



Universidad Autónoma del Estado de México



Facultad de Geografía

Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática

**Localización óptima de las estaciones de bomberos para el municipio de Toluca,
mediante un modelo de localización-asignación con Sistemas de Información
Geográfica.**

Presenta:

Lic. Víctor Hugo López Vázquez

Tutor Académico:

Dr. Miguel Ángel Balderas Plata

Tutores Adjuntos:

Dr. Juan Campos Alanís

Mtro. Leonardo Alfonso Ramos Corona

Noviembre 2018

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por siempre estar presente.

***A mis amigos y compañeros de estudios por compartir tantos momentos
buenos.***

***A los profesores que me han aportado tanto durante esta etapa de mi vida en
los estudios.***

***Al Dr. Manuel Fuenzalida Díaz por su enseñanza y por haberme abierto las
puertas en la Universidad Alberto Hurtado en Santiago de Chile.***

***A la Universidad Autónoma del estado de México por su calidad en la
enseñanza y por ser una educación pública de vanguardia.***

***También agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
(CONACYT), por haber financiado mis estudios de Maestría otorgándome
una beca.***

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
Índice de Figuras	5
Índice de Tablas.....	6
I) RESUMEN	7
II) INTRODUCCIÓN.....	8
III) MARCO TEÓRICO.....	10
IV) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
V) JUSTIFICACIÓN.....	20
VI) HIPÓTESIS.....	23
VII) PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	23
VIII) OBJETIVO GENERAL.....	24
IX) OBJETIVOS PARTICULARES.....	24
X) ANTECEDENTES	25
10.1) Caracterización Territorial.....	28
10.2) Perfil Sociodemográfico	32
10.3) Protección Civil del municipio de Toluca	32
10.4) Equipo de Bomberos Toluca (con base a entrevista realizada)	35
10.5) El Sistema Normativo de Equipamiento de SEDESOL	38
XI) METODOLOGÍA.....	47
11.1) Distribución de patrones de puntos	51
11.2) Área de servicio de las Estaciones de Bomberos actuales.....	53
11.3) Evaluación multicriterio (EMC) con el proceso de jerarquía analítica (AHP).....	54
11.4) Modelo de Localización–asignación COBEMAX.....	57
XII) RESULTADOS	59
12.1) Evaluación de la cobertura de estaciones existentes	59
12.2) Análisis de Distribución espacial de incendios.....	62
12.3) El proceso de análisis jerárquico de sitios óptimos para ubicar nuevas estaciones de bomberos (AHP Analytical Hierarchy Process).....	68
12.3.1) Identificación de criterios	69
12.3.2) Estandarización de la información.....	83

12.3.3) Normalización de criterios	83
12.3.4) Construcción de jerarquías	87
12.3.5) Calculo de pesos.....	88
12.3.6) Sumatoria lineal ponderada.....	88
12.3.7) Restricciones	90
12.4) Aplicación del modelo localización-asignación y el algoritmo COBEMAX	96
12.5) Alternativa 1. San Antonio Buenavista (Calzada del pacifico)	102
12.6) Alternativa 2. Carretera Toluca-Atlacomulco (Palmillas).....	103
12.7) Alternativa 3. Carretera Toluca-México (Avenida Paseo Tollocan)	104
XIII) CONCLUSIONES	105
13.1) Con respecto a la Teoría	105
13.2) Con respecto a la Metodología	105
13.3) Con respecto a los Resultados	106
13.4) Recomendaciones	107
XIV) BIBLIOGRAFÍA	109
XV) ANEXOS	116

Índice de Figuras

Figura 1. Clasificación de técnicas de EMC	17
Figura 2. Ubicación del municipio Toluca de lerdo.....	29
Figura 3. Delegaciones del municipio de Toluca	31
Figura 4. Ubicación de estaciones, subestación y módulos de Bomberos en Toluca	37
Figura 5. Esquema metodológico para la localización optima de estaciones de bomberos en Toluca	50
Figura 6. Áreas de servicio de las estaciones de bomberos.....	60
Figura 7. Áreas de servicio e incendios.....	61
Figura 8. Distribución espacial de incidentes de incendios de Alta prioridad	63
Figura 9. Distribución espacial de incidentes de incendios de Prioridad Media	65
Figura 10. Distribución espacial de incidentes de incendios de Prioridad baja	67
Figura 11. Modelo de evaluación multicriterio para sitios candidatos de nuevas Estaciones de Bomberos	69
Figura 12. Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs) de Toluca de Lerdo.....	72
Figura 13. Cálculo de la Densidad poblacional AGEBS vectoriales.....	73
Figura 14. Rasterización del cálculo de la Densidad poblacional AGEBS	74
Figura 15. Red vial Toluca de Lerdo.....	76
Figura 16. Vialidades principales y secundarias de Toluca.....	77
Figura 17. Cercanía a vías principales y secundarias de Toluca.....	78
Figura 18. Factores de riesgo en Toluca	81
Figura 19. Cercanía a Factores de riesgo en Toluca	82
Figura 20. Cercanía a vías Principales y secundarias (Fuzzy).....	84
Figura 21. Densidad de Población (Fuzzy).....	85
Figura 22. Cercanía a factores de Riesgo (Fuzzy)	86
Figura 23. Resultado de la Sumatoria lineal ponderada	89
Figura 24. Restricción por Área de servicio de estaciones actuales	91
Figura 25. Restricción por Cuerpos de agua	92
Figura 26. Restricción por Pendiente	93
Figura 27. Resultado Final de la Evaluación Multicriterio.....	95
Figura 28. Cobertura máxima de nuevas alternativas de estaciones de bomberos, Toluca de Lerdo	97
Figura 29. Área de servicio de estaciones actuales y propuestas	101
Figura 30. Alternativa en Calzada del pacífico	102
Figura 31. Alternativa en Palmillas.....	103
Figura 32. Alternativa en avenida Paseo Tollocan.....	104

Índice de Tablas

Tabla 1. Población absoluta	20
Tabla 2. Listado de nombres de las Delegaciones del Municipio de Toluca 2017.	30
Tabla 3. Tipo de servicio de la Coordinación Municipal de Protección Civil periodo 2013-2015.	33
Tabla 4. Inventario de recursos humanos y materiales de la Coordinación Municipal de Protección Civil 2015.	34
Tabla 5. Equipamiento por Unidad de servicio	35
Tabla 6. Localización y Dotación regional y Urbana.	40
Tabla 7. Ubicación Urbana	42
Tabla 8. Selección del predio	44
Tabla 9. Programa Arquitectónico	45
Tabla 10. Procedimientos Metodológicos	48
Tabla 11. Clasificación de incendios por prioridad	52
Tabla 12. Proceso Analítico Jerárquico	55
Tabla 13. Clases de pertenencia Difusa	56
Tabla 14. Categorización de criterios condicionantes y de restricción	70
Tabla 15. Factores de riesgo considerados	80
Tabla 16. Matriz de comparación pareada y cálculo de pesos	87
Tabla 17. Matriz de pesos y jerarquías	88
Tabla 18. Análisis de resultados	99
Tabla 19. Inventario actual por estación	117

I) RESUMEN

Este trabajo parte de la corriente del pensamiento de la teoría de los lugares centrales de Christaller (1933) como fundamentación teórica. Abordando la temática de localización óptima mediante la metodología de Evaluación Multicriterio con la técnica Proceso analítico jerárquico (AHP) y aplicación del modelo de localización-asignación con el algoritmo de cobertura máxima implementado en ambiente SIG, procurando garantizar los servicios de emergencia ante incendios satisfagan todas las demandas para evitar pérdidas humanas y materiales. Por lo que se evaluó la ubicación actual de las estaciones de bomberos para estimar qué zonas del municipio tienen poca o nula cobertura dentro de un tiempo de respuesta sugerido por la National Fire Protection Association (NFPA), así también se determinaron ubicaciones óptimas para la construcción potencial de nuevas alternativas de estaciones de bomberos, tomando como referente los criterios establecidos por SEDESOL, mejorando el servicio de respuesta ante incendios para el municipio de Toluca.

Key words: Localización óptima, Evaluación Multicriterio, modelo de localización-asignación, cobertura máxima, servicios de emergencia, incendios.

II) INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de los tiempos la sociedad se ha visto en situaciones de emergencia, las cuales pueden ser de carácter accidental o intencional. Estas emergencias ponen a prueba la capacidad de reacción del hombre y también su capacidad de mitigarlas en el menor tiempo posible. En un mundo cada vez más poblado, la respuesta rápida y efectiva ante estos escenarios se vuelve un desafío cada vez más importante. Hoy en día existen organismos como los bomberos, el ejército, la cruz roja y la policía etc.. quienes permiten enfrentar las emergencias de mejor manera, pero definitivamente no es un tema totalmente resuelto.

Actualmente el municipio de Toluca cuenta con 1 estación de bomberos, 1 subestación y 3 módulos los cuales no se encuentran totalmente funcionales para satisfacer todas las demandas de emergencias ante incendios, esto debido a diversas causas relacionadas al mantenimiento, poco personal, falta de equipo etc.. debido a ello la responsabilidad recae en la estación central y la subestación. De acuerdo con Protección Civil Toluca, (2015) en un lapso de 3 años correspondientes del 2013 al 2015 se registraron 2876 incendios registrados.

Estos incendios fueron de diversa índole, asimismo existen estaciones en los municipios conurbados al municipio que cuando son insuficientes los bomberos de Toluca que recurren a las crecientes demandas de servicios de emergencia ante incendios que de cierta manera se salen de control, pero de manera independiente el municipio debe ser responsable de manera eficiente en todos los incidentes que se originen en el municipio.

Toluca no está exenta a incendios pues también cuenta cierto tipo de comercios, servicios e industria que por el giro podrían clasificarse como de riesgo ante incendio. Por lo tanto, es primordial que el municipio de Toluca cuente con un servicio que este a la vanguardia para salvaguardar las vidas humanas y propiedades que se encuentren en riesgo, asimismo señala ESRI (2007) que la misión del servicio de bomberos es proteger la vida, la propiedad y los recursos naturales del fuego y otras emergencias. Ahora bien las estaciones de bomberos, se distribuyen en el espacio territorial, de acuerdo, a ciertas características que posibiliten su adecuada utilización y oportuna respuesta ante emergencias, es aquí donde juega un papel importante los asentamientos poblacionales, topografía y accesibilidad a determinados lugares, por tal razón, es la población la que juega un papel preponderante en la distribución de las estaciones de bomberos, en este caso, si estos tienden a concentrarse en un lugar o

por el contrario se encuentran dispersos de una manera más o menos regular sobre un territorio.

De esta manera, una de las virtudes primordiales de las estaciones de bomberos es demostrar que son altamente eficientes en el servicio que brindan a la ciudadanía. Cada estación está ocupada continuamente día tras día por lo tanto debe ser capaz de soportar este uso. Los encargados de dirigir las estaciones tienen el compromiso de verificar que su personal asignado cuente con instalaciones adecuadas durante el servicio, asegurarse de que son aptos, están entrenados mentalmente y físicamente, que sean capaces de mantener sus vehículos y equipos para responder en cuestión de segundos cuando sea necesario ante una emergencia.

Las condiciones naturales de nuestro entorno y las dinámicas que resultan riesgosas para los humanos han influido en la manera de organización de la sociedad, sobre todo para enfrentar las diversas amenazas que se presentan cotidianamente. Uno de los objetivos principales de los Bomberos es salvaguardar la vida y la integridad física de los ciudadanos, sus bienes y su entorno, además de atender eficazmente las emergencias que se suscitan en el territorio de mayor importancia como lo son los incendios de cualquier índole como lo son: Incendio de pasto, incendio casa habitación, incendio de bodega, incendio de lote baldío, incendio de vehículo, incendio de zacate, fugas de gas y derrames químicos y así también no de menor importancia pero si de gran apoyo para las diversas encomiendas como lo son: enjambres de abejas, rescate de personas, retiro de árboles, postes y cables etc.

Es por ello que es de manera puntual creer que las estaciones de bomberos atienden las llamadas de los ciudadanos y acuden al lugar para la extinción de incendios procurando que los tiempos de respuesta, muertes y los gastos causados por el incendio se reduzcan al mínimo. Conforme al artículo 6.204 del Código reglamentario del municipio de Toluca menciona que, en una situación de emergencia, el auxilio a la población será la función prioritaria de bomberos y de protección civil, por lo que será el Municipio la primera instancia de intervención. Los integrantes del sistema municipal de protección civil y los sectores privado y social actuarán en forma conjunta y ordenada. Lo que significa que el municipio es el primer involucrado en solventar las emergencias que en él se originen.

III) MARCO TEÓRICO

A continuación, se describen los elementos teóricos que permitieron estructurar la estrategia de localización de estaciones de bomberos.

En un principio se menciona acerca del trasfondo histórico de la teoría de localización en donde se hace un breve recorrido sobre las teorías clásicas, las cuales fundamentan esta investigación, si bien de ahí que nace el interés de la ciencia de la localización, además de literatura sobre la ciencia de la localización de instalaciones de servicios públicos. Así también se articulan los modelos de localización-asignación haciendo énfasis en la problemática de cobertura máxima. También se menciona acerca de las magnitudes: la eficiencia espacial y la justicia espacial. Por último, se menciona acerca de la técnica de evaluación multicriterio bajo el algoritmo del proceso de Jerarquías Analíticas AHP esencial para la selección de localización.

Ahora bien para comenzar se debe tener en cuenta que durante muchas décadas el punto central fue la búsqueda de una explicación de las tendencias y modelos generales de localización de las actividades humanas, entre ellas sobresalieron las teorías clásicas por Heinrich von Thünen (modelo de localización sobre el uso del suelo agrícola), Alfred Weber (modelo de localización industrial) donde intentó encontrar el lugar más eficiente para la localización de industrias, tal que la misma se encontrara entre la producción de materia prima y el mercado consumidor y Walter Christaller teoría de los lugares centrales (Méndez, 1997). En donde Christaller (1933) al elaborar su teoría de los lugares centrales, definidos como emplazamientos cuya función es la provisión de bienes y servicios a una población dispersa alrededor de éste. Por otro lado, señala Murray (2009) que la Teoría de localización es la base o contexto para estudiar cómo y por qué ubicación se toman decisiones, ya sea por empresas, agencias gubernamentales o de personas, así como proporciona la justificación para la ubicación de toma de decisiones y asignación de servicio. Además, la ciencia de la localización ha atraído a más de una disciplina académica, que son economía, ingeniería, geografía, matemáticas, investigación de operaciones, planificación y ciencia regional (Current, 1990).

Sin embargo, las aplicaciones y teoría relacionadas con la localización son extensas e implican diferentes factores tales como: área de aplicación, accesibilidad, disponibilidad y costo de materias primas, servicios públicos, problemas de mercado, geografía física y aspectos ambientales; ocupación urbana; recursos humanos, entre otros (Ballou, 2001; Chuang, 2001; Galvão *et al.*, 2003; López y Henderson, 1989; Romero, 2006; Yang y Lee, 1997) que indica la aparición de diferentes modelos matemáticos, con características específicas a cada problema.

