caso de aplicación de SIG en transporte)



Fuente: (TansCAD, 2015)

Otro caso de aplicación puede ser la modelación de asignación de tráfico estimando el volumen de tráfico en la red y los puntos de congestión, como se muestra en la figura 2.8.

Figura 2.8 Asignación de tráfico generado con software comercial (Ejemplo de caso de aplicación de SIG en transporte)



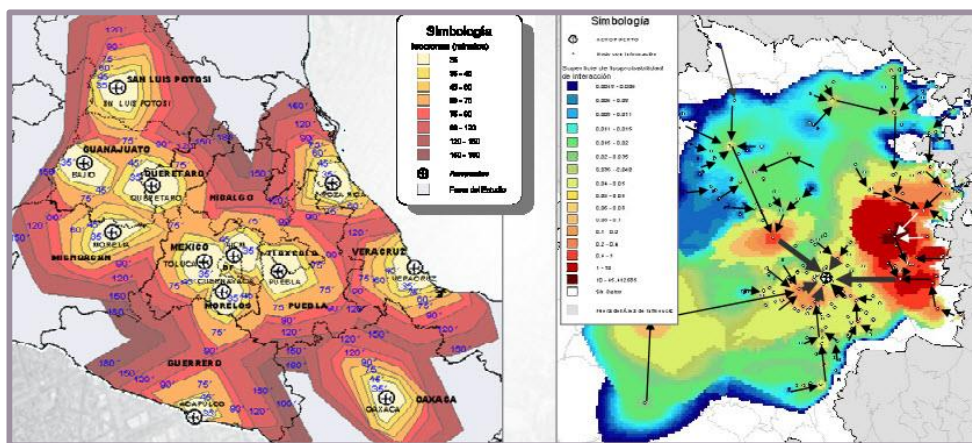
Fuente: (TansCAD, 2015)

2.3.6. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y LA SEGURIDAD VIAL

Como se vio en apartados anteriores, los SIG pueden contribuir a solucionar grandes problemas de transporte y uno de ellos son los accidentes de tránsito. Mediante la integración de datos, tanto estadísticos como espaciales generados por distintas instancias del gobierno, sobre todo de la policía federal y de tránsito (quién son los que tienen el primer contacto en un accidente de tránsito) y los de las secretarías de salud; así como información generada por equipos especializados se pueden generar soluciones para una buena gestión de la seguridad vial (y posterior generación de políticas públicas) y de esta manera poder reducir los accidentes de tránsito.

Existen diversas aplicaciones de los SIG enfocadas a la seguridad vial, para ejemplificar se pueden mencionar el siguiente caso realizado por el equipo GITS⁴ – IG⁵: “Delimitación de Áreas de Servicio (AS) y localización de los centros de recolección de pasajeros para los aeropuertos de la ciudad de México, Toluca, Puebla, Querétaro y Cuernavaca” (Geotecnología en Infraestructura, Transporte y Sustentabilidad (GITS), 2015). (Figura 2.9)

Figura 2.9 Delimitación de áreas de servicio generado con un software comercial (ejemplo de caso de aplicación de SIG en SV⁶).



Fuente: (TansCAD, 2015)

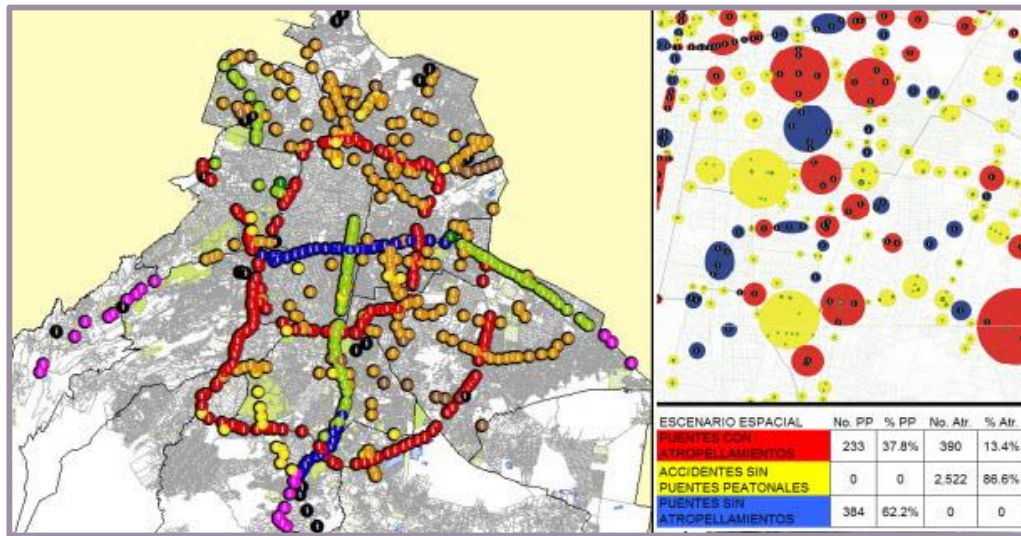
Otro caso de aplicación es en el área de transporte urbano hechos por el equipo GITS –IG de la UNAM, es la gestión de puentes peatonales y atropellamientos en la ciudad de México (Geotecnología en Infraestructura, Transporte y Sustentabilidad (GITS), 2015); en la figura 2.10 se muestra la relación entre puentes peatonales y atropellamientos.

⁴ GITS: Geotecnología en Infraestructura, Transporte y Sustentabilidad

⁵ IG: Instituto de geografía de la UNAM

⁶ SV: Seguridad Vial

Figura 2.10 Mapa de puentes peatonales y atropellamientos en la Ciudad de México (ejemplo de caso de aplicación de SIG en SV⁷).



Fuente: (Geotecnología en Infraestructura, Transporte y Sustentabilidad (GITS), 2015)

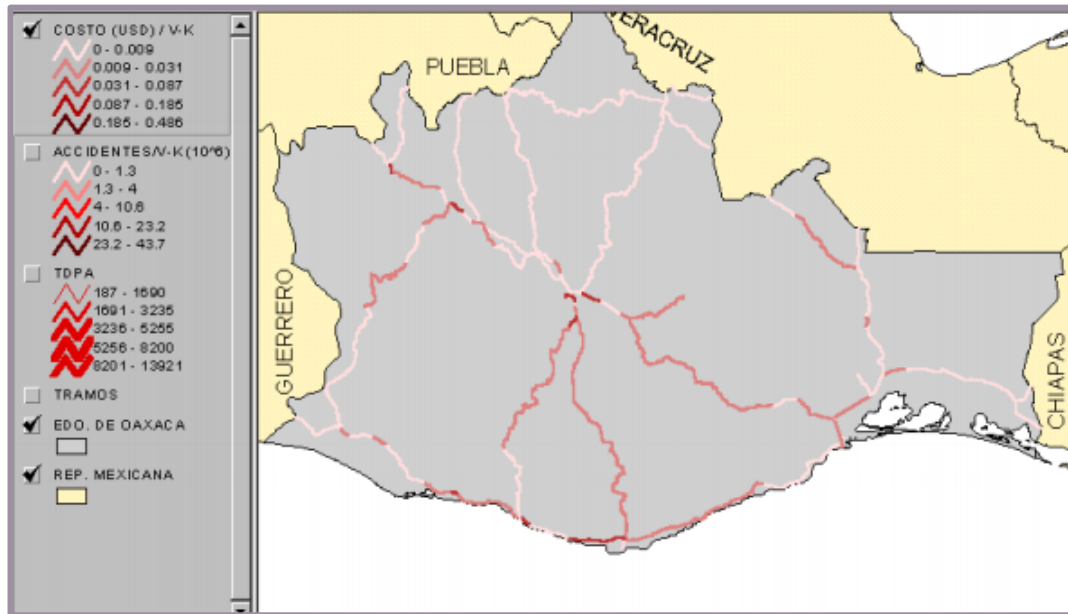
En el área del transporte carretero, la SCT⁸ a través del IMT⁹, generó una clasificación de tramos según los costos de los accidentes de tránsito por vehículos - Km, como se muestra en la figura 2.11

⁷ SV: Seguridad Vial

⁸ SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

⁹ IMT: Instituto Mexicano del Transporte

Figura 2.11 Clasificación de los tramos según rangos de costo de los accidentes. (Ejemplo de caso de aplicación de SIG en SV¹⁰).



Fuente: (Instituto Mexicano del Transporte, 2001)

¹⁰ SV: Seguridad Vial

CAPÍTULO III

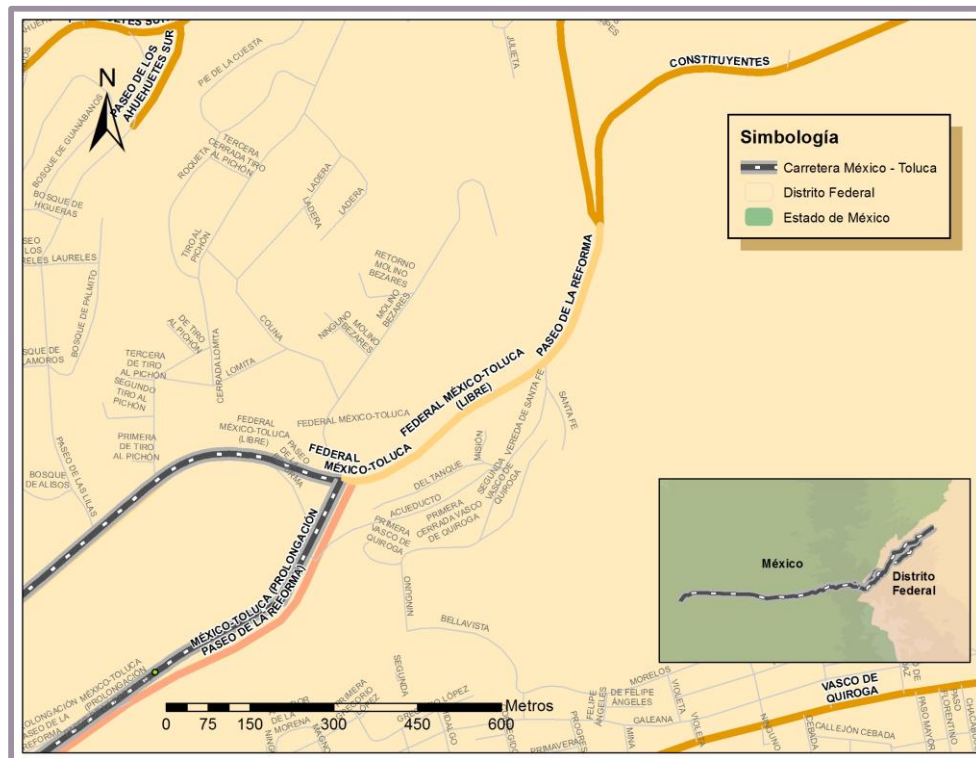
CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y OPERATIVA DEL TRAMO CARRETERO MÉXICO – TOLUCA

Una vez visto el marco teórico de los accidentes de tránsito y las herramientas para su análisis, en este capítulo se desarrollará un análisis espacial de los accidentes de tránsito. Se comenzará por una caracterización geográfica, una caracterización vial y operativa para después relacionar estas características con la distribución espacial de accidentes, por último se obtendrán índices de accidentalidad con el fin de encontrar los lugares más peligrosos de sobre este tramo carretero para su posterior inspección de estos puntos el capítulo cuatro.

3.1. UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

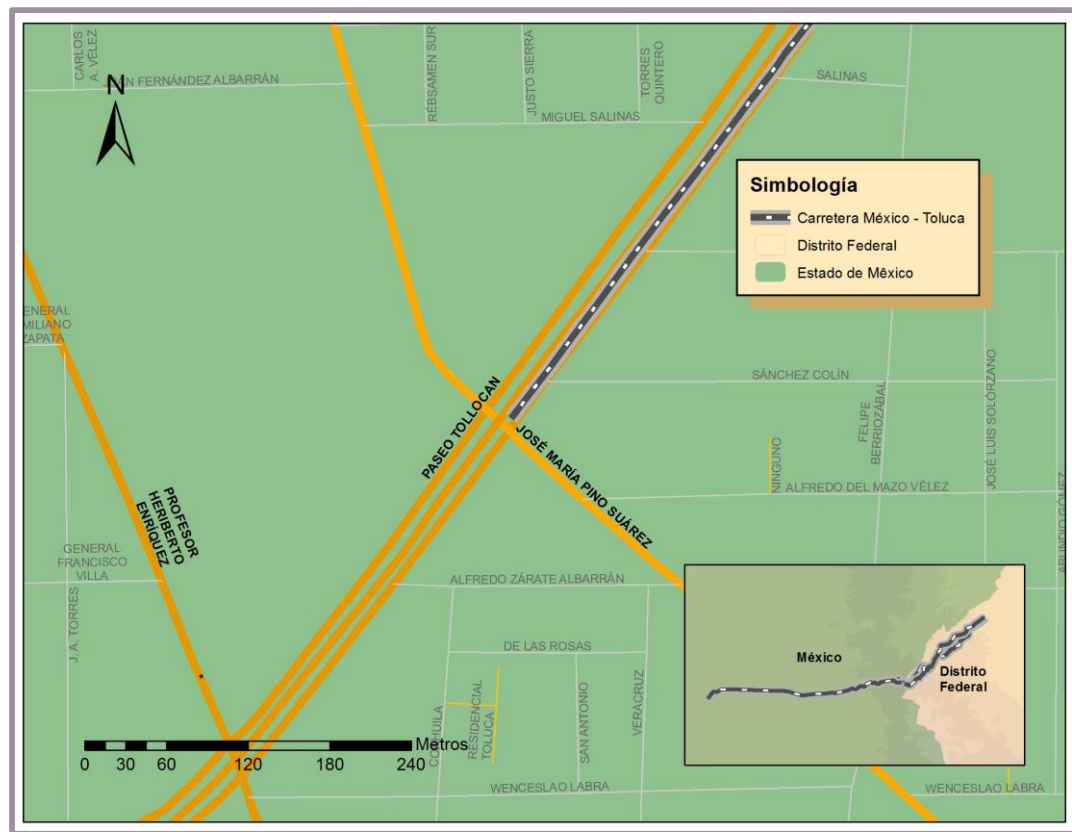
El estudio del tramo carretero México – Toluca comienza en la ciudad de México, en la delegación Álvaro Obregón, en el entronque de Av. Constituyentes y Pase de la Reforma; termina en el estado de México, en el municipio de Toluca, en el entronque del Boulevard José María Pino Suárez y Av. Paseo Tolloca. Se estudiará tanto los tramos de carretera libre como de autopista de cuota, la longitud total tanto de carretera libre como de cuota es de aproximadamente 82.7 Km. En las figuras 3.1 y 3.2 se muestran las ubicaciones de los extremos de la carretera.

Figura 3.1 Ubicación del extremo uno del tramo de estudio.



Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del INEGI 2010.

Figura 3.2 Ubicación del extremo dos del tramo de estudio en el municipio de Toluca



Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del INEGI 2010.

3.2. FACTORES FÍSICO –GEOGRÁFICOS

Los factores medio ambientales que pueden incidir en la ocurrencia de accidentes de tránsito, principalmente se desarrollarán las condiciones del terreno como la topografía y la hipsometría; así como características climáticas de precipitación media anual y las temperaturas máximas y mínimas extremas. (Villena Sánchez, Análisis espacial de los accidentes de tránsito del corredor México-tijuana en 2008. Tesis que para obtener el título de: Licenciada en geografía., 2014)

La topografía ofrece una serie de elementos que son de interés en el estudio de los accidentes de tránsito ya que las características e incluso complicaciones del terreno son generalmente consideradas como un factor de riesgo vial. Las variaciones topográficas expresan los retos a los que se enfrenta la operación y funcionalidad del sistema de transporte terrestre por carretera, además de que constituye el relieve en el que vehículos tienen que circular. En el caso de tramo carretero México - Toluca en estudio cruza por elevaciones desde los 2,200 m.s.n.m en la ciudad de México hasta los 3,500 m.s.n.m

3.2.1. HIPSOMETRÍA

La hipsometría sirve para representar las elevaciones del terreno a partir de isolíneas llamadas curvas de nivel que unen puntos con las mismas altitudes. En la figura 3.3; las zonas más elevadas por las que cruza la carretera están a la altura de la Marquesa y las más bajas en la ciudad de México, en Lomas de Santa Fe.

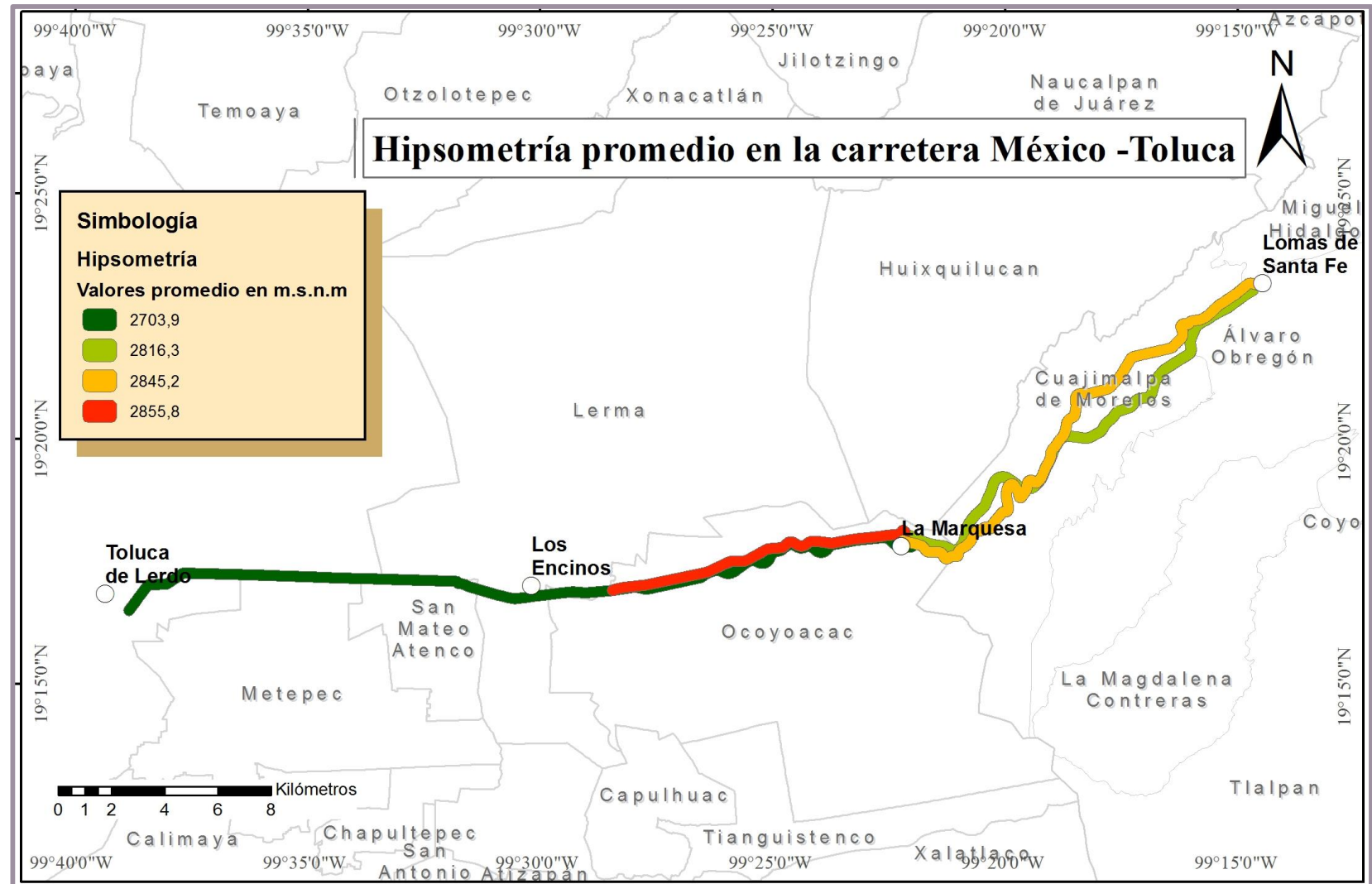
Con el fin de caracterizar por zonas la carretera se dividió en subamos, los cuales se resumen en el cuadro 3.1.

Figura 3.3 Mapa de la hipsometría alrededor de la carretera



Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del INEGI 2010.

Figura 3.4 Mapa de la hipsometría promedio en la carretera



Los nombres de los subtramos son los siguientes:

1. Constituyentes - La Marquesa (cuota)
2. Constituyentes - La Marquesa (libre)
3. La marquesa - Los encinos (libre)
4. Toluca – La Marquesa (libre)

Cuadro 3.1 Longitud y tipo de carretera de los subtramos

<i>Subtramo</i>	<i>Longitud en Km</i>	<i>ruta DGST</i>	<i>TIPO DGST</i>
1	19.1	MEX-015D	Red Federal de Cuota
2	20.3	MEX-015	Red Federal Libre
3	12.0	MEX-015	Red Federal Libre
4	31.3	MEX-015	Red Federal Libre

Cuadro 3.2 Valores hipsométricos de los subtramos carreteros

<i>Subtramo</i>	<i>H. Mínima (m.s.n.m)</i>	<i>H. Máxima (m.s.n.m.)</i>	<i>Rango</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación estándar</i>
1	2,423	3,222	799	2,816	224
2	2,438	3,218	780	2,845	216
3	2,616	3,089	473	2,855	139
4	2.561	3,089	528	2,703	156

De manera general se puede concluir que el Subtramo con mayor elevación lo presenta el que va de La Marquesa a Los Encinos y el más bajo lo presenta el tramo cuatro que va de la marquesa a Toluca.

3.2.2. GRADOS DE PENDIENTE

Las pendientes representan un atributo esencial del terreno, dado que indican el grado de inclinación del mismo en función a un ángulo formado respecto al plano horizontal; se expresan generalmente en valores porcentuales y proporcionan datos sobre el desnivel del suelo. Las más pronunciadas se asocian a la presencia de relieve montañoso, mientras que las de menor inclinación se observan en llanuras costeras y las pendientes medias están generalmente donde se encuentran mesetas y lomeríos. (Villena Sánchez , Análisis espacial de los accidentes de tránsito del corredor México-tijuana en 2008. Tesis para obtener el título de licenciada en geografía. , 2014)

Para el sector carretero es indispensable conocer las condiciones de pendiente del terreno sobre el cual se planea construir una carretera, sin embargo, es necesario aclarar que las pendientes presentadas no corresponden propiamente a la inclinación de la infraestructura carretera, sino a la inclinación del terreno sobre el cual después se construyó el corredor, esto es un dato útil porque revela el tipo de relieve que rodea al tramo carretero México – Toluca.

En la figura 3.5 se muestran los grados de pendiente promedio elaborado en el SIG, para cada Subtramo carretero, este análisis sirve como referencia para caracterizar los subtramos, sin embargo se realizará un análisis puntual más detallado el capítulo cuatro donde se analizarán estas características físico geográficas por Km puntal.

Se observa en la figura 3.5 que los grados de pendiente en grados decimales de la carretera México Toluca van de los 3 a los 11 grados decimales.

Figura 3.5 Pendientes promedio de en la carretera.



Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del INEGI 2010.

Si comparamos los valores de hipsometría con los de pendiente, a pesar que del tramo de la marquesa a Los Encinos resultó con los máximos niveles de elevación, es una zona con pendientes relativamente bajas, considerándose este Subtramo como meseta; por otro lado el tramo de Lomas de Santa Fe a La Marquesa resulta ser una zona montañosa (pendientes entre 5 y 11 grados). En el cuadro 3.3 se muestra los valores de la pendiente de los subtramos.

Cuadro 3.3 Valores de las pendientes sobre los subtramos

<i>Tramo</i>	<i>MIN (grados decimales)</i>	<i>MAX (grados decimales)</i>	<i>RANGE</i>	<i>Promedio</i>	<i>STDEV¹¹</i>
1. Lomas de Santa Fe - La Marquesa	0	42.19598	42,19598	11.53668	7.721087
2. Lomas de Santa Fe - La Marquesa	0	32.3656	32.3656	8.820885	6.022564
3. La marquesa - Los encinos	0	43.26422	43.26422	5.746155	6.413696
4. La marquesa – Toluca	0	43.26422	43.26422	3.129171	5.135365

Fuente: Elaboración propia con base en datos topográficos. INEGI.

3.2.3. CLIMATOLOGÍA

Dentro de los aspectos medioambientales que se consideran como factores de riesgo vial están los climáticos, ya que directamente perjudican la capacidad de los conductores al manejar y para mantener una distancia aceptable con respecto a los demás vehículos. En particular la lluvia y las temperaturas extremas tienen un efecto directo entre la vía de circulación y en el conductor.

¹¹ Desviación estándar de los valores de pendiente en el SIG.

3.2.4. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

Permite conocer la cantidad de precipitación que cae en promedio en un año expresada en milímetros de lluvia, se trata de una variable que es relacionable con los accidentes de tránsito debido a que muestra de manera general las condiciones que pueden esperarse al transitar por cierta vía.

Para la caracterización de la precipitación media anual del tramo en estudio se utilizaron datos de CONABIO¹² a escala 1:4000000 de los que resulta que a la altura de la Marquesa existe una precipitación media anual entre 1200 mm – 1500 mm, es la zona más húmeda de toda la carretera, comienza aproximadamente en el kilómetro 30+000 y termina en el kilómetro 40+000. En la figura 3.6 se muestra la precipitación media anual sobre el tramo bajo estudio.

¹² Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, recuperado 7/06/15 (http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/prec4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no)

Figura 3.6 Precipitación media anual.



Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del INEGI 2010.

3.2.5. CLIMA

El clima se refiere al conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie de la tierra. El clima de una región está controlado por una serie de elementos como: temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones, principalmente. Estos valores se obtienen a partir de la recopilación en forma sistemática y homogénea de la información meteorológica, durante períodos que se consideran suficientemente representativos, de 30 años o más. Factores como la latitud, longitud, continentalidad, relieve, dirección de los vientos, también determinan el clima de una región. (INEGI, 2010), esto es útil para la seguridad vial ya que revela los panoramas al que se enfrenta el conductor que transita por el tramo carretero en estudio.

La carretera México – Toluca cruza por dos zonas térmicas, a la altura de la Marquesa (ver figura 3.7) desde el municipio de Cuajimalpa hasta Ocoyoacac, se le considera según CONABIO como zona térmica semifría con temperaturas media anual que van de 5° a 12°C y las zonas extremas de la carretera presentan temperaturas templadas que van de 12° a 18°C.

Figura 3.7 Temperatura media anual sobre el tramo carretero



Fuente: Elaboración propia con base en Catálogo de metadatos geográficos, CONABIO, 2008.

3.3. CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL TRAMO CARRETERO

3.3.1. TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL (TDPA)

El aforo vehicular o tránsito diario promedio anual (TDPA) es el aspecto operativo que permite el conocimiento del volumen de vehículos que circulan en la red carretera diario en promedio durante un año. El TDPA ayuda a determinar el grado de ocupación en que opera determinado segmento de la red; su análisis es fundamental para definir las tendencias de su crecimiento y para planear oportunamente las acciones que se necesitan para evitar que alguno de sus tramos deje de prestar el nivel de servicio que demanda el tránsito usuario (DGST, 2012). Además, la intensidad del tráfico y la variedad de vehículos que transitan por las carreteras indican el nivel de interacción socioeconómica que existe entre localidades, lo cual también puede ser un factor de riesgo en la accidentalidad vial.

Para conocer la magnitud y variación estacional de los volúmenes de tránsito, se efectúan conteos del tránsito durante todo un año en la red de estaciones permanentes. Actualmente, existen 5,192 estaciones de aforo que contabilizan y clasifican a los vehículos diariamente, y se encuentran distribuidas en toda la red carretera nacional pavimentada. La carretera bajo estudio tiene 8 estaciones y distintos niveles de aforo (Figura 3.8). Las estaciones donde se encuentran los máximos registros (más de 30,000 vehículos) están en Cuajimalpa, cuyo volumen de tránsito se puede deber a que es la salida de la ciudad de México hacia el estado de México, y el segundo TDPA más alto registrado a la altura de los encinos se puede deber a que está muy cerca de un enlace vial donde se une la autopista de cuota con la carretera libre.

Otro dato vial importante que se puede obtener a partir del TDPA es el de clasificación vehicular, el cual se refiere a los tipos de vehículos que integran el tránsito; ésta se presenta de acuerdo con la simbología determinada por la DGST (Cuadro 3.4)

Cuadro 3.4 Clasificación vehicular según la DGST de la SCT

<i>Tipo de vehículo</i>	<i>Descripción</i>
A	Automóviles
B	Autobuses
C2	Camiones Unitarios de 2 ejes
C3	Camiones Unitarios de 3 ejes
T3S2	Tractor de 3 ejes con semirremolque de 2 ejes
T3S3	Tractor de 3 ejes con semirremolque de 3 ejes
T3S2R4	Tractor de 3 ejes con semirremolque de 2 ejes y remolque de 4
Otros	Considera otro tipo de combinaciones de camiones de carga

Fuente: elaborado con base en DGST, 2009.

En la carretera México – Toluca, el aforo por tipo de vehículo más de tres cuartas partes corresponde a automóviles, ocupando proporciones similares los Autobuses, Camiones Unitarios de 2 ejes y Tractor de 3 ejes con semirremolque de 2 ejes

Figura 3.8 Composición vehicular de la carretera.

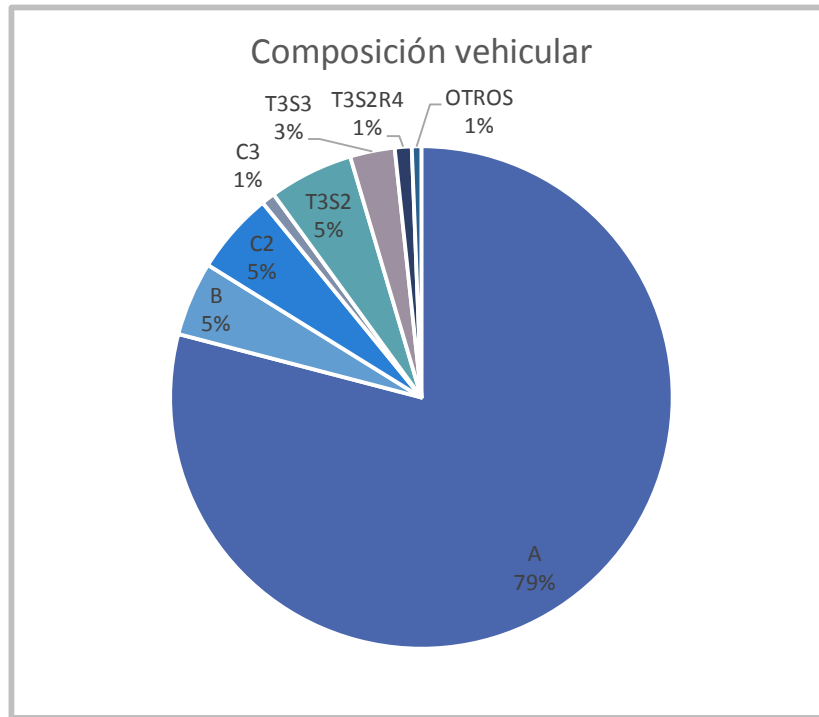
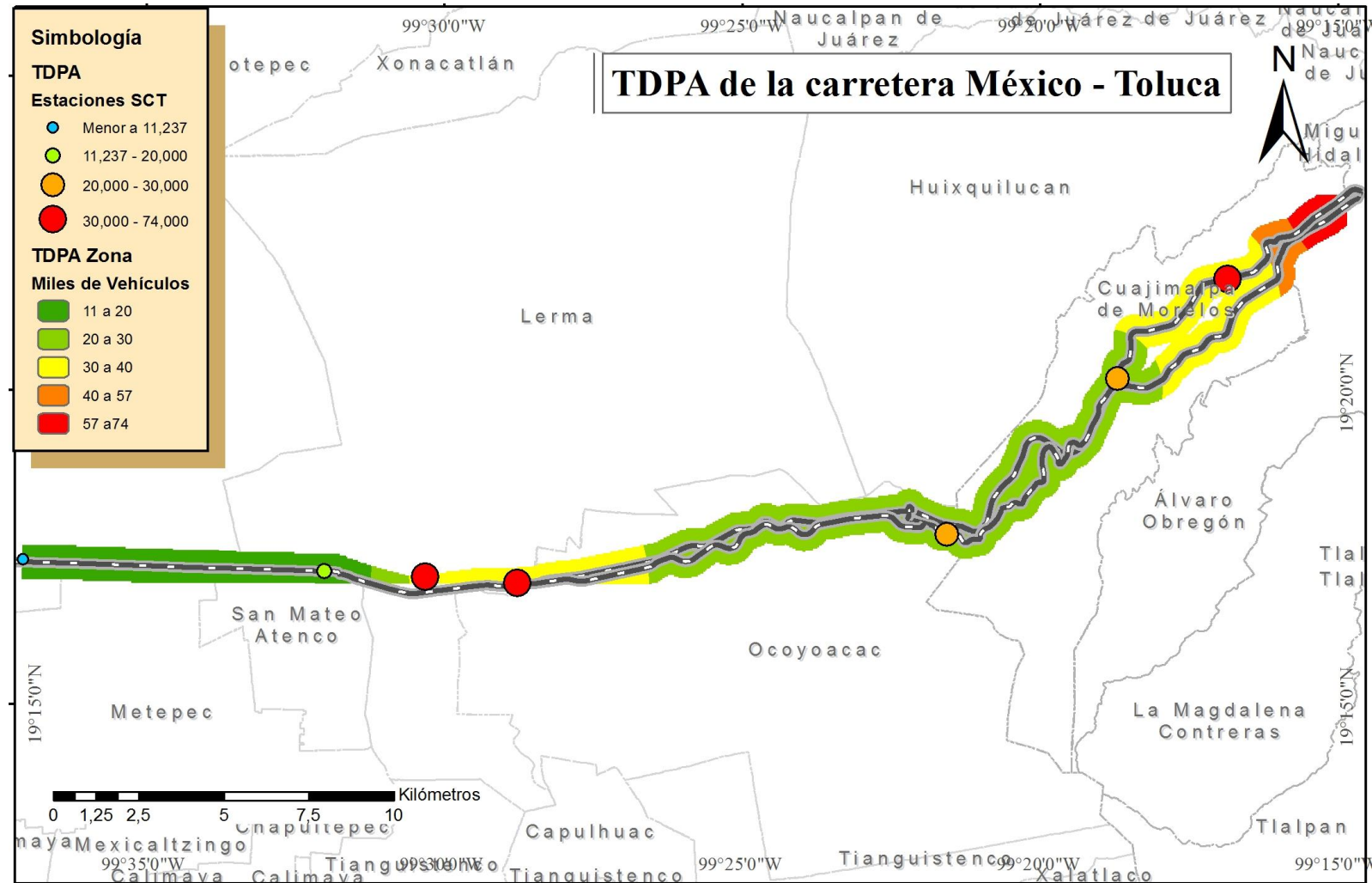


Figura 3.9 Tránsito diario promedio anual en las estaciones de la carretera México – Toluca



Fuente: Elaboración propia con base los Datos viales DGST de la SCT para el 2008.

3.3.2. ELEMENTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA

La infraestructura en general, se define como el conjunto de medios o instalaciones que se consideran básicos para el desarrollo de una actividad cualquiera; la infraestructura carretera en particular constituye la vía y todos sus soportes que conforman la estructura de las carreteras y los caminos. La infraestructura vial reviste una enorme importancia para el desarrollo económico, las vías terrestres interconectan puntos de producción y consumo, además el estado de las mismas determina en un alto porcentaje el nivel de costos de transporte, los cuales a su vez influyen sobre los flujos del comercio nacional e internacional de un país. Por esta razón, la construcción y el mantenimiento de las carreteras son temas que requieren de especial atención por parte de los gobiernos. (Pérez, 1999)

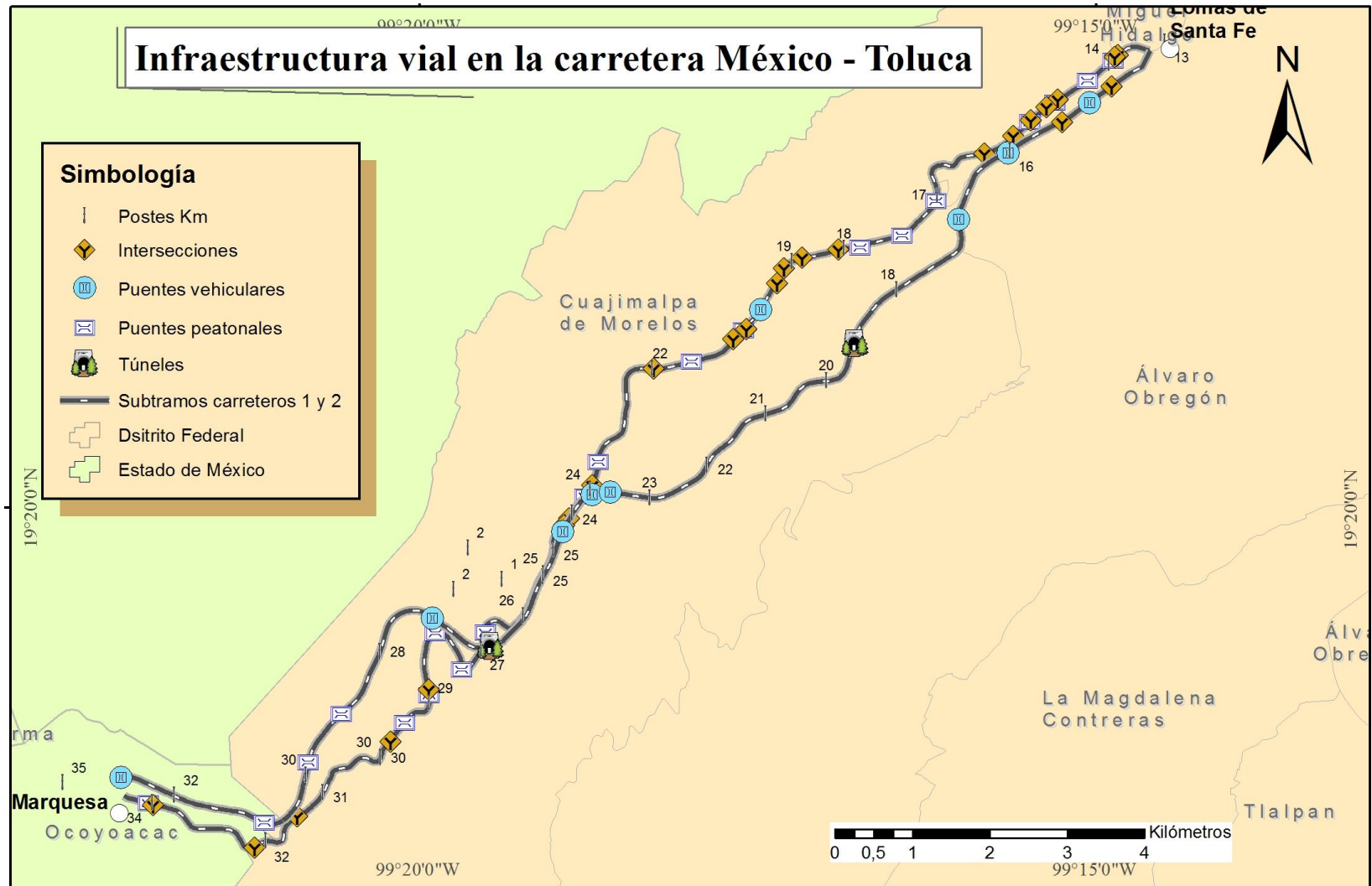
INFRAESTRUCTURA DE LA CARRETERA MÉXICO – TOLUCA

Los puentes peatonales, intersecciones viales y puentes vehiculares representan un atributo esencial de infraestructura, estos elementos son importantes para la seguridad vial ya que revelan de manera general las condiciones operativas a las que se va ver expuesto el conductor; con este atributo se pretende asociar la ocurrencia de accidentes de tránsito con la presencia de estos elementos.