Asimismo, menciona Moreno (2008) nuestra existencia cotidiana se nos aparece así soportada por una inmensa gama de servicios y resulta una tendencia temporal incontestable que el ciudadano demanda una cifra creciente de ellos. Por tanto, menciona Murray (2009) que el componente de explicación surge cuando preguntas de 'por qué' y 'cómo' patrones espaciales de la actividad han evolucionado con el tiempo. El aspecto de la predicción se produce cuando se utiliza cierto conocimiento a lugar, sitio, reubicar o de lo contrario plan de prestación de servicios futuros.

Ahora bien, según Sanders (2007) los servicios públicos ocupan un lugar importante en las sociedades modernas. Nacemos en un hospital, nos vamos a la escuela, nos beneficiamos de las infraestructuras de transporte y servicios de emergencia, nos comunicamos por correo, teléfono e Internet, servicio de recolección de la basura, etc. Uno de los desafíos que enfrenta la sociedad contemporánea es llegar a una correcta adecuación entre las necesidades de sus miembros y los servicios que ofrecen. Daskin (1995) declaró de forma breve que “el éxito o fracaso de los servicios privados y públicos depende de las localizaciones elegidas para esos servicios”.

Esta adecuación tiene varias facetas e inquietudes: la identificación de necesidades, la selección de aquellos que deben cumplirse, la manera en que el servicio los proveedores serán organizados y controlados, el arbitraje entre los usuarios, la financiación de estas actividades, el impacto sobre el entorno físico y humano, etc. Todas estas cuestiones abren la puerta para grandes discusiones en ámbitos políticos, sociales, económicos, éticos, etc. Una pregunta de particular interés para el geógrafo a lo largo de estas discusiones es la

adecuación espacial entre oferta y demanda, que significa la elección de la ubicación de los servicios y su cobertura geográfica.

En algunas industrias, la localización de las empresas está determinada por la naturaleza de sus productos o de sus procesos productivos. La localización, por ejemplo, de actividades agrícolas o extractivas está limitada por la ubicación de tierras fértiles o depósitos minerales. Sin embargo, una gran cantidad de industrias (manufacturas y servicios) pueden localizarse en cualquier parte, ya que ni las materias primas que utilizan ni los productos que fabrican están ligados a la disponibilidad geográfica y pueden ser transportados a bajos costes.

Pero los estudios de localización toman una dimensión más amplia cuando a principios de este siglo ciertos economistas toman interés en esta cuestión e incorporan además de la distancia, factores de carácter socioeconómico. Por ejemplo, Alfred Weber (1929) en su libro *Teoría de localización de la industria*, intentó encontrar el lugar más eficiente para la localización de la industria, tal que la misma se encontrara entre la producción de materia prima y el mercado consumidor. Sin embargo, después de desarrollar su teoría reconoció que tanto los procedimientos geométricos, como los principios mecánicos utilizados presentaban limitaciones para explicar la relación coste-transporte, y que no podría ser empleado para resolver problemas complejos de localización o casos de multi-localización (Ghosh y Rushton, 1987).

Ahora bien, abordando la temática de sobre los modelos de localización-asignación señala Ramírez y Bosque (2001) que responden a las características de un modelo matemático (porque intenta trasladar ideas conceptuales al lenguaje matemático), meso-espacial (porque intenta resolver problemas de competencia en un territorio definido) y normativo (porque se pretende responder a la pregunta ¿cuál es la mejor solución a este problema?). En síntesis, un modelo de localización-asignación óptima, es aquel que procura, a la vez, determinar la ubicación óptima de los equipamientos (localización) y asignarles la totalidad de beneficiarios potenciales (asignación). En otras palabras, son modelos que intentan determinar la región o área de influencia de un servicio concreto.

La mayoría de los modelos han sido diseñados para determinar las localizaciones óptimas de una o varias instalaciones deseables (usualmente idénticas), de tal manera que se obtenga su mejor distribución espacial a partir de minimizar los costos o tiempos totales de transporte (Bosque Sendra and Moreno Jiménez, 1990).

La localización-asignación posibilita la realización de análisis relacionados con una doble vertiente: la localización óptima de servicios, y la asignación de los puntos de demanda a esos servicios. Para esto se ofrecen dos tipos de soluciones relativamente sencillas: minimizar la impedancia y minimizar las facilidades (servicios).

Minimizar la impedancia: selecciona un número especificado de servicios localizados en posiciones tales que se consigue que el costo de acudir a ellos desde los puntos de demanda sea el mínimo. Si se especifica un coste máximo, el algoritmo soluciona el típico problema de la localización óptima de almacenes, pues el transporte de mercancías hacia las tiendas debe considerar ese coste máximo. Si no se indica un coste máximo, el algoritmo sirve para conocer cuál sería la ubicación óptima de servicios público tales como bibliotecas, hospitales, etc.

Minimizar los servicios: selecciona el mínimo número de servicios para abastecer a la demanda, pero siempre dentro de un umbral definido por el usuario. Es un algoritmo diseñado para solucionar problemas en los que la impedancia tiene un máximo, como hospitales, parques de bomberos, o centrales de policía.

Minimizar la impedancia y Minimizar los servicios se diferencian básicamente en un punto: El primero permite indicar el número de servicios a elegir (por ejemplo, seleccionar solo una iglesia, la mejor situada respecto a la población), siempre y cuando se encuentren a menos de un valor de impedancia elegido; A aquellos puntos de demanda que se encuentren más allá de la facilidad elegida, no se les asigna ninguna. El segundo no permite indicar el número de servicios a elegir, pero elegirá siempre el mínimo número, cuyo valor dependerá del valor de la impedancia estimado: todos los puntos de demanda (población) serán satisfechos, aunque para ello haya que aumentar el número de servicios.

En esencia, y siempre a través de una red de transporte cuya impedancia puede estar basada principalmente en la distancia o el tiempo, permite a través de una serie de algoritmos, afrontar cuestiones muy variadas que relacionan la ubicación de una serie de servicios, con la localización de una serie de puntos de demanda, usualmente ponderados por la población. Los objetivos concretos son: Minimizar la impedancia, Maximizar la cobertura, Minimizar los servicios, Maximizar la atención al cliente, Maximizar el mercado compartido, Ubicar un servicio (entre competidores).

Asimismo, los modelos de localización-asignación hasta ahora definidos, consideran dos magnitudes: la eficiencia espacial de la localización de los centros de servicio y la justicia o equidad espacial de su distribución en el territorio (Bosque, 1992).

- Eficiencia espacial: cuando dada una determinada configuración espacial de la demanda, la distribución de la oferta permite alcanzar bien un valor mínimo (o máximo, según el tipo de equipamiento) de la suma total de movimientos entre oferta y demanda o bien una distancia máxima entre un punto de demanda y alguno de los centros de oferta (Moreno *et al.*, 2004); criterio profundamente influido por la teoría de la localización de Weber
- Equidad: puede manifestarse como igualdad, pero no son dos palabras que se tengan que emplear necesariamente como sinónimos. La equidad podría entenderse como imparcialidad o justicia, generalmente aplicada a la distribución de ingresos y otras oportunidades (Moreno *et al.*, 2004).
- Justicia espacial: La justicia espacial o locacional señala Garrocho (1992), es aquella donde la ubicación de un bien o servicio de manera justa “minimizará la suma de los recorridos que realizan todos los usuarios, sin importar las diferencias en la longitud de sus viajes, lo que quiere decir que las desigualdades en accesibilidad no serían relevantes, solo la accesibilidad total”, esto implica que todos los individuos deben tener la misma oportunidad para acceder a los servicios que se ofrecen (en el mismo sentido de igualdad al que hacen referencia los derechos ciudadanos en la constitución mexicana), en esta definición se introduce el concepto de accesibilidad como una medida para la justicia espacial (la cual permite que la población utilice los servicios y obtenga beneficios).

Además, Bosque (2001, 2004), menciona que la justicia espacial se refiere “al grado de igualdad en la distribución de los servicios que presta cada instalación entre la población”, por lo que no debe existir concentraciones excesivas de los bienes y servicios que induzcan el malestar de las personas. Mencionando que la justicia espacial es medible a través de las distancias que separan la oferta (los bienes y servicios) de la demanda (la población), concluyendo que, a menor diferencia existente entre esas distancias, se tratara de justicia.

De esta manera la justicia espacial depende de la mayor o menor facilidad de acceso y depende de la variabilidad de las distancias, tiempos y costos económicos que separan a cada individuo del bien más próximo. Este criterio de equidad o justicia se relaciona con el de igualdad que es la medida que valora las distribuciones, sin embargo, no es tan fácil de aplicar (Bosque, 1992).

Por tanto, los modelos de localización-asignación para equipamientos deseables se pueden abordar con los siguientes modelos (Moreno, 2004): a) En el sector privado: Modelo P-mediano (también denominado Minisum o Mindistance), Modelo lineal de maximización de la asistencia, Modelo no lineal de maximización de la asistencia, b) En el sector público: Modelo P-mediano con restricción de máxima distancia, Modelo P-mediano con restricción de horarios de apertura, Modelo P-center, Modelo de mínimo número de centros, Modelo de cobertura máxima, Modelo de cobertura máxima con restricción de la distancia. c) Modelos de localización-asignación para equipamientos no-deseables: Modelo Maximin, Modelo Maxisum, Modelos de localización-asignación basados en “límites mínimos o de cobertura/anticobertura”, Modelo complementario anticobertura.

En términos generales cabe indicar, de acuerdo a (Ramírez y Bosque, 2001), que los modelos de localización-asignación responden a las siguientes características: (a) son modelos matemáticos, ya que se considera a este lenguaje como apto para captar la realidad, (b) son modelos meso-espaciales, porque los aspectos a resolver se encuentran claramente delimitados en un territorio, y (c) son modelos normativos, porque se debe buscar la mejor solución a un determinado problema.

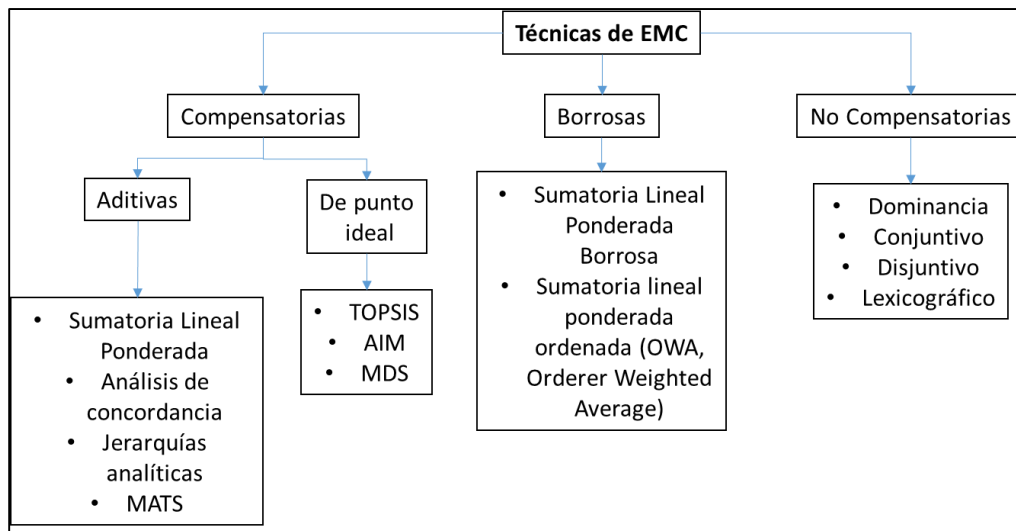
Sin embargo, la aplicación de métodos que tienden a la búsqueda de nuevas localizaciones de oferta deben considerar en primera instancia la determinación de alternativas de sitios candidatos, es decir, una cantidad de puntos seleccionables con la finalidad de elegir los mejores en base al objetivo del modelo aplicado.

El objetivo del problema de optimización es elegir un subconjunto de ubicaciones en las cuales colocar instalaciones para minimizar el costo de servicio a los clientes. El objetivo del conjunto que cubre problema es minimizar el costo de una instalación ubicación para obtener un nivel de cobertura específico (es decir, accesibilidad desde una ubicación a un cliente), como Owen y Daskin (1998).

Los objetivos de ubicación se deben cambiar para maximizar la cobertura que pueden proporcionar los recursos disponibles. Este es el problema de la cobertura máxima (Church y ReVelle 1974). El problema de cobertura máxima busca maximizar la cantidad de demanda cubierta dentro del tiempo de servicio aceptable S mediante la localización de un número fijo de instalaciones.

Por otro lado, también se tiene contemplado utilizar las técnicas de Evaluación Multicriterio de esta manera menciona Barredo (1999) que es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de las tomas de decisiones como lo señala. La toma de decisiones multicriterio debe ser atendida como un “mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los decisores a analizar, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios” señala Colson y De Bruin en 1989; y según del objetivo y la necesidad de resolver el problema, se utilizará alguno. Asimismo, Gómez Delgado & Barredo Cano, (2005), mencionan que los distintos métodos o técnicas de EMC, que se diferencian básicamente en los procedimientos aritméticos estadísticos que se realizan sobre las matrices de evaluación y de prioridades, su clasificación se muestra. Figura 1.

Figura 1. Clasificación de técnicas de EMC



Fuente: Elaboración propia con base en Gómez y Barredo (2005).

La Evaluación Multicriterio. (EMC), posee dos enfoques con los cuales se originó esta metodología:

El enfoque positivo (Descriptivo): esta basa su enfoque en la elaboración de una serie de construcciones teóricas y lógicas, con las que se pretende explicar el comportamiento de los agentes decisores, es decir del por qué se ha de tomar una determinada decisión y cuáles son sus razones, basando su campo en la Lógica, Psicología y Sociología.

El enfoque normativo (prescriptivo): Este enfoque define la racionalidad de los agentes económicos en base a una serie de supuestos justificables se realizan una serie de operaciones lógicas para deducir el comportamiento óptimo de los agentes decisores, enfatizando el desarrollo, evaluación y aplicación de técnicas para facilitar la toma de decisiones.

Para la aplicación en los SIG, la metodología toma el enfoque normativo debido a que el análisis espacial realizado inicialmente define qué características o alternativas son las que se encuentran presentes y así deferir en cuales están requeridas para posteriormente definir los procesos y parámetros con los cuales se lograran discernir y descartar todos aquellos factores que no cumplan con los criterios establecidos para la toma de decisión. De las técnicas de EMC, interesa particularmente el método de las jerarquías analíticas (MJA o

Analytic Hierarchy Process “AHP”) pues este se basa en la descomposición, juicio comparativo y síntesis de las prioridades del problema de decisión (Malczewski, 1999).

Su uso en este campo, SIG, facilita trabajar con diversas variables incluida las territoriales. El análisis multicriterio, dada la posibilidad permite de combinar y valorar simultáneamente los criterios (las bases para la toma de decisión) con sus factores (los aspectos que los fortalecen o los debilitan) a través del manejo de sus atributos (las variables) dentro de unas determinadas reglas de decisión y valoración (Barredo, 1996).

IV) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los diferentes sucesos que han acontecido en la ciudad de Toluca durante los últimos años han dado cabida a repensar la necesidad de una mejor planificación, ordenamiento e infraestructura contra las emergencias y ante cualquier incidente. Solo se cuenta en materia de infraestructura con: 1 estación central, 1 subestación de bomberos poniente y 3 módulos los cuales son módulo Exportec, modulo Central de Abastos y modulo norte (Plan de desarrollo municipal de Toluca, 2016-2018). El incremento de población es un factor directo que demanda de más y mejores servicios sin dejar en visto los servicios de rescate contra incendios. El crecimiento de la ciudad es un factor que afecta los tiempos de respuesta a incidentes reales y como consecuencia también aumento del riesgo en la zona por más servicios de equipamiento, gasolineras, gaseras, plantas de reciclaje, industria entre otros.