A lo largo de la carretera México – Toluca se presentan 2 casetas de cuota, 66 intersecciones, 24 puentes vehiculares y 23 puentes peatonales.

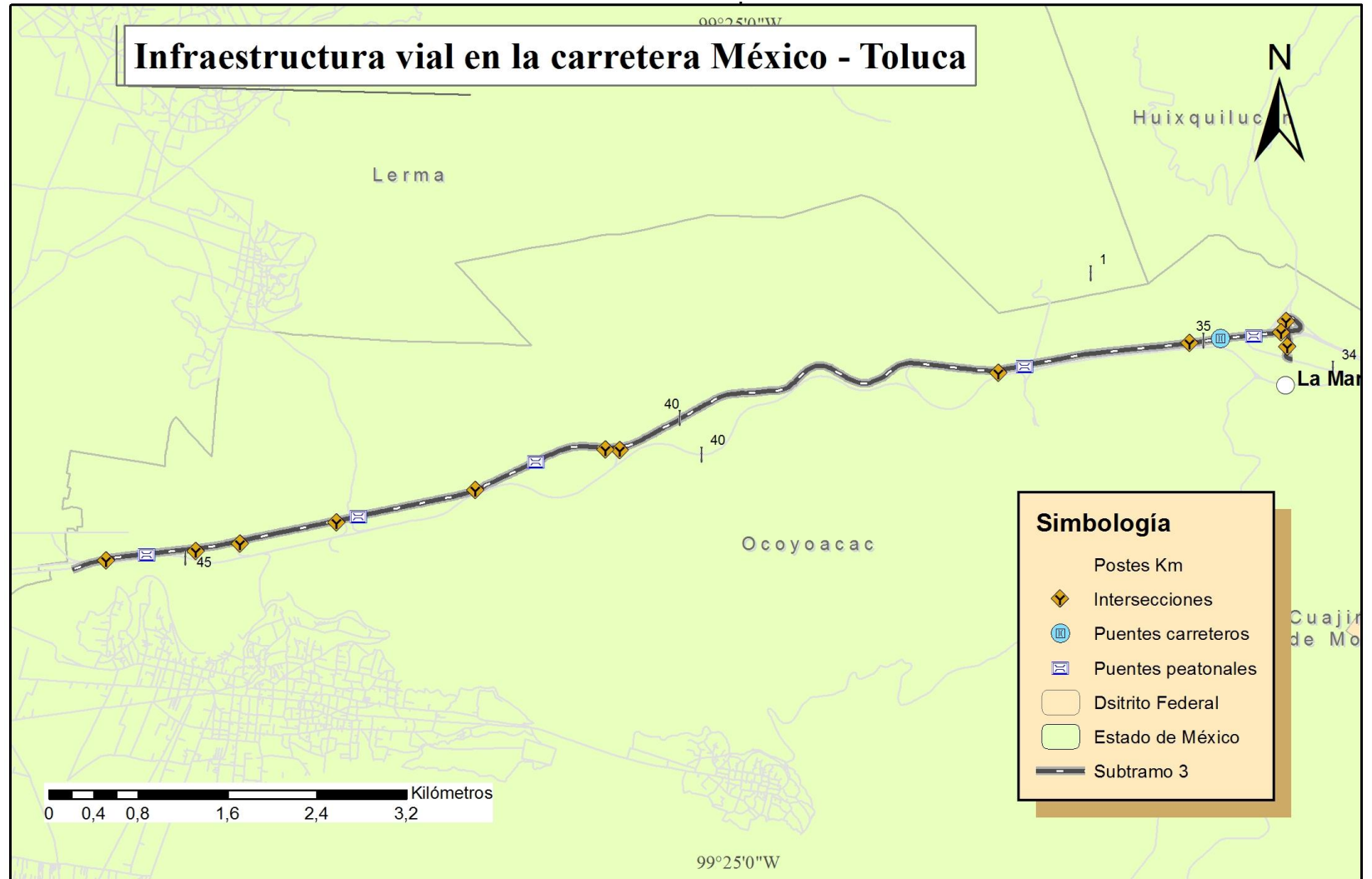
En la figura 3.10, 3.11 y 3.12 se muestran los elementos de infraestructura vial existentes en los subtramos carreteros.

Figura 3.10 Infraestructura vial en los subtramos carreteros 1 y 2.



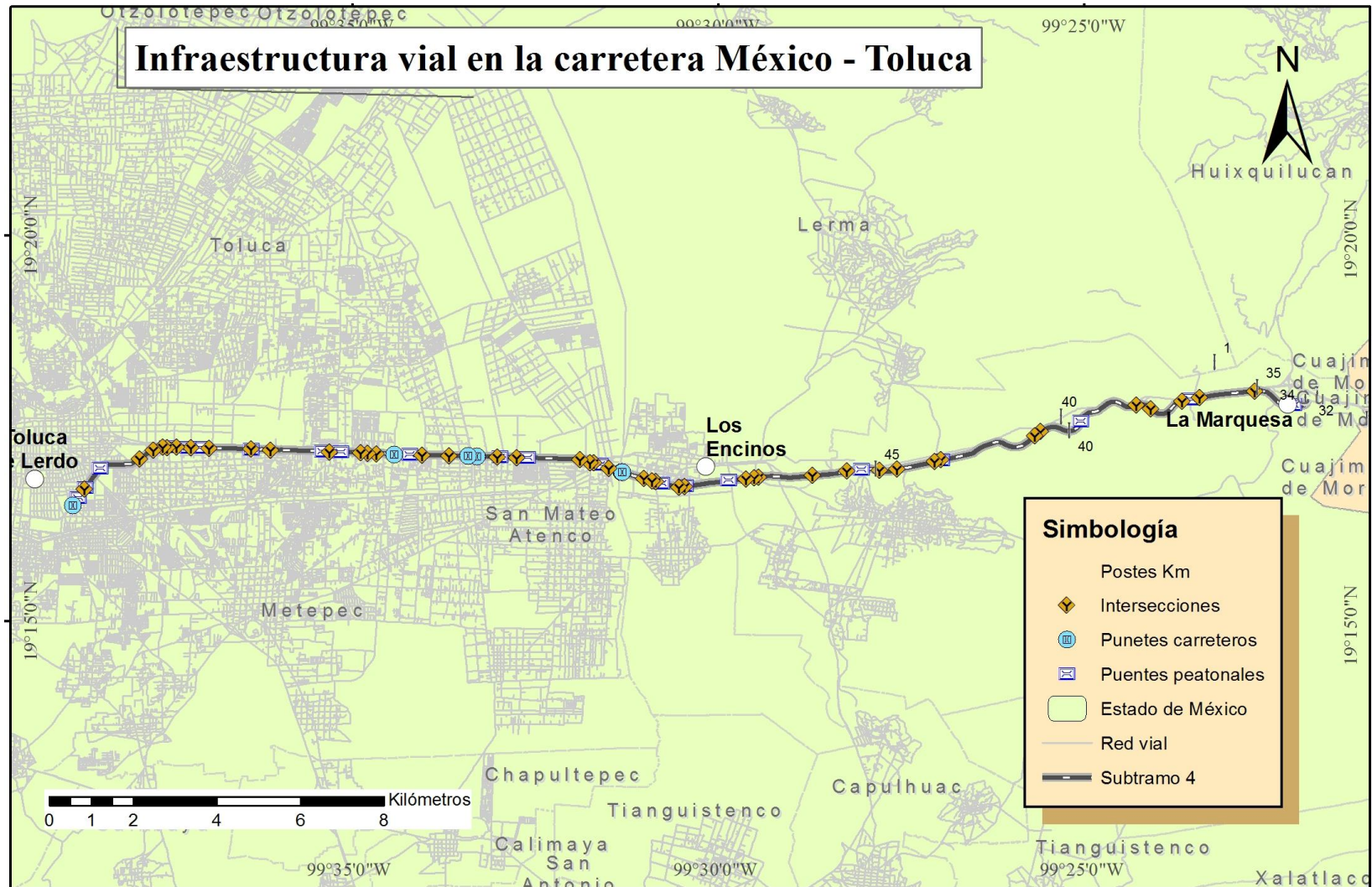
Fuente: Elaboración propia con base en inspecciones vía Google Earth.

Figura 3.11 Infraestructura vial en el subtramo 3.



Fuente: Elaboración propia con base en inspecciones vía Google Earth.

Figura 3.12 Infraestructura vial en el subtramo 4.



Fuente: Elaboración propia con base en inspecciones vía Google Earth.

3.4. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

Los accidentes de tránsito generan consecuencias cuantificables sobre la población que habita en las cercanías de la carretera, por ello es importante conocer quiénes son las principales localidades afectadas y en donde se encuentran. En particular, las ciudades atraen un alto y constante flujo de vehículos que usualmente generan un incremento en el riesgo de la accidentalidad vial.

En el caso de la carretera México – Toluca, existen varias intersecciones, puentes peatonales y cruces peatonales, como se verá a detalle más adelante y esto indudablemente pueden ser causas para distintos tipos de accidentes de tránsito debido al tránsito peatonal sobre estos elementos viales; en el capítulo cuatro se verá si estos factores están relacionados con la incidencia de accidentes en determinados puntos.

3.4.1. LOCALIDADES URBANAS Y RURALES PRÓXIMAS A LA CARRETERA

Se caracterizarán las localidades urbanas y rurales por las que pasa la carretera debido a que se considera que son las que tienen una relación de conectividad directa con éste, además de ser las que lo alimentan de mayores flujos vehiculares. Se busca determinar si son precisamente los tramos que conectan a localidades urbanas los que presentan mayor concentración de accidentes viales.

Respecto a las localidades rurales se seleccionaron aquellas que se encontraban a 500 m ya que se considera esta distancia la más próxima a la carretera, considerada como la distancia promedio de personas que podrían cruzar la carretera a través de los distintos elementos viales como puentes peatonales, o cruces peatonales no permitidos que abrieron la población que vive cerca de la carretera.

Para las localidades urbanas se utilizó la siguiente clasificación:

- Localidad urbana Mixta entre 2,200 y 6,700 habitantes.
- Localidad urbana Pequeña entre 6,700 y 16,000 habitantes.
- Localidad urbana Mediana entre 16, 000 y 480, 000 habitantes.
- Localidad urbana Grande mayor a 480,000 habitantes.

Para las localidades rurales se utilizó la siguiente clasificación:

- Localidad rural Mixta entre 1 y 115 habitantes.
- Localidad rural Pequeña entre 116 y 444 habitantes.
- Localidad rural Mediana entre 445 y 832 habitantes.
- Localidad rural Grande mayor a 833 habitantes

La carretera conecta a 7 localidades urbanas y 22 localidades rurales; las localidades rurales grandes que están a menos de 500 metros de la carretera son Los Chirinos y San Antonio el Llanito y La Marquesa en el municipio de Ocoyoacac, cuya población es mayor a los 1,000 habitantes.

En el cuadro 3.5 y 3.6 se muestran las localidades urbanas y rurales que conecta la carretera México – Toluca

Cuadro 3.5 Localidades urbanas que conecta la carretera México - Toluca

<i>Nombre de la Entidad</i>	<i>Municipio</i>	<i>Nombre de la Localidad</i>	<i>Población total</i>
Distrito Federal	Cuajimalpa De Morelos	Cuajimalpa De Morelos	160,491
Distrito Federal	Cuajimalpa De Morelos	San Lorenzo Acopilco	23,037
Distrito Federal	Álvaro Obregón	Álvaro Obregón	726,664
Distrito Federal	Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	372,889
México	Lerma	Lerma De Villada	22,713
México	San Mateo Atenco	San Mateo Atenco	67,890
México	Toluca	Toluca De Lerdo	489,333

Fuente: Elaboración propia con base en Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE), INEGI 2010.

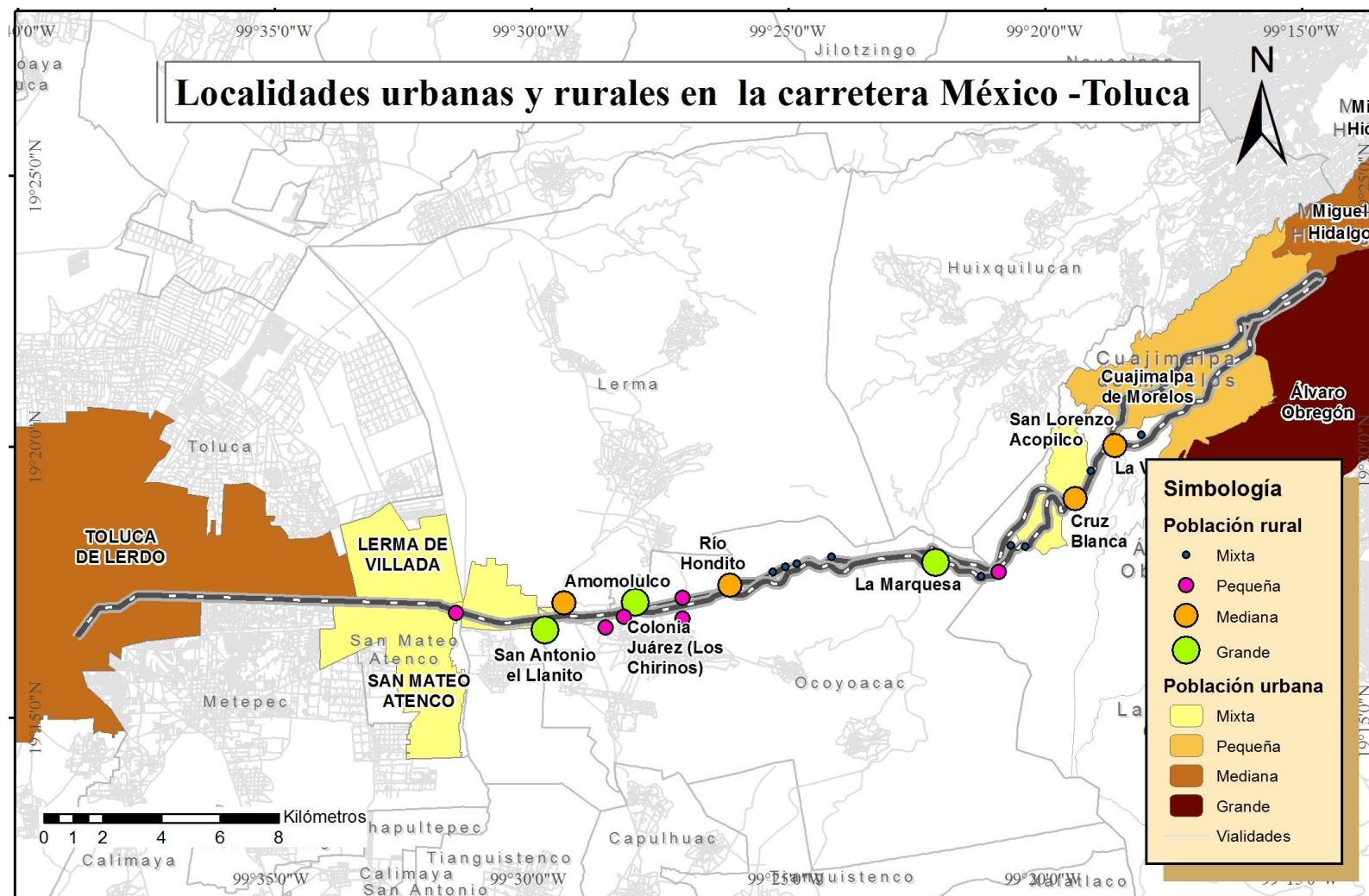
Cuadro 3.6 Localidades rurales que conecta la carretera México - Toluca

<i>Nombre de la Entidad</i>	<i>Municipio</i>	<i>Nombre de la Localidad</i>	<i>Población total</i>
Distrito Federal	Cuajimalpa de Morelos	Cruz Blanca	581
Distrito Federal	Cuajimalpa de Morelos	La Venta	531
Distrito Federal	Cuajimalpa de Morelos	Puerto las Cruces (Monte las Cruces)	444
Distrito Federal	Cuajimalpa de Morelos	Rancho los Campesinos	22
Distrito Federal	Cuajimalpa de Morelos	La Bolsa (El Encinal)	17
Distrito Federal	Cuajimalpa de Morelos	Ninguno	11
Distrito Federal	Cuajimalpa de Morelos	La Troje	5
México	Ocoyoacac	Colonia Juárez (Los Chirinos)	1,300
México	Ocoyoacac	San Antonio el Llanito	1,102
México	Ocoyoacac	La Marquesa	981
México	Lerma	Amomolulco	832
México	Ocoyoacac	Río Hondito	699
México	Ocoyoacac	Colonia Ortiz Rubio (Jajalpa)	399
México	Ocoyoacac	Jajalpa (Fraccionamiento Ex-Hacienda de Jajalpa)	370
México	San Mateo Atenco	Barrio de San Pedro	300
México	Ocoyoacac	Colonia Flores del Rincón	275
México	Ocoyoacac	Colonia el Bellotal	202
México	Ocoyoacac	El Portezuelo	115

Fuente: Elaboración propia con base en Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE), INEGI 2010.

En la figura 3.10 se muestran las localidades urbanas y rurales alrededor del tramo carretero.

Figura 3.13 Localidades del tramo carretero.



Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE), INEGI 2010.

3.4.2. TAZA DE MOTORIZACIÓN MUNICIPAL

Esta variable es la relación entre la cantidad de vehículos por cada 100 habitantes, es relevante ya que la flota vehicular es un componente indispensable y necesario en el análisis de la accidentalidad vial.

En el tramo carretero los municipios con mayor tasa de motorización son la delegación Miguel Hidalgo (con 83 veh/100 hab) y Álvaro Obregón (con 45.2 veh/100 hab.), dichos municipios se ubican cerca de la entrada a la carretera. Por otro lado en estado de México, San Mateo Atenco y Ocoyacac son los municipios con menor tasa de motorización, cuya tasa de motorización es menor a 17 vehículos/100 habitantes.

En el cuadro 3.7 se muestra la tasa de motorización de los municipios conectados por la carretera México – Toluca.

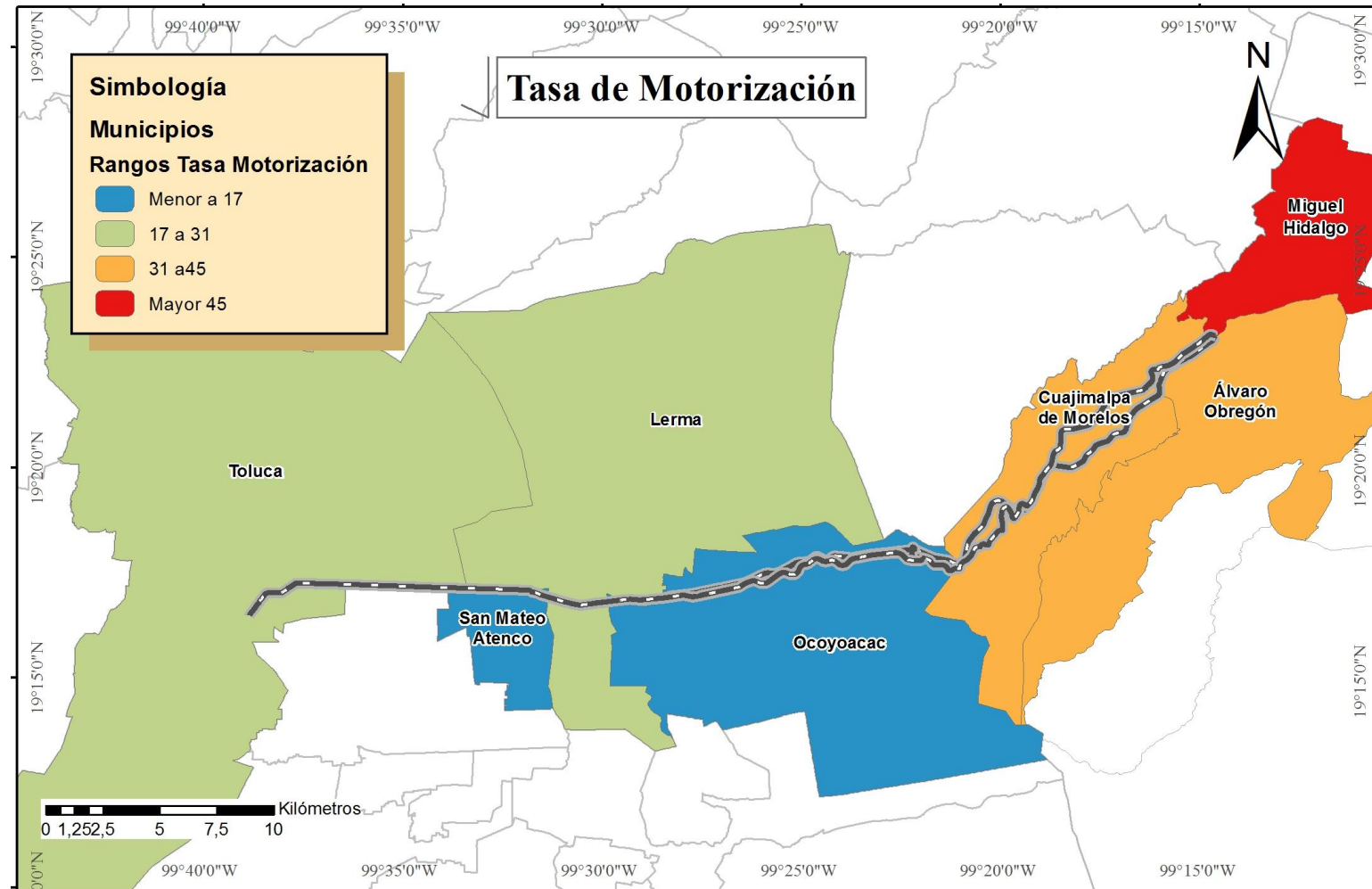
Cuadro 3.7 Tasa de motorización por municipio (vehículos/habitantes) * 100

<i>Estado</i>	<i>Municipio</i>	<i>Población Total</i>	<i>Vehículos registrados</i>	<i>TASA MOTORIZACIÓN</i>
Distrito Federal	Cuajimalpa de Morelos	186,391	84,118	45
Distrito Federal	Álvaro Obregón	727,034	228,738	31
Distrito Federal	Miguel Hidalgo	372,889	312,825	84
México	Lerma	134,799	25,530	19
México	Ocoyoacac	61,805	9,420	15
México	San Mateo Atenco	72,579	13,021	18
México	Toluca	819,561	257,797	31

Fuente: Elaboración propia con base en Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE), INEGI 2010.

En la figura 3.11 se muestra esta tasa de motorización en los municipios colindantes al tramo carretero.

Figura 3.14 Tasa de motorización municipal del Tramo Carretero México - Toluca



Fuente: Elaboración propia con base en cartografía del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE), INEGI 2010.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

A partir del desarrollo de la caracterización geográfica y operativa de la carretera México - Toluca se obtuvieron una serie de datos descriptivos, temáticos y cuantitativos que se encuentran sintetizados principalmente en tablas y en gráficas. Sin embargo, no se debe dejar estos datos en un nivel descriptivo y desagregado, sino que deben ser analizados espacial y geoestadísticamente para poder llegar a la determinación de los patrones territoriales que caracterizan a los accidentes viales de área bajo estudio. De esta manera, se busca agrupar todas las variables en una sola matriz de datos estructurada, que facilitará la búsqueda de los procesos espaciales que ocurren en este corredor en relación con la accidentalidad vial.

4.1. FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS DEL ANÁLISIS ESPACIAL

El análisis espacial constituye una serie de técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al estudio de los datos distribuidos sobre el espacio geográfico. Cuando se enfoca desde la tecnología de los SIG, el análisis espacial se considera su núcleo, ya que es el que posibilita trabajar con las relaciones espaciales de las entidades contenidas en cada capa temática de la base de datos geográfica.

Según los diferentes momentos de evolución científica el análisis espacial ha contado con dos marcadas líneas de definición dentro del enfoque cuantitativo. Por un lado, las que constituyen todo tipo de procesamiento de datos espaciales y, por el otro, las que consideran únicamente los aspectos geométricos de las entidades espaciales, dejando de lado sus atributos asociados (Buzai, 2006)

En la primera línea de definición; (Buzai, 2006) consideran la amplitud del análisis espacial a partir de definirlo en base a cuatro contextos:

- Manejo de datos espaciales
- Análisis de datos espaciales de forma descriptiva y exploratoria
- Aplicación de la estadística espacial
- Modelación espacial de en búsqueda de diferentes escenario
-

En la segunda línea de definición, Berry (Buzai, 2006) considera que el análisis espacial se define a través de operaciones cuyos resultados dependen de la localización espacial, ya que, si se mueven espacialmente las entidades los resultados cambian.

Algunos conceptos teóricos fundamentales que son necesarios para realizar un análisis espacial son los siguientes (Buzai, 2006):

1. Localización: considera que todas las entidades estudiadas tienen una determinada ubicación sobre la superficie terrestre. Esta ubicación puede ser vista en dos niveles, el del emplazamiento que se refiere al sitio específico respecto de su topografía local y el de

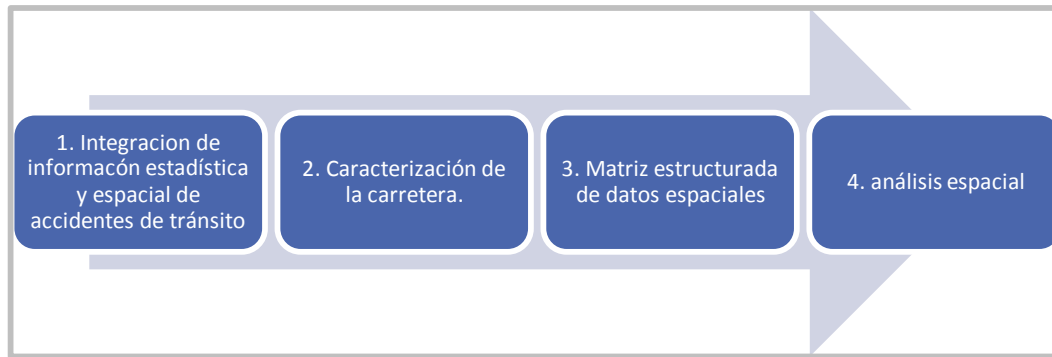
situación que se refiere a la posición de determinada entidad respecto de las otras con las cuales se vincula para la realización de sus funciones.

2. Distribución: considera que el conjunto de entidades estudiadas junto a sus atributos se reparten de forma específica sobre la superficie terrestre. Estas pueden ser representadas como puntos, líneas o áreas con diversos contenidos.
3. Asociación: considera el estudio del grado de semejanza-diferencia entre los distintos atributos medidos en las unidades espaciales, el mismo atributo en cuanto a su comportamiento de difusión o diferentes atributos en cuanto en relación de contigüidad. Desde el punto de vista cuantitativo un coeficiente de correlación sirve para medir cual es el nivel de semejanza en la distribución de dos variables dentro de las unidades espaciales de una misma área de estudio.
4. Interacción: considera la configuración de un espacio relacional en el cual las ubicaciones, distancias y flujos horizontales sobre el espacio geográfico resultan fundamentales, en este sentido la accesibilidad por ejemplo, es básica al querer comprender la funcionalidad de una región o área específica.
5. Evolución: considera la incorporación de la variable temporal y la permanente transición de un estado a otro. En cuanto al uso de los SIG el concepto de evolución espacial puede ser considerado en dos aspectos: el estado de las configuraciones en base a cartografía presentada con determinada resolución temporal en los llamados chess maps, y el estudio de la difusión espacial que utiliza representaciones cartográficas en simulaciones temporalmente continuas. (Villena Sánchez , Análisis espacial de los accidentes de tránsito del corredor México-tijuana en 2008. Tesis para obtener el título de licenciada en geografía. , 2014)

4.2. PLANTEAMIENTO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología empleada consistió en la estructuración de una **matriz estructurada de datos espaciales**, para ello se integró información de caracterización (vista en el capítulo 3) e información espacial de accidentes, el proceso general se describe gráficamente en la figura 4.1.

Figura 4.1 Planteamiento general de la metodología empleada



4.2.1. INTEGRACION DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y ESPACIAL DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

En primera instancia el registro de datos de accidentes es por parte de la policía federal y la dirección general de servicio técnicos de la SCT, donde se registran los accidentes según el tipo de accidentes y el Km donde ocurrió. El siguiente paso es la generación de información espacial de los datos anterior a través del SIG, el método empleado para ello se le denomina **segmentación dinámica** que consiste en términos generales en la ubicación espacial de los accidentes sobre la carretera a través de la calibración de cadenamiento del kilometraje de la carretera con base en los postes de referencia de Km; obtenidos ya sea por levantamiento propio o los generados por una instancia gubernamental, en este caso los postes de Km de referencia se obtuvieron a través de la Red Nacional de Carreteras (RNC) que tiene a su disposición el INEGI.

A partir de lo anterior, la segmentación dinámica resultará en una capa de puntos sobre la carretera, cada punto tendrá asignadas distintas variables, con esto se generará capas de accidentabilidad. El diccionario de datos para la generación de esta capa se muestra en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Diccionario de datos para la capa de accidentalidad

ID	VARIABLE	ALIAS	DESCRIPCIÓN
1	FID		Identificador único de objeto
2	Shape		Tipo de objeto
3	CVE_ENT	Clave estado	Clave de la entidad federativa de acuerdo con el catálogo del INEGI.
4	NOM_ENT	Estado	Nombre de la entidad federativa en donde se ubica el segmento en referencia.
5	ID_NC_9809	ID carretera-tramo	Identificador único de la Carretera / Tramo en referencia en el periodo 1998 - 2009.
6	NCARR_DGS T	Carretera	Nombre de la Carretera en referencia según nomenclatura de la DGST.
7	NTRAM_DGS T	Tramo	Nombre del Tramo carretero en referencia según nomenclatura de la DGST.
8	CUERPO	Cuerpo	Cuerpo de la Carretera / Tramo: Derecho, Izquierdo.
9	COD_R_DGS T	Ruta	Código de la Ruta carretera en referencia según nomenclatura de la DGST.
10	DERTR_DGST	Peaje	Derecho de Tránsito de la Carretera / Tramo según nomenclatura de la DGST.: cuota, libre
11	KM_INI	Km inicial	Kilómetro inicial del segmento donde se registró el Accidente de Tránsito.
12	KM_FIN	Km fin	Kilómetro final del segmento donde se registró el Accidente de Tránsito.
13	LONG_SEG	Longitud (Km)	Longitud del segmento, en kilómetros.
14	TOT_AT	Accidentes	Número de Accidentes de Tránsito registrados.

ID	VARIABLE	ALIAS	DESCRIPCIÓN
15	VIC_MUE	Muertos	Número de víctimas muertas.
16	VIC_HER	Heridos	Número de víctimas heridas.
17	DAN_MAT	Daños materiales (pesos)	Monto de los daños materiales por los Accidentes de Tránsito (en pesos).
18	EQV_MUE	Muertos equivalentes	Equivalencia de víctimas muertas a accidentes.
19	EQV_HER	Heridos equivalentes	Equivalencia de víctimas heridas a accidentes.
20	SC_SALC	Sin colisión: Salida del camino	Sin colisión: Salida del camino.
21	SC_VOLC	Sin colisión: Volcadura	Sin colisión: Volcadura.
22	SC_CAID	Sin colisión: Caída de pasajero	Sin colisión: Caída de pasajero.
23	SC_INCE	Sin colisión: Incendio	Sin colisión: Incendio.
24	SC_OTRO	Sin colisión: Otros	Sin colisión: Otros.
25	SC_TOT_AT	Totales "Sin Colisión"	Suma de los eventos de tipo "Sin Colisión".
26	C_ATROP	Atropellamientos	Colisión con peatón (atropellamiento).
27	C_VM_TRA	Colisión con vehículo en tránsito	Colisión con vehículo de motor en tránsito.
28	C_VM_ALC	Colisión con vehículo por alcance	Colisión con vehículo de motor por alcance.
29	C_VM_EST	Colisión con vehículo estacionado	Colisión con vehículo de motor estacionado.
30	C_FFCC	Colisión con ferrocarril	Colisión con ferrocarril.
31	C_BICI	Colisión con bicicleta	Colisión con bicicleta.
32	C_ANIM	Colisión con animal	Colisión con animal.
33	C_OBJ_F	Colisión con objeto fijo	Colisión con objeto fijo.
34	C_OTROB	Colisión con otros objetos	Colisión con otros objetos.
35	CC_TOT_AT	Totales "Con Colisión"	Suma de los eventos de tipo "Con Colisión".
36	EVEN_NE	Accidentes que no especifican tipo	AT de cual no se especifica el tipo de evento.

ID	VARIABLE	ALIAS	DESCRIPCIÓN
37	CAU_CON	Accidentes atribuibles al conductor	Accidente atribuible al conductor.
38	CAU_POP	Accidentes atribuible al peatón o pasajero	Accidente atribuible al peatón o pasajero.
39	CAU_VEH	Accidentes atribuibles al vehículo	Accidente atribuible al vehículo.
40	CAU_CAM	Accidentes atribuibles al camino	Accidente atribuible al camino.
41	CAU_GAN	Accidentes atribuibles al ganado	Accidente atribuible al ganado.
42	CAU_NAT	Accidentes atribuibles a la naturaleza	Accidente atribuible a la naturaleza.
43	CAU_NE	Accidentes que no especifican causa	AT del cual no se especifica su causa atribuible.
44	RANGO_AT	Rango de accidentes	Rango de accidentes: de 1 a 3, de 4 a 7, de 8 a 11, de 12 a 21 y más de 22.
45	OBSERVA	Observaciones	Observaciones referentes a la integración tabular y georreferenciación de los datos.
46	FUENTE_DAT	Fuente de los datos	Fuente de información que proporcionó los datos "Estadísticas de Accidentes de Tránsito"
47	FECH_ACTUA	Fecha de actualización	Fecha de actualización de los datos.
48	YEAR	Año de los datos	Año en que se registra el ATT; en formato texto.

Fuente: Unidad GITS, Instituto de Geografía, UNAM.

Para la presente investigación se utilizaron datos de accidentes desde 1998 hasta 2008.

4.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CARRETERA.

La caracterización de la carretera consiste en la generación e integración espacial de atributos físicos –geográficos, operativos y de infraestructura vistos en el capítulo 3 a partir de distintas fuentes como lo es el INEGI, CONABIO, DGST de la SCT y las inspecciones visuales a través de Google Earth para el levantamiento de intersecciones, puentes peatonales y puentes vehiculares; con la información anterior se generan capas de dichas características.

4.2.3. MATRIZ ESTRUCTURADA DE DATOS ESPACIALES

Teniendo integrada de manera espacial los accidentes y atributos de la carretera, se genera una matriz, cuyas filas serán los KM de la carretera y las columnas los atributos físicos y de accidentalidad.

Para el presente estudio se generó una matriz estructurada de datos por cada Subtramo de la carretera México – Toluca. Dichos subtramos se describieron en el capítulo 3. (Ver 3.1, pág. 39)

El diccionario de datos de la matriz estructurada de datos espaciales se muestra en el cuadro 4.2

Cuadro 4.2 Diccionario de datos de la matriz estructurada de datos espaciales

ID	VARIABLE	DESCRIPCIÓN
1	CVE_ENT	Clave de la entidad federativa de acuerdo con el catálogo del INEGI.
2	EDO	Nombre de la entidad federativa en donde se ubica el segmento en referencia.
4	RUTA_DGST	Código de la Ruta carretera en referencia según nomenclatura de la DGST.
5	TIPO_DGST	Derecho de Tránsito de la Carretera / Tramo según nomenclatura de la DGST.: cuota, libre
6	NOM_DGST	Nombre del Tramo carretero en referencia según nomenclatura de la DGST.
7	LONG_KM	Longitud del segmento, en kilómetros.
8	NOM_SUB	Nombre del subtramo carretero según criterio del autor del estudio
9	ID	ID del subtramo carretero
10	ID_KM	Identificador de Km donde ocurrió el accidente
11	AT_98_08	Número de Accidentes de Tránsito registrados desde 1998 hasta 2008
12	M_98_08	Número de víctimas muertas desde 1998 hasta 2008
13	VH_98_08	Número de víctimas heridas desde 1998 hasta 2008
14	DM_98_08	Monto de los daños materiales por los Accidentes de Tránsito (en pesos). desde 1998 hasta 2008
15	SCSC_98_08	Sin colisión: Salida del camino desde 1998 hasta 2008
16	CP_98_08	Accidente atribuible al peatón o pasajero desde 1998 hasta 2008
17	CAUC_9_08	Accidente atribuible al camino desde 1998 hasta 2008

ID	VARIABLE	DESCRIPCIÓN
18	INTERSEC	Número de intersecciones
19	P_PEAT	Puente peatonal
20	P_CARR	Puente carretero
21	TUNEL	Túnel
22	PEND	Pendiente del terreno medido en grados
23	ALTITU	Altitud del terreno medido en m.s.n.m
24	RANGOS	Rangos de precipitación media anual medido en mm
25	TDPA	Transito promedio Diario anual

Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de simplificar la ejemplificación de la metodología, se tomaron las siguientes consideraciones:

Lo tipos de accidentes que se consideraron más relevantes para el análisis de la accidentalidad en carreteras se tomaron las siguientes:

1. Número total de Accidentes de Tránsito registrados desde 1998 hasta 2008
2. Número de víctimas muertas desde 1998 hasta 2008
3. Número de víctimas heridas desde 1998 hasta 2008
4. Monto de los daños materiales por los Accidentes de Tránsito (en pesos). desde 1998 hasta 2008
5. Sin colisión: Salida del camino desde 1998 hasta 2008
6. Accidente atribuible al peatón o pasajero desde 1998 hasta 2008
7. Accidente atribuible al camino desde 1998 hasta 2008

Y las características de la carretera que se consideraron más relevantes para el análisis de la accidentalidad en carreteras se tomaron las siguientes:

1. Número de intersecciones
2. Puente peatonal
3. Puente carretero
4. Túnel
5. Pendiente del terreno medido en grados
6. Altitud del terreno medido en m.s.n.m
7. Rangos de precipitación media anual medido en mm
8. Transito promedio Diario anual

El resultado es una matriz estructurada de datos espaciales de n kilómetros por 15 variables, donde n es la longitud de la carretera. Cabe aclarar que las 15 variables aquí consideradas no son las únicas que se pueden analizar, puede existir m variables, dependiendo los objetivos de seguridad vial que se busquen.

4.3. ANÁLISIS DE DATOS ESPACIALES DE FORMA DESCRIPTIVA Y EXPLORATORIA

La cantidad de información ordenada en la matriz de datos espaciales representa la base a partir de la cual se realizará el análisis geoestadístico, sin embargo, existe información básica que se puede exponer sin necesidad de realizar cálculos con los datos de la matriz. Por esta razón, primeramente se elaboró un perfil gráfico del comportamiento de las variables de tipo continuas, cuya representación se consideró básica para comenzar con el análisis espacial de los accidentes de tránsito. [13]

Un **perfil carretero** se puede definir como la exploración de variables de accidentalidad a lo largo de la carretera, representada en una gráfica de dos dimensiones, tomando como variable independiente la longitud.