El Plan Regional de Desarrollo Urbano del Valle de Toluca, muestra que la estructura vial actual carece de vialidades periféricas estructuradoras además de saturación del transporte urbano por un diseño inadecuado de rutas. Territorialmente el Valle de Toluca y la Zona Metropolitana Conurbada presenta bajas densidades con crecimiento muy horizontal y dispersión en la zona Metropolitana periférica con altos costos de urbanización y subutilización de espacios urbanos. En el Valle de Toluca, se observa un fenómeno de transformación urbana constante. Su planta industrial, su desarrollo comercial y de servicios, sus condiciones ambientales y su cercanía a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) soportada en la estructura carretera que las une, hacen del valle un polo alternativo de desarrollo el cual deberá ser sujeto de políticas y programas que eviten la conurbación de los valles y preserve las áreas naturales que los dividen.

Ahora bien, es incierto método de localización de las estaciones es de pensarse que se realiza por la facilidad a ciertos terrenos destinados a uso público o bien porque estaba disponible a bajo costo o ningún costo para el municipio, y es ahí donde se ha levantado edificaciones de estaciones de bomberos, y esto atraes consecuencias porque quizá pueda no ser el lugar óptimo para tener mayor efectividad en acciones de rescate contra emergencias.

V) JUSTIFICACIÓN

El municipio de Toluca es la capital del Estado de México, entidad más poblada del país, tiene cierta cercanía a la ciudad de México (64 Km) por lo tanto Toluca es una de las ciudades a cruzar para llegar diariamente a la Ciudad de México, además de su dinámica diaria genera congestión vial, afectando de manera inherente a las actividades de servicio de emergencias ante incendios por parte del cuerpo de bomberos en diferentes horas del día. Además de que Toluca es un espacio muy complejo, en ella se encuentran áreas industriales, comerciales, de servicios, barrios de diferente estrato social y condiciones económicas, calles, parques y otros espacios públicos.

Ante la problemática ocasionada por el aumento de población ver Tabla 1. Si bien la población también es contemplada en sistema Normativo de Equipamiento Urbano (SEDESOL, 1999) es por ello que surge una necesidad de mayor demanda de servicios, este estudio propone la generación de conocimiento que derive en el uso de herramientas de análisis de localización para afrontar y maximizar recursos existentes por parte de bomberos Toluca.

Tabla 1. Población absoluta

PERIODO	POBLACIÓN TOTAL
1995	564,476
2000	666,596
2005	747,512
2010	819,561
2015	873 536

Elaboración propia con base en INEGI Censo de Población y Vivienda 1995, INEGI XII Censo General de Población y Vivienda 2000, INEGI II Censo de Población y Vivienda 2005, INEGI Censo de Población y Vivienda 2010 y INEGI. Encuesta Intercensal 2015.

De esta forma, el presente proyecto plantea coadyuvar en mejorar el rendimiento y eficiencia de recursos en el municipio de Toluca, estado de México mediante modelos de localización-asignación. Dado que no hay estudios o análisis de este tipo en el municipio se tiene desconocimiento de los alcances, es por ello que ésta sería una oportunidad para la geografía en el rubro de los equipamientos sociales en este caso los institucionales tiene un significado especial debido a la relación entre espacio geográfico y equipamientos urbanos en nuestro caso estaciones de bomberos; este último impacta directamente el territorio, lo transforma y lo organiza debido a los servicios que este presta a la sociedad. Así también está

considerado en el plan de desarrollo municipal de Toluca la creación de una subestación de bomberos para atender emergencias en tiempo y forma en la zona norte del municipio 2016-2018 con fuente de financiamiento de recursos propios.

Por lo que esta investigación servirá como base para nuevas alternativas de ubicación para futuras nuevas estaciones de bomberos para tomadores de decisiones del municipio de Toluca de Lerdo, así como también como referente para diferentes tipos de equipamiento urbano, así como de servicios públicos o privados. Haciendo hincapié que se basa meramente en un referente nacional como normativa para localización de equipamiento urbano de SEDESOL y haciendo uso de las actuales tecnologías digitales y particularmente la asociación entre los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con técnicas de evaluación multicriterio y modelos localización-asignación.

Asimismo el Estándar para la ubicación de la Estación de Bomberos y un tiempo de respuesta razonable mencionado el cual es el Estándar 1710 de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios, 2016 (Estándar para la Organización y el Despliegue de Operaciones de Supresión de Incendios, Operaciones de Emergencias Médicas y Operaciones Especiales para el Público por parte de los Departamentos de Bomberos Profesionales), establece el despliegue del incendio, recursos de rescate y EMS, la compañía que llega por primera vez debe llegar dentro de los 4 minutos y / o la asignación inicial de alarma completa en un período de 8 minutos al 90% de los incidentes.

Es fundamental que todos los incendios se informen lo antes posible. Esto permite a los bomberos llegar rápidamente y poner en acción un plan estratégico para evitar que la situación se convierta en un desastre. El flashover es cuando todos los contenidos alcanzan su temperatura de ignición y se encienden simultáneamente. Esto intensifica el fuego hasta el punto donde va más allá del punto o área de origen. A medida que se genera más calor, más se queman el contenido y el edificio.

Cuando ocurre un flashover, el fuego se extiende más allá del origen del área. Es entonces cuando se produce la mayor cantidad de daño y, lo que es más importante, las personas pierden la vida.

Así también es indicado en el Código reglamentario del municipio de Toluca Artículo 4.20 que son obligaciones de los integrantes del cuerpo de bomberos, además de las señaladas por otras normas legales, las siguientes: apartado III Acudir con la mayor rapidez a los sitios en donde se haya iniciado un incendio, para extinguirlo e impedir su propagación y IV Hacer uso de todos los elementos a su disposición para sofocar el fuego en el menor tiempo posible; por lo que también en el Artículo 6.204 en una situación de emergencia, el auxilio a la población será la función prioritaria de bomberos y de protección civil, por lo que será el Municipio la primera instancia de intervención. Los integrantes del sistema municipal de protección civil y los sectores privado y social actuarán en forma conjunta y ordenada.

VI) HIPÓTESIS

La actual distribución espacial de las estaciones de bomberos en el municipio de Toluca no permite atender a las emergencias de incendios en un tiempo de respuesta razonable para salvaguardar vidas humanas y materiales; por lo que es factible localizar nuevas estaciones a partir de un modelo de localización–asignación en apoyo a la toma de decisiones.

VII) PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1) ¿La actual distribución de las estaciones de bomberos permite maximizar la cobertura con un tiempo de respuesta de 8 min ante las emergencias de incendios en Toluca?
- 2) ¿Para las áreas que no están cubiertas existen condiciones aptas para localizar nuevas estaciones de bomberos en Toluca?
- 3) ¿Cuál es el número de nuevas estaciones que permitirían maximizar la cobertura con un tiempo de respuesta de 8 min ante emergencias de incendios?

VIII) OBJETIVO GENERAL

Determinar los sitios óptimos para alternativas de estaciones de bomberos por medio de modelos de localización-asignación para el municipio de Toluca.

IX) OBJETIVOS PARTICULARES

Georreferenciar la ubicación de las estaciones de bomberos actuales mediante un dispositivo GPS para el municipio de Toluca mediante trabajo de campo.

Identificar el modelo de distribución espacial de los de los incendios registrados por el cuerpo de bomberos en el municipio de Toluca de lerdo.

Evaluar las áreas de cobertura de las actuales estaciones de bomberos considerando las variables de distancia y tiempo de respuesta mediante métricas predefinidas.

Analizar la normatividad vigente para localización de equipamiento urbano, así como, bibliografía relacionada para identificar las variables que determinen la localización de las estaciones de bomberos y con base en ello realizar un análisis de la capacidad de acogida del territorio para la asignación de sitios candidatos para nuevas estaciones de bomberos (a partir de técnicas de evaluación multicriterio).

Determinar la localización óptima para las alternativas de nuevas estaciones de bomberos, en base a la oferta, demanda y los sitios candidatos, aplicando un modelo de localización-asignación a objeto de maximizar la cobertura y minimizar la distancia de recorrido.

X) ANTECEDENTES

En lo sucesivo se hace una breve recopilación sobre los antecedentes históricos de los que han tenido los bomberos y Protección civil, así como también de los trabajos realizados sobre la temática de localización de estaciones de bomberos a nivel municipal, estatal, nacional e internacional.

En el municipio se promulgaron las reformas en la ciudad de Toluca de Lerdo, capital del Estado de México el 2 de diciembre de 1993 con un Reglamento del Honorable cuerpo de bomberos en el que estipula funciones específicas, entre ellas: la gestión integral del riesgo contra incendio, inundaciones y otro tipo de desastres, la preparación y atención de rescates en todas sus modalidades (Reglamento del Honorable cuerpo de Bomberos, 1993).

Asimismo, en el Bando municipal del ayuntamiento de Toluca 2016-2018, Título Sexto de los servicios públicos capítulo único de la prestación de los servicios públicos Artículo 43. Se indica que el Ayuntamiento, a través de las dependencias y organismos municipales que determine, tendrá a su cargo la planeación, ejecución, administración, evaluación y modificación de los servicios públicos municipales y el gobierno municipal proporcionará los servicios públicos y ejecutará las obras que la prestación, instalación, funcionamiento y conservación requieran, con sus propios recursos y, en su caso, con la cooperación de otras entidades públicas, sociales o privadas.

A nivel estatal el 30 de junio del 2015 el legislador local de Movimiento Ciudadano Juan Abad de Jesús, dio a conocer que es indispensable la creación de la Ley de Bomberos del Estado de México a fin de formalizar los cuerpos operativos y mejorar sus condiciones laborales y capacitación. La iniciativa indica que es necesario conformar convenios e incluso compartir la responsabilidad a través de la creación de un patronato (Ortiz, 2015).

Ahora bien a nivel Nacional en lo que respecta a Protección civil, cuenta con una ley general de Protección Civil del Nuevo Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de mayo de 2014 donde considera a los bomberos en el capítulo I Disposiciones generales del artículo 2 en el apartado 10 sobre los Grupos de primera respuesta y menciona que los cuerpos de bomberos, servicios de ambulancia y atención pre hospitalaria, servicios

de rescate, cuerpos de policía y de tránsito y demás instituciones, asociaciones, agrupaciones u organizaciones públicas o privadas, que responden directamente a la solicitud de Auxilio (Protección Civil, 2015).

En México, los daños provocados por los incendios, aunque individualmente parecieran pequeños, en conjunto tienen consecuencias enormes, aún más graves que los sismos y huracanes. Los cuales representan más del 30 por ciento del total de víctimas y daños de este tipo de siniestros. En 2014, solamente en las tres principales ciudades de nuestro país se registraron más de 15 mil incendios. Han ocasionado desde el año 2000 aproximadamente 3 mil muertes y 25 mil heridos (Machorro, 2016).

Se tiene contemplado que en un estudio realizado en San Luis Potosí de Bárcenas y Aguilera (2012) sobre el cuerpo de bomberos voluntarios se establecieron sus problemas, su estructura organizacional, el equipamiento y la distribución espacial de las estaciones de bomberos. La forma en que funciona este servicio público se aborda mediante el análisis de datos espaciales. Los resultados muestran una clara debilidad tanto organizacional como en equipamiento, lo que genera una situación de riesgo para la ciudad a mediano plazo.

A nivel internacional se encontró un estudio de Xiaoping Zhou *et al.* (2012) en el que se investigó sobre los riesgos de seguridad en bomberos y rescate de edificios y la aplicación de tecnología de localización para el edificio de bomberos.

Otro estudio que se considero fue el de Aktas *et al.* (2013) que fue para el municipio metropolitano de Estambul en el cual se buscaba determinar ubicaciones para estaciones de bomberos adicionales; su objetivo fue hacer residencias y lugares de interés históricos accesibles por los vehículos de emergencia a un tiempo de respuesta de cinco minutos de la recepción de una estación de bomberos por una solicitud de servicio.

El interés del porque estudiar la localización de las estaciones de bomberos y sus implicaciones, mencionan Ertugrul *et al.* (2015) que las estaciones de bomberos y rescate juegan un papel clave en el manejo del fuego. Un ataque primario temprano y agresivo ahorrará más propiedades y vidas en casos de incendio y rescate. Pues bien, un componente

crítico en el control y la mitigación de un incidente de fuego es el tiempo de respuesta que incluye el tiempo de viaje. Además, menciona que el tiempo de viaje es uno de los elementos más importantes del tiempo de respuesta y es afectado por varios factores; como el volumen de tráfico, carreteras, hora del día, hábitos del conductor y la ubicación del incidente. La estratégica ubicación de estaciones de bomberos es de suma importancia para lograr un tiempo de recorrido mínimo.

Otro ejemplo es en Bélgica donde se desarrolló un sistema de toma de decisiones por un consorcio de universidades y una empresa privada, en el marco de una convocatoria pública realizada por el Ministerio del Interior. El sistema está diseñado para proporcionar la administración belga de gestión de emergencias con una herramienta de ayuda a la decisión completa para la ubicación de estaciones de bomberos. Este análisis implica una multiescala GIS que incluye una completa representación de la realidad espacial física, humana y económica, un enfoque de los modelados de riesgos, una óptima ubicación y asignación de modelo (Chevalier *et al.*, 2012).

Asimismo, en lo que respecta a ESRI (2007) señala que la misión de los bomberos es proteger la vida, propiedad y natural recursos de fuego y otras emergencias. Con el aumento de las demandas, los bomberos deben utilizar las mejores herramientas, técnicas y métodos de entrenamiento para satisfacer las expectativas del público. Gestión de riesgos, preparativos y mitigación han asumido nueva importancia con desafíos que enfrentan hoy los bomberos. Una herramienta emergente que está ayudando a los bomberos a optimizar la prestación de servicios de emergencia es tecnología de información geográfica (SIG) del sistema.