4.3.1. PERFIL CARRETERO DEL SUBTRAMO 1 “CONSTITUYENTES – LA MARQUESA (CUOTA)”

En la figura 4.2 se observa el perfil de este subtramo carretero, se observa que el pico para los accidentes de tránsito totales se encuentra cerca del Km 35, sin embargo en el Km 27.6 se presenta el pico de muertes, sobre este mismo Km la pendiente de la carretera es cercana a los 22 grados decimales a una altitud de 2,976 metros presentando un TDPA de 29,120.

En el cuadro 4.1 se muestra el total de accidentes por víctima y tipo de accidente.

Cuadro 4.3 Accidentes por víctima y tipo de accidente para el subtramo 1 “CONSTITUYENTES – LA MARQUESA (CUOTA)”

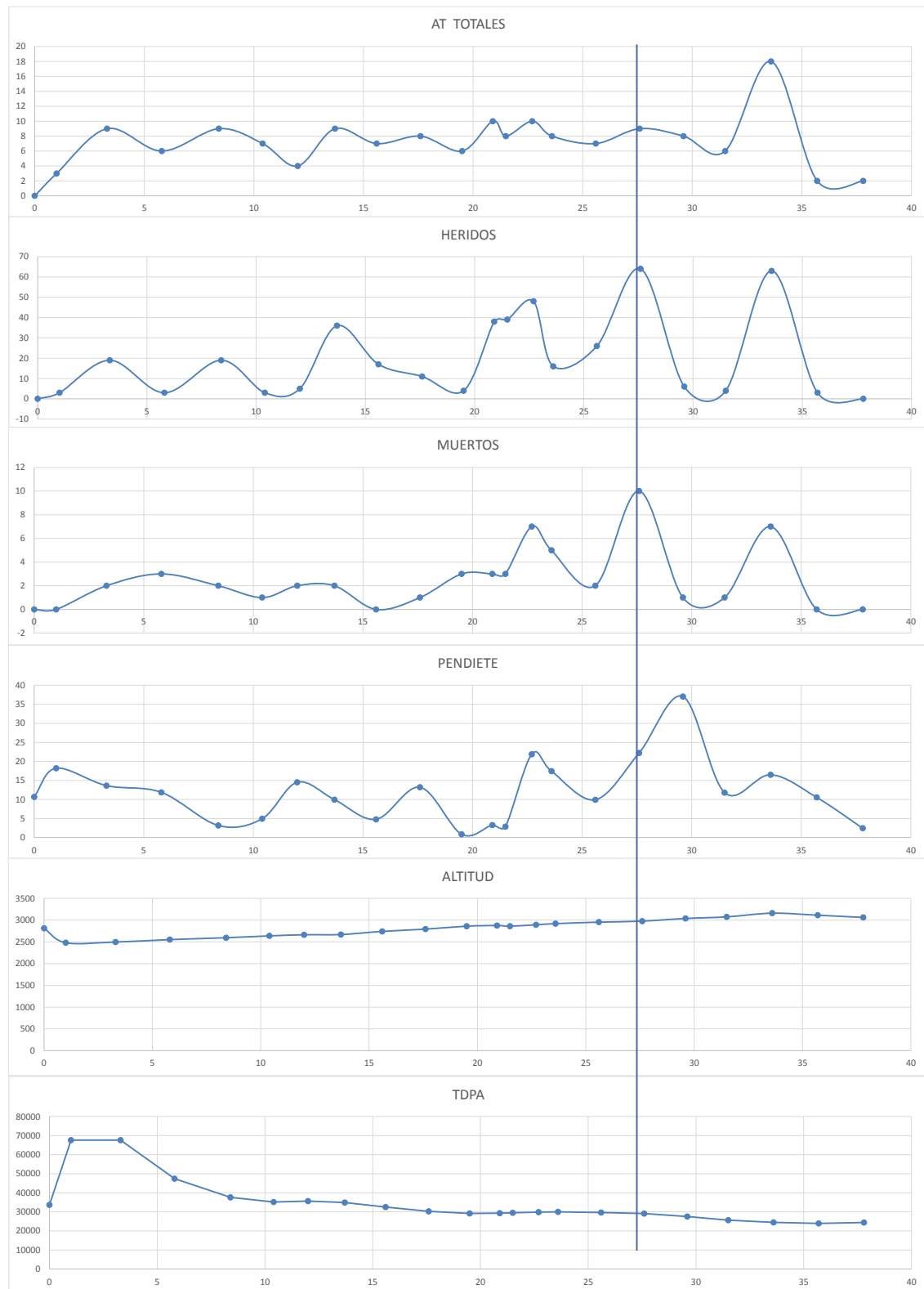
ID_KM	AT TOTALES	HERIDOS	MUERTOS
0	0	0	0
1	3	3	0
3.3	9	19	2
5.8	6	3	3
8.4	9	19	2
10.4	7	3	1
12	4	5	2
13.7	9	36	2
15.6	7	17	0
17.6	8	11	1
19.5	6	4	3
20.9	10	38	3
21.5	8	39	3
22.7	10	48	7
23.6	8	16	5
25.6	7	26	2
27.6	9	64	10

ID_KM	AT TOTALES	HERIDOS	MUERTOS
29.6	8	6	1
31.5	6	4	1
33.6	18	63	7
35.7	2	3	0
37.8	2	0	0

Fuente: elaborado con base en la matriz estructurada de datos espaciales.

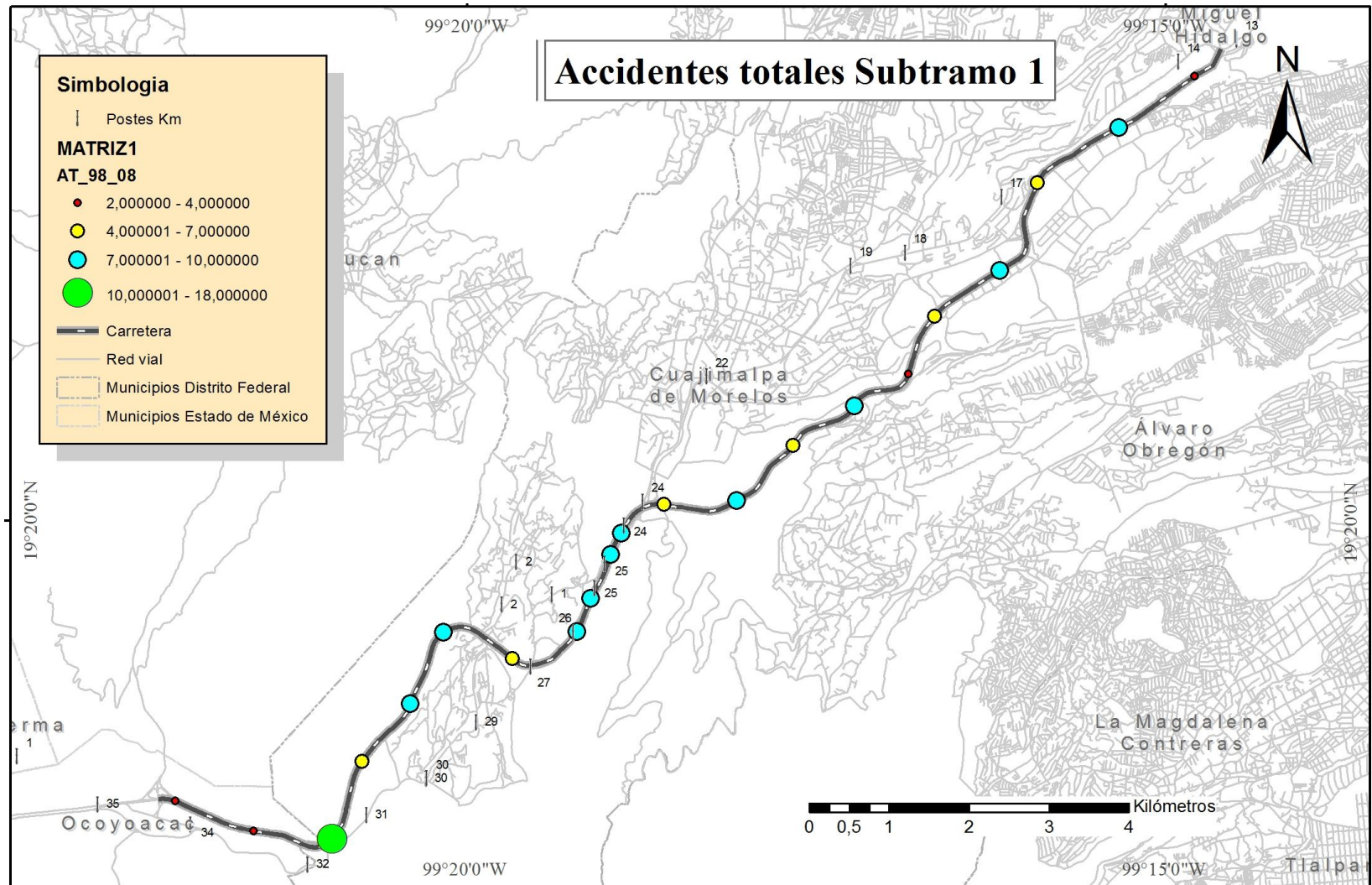
El mapa del total de accidentes para el subtramo 1 se muestra en la figura 4.3

Figura 4.2 perfil carretero del subtramo 1 “constituyentes – la marquesa (cuota)”



Fuente: elaborado con base en la matriz estructurada de datos espaciales.

Figura 4.3 Mapa de frecuencia de accidentes de tránsito totales desde 1998 hasta 2008 del subtramo 1 “Constituyentes – La Marquesa” vía cuota



4.3.2. APLICACIÓN DE GEOESTADÍSTICA PARA EL SUBTRAMO 1

En este apartado se realizó la generación de gráficas de dispersión para algunas variables, contrastándolas con los accidentes de tránsito, para buscar patrones que describieran cierta tendencia en el comportamiento de los accidentes. Con los resultados obtenidos se identificaron tres variables que mostraron mayor correlación con los accidentes de tránsito con la pendiente, altitud y TDPA.

En los gráficos 4.1 y 4.2 se muestran las correlaciones con la pendiente del terreno, se observa que alrededor de los 20 grados decimales de pendiente existe una mayor concentración de accidentes.

Gráfico 4.1 Correlación entre los accidentes totales y la pendiente del terreno

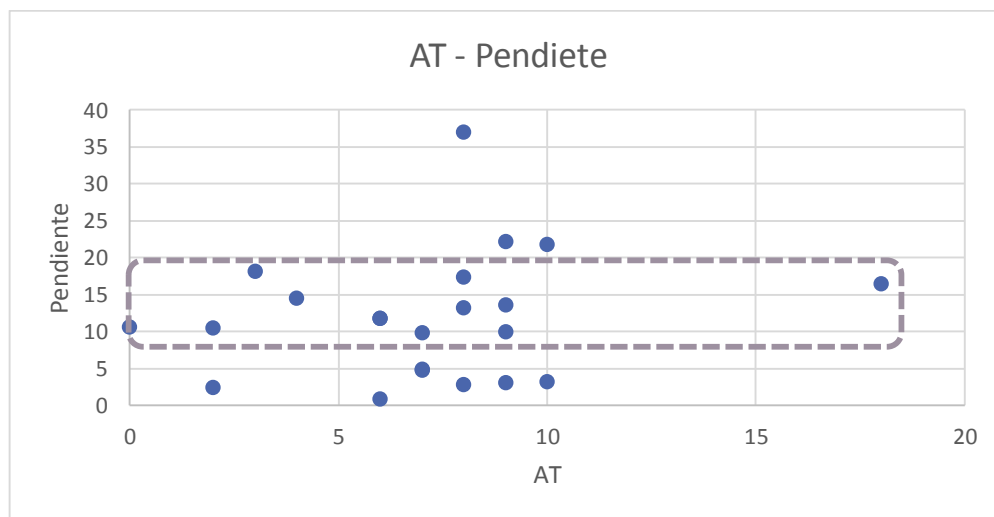
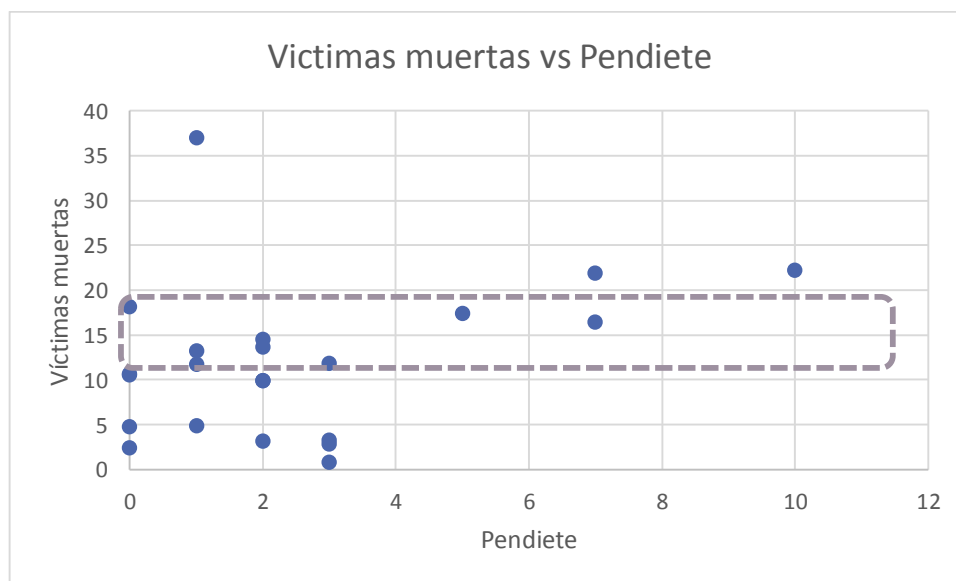


Gráfico 4.2 Correlación entre las víctimas muertas y la pendiente del terreno



4.3.3. PERFIL CARRETERO DEL SUBTRAMO 2 “CONSTITUYENTES – LA MARQUESA (LIBRE)”

El subtramo 2 va desde el entronque de Constituyentes y reforma en Lomas de Santa Fe hasta la marquesa, vía carretera libre; abarca desde el KM 23 hasta el 33.

El perfil carretero para el subtramo 2 que va de constituyentes a la marquesa se muestra en la figura 4.4, donde, como se mencionó el eje horizontal son los KM de la carretera; en este perfil se muestran los tipos de víctimas, tipos de accidente, causas y daños materiales medidos en pesos. En el cuadro 4.4 se muestran las variables utilizadas para la realización del perfil 1 del subtramo 2 (Tipos de accidentes y víctimas).

Cuadro 4.4 Variables para el perfil 1 del subtramo carretero 2 “Constituyentes – La Marquesa” vía libre

ID_K M	AT	MUE RTO S	VICTIMAS HERIDAS	DAÑOS MATERIALES	SALIDA DEL CAMINO	CAIDA DE PASAJERO	ATRIBUIBLE AL CAMINO
23	83	11	36	\$ 1,857,650.00	12	4	43
24	155	6	75	\$ 4,174,500.00	21	9	57
25	92	10	87	\$ 4,663,500.00	7	2	8
26	158	7	74	\$ 3,235,700.00	22	1	82
27	144	0	26	\$ 2,746,700.00	35	1	108
28	165	2	48	\$ 3,797,100.00	48	3	152
29	140	4	56	\$ 2,795,800.00	24	8	81
30	176	5	72	\$ 3,711,800.00	44	1	150
31	174	7	63	\$ 3,556,900.00	54	2	84
32	141	4	62	\$ 3,676,500.00	43	2	71
33	169	3	73	\$ 3,754,400.00	57	3	53

Fuente: elaborado con base en la matriz estructurada de datos espaciales.

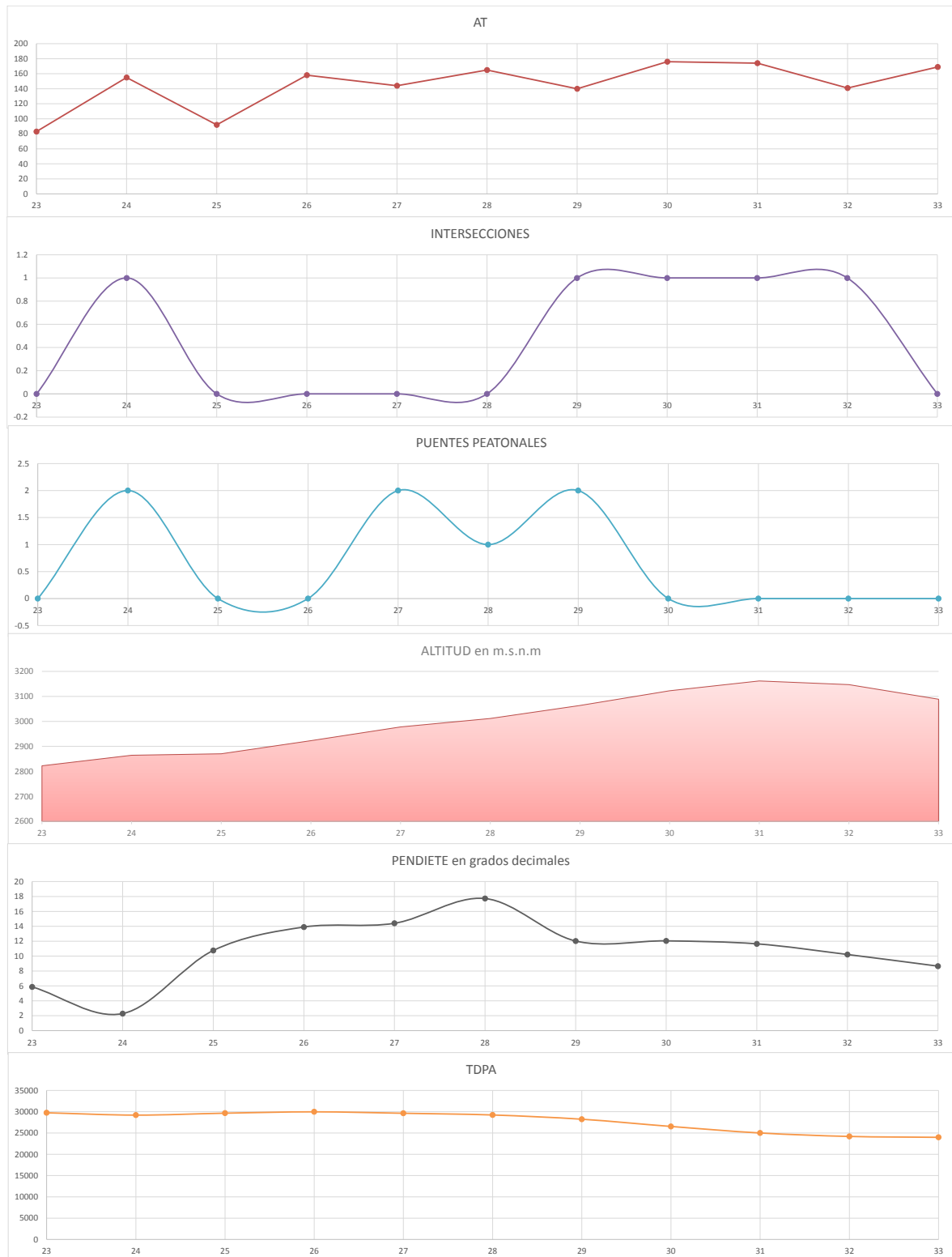
En la figura 4.4 se muestra un mapa de la frecuencia de accidentes desde 1998 hasta 2008 del subtramo 2; en comparación con la figura 4.3 se puede observar a simple vista que por la vía libre ocurrieron más accidentes que por la autopista de cuota.

Gráfico 4.3 Perfil carretero del subtramo 2, tipos de accidente y víctimas por KM



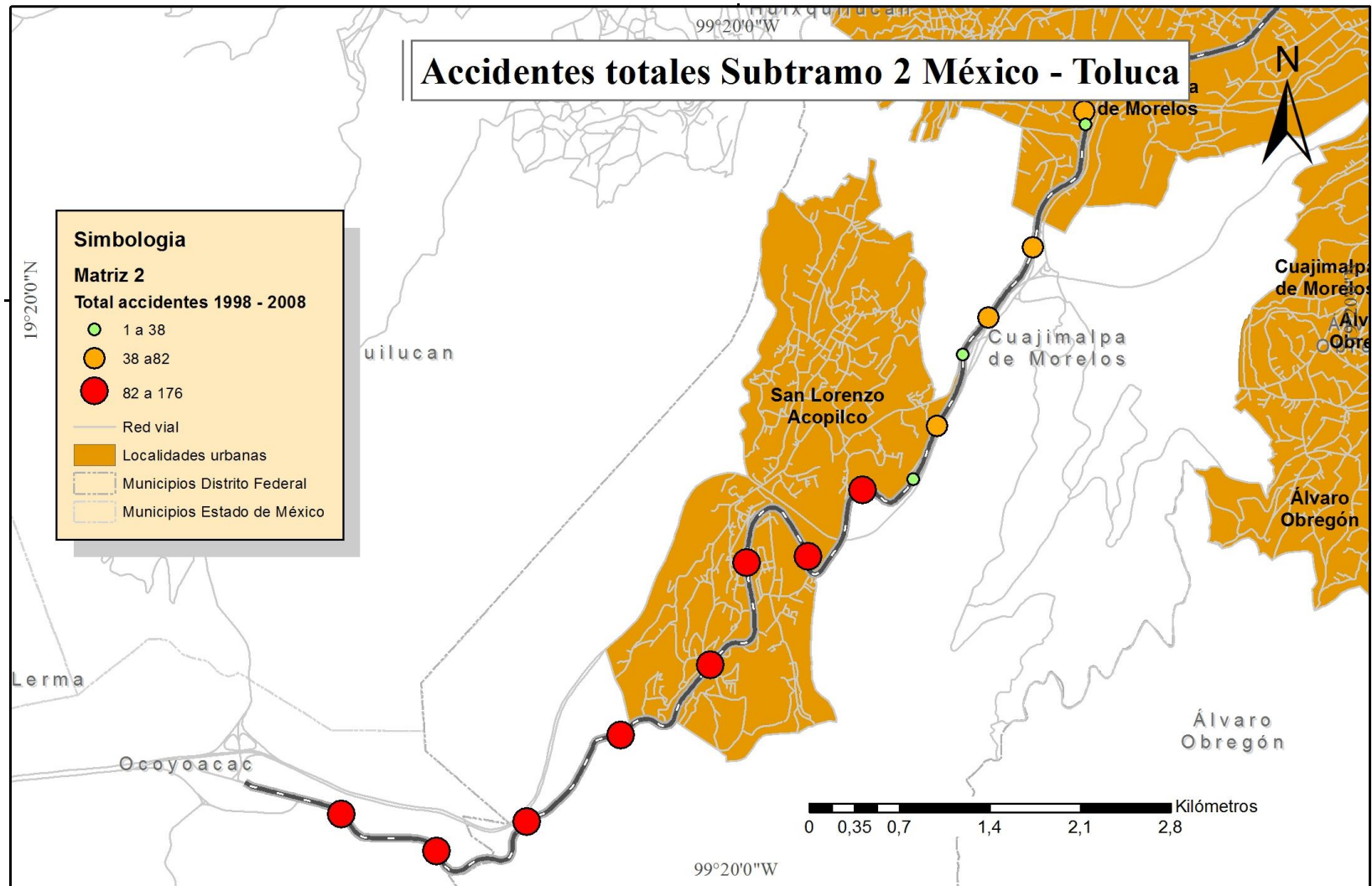
Fuente: elaborado con base en la matriz estructurada de datos espaciales.

Gráfico 4.4 Perfil carretero físico – operativo del subtramo carretero “Constituyentes – La Marquesa” vía libre



Fuente: elaborado con base en la matriz estructurada de datos espaciales.

Figura 4.4 Mapa de accidentalidad (accidentes totales) del subtramo “Constituyentes – La Marquesa” vía libre.

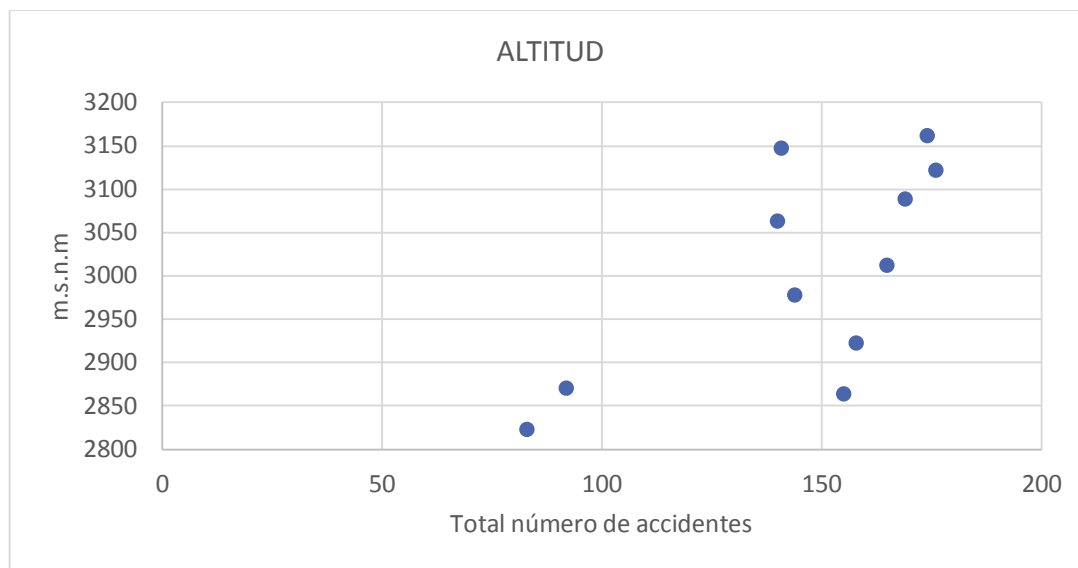


Fuente: elaborado con base en la matriz estructurada de datos espaciales.

4.3.4. APLICACIÓN DE GEO ESTADÍSTICA PARA EL SUBTRAMO 2

Para este subtramo se realizaron gráficas de dispersión entre algunas variables de los que se desprende que en cuanto la altitud ocurre más accidentes a más de 3000 m.s.n.m.; hay una relación entre el total de accidentes de tránsito y pendientes entre 10 y 14 grados decimales; los daños materiales en relación a las víctimas muertas son de aproximadamente 4 millones de pesos; los daños materiales tienen relación con el TDPA superior a los 30 mil vehículos.

Gráfico 4.5 Total de accidentes - Altitud del terreno



:

Gráfico 4.6 Total de accidentes - pendiente del terreno

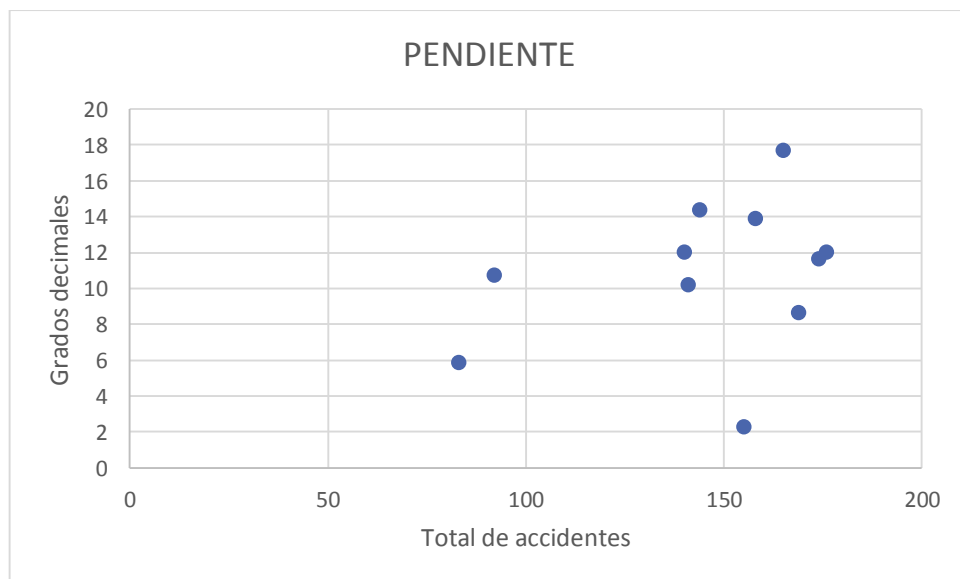


Gráfico 4.7 Víctimas muertas – Daños materiales

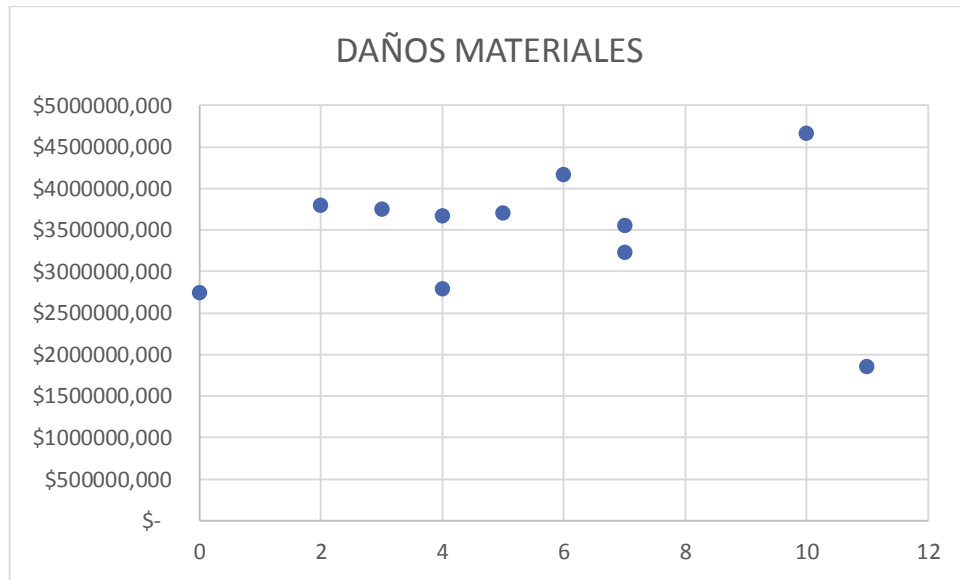
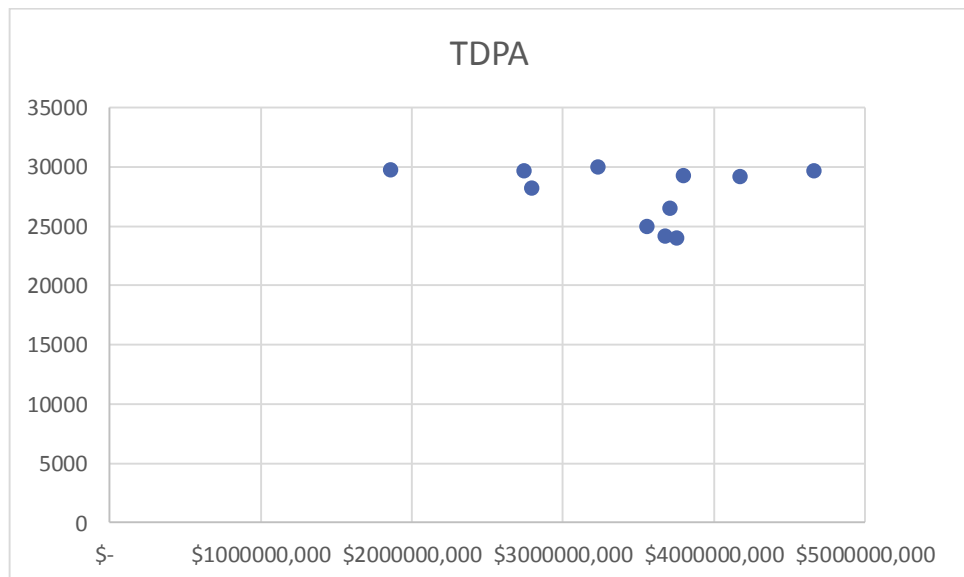


Gráfico 4.8 Daños materiales – TDPA



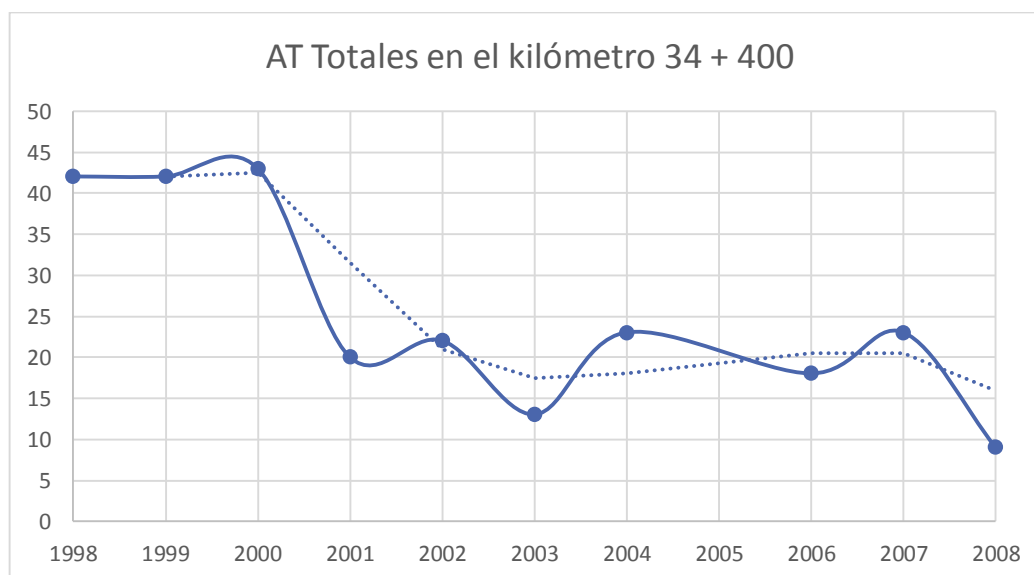
4.3.5. PERFIL CARRETERO DEL SUBTRAMO 3 “LA MARQUESA – LOS ENCINOS (LIBRE)”

El subtramo empieza desde la localidad de la marquesa en el Km 34 +400 hasta el kilómetro 46 + 400 en la localidad de los encinos (cerca de Lerma). Presenta 13 intersecciones, a través de enlaces viales y 5 puentes peatonales.

Las variables utilizadas para la realización de este perfil se muestran en el cuadro 4.5.

En la figura 3.5 se muestra el perfil carretero de este subtramo, destacando el número de accidentes y víctimas muertas en el kilómetro 34 + 450 donde de 1998 a 2008 ocurrieron 255 accidentes de tránsito dejando 21 muertes y 155 víctimas heridas, aunque los accidentes han ido disminuyendo como se muestra en el gráfico 4.9.

Gráfico 4.9 Accidentes de tránsito totales a lo largo de 10 años en el kilómetro 34



No fue sino hasta el año 2009 cuando se terminó de construir el distribuidor vial la marquesa, debido entre otras cosas a los accidentes de tránsito ocurridos en esta intersección. Por lo que este kilómetro está relacionado con la infraestructura carretera, mala adecuación vial y al alto comercio y movilidad dentro de la zona comercial de la marquesa.

Otro pico se presenta en el kilómetro 44+000 donde existe un brusco cambio de pendientes.

En la figura 4.6 se muestra el mapa que muestra el pico de accidentes y muertos que se ve en el perfil carretero de la figura 4.5

Cuadro 4.5 Variables utilizadas para el perfil de Subtramo 3

ID_K M	AT_98_0 8	M_98_0 8	VH_98_0 8	DM_98_0 08	SCSC_98_0 08	CP_98_0 8	CAUC_9_0 08	INTERSE C	P_PEA T	P_CAR R	ALTIT U	P E N D	TDPA
34	255	21	155	7069000	57	8	31	0	0	0	3041	1	24529
35	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	3018	4	25306
36	70	1	39	2043500	40	0	4	2	0	0	2815	4	29371
37	100	9	58	4850000	47	2	9	0	1	0	2761	6	29972
38	72	8	40	2298500	26	3	6	1	0	0	2725	2	30663
39	73	8	39	1674300	32	3	8	1	1	0	2707	2	31542
40	73	3	36	1468250	33	1	9	2	0	0	2683	2	32617
41	86	9	50	1967600	34	4	8	1	2	0	2723	5	32410
42	107	8	74	2636900	44	4	12	1	0	1	3012	3	25437
43	105	9	63	2375300	42	6	11	0	1	0	3003	3	26428
44	100	3	46	3202500	61	1	24	1	0	0	3002	1 5	27356
45	136	7	105	3773000	79	2	25	0	0	0	2937	3	28127
46	122	9	58	2789000	83	1	32	0	0	0	2883	5	28723

Figura 4.5 Perfil carretero del subtramo 3, “La marquesa – Los encinos”

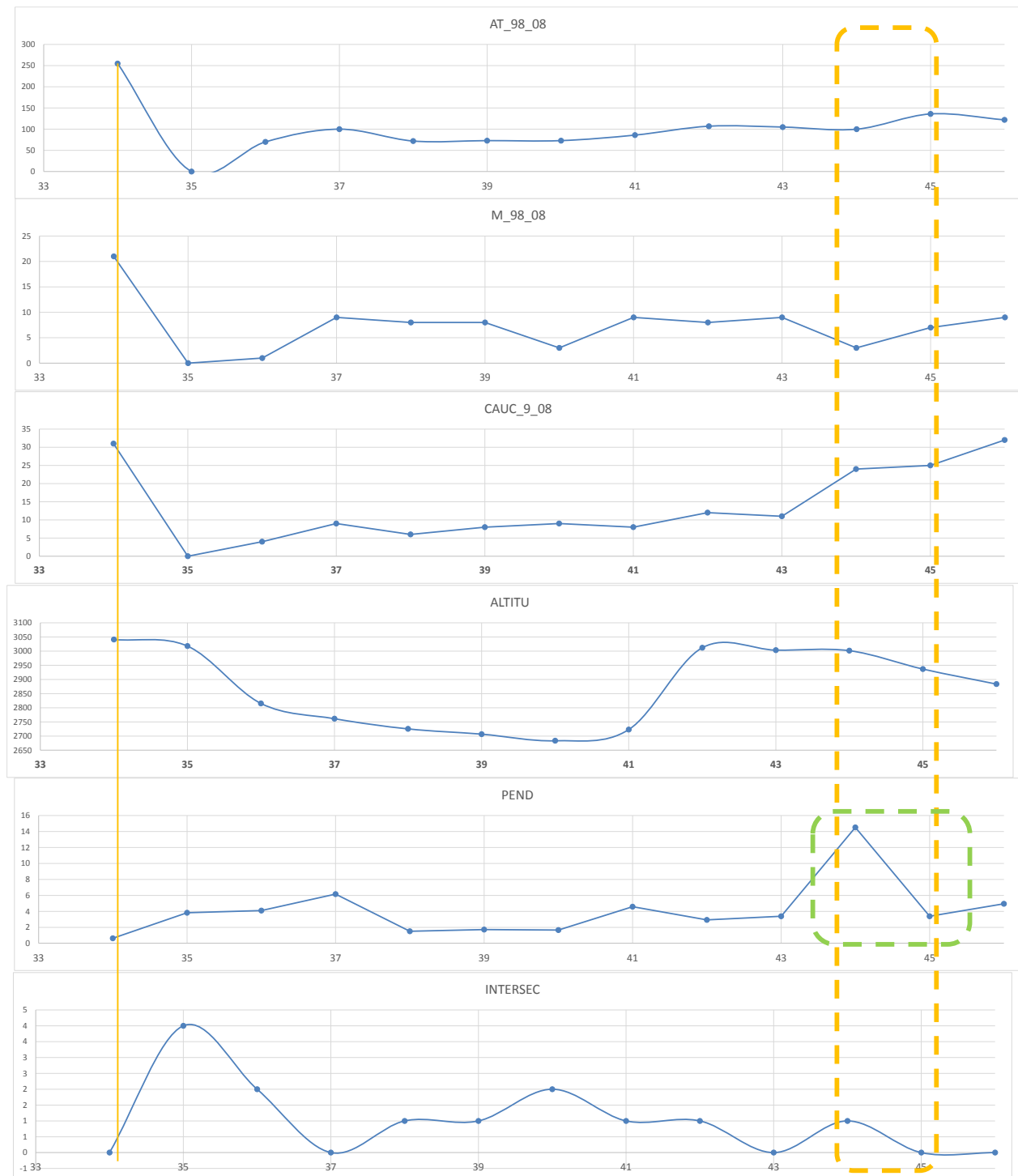


Figura 4.6 Accidentes de tránsito al inicio del subtramo “La Marquesa – Los encinos”