Ahora bien, la planificación estratégica de la ubicación de estaciones de bomberos plantea objetivos de protección contra incendios mediante respuestas fiables es por ello que es de gran utilidad según Murray (2013) ilustrar la importancia de la reevaluación estratégica del sistema de planificación y por la expansión de los servicios. Además, también menciona que la ciencia de la localización trata de establecer procedimientos numéricos que permitan explicar y predecir las localizaciones de las actividades humanas, como lo son las estaciones de Bomberos que proporcionan una variedad de servicios, que incluyen tanto los que no son

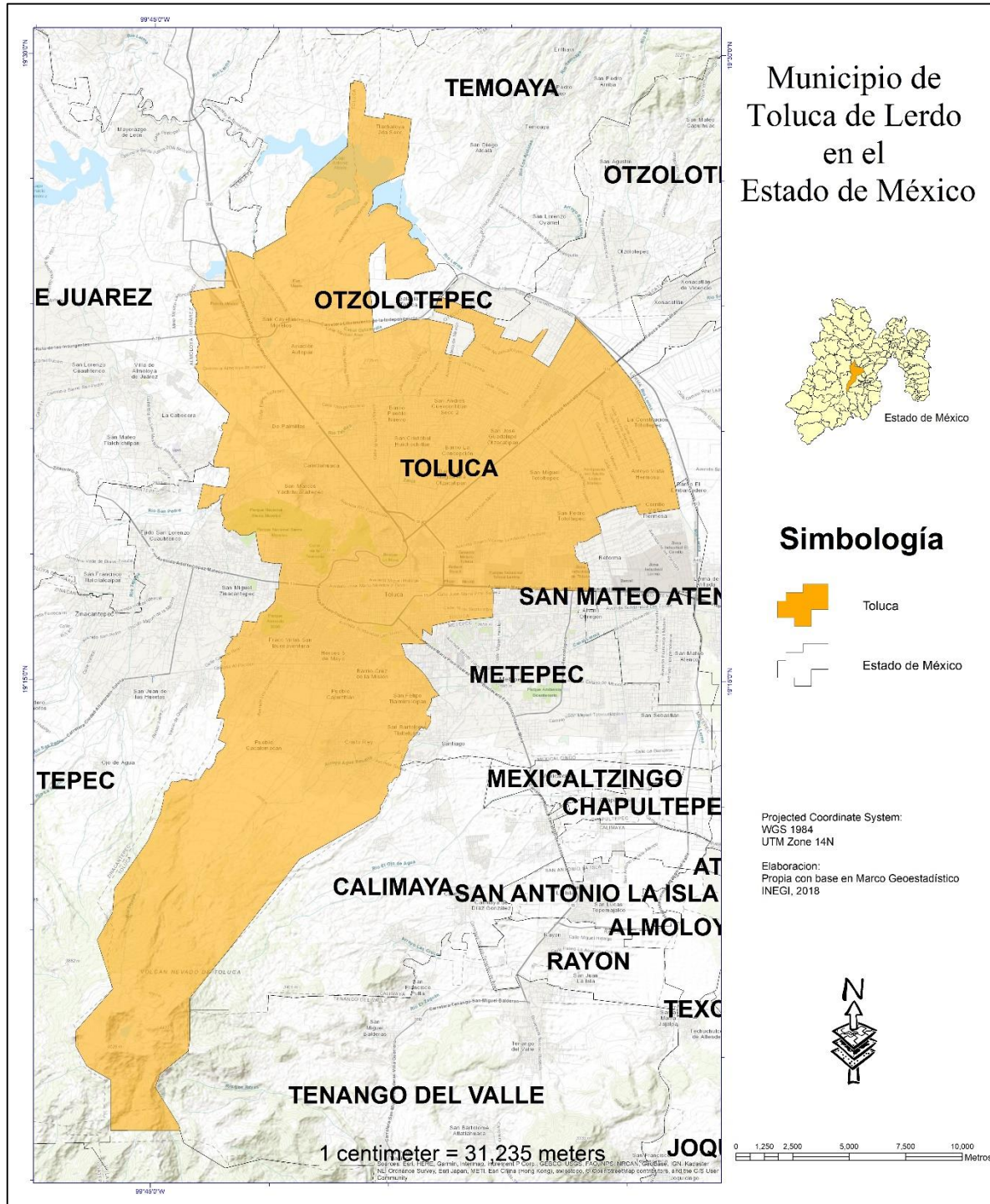
de emergencia (servicio comunitario) y los de respuesta ante emergencia a las necesidades de los ciudadanos en peligro por un incidente.

En lo sucesivo se hace una breve recopilación de información concerniente al municipio de Toluca del Estado de México sobre una caracterización territorial y un perfil sociodemográfico además información específica sobre Protección Civil y el marco normativo de SEDESOL (1999), que es el referente vigente para la incorporación de nuevo equipamiento urbano en México.

10.1) Caracterización Territorial

El Municipio de Toluca se encuentra localizado en la porción centro-poniente del Estado de México representado en la Figura 2; la Ciudad de Toluca de Lerdo es la cabecera municipal y capital del Estado de México. Se ubica en las coordenadas geográficas extremas, en el paralelo 19° 04' y 19° 28' de latitud norte, así como en el meridiano 99° 31' y el 99° 47' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. La altura promedio es de 2,660 metros sobre el nivel medio del mar. Los municipios colindantes con el municipio de Toluca son al norte Almoloya de Juárez, Temoaya y Otzolotepec, al sur los municipios son Calimaya, Metepec, y Tenango del Valle, al lado este se encuentran los municipios de Lerma, San Mateo Atenco y Metepec, y para el lado oeste los municipios de Zinacantepec y Almoloya de Juárez.

Figura 2. Ubicación del municipio Toluca de lerdo



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI (2018).

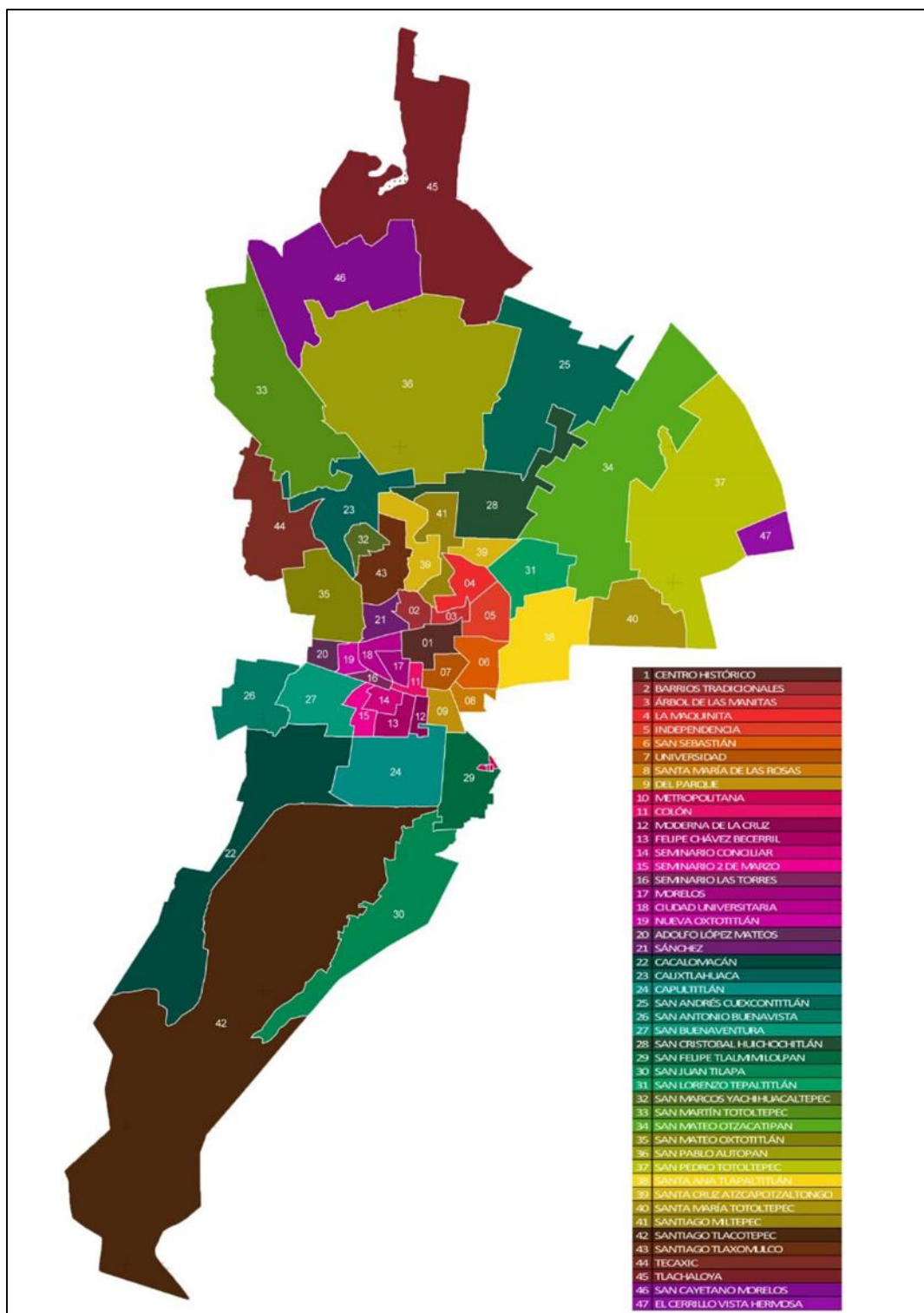
El municipio de Toluca tiene una extensión de 456.17 kilómetros cuadrados, que representa 2.04% del territorio estatal y se encuentra distribuida administrativamente en 47 delegaciones ver Tabla 2 y Figura 3. Cabe señalar que el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) señala, en el Censo General de Población y Vivienda del 2010, que el Municipio tiene cien localidades.

Tabla 2. Listado de nombres de las Delegaciones del Municipio de Toluca 2017.

Delegaciones		
1 Centro Histórico	17 Morelos	33 San Martín Toltepec
2 Barrios Tradicionales	18 Ciudad Universitaria	34 San Mateo Oztzacatipan
3 Árbol de las Manitas	19 Nueva Oxtotitlán	35 San Mateo Oxtotitlán
4 La Maquinita	20 Adolfo López Mateos	36 San Pablo Autopan
5 Independencia	21 Sánchez	37 San Pedro Totoltepec
6 San Sebastián	22 Cacalomacán	38 Santa Ana Tlapaltitlán
7 Universidad	23 Calixtlahuaca	39 Santa Cruz Atzacapotzaltongo
8 Santa María de las Rosas	24 Capultitlán	40 Santa María Totoltepec
9 Del Parque	25 San Andrés Cuexcontitlán	41 Santiago Miltepec
10 Metropolitana	26 San Antonio Buenavista	42 Santiago Tlacotepec
11 Colón	27 San Buenaventura	43 Santiago Tlaxomulco
12 Moderna de la Cruz	28 San Cristóbal Huichochitlán	44 Tecaxic
13 Felipe Chávez Becerril	29 San Felipe Tlalmimilolpan	45 Tlachaloya
14 Seminario Conciliar	30 San Juan Tilapa	46 San Cayetano Morelos
15 Seminario 2 de Marzo	31 San Lorenzo Tepaltitlán	47 El Cerrillo Vista Hermosa
16 Seminario Las Torres	32 San Marcos Yachihuacaltepec	

Fuente: Elaboración Propia con base en el Artículo 13 del Bando Municipal de Toluca 2017.

Figura 3. Delegaciones del municipio de Toluca



Fuente: Plan de desarrollo municipal 2016-2018. Elaboración: H. Ayuntamiento de Toluca
Estas son las 47 delegaciones que contempla el H. Ayuntamiento del municipio de Toluca de Lerdo comprendidas en el Plan de desarrollo municipal 2016-2018.

Cada Delegación, también servirán como base social para la planeación estratégica en el Municipio de Toluca de acuerdo a los comités de participación ciudadana, electos en cada delegación esto más eficiente la aplicación de las disposiciones legales vigentes.

10.2) Perfil Sociodemográfico

El municipio de Toluca cuenta con una población de 819 mil 561 habitantes, que representa 5.40% del total del Estado de México; al comparar esta cifra respecto al Censo de Población y Vivienda 2000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) el incremento es de 152 mil 965 habitantes. Asimismo, en el año 2010 según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) señala que la distribución poblacional es de 394 mil 836 hombres y 424 mil 725 mujeres, hay una relación de 107.57 mujeres por cada 100 hombres que habitan en el municipio. Y que la densidad de población del municipio es de 1,796.61 habitantes por kilómetro cuadrado y cuenta con un total de 69 localidades rurales, y en ellas residen 49 mil 139 habitantes, que representan 6.0% del total de la población del municipio, 770 mil 422 habitantes, residen en localidades urbanas 94.0 por ciento.

10.3) Protección Civil del municipio de Toluca

Las condiciones naturales de nuestro entorno y las dinámicas que resultan riesgosas para los humanos han influido en la manera de organización de la sociedad, sobre todo para enfrentar las diversas amenazas que se presentan cotidianamente. Uno de los objetivos principales de la administración pública, es salvaguardar la vida y la integridad física de los ciudadanos, sus bienes y su entorno, además de atender eficazmente las emergencias que se suscitan en el territorio, mismos que son totalmente heterogéneos, al incluir desde enjambres de abejas, rescate de personas, retiro de árboles, postes y cables hasta incendios, fugas de gas o derrames químicos; se muestra una base sobre el número de servicios proporcionados por la coordinación de protección civil y bomberos ver Tabla 3.

Tabla 3. Tipo de servicio de la Coordinación Municipal de Protección Civil periodo 2013-2015.

Tipo de Servicio	2013	%	2014	%	2015	%	TOTAL
Atención pre hospitalaria	799	23.29	2610	42.29	3840	49.96	7249
Incendios	1112	32.41	966	15.65	798	10.38	2876
Falsas alarmas	358	10.43	717	11.62	970	12.62	2045
Fugas de gas Lp	205	5.97	400	6.48	362	4.71	967
Enjambre de abejas	176	5.13	327	5.30	270	3.51	773
Inundaciones y/o encharcamientos	122	3.56	222	3.60	342	4.45	686
Lavados por olor a hidrocarburos	180	5.25	219	3.55	259	3.37	658
Postes y cables tirados	125	3.64	207	3.35	203	2.64	535
Servicios diversos	113	3.29	179	2.90	185	2.41	477
Retiro de árboles o partes del mismo	103	3.00	115	1.86	207	2.69	425
Fuga o derrame de productos químicos	45	1.31	84	1.36	97	1.26	226
Fugas de gas natural	38	1.11	40	0.65	71	0.92	149
Rescate de personas	17	0.50	46	0.75	32	0.42	95
Cortos circuitos	13	0.38	26	0.42	30	0.39	69
Fugas de agua potable	11	0.32	8	0.13	11	0.14	30
Explosiones	12	0.35	5	0.08	6	0.08	23
Derrumbes	2	0.06	1	0.02	3	0.04	6
Totales	3431		6172		7686		17289

Elaboración propia con base en Ayuntamiento de Toluca y la Coordinación Municipal de Protección Civil, 2015.

Para cumplir con la encomienda descrita y de conformidad al siguiente cuadro, la administración municipal cuenta con 149 integrantes del cuerpo de bomberos y 33 elementos de protección civil, aunado a recursos móviles, en los que se destaca ambulancias, carros cisternas, carro escaleras y motobombas ver Tabla 4. Además, se considera en el artículo 6 del Reglamento de la ley de planeación del Estado de México y municipios que para efectos de lo establecido en el artículo 6 de la Ley, se considerarán necesidades básicas tales como las Protección civil mencionada en el apartado XII. Actualmente el municipio cuenta con la estación central ubicada en paseo Fidel Velázquez y 28 de octubre en el Barrio de San Sebastián, subestación de bomberos poniente ubicada en Paseo Tollocan y Boulevard Lic. Adolfo López Mateos, módulo norte, módulo Exportec y módulo Central de Abastos.

Tabla 4. Inventario de recursos humanos y materiales de la Coordinación Municipal de Protección Civil 2015.