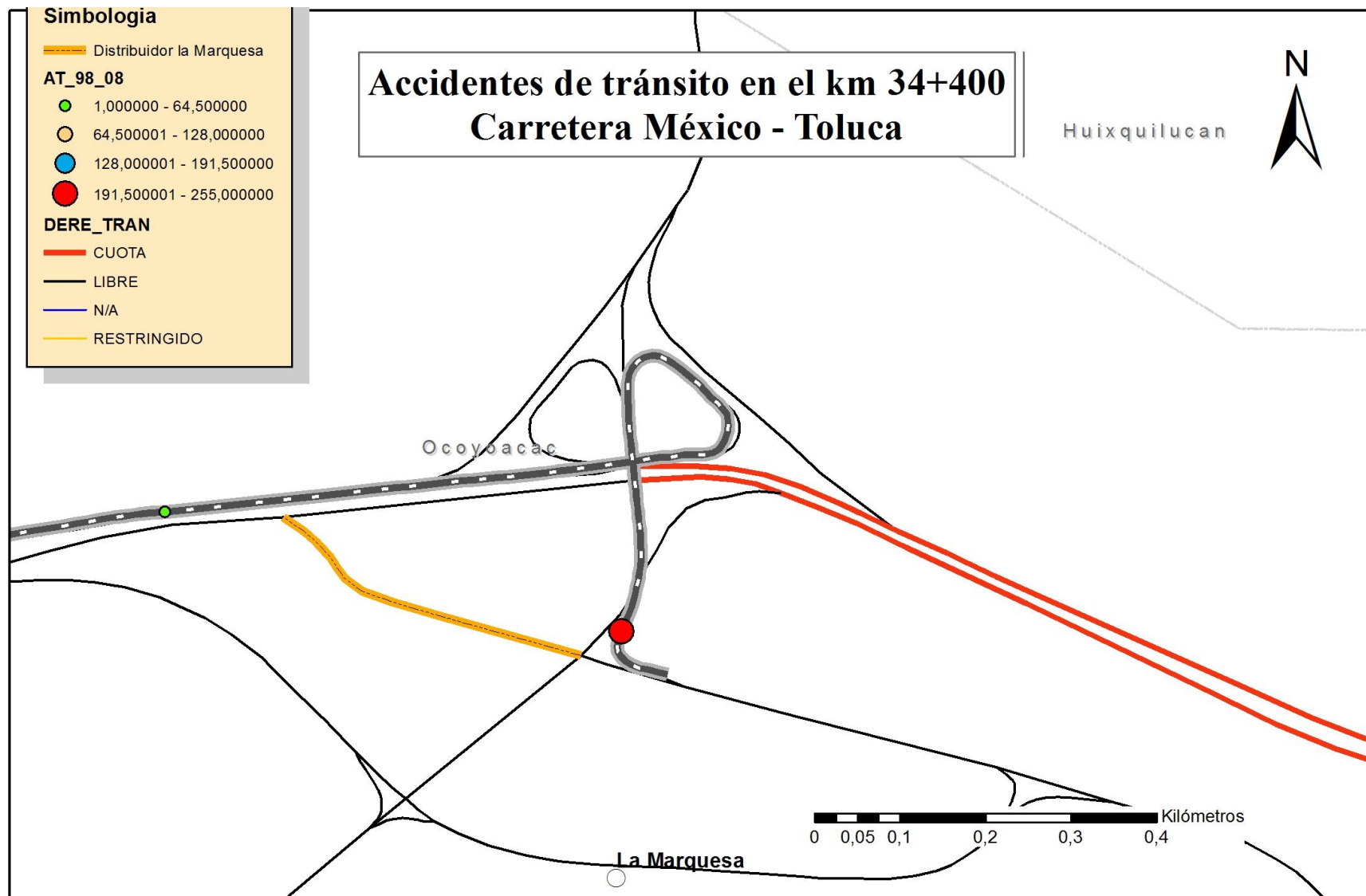
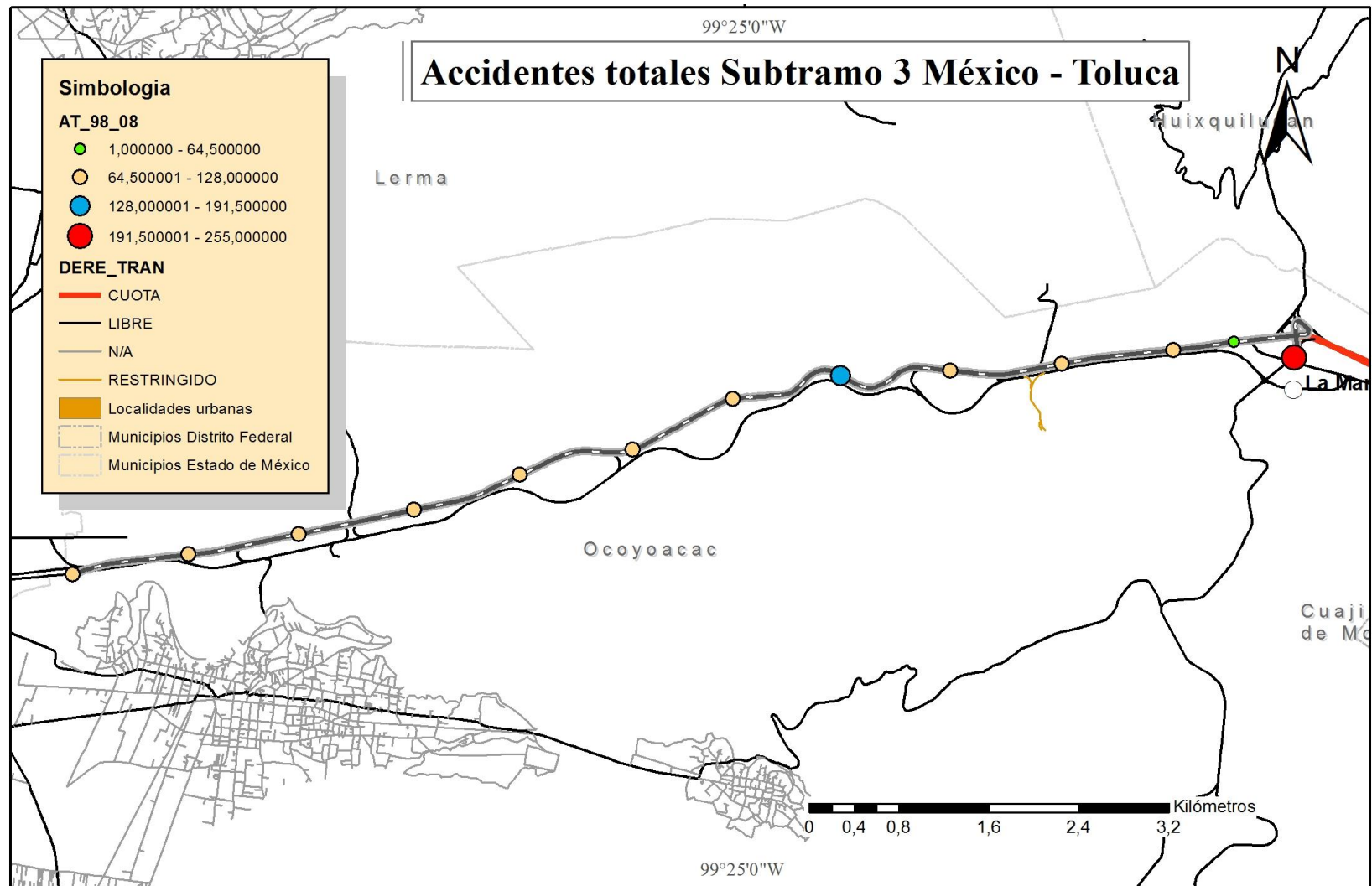


Figura 4.7 Accidentes de tránsito totales en el subtramo 3 “La marquesa – Los encinos”



4.3.6. APLICACIÓN DE GEO ESTADÍSTICA PARA EL SUBTRAMO 3

En el gráfico 4.10, 4.11 y 4.12 se muestra la relación entre los AT totales, la altitud, pendiente y TDPA respectivamente

Gráfico 4.10 Relación entre AT y Altitud

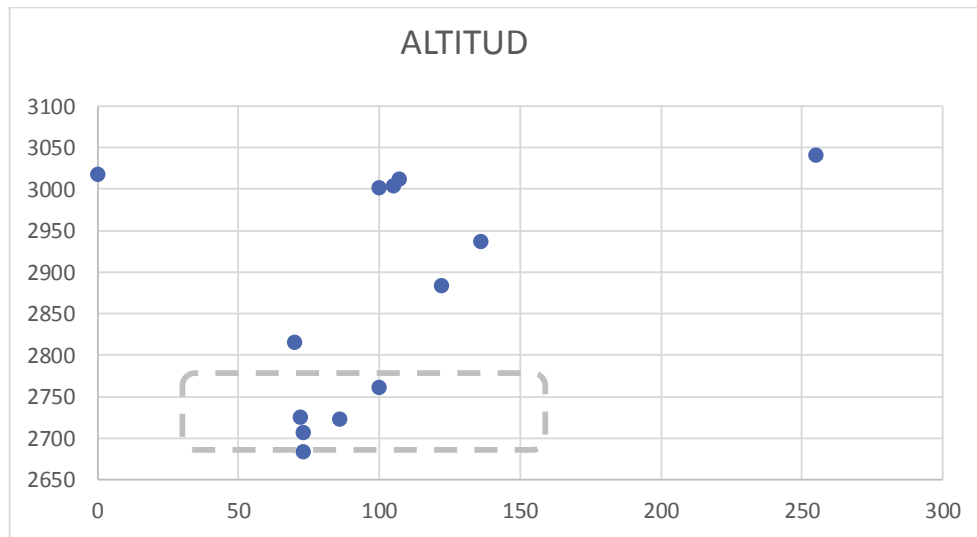
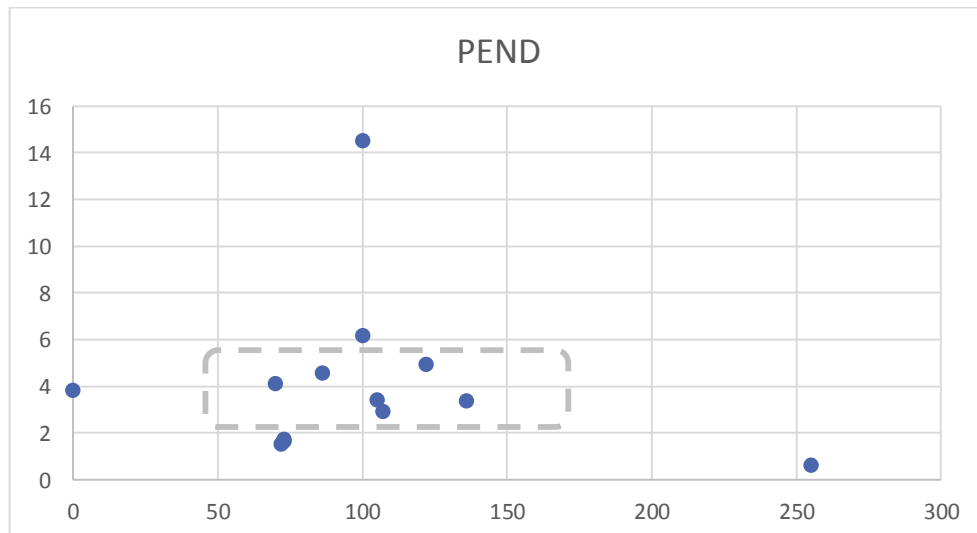


Gráfico 4.11 Relación entre los AT y la pendiente del terreno



4.3.7. PERFIL CARRETERO DEL SUBTRAMO 4 “TOLUCA – LA MARQUESA (LIBRE)”

El subtramo 4 de la Carretera México – Toluca cuenta con tres carriles y circula en dirección Toluca – México. Empieza en el Kilómetro 34 y termina en el Km 65 de la localidad de Toluca, pasando por los municipios de San Mateo Atenco y Metepec. En la tabla de 4.8 se muestran las variables utilizadas para elaborar este perfil.

Cuadro 4.6 Variables utilizadas para la realización del perfil 4

ID_KM	AT	VM	VH	SC	INTERSEC	PP	PEND	ALTITU	TDPA
35	106	8	10	44	1	0	5	3,020	25,155
36	105	9	10	42	0	0	8	3,005	26,158
37	0	0	0	0	2	1	7	3,006	27,055
38	0	0	0	0	2	0	5	2,962	27,811
39	136	7	10	79	0	0	7	2,905	28,497
40	0	0	0	0	0	1	15	2,854	29,027
41	70	1	10	40	2	0	3	2,801	29,578
42	0	0	0	0	0	0	5	2,747	30,165
43	0	0	0	0	0	1	1	2,721	30,887
44	0	0	0	0	1	0	2	2,700	31,809
45	73	3	10	33	2	1	5	2,677	32,957
46	86	9	10	34	1	0	6	2,657	33,839
47	68	6	10	24	1	0	5	2,610	33,600
48	85	6	10	32	3	0	1	2,571	33,600
49	112	16	10	34	0	1	1	2,573	33,600
50	139	11	10	42	4	2	2	2,577	28,267
51	123	10	10	44	1	0	1	2,569	22,050
52	63	5	10	21	4	1	0	2,571	12,747
53	1	0	1	0	0	0	0	2,574	12,294
54	0	0	0	0	2	2	0	2,577	14,536
55	1	0	1	0	1	0	1	2,581	16,293

En la figura 4.8 se muestra el perfil carretero del subtramo 4, donde se ven las gráficas de Accidentes totales, víctimas muertas y salidas del camino como ejemplo de tipo de accidente. Se observa que existe un pico en el kilómetro 50 donde se concentran 139 accidentes, de los cuales, 11 murieron; a este Km se le asocia una pendiente de 2.3 grados decimales una altitud de 2,579 m.s.n.m, un rango de precipitación de 800 a 1200 mm con 4 intersecciones y con un TDPA de 25,600 vehículos en dirección Toluca – México. En la figura 4.9 se muestra el mapa de frecuencia de accidentes totales en este subtramo.

Figura 4.8 Perfil carretero del subtramo 4, “Toluca – La Marquesa (libre)”

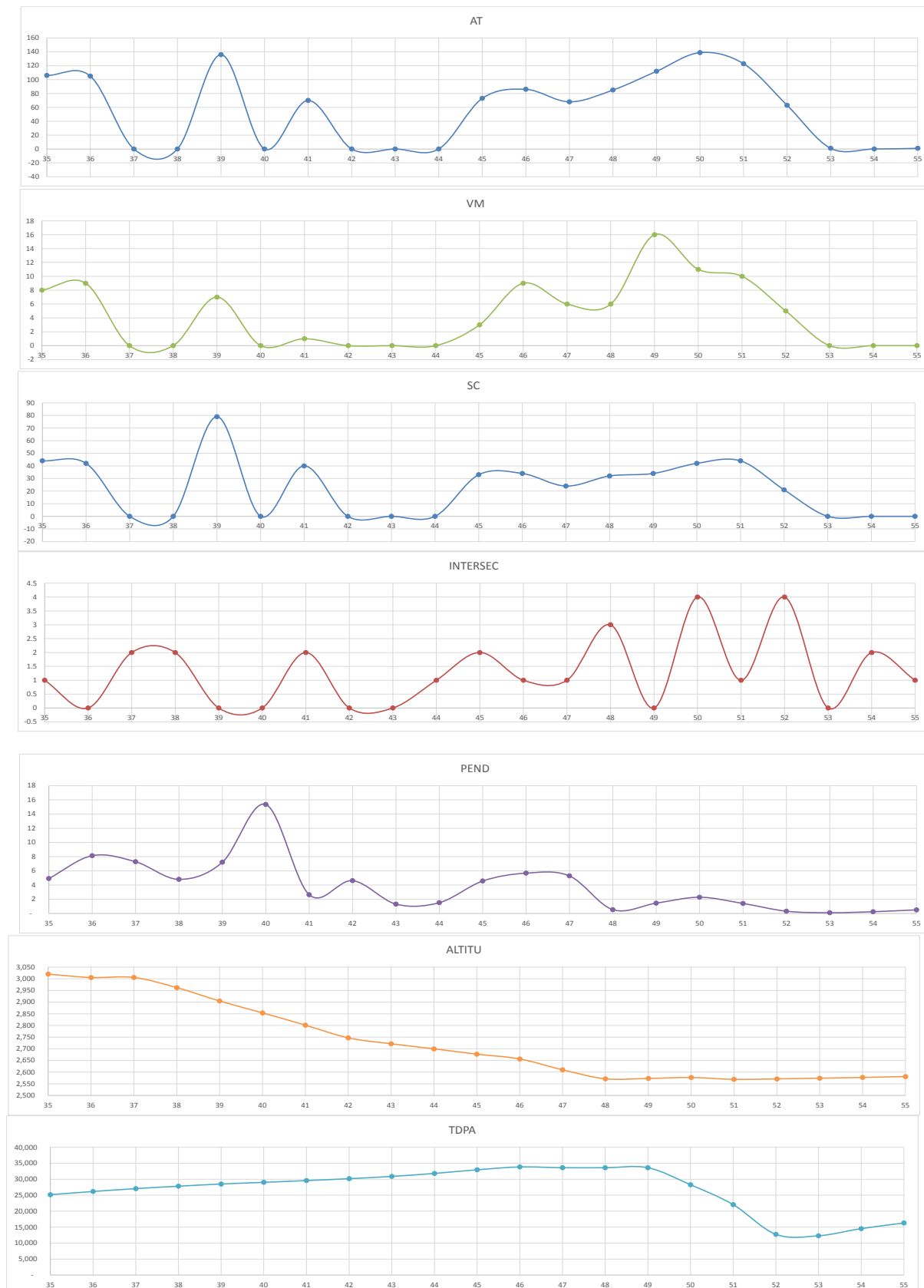
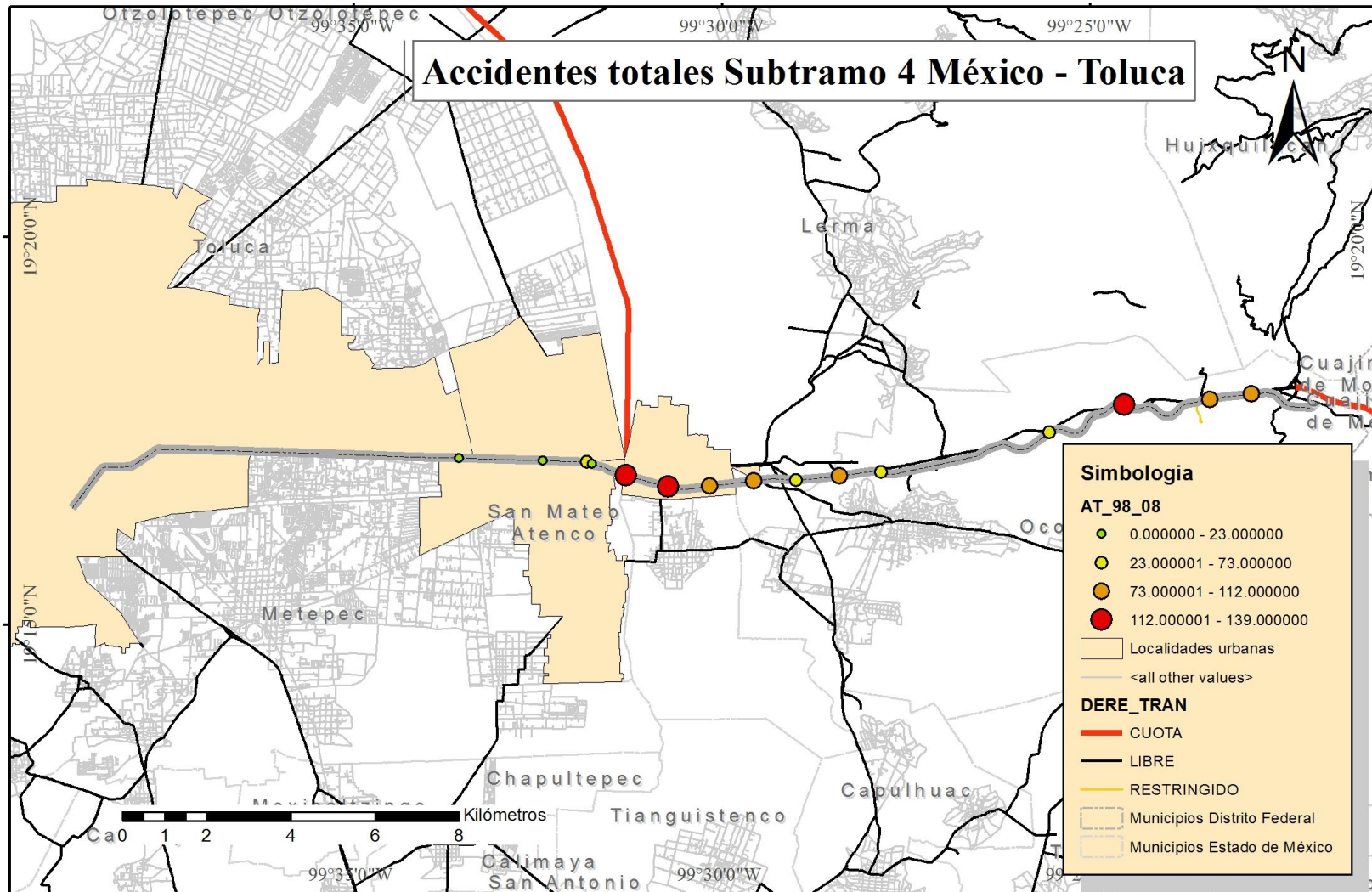


Figura 4.9 Mapa de accidentes totales en el subtramo 4 “Toluca – La Marquesa”



4.3.8. APLICACIÓN DE GEO ESTADÍSTICA PARA EL SUBTRAMO 4

En el gráfico 4.12 se muestra la relación espacial entre los accidentes totales y la pendiente del terreno, y en el gráfico 4.1 se muestra la relación entre la altitud.