DESCRIPCIÓN RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES	BOMBEROS	PROTECCIÓN CIVIL
Coordinador	1	
Área Administrativa	7	5
Subdirector	1	1
Jefes De Departamento	1	2
Oficial	15	5
Suboficial	15	0
Bomberos	110	0
Depto. de Sistema Integral De Riesgos	0	4
Depto. de Capacitación	0	4
Depto. de Operación	0	8
Área Jurídica	0	3
Total Recursos Humanos	149	33
Motobomba	5	0
Mini Bomba	3	0
Carro Cisterna	2	0
Carro Escalera	1	0
Pick- Up	15	4
Sedan	0	1
Pick-Up	0	1
Ambulancia	6	
Bicicleta	4	
Moto	2	
Total Recursos Materiales	38	6

Elaboración propia con base en el H. Ayuntamiento de Toluca, Coordinación Municipal de Protección Civil, 2015.

10.4) Equipo de Bomberos Toluca (con base a entrevista realizada)

Se hace mención que con respecto a una entrevista realizada al oficial Guillermo Sandoval Jaime perteneciente al cuerpo de Bomberos ver apartado ANEXOS donde se obtuvo la siguiente información contundente un reflejo de la realidad actual de los recursos materiales y humanos con el que cuenta cada estación, correspondiente al mes de agosto del 2017 ver Tabla 5.

Tabla 5. Equipamiento por Unidad de servicio

UNIDAD DE SERVICIO	RECURSOS MATERIALES Y HUMANOS	CANTIDAD
Modulo Norte	unidad ligera (pick up)	1
	mini tanque	1
	elemento por turno	5
Módulo Exportec	unidad ligera (pick up)	1
	elementos por turno	3
	mini tanque	1
Modulo Central de Abastos	elementos por turno	3
	unidad ligera (pick up)	1
	mini tanque	1
Subestación Poniente	elementos (8 primer turno, 7 segundo turno, 7 tercer turno)	22
	carros escalera (1 no funciona)	2
	carros bomba	3
Estación Central	unidades ligera (pick up)	5
	Ambulancias	2
	vehículo para comisiones	1
	Patio	
	Comedor	
	Salón de clases	
	Dormitorios	
	Baños	
	Regaderas	

Elaboración propia con base en entrevista con el comandante de bomberos de Toluca de la estación central, agosto 2017.

La entrevista sirvió para conocer un poco acerca de la otra cara de cómo es que ellos se enfrentan a los llamados al deber, un sentir más humano el cual me hizo darme cuenta que no es fácil ser un bombero y arriesgar la vida por un salario muy corto. Por el cual con él tienen que solventar sus gastos familiares. Además de las carencias que se tiene con respecto al equipo y a los pocos integrantes ante el gran desafío que tienen afuera y las grandes exigencias que tiene la sociedad con ellos. Aunado a las falsas llamadas de broma, los incendios ocasionados intencionalmente etc.. todos estos desafíos y retos tienen que sortear los bomberos.

Por otro lado, la ubicación del cuerpo de bomberos fue obtenida por medio de georreferenciación en campo con un dispositivo GPS, que corresponde a la ubicación de la estación central, subestación y módulos esta información se refleja en el siguiente mapa presentado en la figura 4.

En esta figura se muestra el escenario actual de la ubicación de las estaciones de bomberos del municipio de Toluca actualmente las cuales se encuentran a primera vista concentradas en la parte central del municipio, pero de cierta manera se ve descuidada la zona norte y sur del municipio eso dicho de manera empírica, ahora bien, la presente investigación busca que el servicio esté garantizado en aras de justicia y eficiencia espacial la población.

Figura 4. Ubicación de estaciones, subestación y módulos de Bomberos en Toluca



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018 y georreferenciación de estaciones.

10.5) El Sistema Normativo de Equipamiento de SEDESOL

El Sistema normativo de equipamiento es dictado por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL.1999) es el cual rige desde hace 19 años hasta la actualidad la ubicación de los diferentes equipamientos que proporcionan servicios públicos fundamentales para el buen funcionamiento y adecuado mantenimiento para el entorno urbano y de los centros de población. Así mismo a través de estos establecimientos se contribuye a conservar el equilibrio ambiental y a proporcionar bienestar y comodidad a la población en general.

Además, indica la Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de México en el artículo 22 que la Secretaría de Desarrollo Social es la dependencia encargada de planear, coordinar, dirigir y evaluar la política en materia de desarrollo social, desarrollo regional e infraestructura para el desarrollo, así como vincular las prioridades, estrategias y recursos para elevar el nivel de vida de la población más desprotegida en el Estado y en el apartado VIII se establece que debe fomentar en coordinación con los municipios, la construcción de obras de infraestructura y equipamiento urbano, para elevar el nivel de vida de la población con mayores necesidades.

De esta forma el Sistema Normativo de Equipamiento, se divide en seis Tomos “en los que establece los lineamientos y los criterios de equipamiento que conforme a sus atribuciones tradicionalmente se han aplicado, se aplican o prevén aplicar las dependencias de la administración pública federal, con base en los estudios realizados, la experiencia acumulada y/o las políticas institucionales” (SEDESOL. 1999).

SEDESOL designa una jerarquía urbana y nivel de servicio a las comunidades según el número de habitantes. Toluca se encuentra en un nivel de servicio Regional y para el municipio de Toluca se sitúa en un rango alto con más de 500 habitantes, de acuerdo a la ubicación en rangos de SEDESOL será la dotación de UBS (Unidades Básicas de Servicio). Las matrices nos sugieren la cantidad de unidades básicas de servicio requeridos para cada delimitación administrativa y de acuerdo con la información de equipamiento existente para el municipio de Toluca podemos determinar de acuerdo a lo ya existente y lo que aún falta en cuanto a servicios urbanos del tipo central de Bomberos.

Para la matriz identificada como localización y dotación regional y urbana que se muestra en la Tabla 6 que tipo de instalación se pretende instalar de acuerdo a una jerarquía urbana y nivel de servicio conforme a el número de habitantes por lo que se divide en regional, estatal, intermedio, medio, básico, concentración rural. Así también en lo que respecta a localización muestra una idea de que la población es un factor muy importante para localizar este tipo de instalación, ya que hace énfasis en que las que manejan mayor población de habitantes (localidades receptoras) por lo tanto son las que tienen que tener este tipo de servicios y las menos pobladas (localidades dependientes) dependerán de las más pobladas, así también menciona un radio de servicio en distancia y tiempo (70 kilómetros o 1 hora) y que el radio de servicio recomendable debe ser en el centro de la ciudad.

En lo que respecta a dotación menciona que la población usuaria potencial debe ser del 100%, con turnos de operación de 24 horas, asimismo la capacidad de servicio por uds está considerada de acuerdo a los servicios por cada cajón para autobomba por día y la población beneficiada que se contempla es de 100,000 habitantes por modulo. El dimensionamiento menciona que debe ser considerado un área de 150 m² contruidos por cada cajón para autobomba, 450 m² de terreno por cada cajón para autobomba y 3 cajones por cada cajón para autobomba o bien 1 cajón por cada 50 m² contruidos, de acuerdo a la dosificación esta medida está basada en cuanto la necesidad de equipamiento de cada unidad básica de servicio y está basada en el rango de población por lo que menciona que para el rango intermedio considera 1 uds, para el estatal de 1 a 5 y el regional de 5 a más. El modulo tipo recomendable de acuerdo a la jerarquía también es basado en el rango de población el intermedio considera 1, para el estatal 5 y el regional de 5 y menciona que el módulo de 10 autobombas se recomienda a ciudades de más de 1,000,000 de habitantes.

Tabla 6. Localización y Dotación regional y Urbana

SISTEMA NORMATIVO DE EQUIPAMIENTO								
SUBSISTEMA: SERVICIOS URBANOS (SEDESOL)				ELEMENTO: CENTRAL DE BOMBEROS				
1. JERARQUÍA URBANA Y NIVEL DE SERVICIO RANGO DE POBLACIÓN		LOCALIZACIÓN Y DOTACIÓN REGIONAL Y URBANA						
		REGIONAL	ESTATAL	INTERMEDIO	MEDIO	BÁSICO	CONCENTRACIÓN RURAL	
		(+) DE 500,001 H.	100,001 A 500,000 H.	50,001 A 100,000 H.	A 10,000 A 50,000 H.	5,000 A 10,000 H.	2,500 A 5,000 H.	
LOCALIZACIÓN	localidades receptoras	●	●	■				
	localidades dependientes				←	←	←	
	radio de servicio regional recomendable	70 kilómetros (o 1 hora)						
	radio de servicio urbano recomendable	El centro de población (la ciudad)						
DOTACIÓN	población usuaria potencial	El total de la población (100%)						
	unidad básica de servicio (ubs)	cajón para autobomba						
	capacidad de diseño por ubs	servicios por cada cajón para autobomba por turno						
	turnos de operación (24 horas)	1	.1	1				
DIMENSIONAMIENTO	capacidad de servicio por ubs (servicios por cada cajón para autobomba por día)	(1)	(1)	(1)				
	población beneficiada por ubs (habitantes)	100,000	100,000	100,000				
	m2 construidos por ubs	150 (m2 construidos por cada cajón para autobomba)						
	m2 de terreno por ubs	450 (m2 de terreno por cada cajón para autobomba)						
DOSIFICACIÓN	cajones de estacionamiento por ubs	3 cajones por cada cajón para autobomba (o 1 cajón por cada 50 m2 construidos)						
	cantidad de ubs requeridas	5 A(+)	1 A 5	1				
	modulo tipo recomendable (ubs: cajones para autobomba) (3)	5 (2)	5	1				
	cantidad de módulos recomendable (3)	1 A (+)	1	1				
	población atendida (habitantes por modulo)	500,000	500,000	100,000				
OBSERVACIONES: ●ELEMENTO INDISPENSABLE ■ELEMENTO CONDICIONADO								
SEDESOL=SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL (la normatividad de este equipamiento se incluye para su uso en la planeación del desarrollo urbano, y con carácter de “indicativa” para su aplicación por las autoridades estatales y municipales).								
(1) variable en función del tipo y magnitud de los servicios por atender.								
(2) el modulo a con 10 autobombas se recomienda para ciudades con más de 1,000,000 de habitantes.								
(3) la dotación necesaria puede ser cubierta mediante la combinación de los distintos módulos preestablecidos								

Fuente: SEDESOL, 1999.

En lo que concierne a ubicación urbana mostrado en la Tabla 7 de igual manera considera jerarquía urbana y rango de población y esta va en el sentido la estructura urbana de la ciudad pues bien considera la categoría de respecto al uso de suelo y los clasifica por recomendable, condicionado y no recomendable por lo que para el elemento habitacional, comercio, industrial menciona que son elementos condicionados y para el no urbano lo clasifica como no recomendable.

En núcleos de servicio proponen como una finalidad de lograr una distribución del equipamiento más acorde con la ubicación de la población y con los procesos de poblamiento de acuerdo a las normas de equipamiento no es recomendable el centro vecinal y centro de barrio para ningún rango de población en lo que respecta a subcentro urbano muestra que es condicionado y el centro urbano no es recomendable, el corredor urbano es condicionado, la localización especial es en todos los rangos de población recomendable y fuera del área urbana condicionado. La ubicación urbana en relación a vialidad es de gran importancia pues se requiere establecer una adecuada relación entre los elementos de equipamiento y la red vial de las localidades, a fin de facilitar el traslado y el acceso de la población. Según la normativa se sugiere que en calle o andador peatonal, calle local y calle principal el establecimiento no es recomendable mientras que en av. Secundaria y av. Principal si es recomendable, en lo que respecta a autopista urbana y vialidad regional se contempla como condicionado.

Tabla 7. Ubicación Urbana

SISTEMA NORMATIVO DE EQUIPAMIENTO									
SUBSISTEMA: SERVICIOS URBANOS (SEDESOL)					ELEMENTO: CENTRAL DE BOMBEROS				
JERARQUÍA URBANA Y NIVEL DE SERVICIO RANGO DE POBLACIÓN		2.-UBICACIÓN URBANA							
		REGIONAL	ESTATAL	INTERMEDIO	MEDIO	BÁSICO	CONCENTRACIÓN RURAL		
		(+) DE 500,001 H.	100,001 A 500,000 H.	50,001 A 100,000 H.	A 10,000 A 50,000 H.	5,000 A 10,000 H.	2,500 A 5,000 H.		
RESPECTO A USO DE	habitacional	■	■	■					
	comercio	■	■	■					
	industrial	■	■	■					
	no urbano	▲	▲	▲					
EN NÚCLEOS DE SERVICIO	centro vecinal	▲	▲	▲					
	centro de barrio	▲	▲	▲					
	subcentro urbano	■	■						
	centro urbano	▲	▲	▲					
	corredor urbano	■	■	■					
	localización especial	●	●	●					
	fuera del área urbana	■	■	■					
EN RELACIÓN A VIALIDAD	calle o andador	▲	▲	▲					
	peatonal								
	calle local	▲	▲	▲					
	calle principal	▲	▲	▲					
	av. secundaria	●	●	●					
	av. principal	●	●	●					
	autopista urbana	■	■	■					
vialidad regional	■	■	■						
OBSERVACIONES: ● RECOMENDABLE ■ CONDICIONADO ▲ NO RECOMENDABLE									
SEDESOL=SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL									

Fuente: SEDESOL, 1999

La selección de predios se muestra en la Tabla 8 de acuerdo con sus características físicas y con la disponibilidad de redes de infraestructura y servicios que demandan los distintos elementos de equipamiento, M2 construidos por módulo tipo indica la superficie construida total de cada módulo tipo recomendable y M2 de terreno por módulo tipo señala la superficie total del predio de cada módulo tipo recomendable para los equipamientos, Proporción del predio es la selección de un predio a partir de sus proporciones, se plantea con la finalidad de elegir terrenos de forma regular, cuadrados o rectangulares, que respondan a las características arquitectónicas.

Además de contar con un Frente mínimo recomendable es la distancia promedio aceptable, Número de frentes recomendables se refiere a la cantidad de frentes que colindan con vía pública, Pendientes recomendables es dada en porcentaje y se refiere a la inclinación natural del terreno que deben tener los predios elegidos para la instalación del equipamiento, Posición en manzana esta corresponde a la ubicación más recomendable que se propone asignar al equipamiento en una manzana urbana, Requerimientos de Infraestructura y Servicios se refiere a la infraestructura y los servicios existentes en las ciudades son necesarios en el funcionamiento del equipamiento, e indirectamente influyen en la calidad de los servicios prestados.

Tabla 8. Selección del predio

SISTEMA NORMATIVO DE EQUIPAMIENTO										
SUBSISTEMA: SERVICIOS URBANOS (SEDESOL)					ELEMENTO: CENTRAL DE BOMBEROS					
JERARQUÍA URBANA Y NIVEL DE SERVICIO			3.-SELECCIÓN DEL PREDIO							
			REGIONAL	ESTATAL	INTERMEDIO	MEDIO	BÁSICO	CONCENTRACIÓN RURAL		
RANGO DE POBLACIÓN	DE		(+) DE 500,001 H.	100,001 A 500,000 H.	50,001 A 100,000 H.	A 10,000 A 50,000 H.	5,000 A 10,000 H.	2,500 A 5,000 H.		
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	modulo recomendable (cajones autobomba)	tipo (ubs: para	5	5	1					
	m2 construidos por modulo tipo		750	750	150					
	m2 de terreno por modulo tipo		2250	2250	450					
	proporción del predio (ancho/largo)		1:1 A 1:2							
	frente mínimo recomendable (metros)		35	35	15					
	numero de frentes recomendables		3	3	2					
	pendientes recomendables		2% A 8% (POSITIVA)							
REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS	posición manzana	en	CABECERA (1)	CABECERA (1)	CABECERA (1)					
	agua potable		●	●	●					
	alcantarillado y/o drenaje		●	●	●					
	energía eléctrica		●	●	●					
	alumbrado publico		●	●	●					
	teléfono		●	●	●					
	pavimentación		●	●	●					
	recolección de basura		●	●	●					
transporte publico			■	■	■					
OBSERVACIONES: ●INDISPENSABLE ■RECOMENDABLE ↑ NO NECESARIO										
SEDESOL=Secretaria de Desarrollo Social										
(1) otra ubicación factible de aplicar es la posición a media manzana										

Fuente: SEDESOL, 1999.