Gráfico 4.12 Relación AT – Pendiente para el subtramo 4

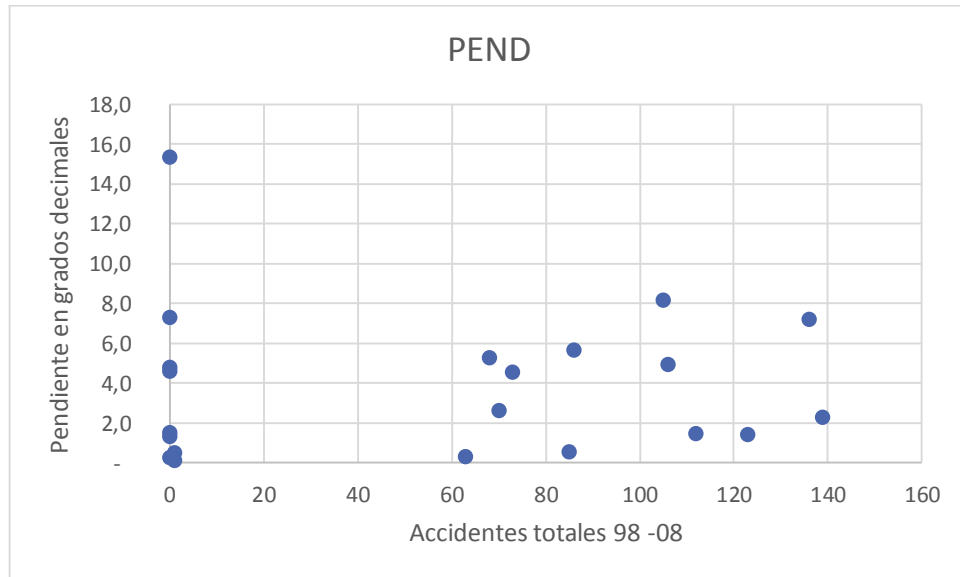
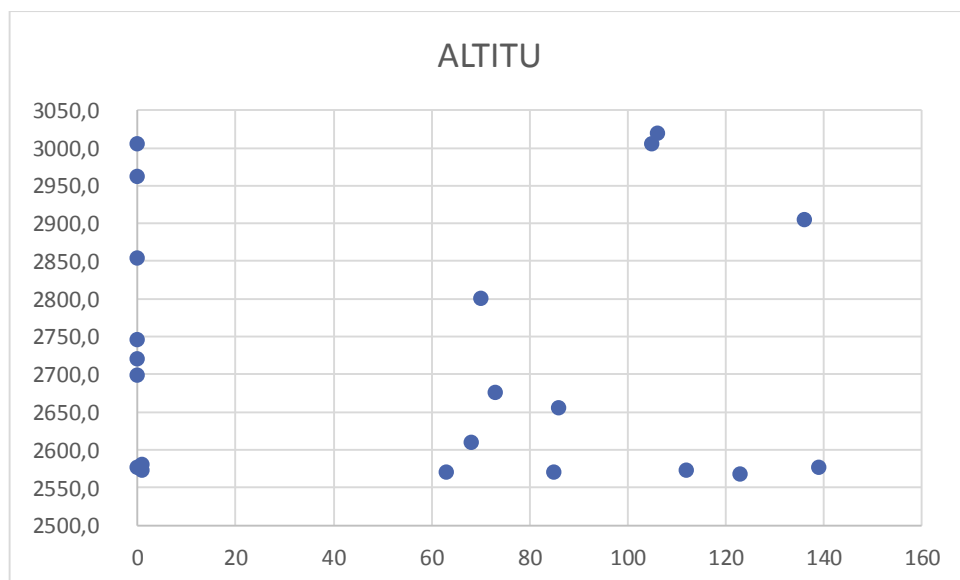
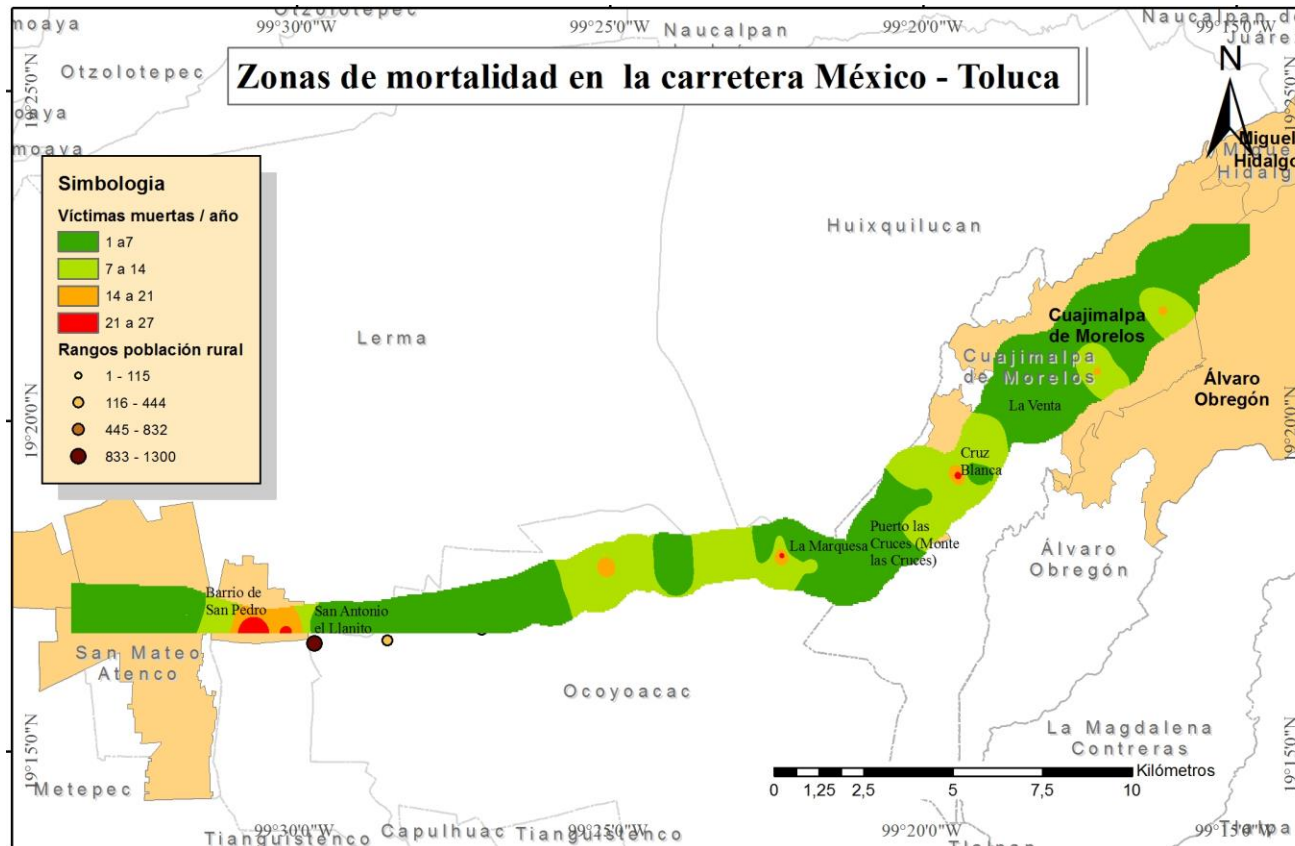


Gráfico 4.13 Relación AT Altitud para el subtramo 4



4.4. ZONAS DE ALTO RIESGO DE LA CARRETERA

Por último utilizando herramientas de interpolación en el SIG, se pueden generar zonas del alto riesgo, donde la relación espacial de los puntos de accidentabilidad se interpolan con toda un área del terreno, en este caso se utilizó un área de 500 m por lado de la carretera para tener una mejor visualización a escala 1:100,000. El mapa en la figura se muestra una aplicación de esta herramienta, en este caso la variable a interpolar serán las víctimas muertas, consideradas como las más importantes y donde se tiene que prestar más atención para inspecciones en sitio y propuesta de mejoras; en este mapa también se muestran las localidades urbanas y rurales asociadas a los puntos más peligrosos.



CONCLUSIONES

El estudio de los accidentes de tránsito en este tramo carretero constituye un paso fundamental para la evaluación de la seguridad vial en carreteras y su posterior intervención.

Esta metodología resalta la importancia de un análisis de la accidentabilidad vial desde un punto de vista sistémico, donde existe múltiples variables físicas, geográficas y económicas asociadas a las accidentalidad; no sólo se tiene que revisar la infraestructura carretera, como se vio en muchos puntos aunque se tenga una buena infraestructura las condiciones demográficas y económicas de la localidad cercana puede contribuir a aumentar las condiciones inseguras de la carretera.

El análisis de los datos y la creación de una “matriz estructurada de datos espaciales” constituyen el corazón de ésta metodología, llegar a ella requiere de herramientas fundamentalmente proporcionadas por los Sistemas de Información geográfica, resaltando la utilidad de estos para contribuir al estudio de accidentalidad. En este trabajo se ejemplifica una herramienta que se puede reproducir a cualquier carretera y que además se dejan planteados los sitios de mayor relevancia sobre este tramo carretero, así como ejemplos de cómo analizar los sitios más peligrosos.

En el caso particular de este caso de estudio se tienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La carretera México – Toluca tiene una alta tasa de accidentalidad en la zona de la Marquesa, se recomienda realizar adecuaciones viales como la aplicación de “Medidas de tráfico calmado” sobre la zona comercial de la marquesa en el Km 34 + 400 para evitar accidentes en la incorporación a la autopista de cuota.
- Sobre la carretera existen múltiples sitios donde se abren espacios “no legales” para el tránsito de vehículos, se recomienda cerrarlos o adecuar de señalamientos horizontales y verticales, sobre todo en el Km 24, 34 y 46.
- En el subtramo carretero que cruza la localidad de Lerma existe un brusco cambio de pendiente y aunque se han instalado reductores de velocidad en esta zona, no deja de ser una zona altamente peligrosa; en este sitio se recomienda la construcción de un puente carretero (aproximadamente de 3 Km) con el fin de disminuir la pendiente de la carretera y permitir la libre circulación de los vehículos en condiciones más seguras.
- Finalmente, tras el análisis de distintos sitios peligrosos sobre la carretera, puedo concluir que es la” carretera quien debe guiar al conductor y no el conductor a la carretera”, existe muchas condiciones inseguras principalmente sobre intersecciones resultado de la necesidad de las personas por tener una “mejor movilidad” a expensas de su seguridad.

Como punto final, no se debe restar importancia a este tipo de análisis ya que ayuda a tener un mejor panorama a nivel macroscópico para poder intervenir a nivel microscópico.

GLOSARIO

A

Accidente blanco.....	8
Accidente de tránsito.....	8
Análisis de datos espaciales.....	68
Análisis espacial.....	60
Asociación.....	61
Auditoría.....	18

C

Camino.....	13
Ciudad de México.....	34
Clasificación vehicular.....	47
Clima.....	45
CONABIO.....	43
Conductor.....	13
Costos.....	6

D

Datos.....	25
Diccionario de datos.....	63

G

Geoestadística.....	72
GITS.....	31
Grados de pendiente.....	40

H

Haddon.....	15
Hardware.....	24
Henrich y Bird.....	9
Hipsometría.....	36

I

Infraestructura vial.....	50
Interacción.....	61

L

Localidades rurales.....	54
Localidades urbanas.....	54

M

Matriz de Haddon.....	16
Matriz de Haddon Modificada.....	17
Matriz estructurada de datos espaciales.....	61

P

Pendientes.....	40
Perfil carretero.....	68
Pirámide de Heinrich.....	9
Precipitación.....	43
Puentes peatonales.....	50

S

Salud pública.....	5
Segmentación dinámica.....	63
SIG.....	23
Sistema de Información.....	22
Sistema de transporte.....	3
Sistemas,.....	2

T

Taza de motorización municipal.....	58
TDPA.....	47
Tipos de colisiones en carretera.....	10
Topografía.....	36

V

Valor agregado.....	28
Vehículo.....	13

Z

Zonas del alto riesgo.....	89
----------------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amparo, L. N. (2004). *Sisemas de Información geográfica, practicas con Arcview*. España: Alfaomega, Universidad politécnica de cataluña.
- Austroroads. (2002). *Road Safety Audit*. Australia: Standards New Zeland.
- Baeza Martínez, A. (2015). *Propuesta metodológica para el análisis de la accidentabilidad ocasionada por el transporte público de pasajeros en el Distrito Federal. Tesis que para obtener el grado de Maestra en Ingeniería*. México D.F.: UNAM.
- Bertalanffy, L. V. (1986). *Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Buzai, G. y. (2006). *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires: GEPAMA, Universidad de Buenos Aires.
- Chías Becerril, L. (2012). Marco conceptual de la geografía del transporte. *Apuntes de clase de "Organización del terriotio"*. México D.F: Instituto de Geografía, UNAM.
- Chías, L. (1997). Los accidentes de tránsito como problema de salud. 42-48. México: Revista Ciudades. Ciudad y Salud. Red Nacional de Investigación Urbana.
- Chías, L. y. (2010). *Atlas de seguridad vial en México*. México: Organización Panamericana de la Salud.
- Cortés Díaz, J. (2007). *Seguridad e Higiene en el Trabajo, Técnicas para la prevención de riesgos laborales*. Madrid: Tebar.
- ESRI. (2012). *ArcGIS - Help*. Recuperado el Junio de 2015, de <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/00v200000002000000.htm>
- Geotecnología en Infraestructura, Transporte y Sustentabilidad (GITS). (2015). *Portal Geoespacial de América Latina*. Recuperado el 4 de Junio de 2015, de <http://lagf.org/2014/ppt/Luis%20Chias.pdf>
- Giménez, R. (1986). *La geografía de los transportes en busca de su identidad*. Barcelona, España: Cuadernos críticos de geografía humana.
- Hernández, V. (2004). *Los accidentes de tránsito en la carretera del TLC , tesis para obtener el título de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras*. México: UNAM.
- INEGI. (2010). *Recursos Naturales. Climatología*. Recuperado el 6 de 7 de 2015, de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/default.aspx>
- Instituto de Ingeniería. (2014). *Talller sobre la seguridad vial en la planificación del transporte carretero*. México D.F.: UNAM.

- Instituto Mexicano del Transporte. (2001). *Publicaciones, Publicación Técnica No. 161*. (IMT, Ed.) Recuperado el 4 de Junio de 2015, de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt161.pdf>
- Mongosio, J. (2002). *Investigación de Accidentes*. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería. Universidad Católica Argentina.
- Montoro, L. A. (2000). *Manual de seguridad vial: El Factor humano*. España: Ariel, S A Instituto Universitario de Tráfico y Seguridad Vial (INTRAS).
- OMS. (2012). *¿Cuál es la enfermedad que causa más muertes en el mundo?* (OMS) Recuperado el 3 de Junio de 2015, de <http://www.who.int/features/qa/18/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial*. Departamento de Prevención de la Violencia y los Traumatismos y Discapacidad, Suiza. Obtenido de http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/report/web_version_es.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2 de Mayo de 2013). *Centro de Prensa*. (Organización Mundial de la Salud) Recuperado el 14 de Abril de 2015, de http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/make_walking_safe_20130502/es/
- Pérez, C. y. (1999). *Sector carreteras, documento técnico Corporación Financiera del Valle*. Colombia.
- Pimentel Montiel, M. (2012). *Propuesta metodológica para la identificación de intervenciones preventivas de accidentes de tránsito en el tramo carretero ciudad mendoza - córdoba de la autopista México – Veracruz. Tesis que para obtener el título de Maestra en Ingeniería*. México D.F.: UNAM.
- Potrykowski, M. y. (1984). *Geografía del Transporte*. Barcelona, España: Ariel.
- Reséndiz López, H. (2007). *"Propuesta metodológica y aplicación del modelo gravitacional en los sistemas d einformación geográfica"*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería. México, D.F.: UNAM.
- Runyan, C. W. (1998). *Injury Prevention. Using the Haddon matrix: introducing the third dimension*. Recuperado el 3 de Junio de 2015, de <http://injuryprevention.bmj.com/content/4/4/302.full>
- Sebastián Tryols Mateo, J. M. (2007). *Ingeniería de la seguridad vial*. Madrid: Delta publicaciones universitarias primera edición.
- Secretaria de Salud, gobierno de México. (2007). *Programa Nacional de Salud 2007-2012*.
- Shaw, S. (2002). *Geographic Information System for Transportation Principles ans Applications*. Oxford University Press.

SPPS. (3 de Agosto de 2012). *Accidentes de tránsito*. Recuperado el 30 de Marzo de 2015, de <http://www.spps.gob.mx/avisos/977-accidentes-transito.html>

TansCAD. (2015). *TransCAD, Introducción*. Recuperado el 4 de Junio de 2015, de <http://www.caliper.com/TransCAD/introduccion.htm>

Villena Sánchez , J. (2014). *Análisis espacial de los accidentes de tránsito del corredor México-tijuana en 2008. Tesis para obtener el título de licenciada en geografía*. . México D.F.: UNAM.

Villena Sánchez, J. (2014). *Análisis espacial de los accidentes de tránsito del corredor México-tijuana en 2008. Tesis que para obtener el título de: Licenciada en geografía*. México. D.F.: UNAM.