El Programa Arquitectónico General representado en la Tabla 9 describe las características físicas y las coberturas de atención y población de cada prototipo arquitectónico o módulo tipo de un equipamiento, determinadas de acuerdo a su tipología, función, grado de especialidad y tamaño en UBS. Permite disponer de información adicional para apoyar la elección del módulo tipo más adecuado a un caso en particular.

Tabla 9. Programa Arquitectónico

SISTEMA NORMATIVO DE EQUIPAMIENTO													
SUBSISTEMA: SERVICIOS URBANOS (SEDESOL)					ELEMENTO: CENTRAL DE BOMBEROS								
4.-PROGRAMA ARQUITECTONICO													
MÓDULOS TIPO (2) (3)	A 10 AUTOBOMBAS				B 5 AUTOBOMBAS				C 1 AUTOBOMBA				
COMPONENTES ARQUITECTÓNICOS	no. de locales	superficies (m2)			no. de locales	superficies (m2)			no. de locales	superficies (m2)			
		local	cubierta	descubierta		local	cubierta	descubierta		local	cubierta	descubierta	
autobombas	16	53	530		5	53	265		1		53		
servicios auxiliares	1		200		1		100		1		20		
administración y control	1		100		1		50		1		10		
dormitorios y vestidores			250				125				25		
cocina, comedor, estancia	1		280		1		140		1		28		
sanitarios			80				40				8		
bodega y cuarto de maquinas	1		60		1		30		1		6		
patio de maniobras	1			1100	1			550	1			1100	
estacionamiento (cajones)	30	22		660	15	22		330	3	22		660	
				1240					620				
superficies totales			1500	3000			750	1500			150	3000	
superficie construida cubierta m2	1500				750				150				
superficie construida en planta baja m2	1500				750				150				
superficie de terreno m2	450				2250				450				
altura recomendable de construcción (3)pisos	1 (5 metros)				1 (5 metros)				1 (5 metros)				
coeficiente de ocupación del suelo cos (1)	0.33 (33%)				0.33 (33%)				0.33 (33%)				
coeficiente de utilización del suelo cus (1)	0.33 (33%)				0.33 (33%)				0.33 (33%)				
estacionamiento cajones	30				15				3				
capacidad de atención servicios por día	(4)				(4)				(4)				
población atendida habitantes	1,000,000				500,000				100,000				
OBSERVACIONES: (1) COS=AC/ATP CUS=ACT/ATP AC=AREA CONSTRUIDA EN PLANTA BAJA ACT: AREA COSTRUIDA TOTAL ATP: AREA TOTAL DEL PREDIO SEDESOL: SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL (2) El programa arquitectónico y las superficies indicadas pueden variar en función de las necesidades específicas (3) El modulo tipo de 10 autobombas es recomendable para ciudades mayores de 1 millón de habitantes (4) Variable en función del tipo y magnitud de los servicios por atender.													

Fuente: SEDESOL, 1999.

Por consiguiente, la información de población con respecto a INEGI (2015) para el municipio de Toluca existe una población censada de 873, 536 habitantes y para esta población debe existir un total de 8 UBS al hacer el análisis de los requerimientos según SEDESOL 1999 el cual menciona que por cada 100,000 habitantes debe existir 1 UBS, por lo tanto podemos notar que existe un déficit de 3 UBS de Servicios Urbanos de rescate para el municipio de Toluca por lo que es necesaria la integración de este servicio a el municipio de Toluca. De acuerdo al análisis anterior se sugiere satisfacer todas las demandas de la población conforme a la Normatividad establecida por SEDESOL y con esto prevenir futuras problemáticas y cubrir las deficiencias y necesidades. Para el caso de Bomberos según el análisis se determina que existe una deficiencia de 3 UBS por lo que será necesario la instalación de estas en el municipio.

Conforme a las normas de SEDESOL de cobertura por distancia se proporciona un área de influencia del servicio (Radio de servicio regional recomendable de 70 kilómetros o 1 hora), irónicamente esto no significa que la demanda del servicio este satisfecha, pues no se toma en cuenta la cantidad de habitantes que necesita el servicio ni la capacidad en personal e instalaciones para satisfacerlo, ni mucho menos la gravedad del incidente por el cual requiera el servicio. Además, en un incidente de incendio el tiempo razonable considerado es de 8 minutos sugerido por la NFPA, 2010.

Para las centrales de bomberos SEDESOL menciona que es el establecimiento en el que se realizan actividades administrativas de organización y coordinación del cuerpo de bomberos, para proporcionar los servicios adecuados en la extinción de incendios, auxilio a la población en diversos tipos de siniestros o accidentes, así como establecer y difundir a la población las medidas preventivas para evitarlos, y en su caso de cómo actuar en caso de presentarse una emergencia. El sistema normativo de Equipamiento Urbano de SEDESOL no considera la definición de Estación central, subestación y modulo.

XI) METODOLOGÍA

La metodología planteada parte de la base de la resolución de la problemática de localización optima de estaciones de bomberos por lo que se abordará en tres etapas:

La primera etapa consistió en analizar la distribución espacial de los incendios desde la perspectiva de análisis del vecino más próximo o análisis del vecino más cercano para conocer si existen condiciones de aleatoriedad, concentración o una distribución regular. Ahora bien, con respecto a los incendios menciona Corcoran *et al.* (2007a) en los últimos años se ha comenzado a utilizar la tecnología SIG (Sistemas de Información Geográfica), en combinación con técnicas estadísticas tradicionalmente utilizadas en estudios epidemiológicos, para identificar características de individuos y comunidades vulnerables frente a los incendios en viviendas. En los últimos años se han empezado a utilizar otro tipo de técnicas para el análisis de patrones de distribución espacial, como los mapas de densidad (Corcoran *et al.*, 2007a) o nuevas técnicas de representación visual de variaciones en espacio el tiempo de dichos patrones (Chen *et al.*, 2008; Pebema *et al.*, 2007). En el año 2001, Merrall (2001) publica un artículo en el que utiliza los SIG para realizar estudios de análisis espacial de incendios y su relación con factores de riesgos sociales, económicos y ambientales.

El procedimiento de distribución espacial de incendios se utilizó el software Qgis el cual es un software de código libre, además de que es posible trabajar en formato vector, en este se proporciona la potente herramienta de análisis del vecino más próximo, el ejercicio realizado fue tomado de Fuenzalida (2017) es por ello que se eligió este software. Asimismo, se evaluaron las estaciones de bomberos actuales con respecto a el área de servicio o área de cobertura bajo la primicia de un tiempo de respuesta razonable de 8 minutos sugerido por la NFPA, 2010. El procedimiento de área de servicio el cual fue realizado en el software ArcGIS con las herramientas del Network Analyst (Análisis de redes) con la cartografía de red de vialidades en un sistema de coordenadas UTM, ya que este sistema permite la correcta funcionalidad para hacer cálculos de medida, después se procedió a crear una geodatabase y dentro un dataset de red.

Este procedimiento clave para la toma de decisiones pues tiene que ver con los tiempos de respuesta considerando métricas de tiempo y distancia por parte de las estaciones de bomberos hacia los centros de demanda. Para ello, se representan las distancias de viaje en base al mapeo de isócronas (polígonos concéntricos trazados sobre los puntos que equidistan en tiempo a un punto de origen o destino). A través del análisis de isócronas, se puede claramente ver la cobertura que tiene cada estación de bomberos establecidas actualmente, y donde hay “huecos” o zonas de oportunidad (Martínez et al., 2015).

En la segunda etapa se evaluaron las condiciones de aptitud territorial para definir sitios candidatos para instalar nuevas estaciones de bomberos mediante la evaluación multicriterio AHP con Sistemas de Información Geográfica. El procedimiento se realizó en el software ArcGIS Network Analyst permite generar un dataset de red y realizar los análisis en un dataset de red. Asimismo, para el procedimiento de evaluación muticriterio (AHP) (Satty, 1977), fue realizado en ArcGIS con las herramientas Feature to Raster, Distance euclidean, Raster Calculator y Raster to Point.

La tercera fase se aplicará el modelo de localización-asignación considerando la demanda de incendios obtenida de las estadísticas de servicios Protección Civil, 2017; para localizar nuevas estaciones de bomberos mediante el algoritmo de cobertura máxima, el cual tiene como objetivo maximizar la demanda cubierta dentro de una distancia máxima. El procedimiento correspondiente al modelo de localización-asignación se utilizó el software libre gvSIG con la herramienta de Localización optima de elementos en ella se aplicó mediante el algoritmo cobertura máxima mostrado en la Tabla 10.

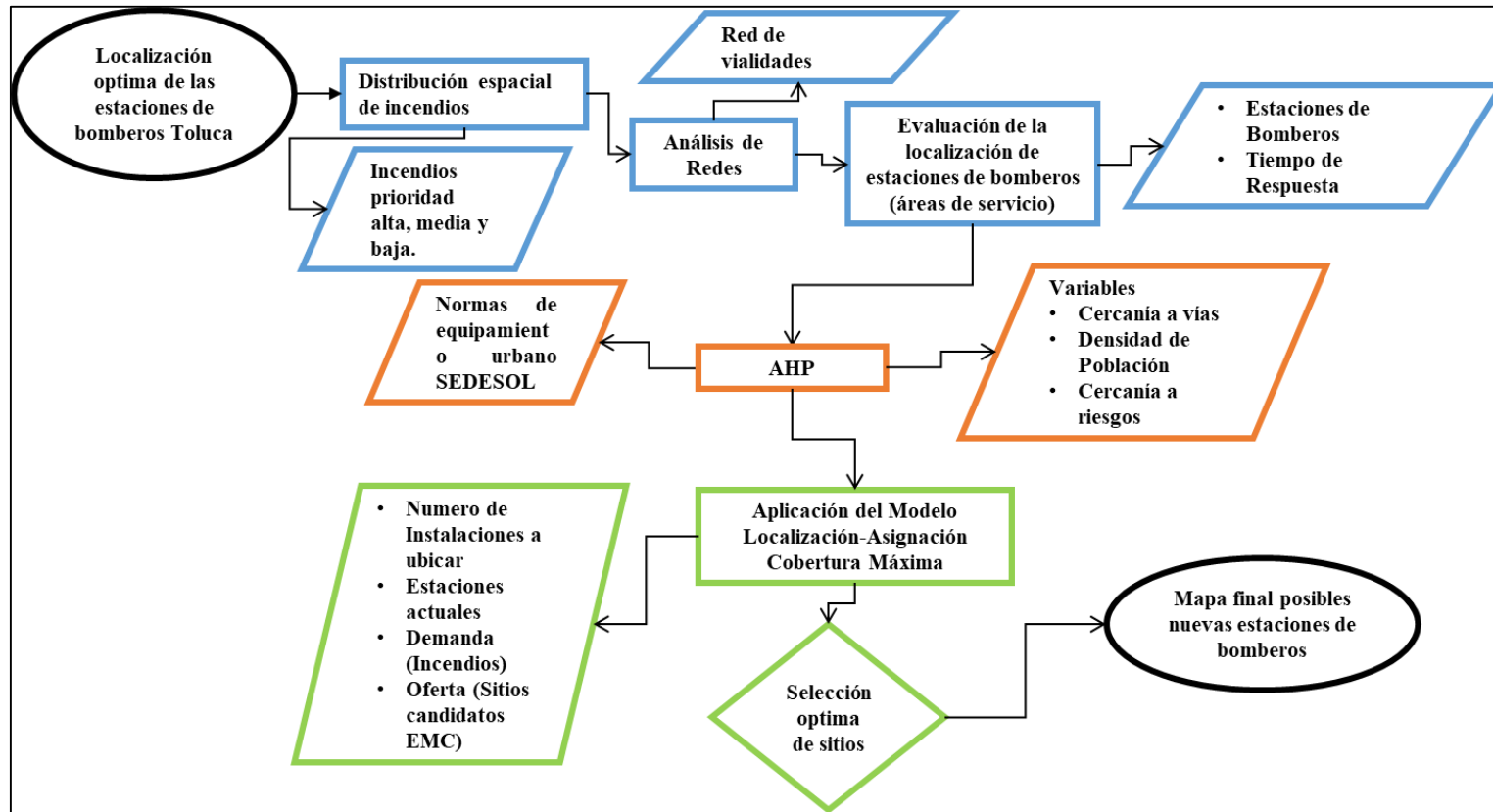
Tabla 10. Procedimientos Metodológicos

PROCEDIMIENTO	SOFTWARE SIG	HERRAMIENTA
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	Qgis	Análisis del vecino más próximo (Nearest Neighbour Analysis)
ÁREA DE SERVICIO	ArcGIS	Network Analyst, Service Area
EVALUACIÓN MULTICRITERIO AHP	ArcGIS	Feature to Raster Distance euclidean Raster Calculator Raster to Point
LOCALIZACIÓN - ASIGNACIÓN	GvSIG	Localización optima de elementos

Elaboración propia

Asimismo, se realizó un esquema metodológico el cual muestra de manera sintética la metodología a seguir para la resolución de objetivos planteados ver Figura 5. El mapeo de la información fue realizado en ArcGIS, debido a que también proporciona los componentes típicos de visualización y análisis GIS, como visualización de funciones geométricas, geoprocésamiento, gestión de datos, edición y producción cartográfica.

Figura 5. Esquema metodológico para la localización óptima de estaciones de bomberos en Toluca



Elaboración propia

En los siguientes apartados correspondientes a la metodología se explican de manera detallada las fases correspondientes para la resolución de los objetivos planteados para la Localización optima de estaciones para el municipio de Toluca.

11.1) Distribución de patrones de puntos

La temática de distribución de patrones de puntos será implementada bajo la técnica del análisis del vecino más próximo o vecino más cercano procedimiento realizado con base en Fuenzalida (2017), en donde el índice de Vecino más próximo se expresa como la relación entre la distancia media observada y la distancia media esperada. ESRI, 2016.

Asimismo, Fuenzalida (2017) menciona que, en materia de patrones de puntos, existen tres tipos de distribuciones espaciales:

- 1: aleatorio: sin ninguna estructura, las posiciones de puntos independientes entre sí.
- 2: regular: la densidad es constante y los puntos se disponen alejados entre sí.
- 3: la densidad de los puntos es muy elevado en ciertas zonas.

Para interpretar la herramienta de vecinos más cercanos se considera la distancia media observada y distancia media esperada se requiere saber si el patrón de puntos se comporta con respecto al índice, si el valor es cercano al 1 se considera aleatoria, si el índice es ente 0.5 se considera regular y si el índice es cercano al 0 se le considera una distribución concentrada.

Los datos para la realización de este procedimiento fueron obtenidos por Protección Civil y Bomberos del municipio de Toluca; correspondientes al periodo de enero 2017 a septiembre 2017 resultando un total de 673 registros de incendios. Se obtuvieron diversos tipos de incendios los cuales se clasificaron para poder compararse y determinar qué tipo de distribución espacial presenta de acuerdo a los incendios de alta prioridad, media prioridad y baja prioridad de acuerdo a la importancia y al riesgo que este genere involucrando pérdidas humanas y materiales. Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación de incendios por prioridad

TIPO	CLASIFICACIÓN DE PRIORIDAD
Incendio de casa o vivienda	Alta
Incendio en industria	Alta
Incendio de vehículo	Media
Incendio de local	Media
Incendio de bodega	Media
Incendio de autobús	Media
Incendio de llantas	Media
Incendio de caseta	Media
Incendio de cables	Media
Incendio de tractocamión	Media
Incendio de taller	Media
Incendio de alimento para animales	Media
Incendio en instalaciones	Media
Incendio de puesto de tacos	Media
Incendio de desperdicio industrial	Media
Incendio de zacate	Baja
Incendio de pasto	Baja
Incendio de basura	Baja
Incendio de lote	Baja
Incendio de avena (cultivo)	Baja
Incendio de árbol/arboles	Baja
preventivo de atención pre hospitalaria y contra incendios	Baja
Incendio de poste de madera	Baja
Incendio diverso	Baja

Elaboración propia con base a estadísticas de servicios Protección Civil del municipio de Toluca de Lerdo del 2017, clasificación propia de acuerdo a orden prioritario considerando pérdidas humanas y materiales.

Esta clasificación fue realizada conforme al orden de importancia tomando en consideración el riesgo de vidas humanas como prioridad y después los daños materiales casas, autos, madera etc...

11.2) Área de servicio de las Estaciones de Bomberos actuales.

Para hacer el cálculo de área de servicio o área de cobertura en el software Arc Gis 10.3 donde se utilizó la extensión Network Analyst con la herramienta New Service Area la cual generara las áreas de cobertura con base a métricas predefinidas de distancia y tiempo que serán generadas para cada estación de bomberos actuales en el municipio de Toluca. Ahora bien, el cálculo de las isócronas de viaje fue realizado de acuerdo a las vías de comunicación terrestre. Por lo tanto, las áreas de cobertura de estaciones de bomberos tienen considerados los tipos de caminos y velocidades de desplazamiento de estos.

Se calculó la longitud de los segmentos que representan cada tipo de camino o carretera y se realizó el cálculo del tiempo que se tomaría en recorrer cada segmento, esto en función de la longitud del segmento y de la velocidad promedio a la cual se puede transitar por él, en los atributos del vector de vialidades se calculó un campo que contendrá la variable “minutos” considerando la velocidad y la longitud mediante la fórmula para el cálculo de la variable tiempo la cual es:

$$t = (d \div v) / 60$$

t= Tiempo (Minutos)

d= Distancia (Metros)

v= Velocidad (Metros/Segundos)

Por lo tanto, para poder aplicar esta fórmula antes se convirtió la velocidad a metros/segundos esto con la finalidad de unificar unidades de medida esta se calculó mediante la siguiente formula:

$$(v) * (1000) / 3600$$

v=Velocidad (Kilómetros/Hora)

Utilizando estos cálculos previamente se puede concluir que se realizó el cálculo del tiempo que tarda un vehículo en este caso el vehículo de extinción de incendios (carro bomba, mini bomba, etc..) para atravesar el segmento en las condiciones más optimas de traslado.

11.3) Evaluación multicriterio (EMC) con el proceso de jerarquía analítica (AHP)

El método AHP es uno de los más completos de análisis de decisiones multicriterio (Saaty 1980). Menciona Malczewski (2015) que este método se basa en tres principios: descomposición, juicio comparativo y síntesis de prioridades. El problema de decisión ha de ser descompuesto en una jerarquía que capte los elementos esenciales del problema. El principio de juicio comparativo se plasmaría mediante la comparación por pares de los elementos de cada nivel de jerarquía. Finalmente, la síntesis de prioridades supone tomar cada una de las escalas de prioridades resultantes en cada nivel de jerarquía y construir un conjunto de prioridades global (compuesto) para el último nivel de la jerarquía, que será utilizado para evaluar las distintas alternativas.

La aplicación de estos tres principios se realiza en las siguientes fases de acuerdo a Saaty (1995):

- a) Identificación de los criterios de decisión asociados al problema.
- b) Estructuración de los factores de una forma jerárquica, descendiendo desde los más generales a los más concretos y, evidentemente, conectados nivel a nivel.
- c) El siguiente paso consiste en establecer la importancia relativa de los elementos de cada jerarquía a partir del método de comparación por pares.
- d) Finalmente se agregarían los pesos de los niveles obtenidos en cada jerarquía, obteniendo así pesos compuestos o globales. Para ello se multiplican los pesos relativos de la primera matriz (el primer nivel de jerarquía) por los pesos relativos de la segunda y así sucesivamente hasta llegar al último nivel de jerarquía. El vector de pesos compuestos final tendrá una dimensión de 1 por m, siendo m el número de alternativas de decisión en el último nivel de jerarquía.

La puntuación total R_i para cada alternativa (i) se calcularía, por tanto:

$$R_i = \sum_k w_k r_{ik}$$

donde w_k es el vector de prioridades (pesos) asociado a cada elemento k de la estructura jerárquica de criterios, la suma de w_k es igual a 1 y r_{ik} es el vector de prioridades obtenido al comparar las alternativas con cada criterio.

e) Finalmente se ordenarían las alternativas en función del valor R alcanzado, siendo la más adecuada la que obtenga el valor más alto.

Sin embargo, el final del proceso es ligeramente diferente cuando nos encontramos ante un problema de EMC procesado en un entorno SIG, con un importante volumen de alternativas a evaluar. Así, en el denominado AHP espacial el procedimiento acabaría en el nivel de atributos (factores). A continuación, se utilizaría un procedimiento de adición de todos estos factores para obtener el valor R de adecuación de cada alternativa y no mediante la comparación entre alternativas y criterios, siendo siempre las mejores alternativas las que obtuvieran el valor R más alto.

El último paso en el proceso de las jerarquías analíticas que venimos aplicando es la agregación final de todos los factores, ponderados por su peso correspondiente.

Mediante ese método la importancia relativa de cada uno de los factores fue valorada mediante la construcción de una matriz de comparación por pares de factores (*pareada*) y el posterior cálculo de esa matriz para asignar un peso o valor distinto a cada uno de los factores. El procedimiento por el cual los pesos son calculados sigue la lógica desarrollada por Saaty a partir de su AHP (Saaty, 1980) y se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Proceso Analítico Jerárquico

INTENSIDAD DE IMPORTANCIA	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Igual importancia	Ambas variables contribuyen de igual forma al objetivo
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen a un criterio sobre otro
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio sobre otro
7	Importancia muy fuerte	La experiencia y el juicio favorecen muy fuertemente a un criterio sobre otro
9	Importancia extrema	La experiencia y el juicio favorecen en extremo a un criterio sobre otro
2,4,6,8	Valores intermedios	La experiencia y el juicio ponen en duda dos valores cercanos
RECÍPROCOS	$a_{ij} = 1 / a_{ji}$	

Fuente: adaptado de Satty (1980).

La asignación de los pesos se asigna debido a que unos criterios tienen más relevancia que otros para el decisor o a una consulta a experto (s); se denominan pesos o ponderaciones a estas medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor.

Tabla 13. Clases de pertenencia Difusa

CLASE	DESCRIPCIÓN
FUZZYGAUSSIAN	Define una función de pertenencia difusa a través de una distribución gaussiana o normal basada en un punto medio especificado por el usuario (que tiene una pertenencia de 1) con un margen definido que disminuye a cero.
FUZZYLARGE	Define una función de pertenencia difusa en la que los valores de entrada más grandes tienen pertenencia más cercana a 1. La función se define mediante un punto medio especificado por el usuario (al que se le asigna una pertenencia de 0.5) con un margen definido.
FUZZYLINEAR	Define una función de pertenencia difusa a través de una transformación lineal entre el valor mínimo especificado por el usuario, una pertenencia de 0, al valor máximo definido por el usuario, al que se le asigna una pertenencia de 1.
FUZZYMSLARGE	Define una pertenencia difusa a través de una función basada en la media y la desviación estándar, y los valores más grandes tienen una pertenencia más cercana a 1.
FUZZYMSSMALL	Define una pertenencia difusa a través de una función basada en la media y la desviación estándar, y los valores más pequeños tienen una pertenencia más cercana a 1.
FUZZYNEAR	Define una función de pertenencia difusa alrededor de un valor específico que se define mediante un punto medio definido por el usuario (al que se le asigna una pertenencia de 1), con un margen definido que disminuye a cero.
FUZZYSMALL	Define una función de pertenencia difusa con los valores de entrada más pequeños con pertenencia más cercana a 1. La función se define mediante un punto medio especificado por el usuario (al que se le asigna una pertenencia de 0.5) con un margen definido.

Elaboración propia con base en ESRI, 2016.

Así también para la normalización de los valores se utilizaron las clases difusas para definir la transformación o reasignación de los valores de entrada a nuevos valores basados en una función específica que es establecida por un procedimiento que establece la lógica difusa o borrosa para cada valor. En donde los valores son transformados y se escalan de 0 a 1, lo

que define la posibilidad de pertenecer a una clase o conjunto específico, donde 1 es la mayor idoneidad del criterio y 0 la nulidad absoluta de acuerdo a la restricción correspondiente. ver Tabla 13.

11.4) Modelo de Localización–asignación COBEMAX

Posteriormente, el modelo de localización-asignación que se utilizó fue el de cobertura máxima (COBEMAX), para obtener nuevas estaciones de bomberos, tomando en cuenta la oferta, demanda, vías de comunicación y los sitios candidatos que se obtuvieron en la EMC.

El resultado de la evaluación multicriterio nos muestra los lugares de sitios candidatos probables para la instalación de estaciones de bomberos en este sentido los sitios de oferta y la demanda considerada son el registro de incendios registrados con respecto a las estadísticas de servicios Protección Civil, 2017. Este procedimiento fue realizado en el software gvSIG con la herramienta de localización óptima de elementos considerando un algoritmo de cobertura máxima.

Ahora bien, el algoritmo de cobertura máxima o COBEMAX, es propuesta por Church y ReVelle (1974), y este modelo maximiza la cobertura de demanda de servicios en un espacio definido. Los investigadores intentan ubicar las instalaciones con gran respeto a la maximización de los servicios proporcionados para las demandas. Los investigadores mencionados anteriormente muestran que puede definir instalaciones priorizadas y también ayudar a los gerentes a maximizar los servicios requeridos para ubicaciones y sitios.

Por tanto, el problema de localización de COBEMAX restringe el número de equipamientos a localizar a un número finito de ubicaciones, maximizando la cantidad de demanda cubierta dentro de un alcance espacial prefijado. Church y ReVelle (1974), señalan que aplicar el modelo requiere de la existencia de un alcance de distancia o tiempo de trayecto máximo (accesibilidad) a partir del cual se entiende que la prestación de servicio se degrada de sobremanera, asumiéndose además que las restricciones presupuestarias sólo posibilitan el establecimiento de un cierto número de centros de servicio, que no bastan para cubrir toda la demanda dentro de la distancia crítica (Moreno, 2004).

Ahora bien, el modelo de cobertura máxima o COBEMAX menciona (Fuenzalida, 2011) que es singularmente apto para planificar equipamientos públicos (sanitarios, educacionales, deportivos, asistenciales, áreas verdes, ocio, etc.), puesto que concilia objetivos de eficiencia (conseguir la máxima cobertura espacial de demanda con los recursos disponibles, e. g. centros) y equidad (preocupación porque la mayoría no esté demasiado lejos de los puntos de oferta, al intentar que las desigualdades en el acceso queden en gran medida limitadas al radio máximo establecido), lo que en definitiva nos permite configurar un escenario territorial, a escala de la zona de estudio, que facilita las oportunidades de acceso para que la población se sirva de los beneficios que brindan estos tipos de servicios

La fórmula del modelo es la siguiente:

$$\text{Maximizar } F = \sum_{i=1}^m d_i x_{ij}$$

Siendo d_i = demanda en el lugar i , x_{ij} = variable de decisión (tomaría solo dos valores 1, si el lugar i , asignado al centro más próximo sito en j , está dentro del alcance de 2614.52 m, y 0 en caso contrario) y m = número de centros de servicio.

XII) RESULTADOS

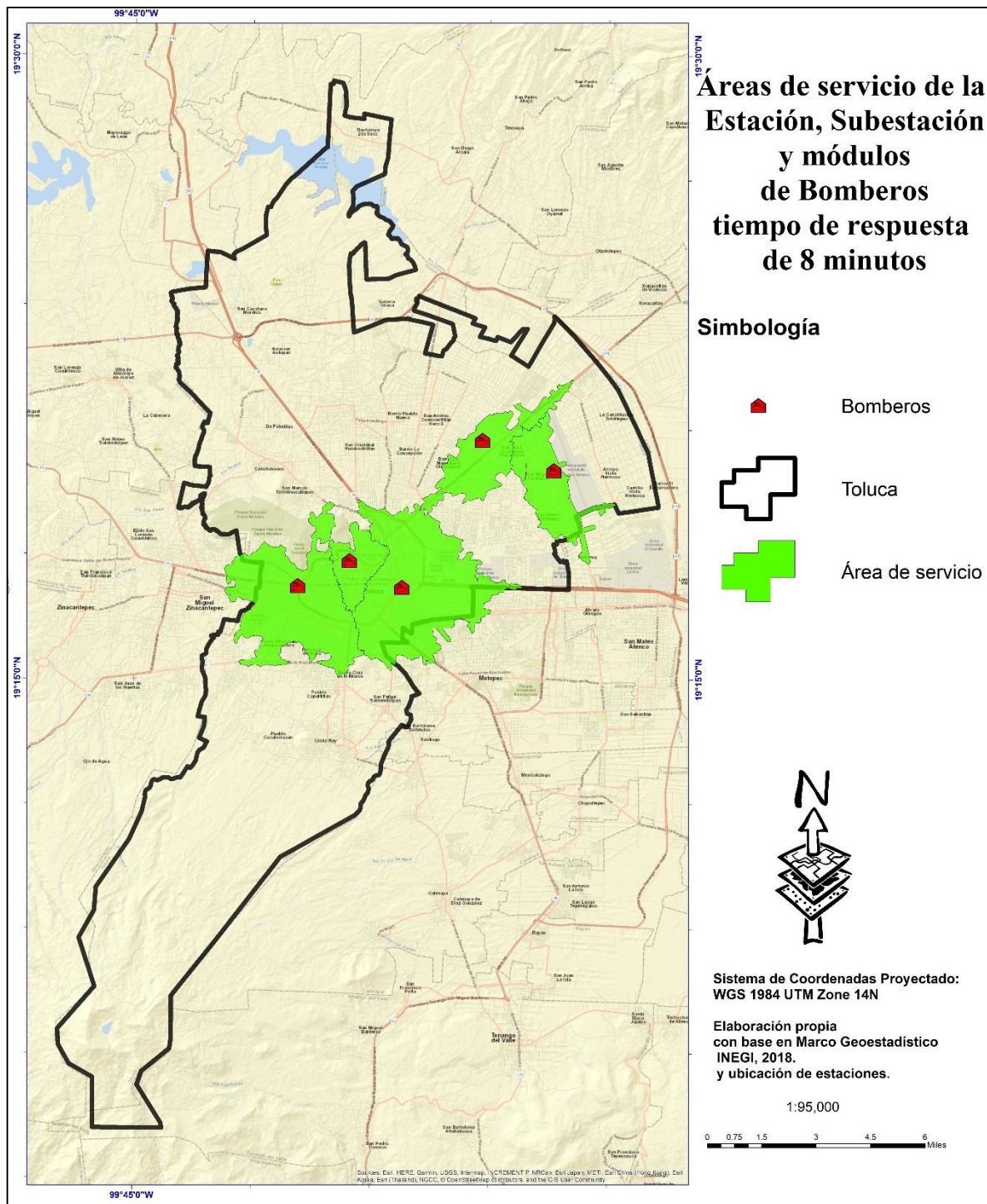
12.1) Evaluación de la cobertura de estaciones existentes

Con el procedimiento realizado con la herramienta de área de servicio del software Arc Gis 10.3 se obtuvo el mapa de isócronas a un tiempo de respuesta de 8 minutos correspondiente al tiempo de respuesta que sugiere National Fire Protection Association, (NFPA), 2010 ver Figura 6., La NFPA señala después de 8 minutos el fuego comienza a extenderse fuera del origen, es por eso que se requiere de la asistencia en tiempo recomendado a una emergencia de incendio dentro de ese límite para evitar la propagación y perdidas tanto humanas como materiales.

El resultado de este mapa refleja las isócronas de cobertura a un tiempo de respuesta de 8 minutos lo que significa que en 8 minutos un vehículo a la velocidad media permitida por la vialidad, avenida, calle etc. en las condiciones más optimas de trafico el vehículo de emergencia se podrá trasladar para llegar al incidente ocurrido.

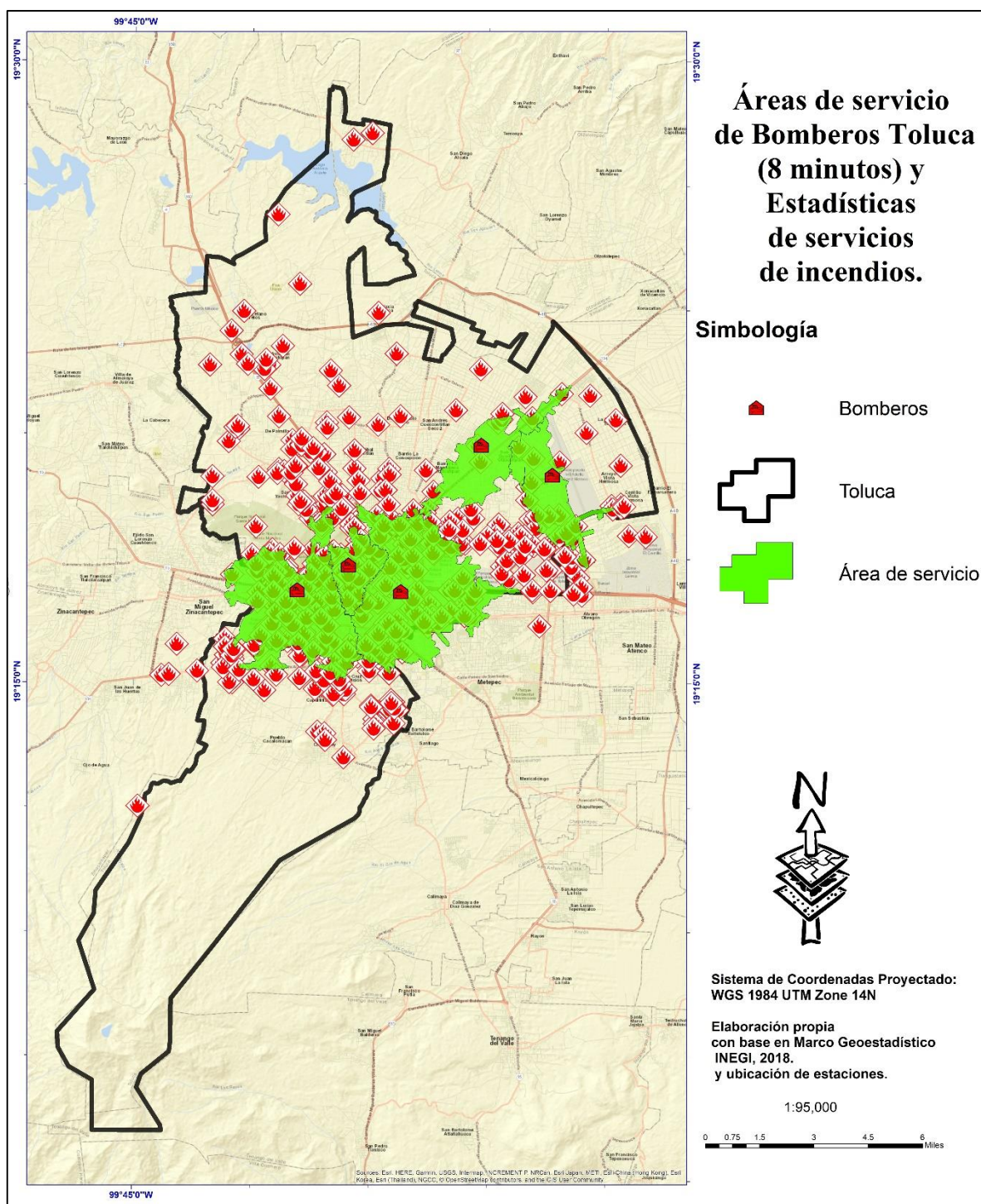
Ahora bien, también se elaboró un mapa en el cual se muestren los incidentes georreferenciados en el periodo de enero-septiembre del año 2017 con los datos de las estadísticas de servicios de Bomberos Toluca ver Figura 7.

Figura 6. Áreas de servicio de las estaciones de bomberos



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018

Figura 7. Áreas de servicio e incendios



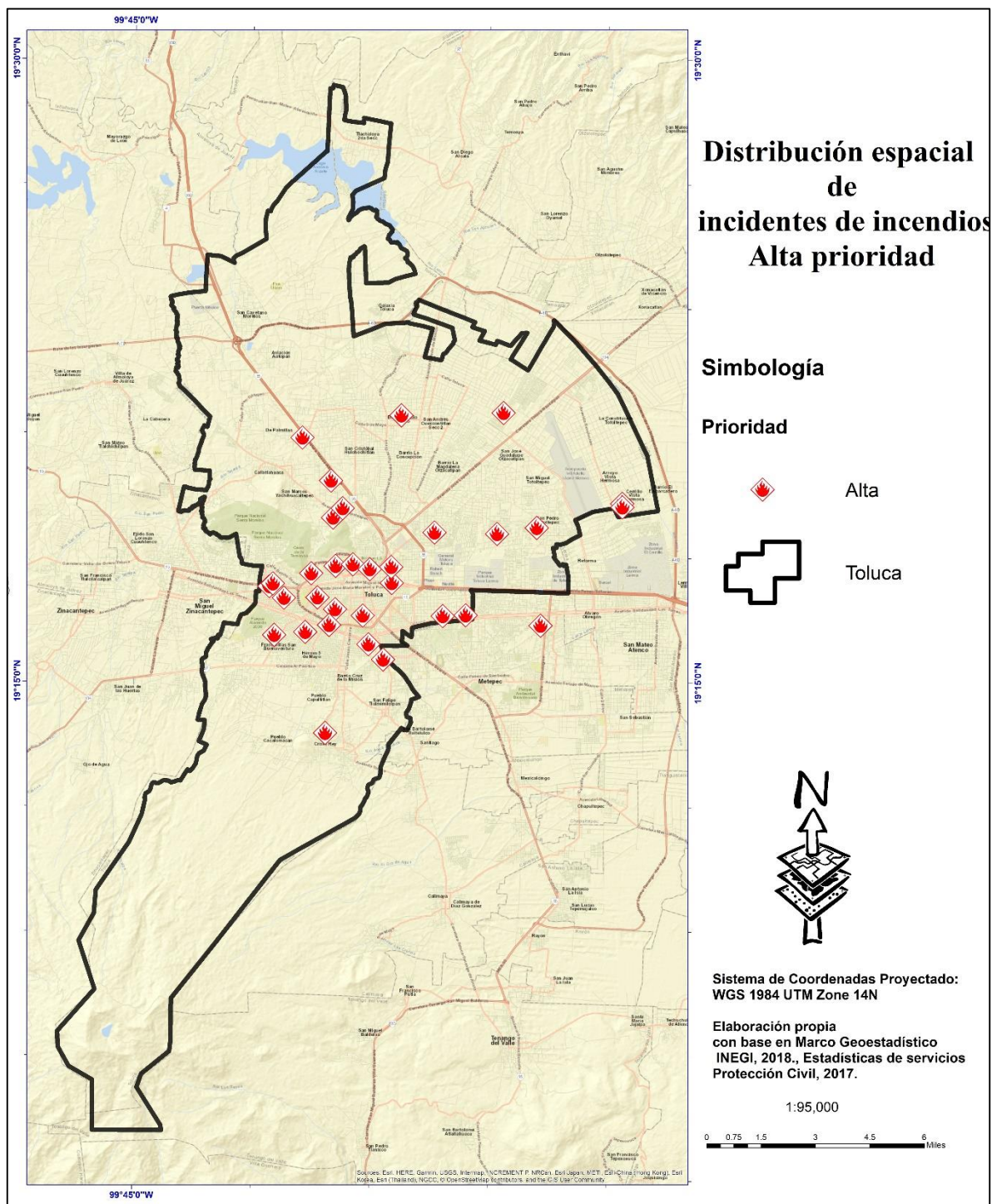
Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, áreas de servicio a 8 minutos y estadísticas de servicios Protección civil, 2017.

Los mapas resultantes se observan que no se tiene una total cobertura del municipio con las estaciones consideradas para combatir una emergencia de incendio en el norte y sur del municipio.

12.2) Análisis de Distribución espacial de incendios

La herramienta de vecinos más cercanos mide la distancia entre cada centroide de entidad y la ubicación del centroide de su vecino más cercano y calcula el promedio de todas las distancias de vecinos más próximos. Se realizó primeramente el análisis de vecinos más cercanos a los incendios que de acuerdo a la clasificación de prioridad corresponderían a los de alta prioridad ver Figura 8.

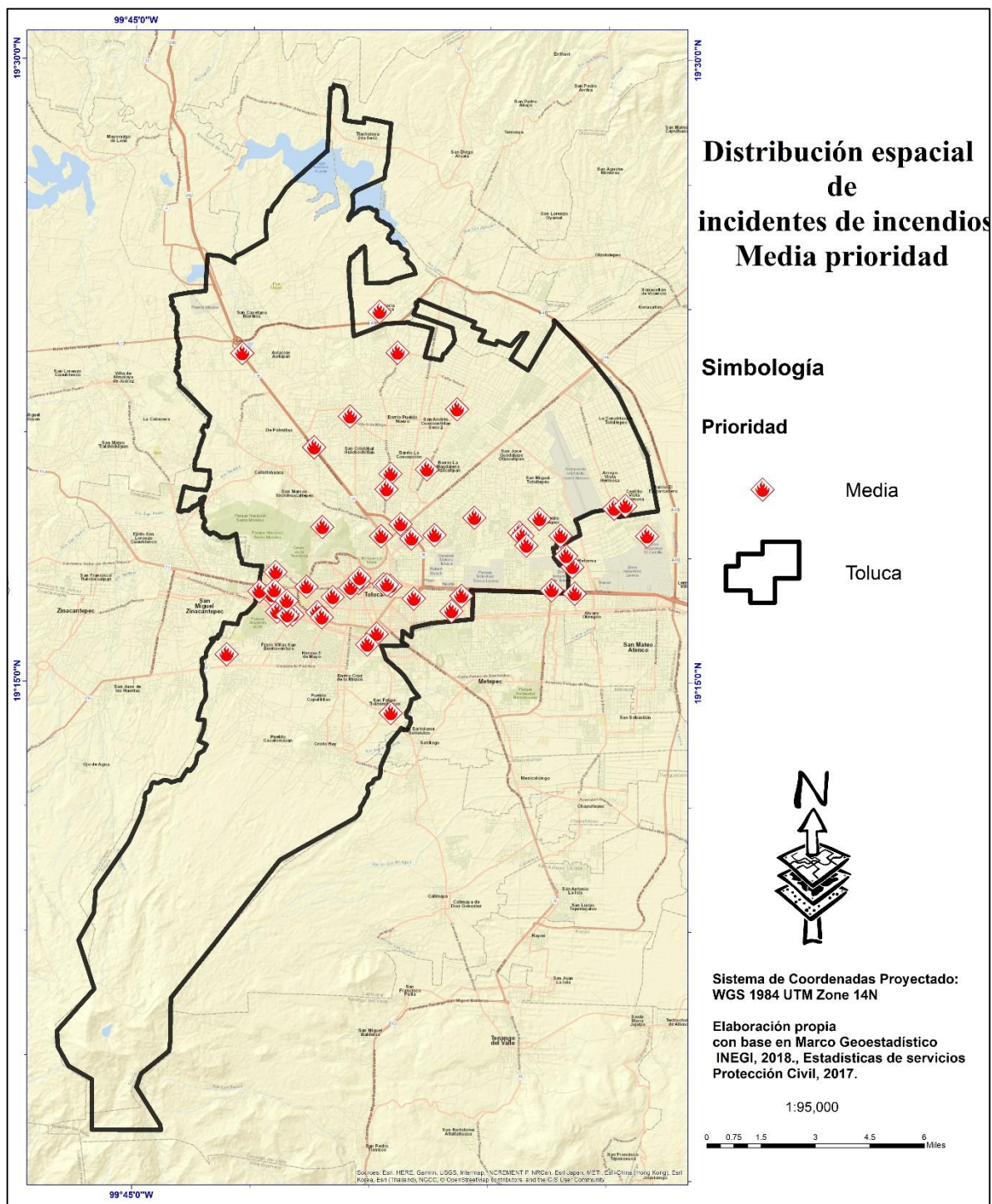
Figura 8. Distribución espacial de incidentes de incendios de Alta prioridad



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, Estadísticas de Servicios Protección Civil del Municipio de Toluca, 2017

Los resultados para un total de Número de puntos:33 referentes a incendios de alta prioridad, muestran que el Índice del vecino más cercano:0.9944 lo que indica que existe aleatoriedad en los incendios de alta prioridad y por lo tanto es recomendable el análisis de este estudio pues con ello muestra que no se distribuyen en una sola zona del municipio. Asimismo, la Distancia media observada: 1291.0557 m y la Distancia media esperada:1298.3090 m, también se generó el mismo análisis para los incendios de prioridad media de acuerdo a la clasificación de prioridad. Figura 9

Figura 9. Distribución espacial de incidentes de incendios de Prioridad Media

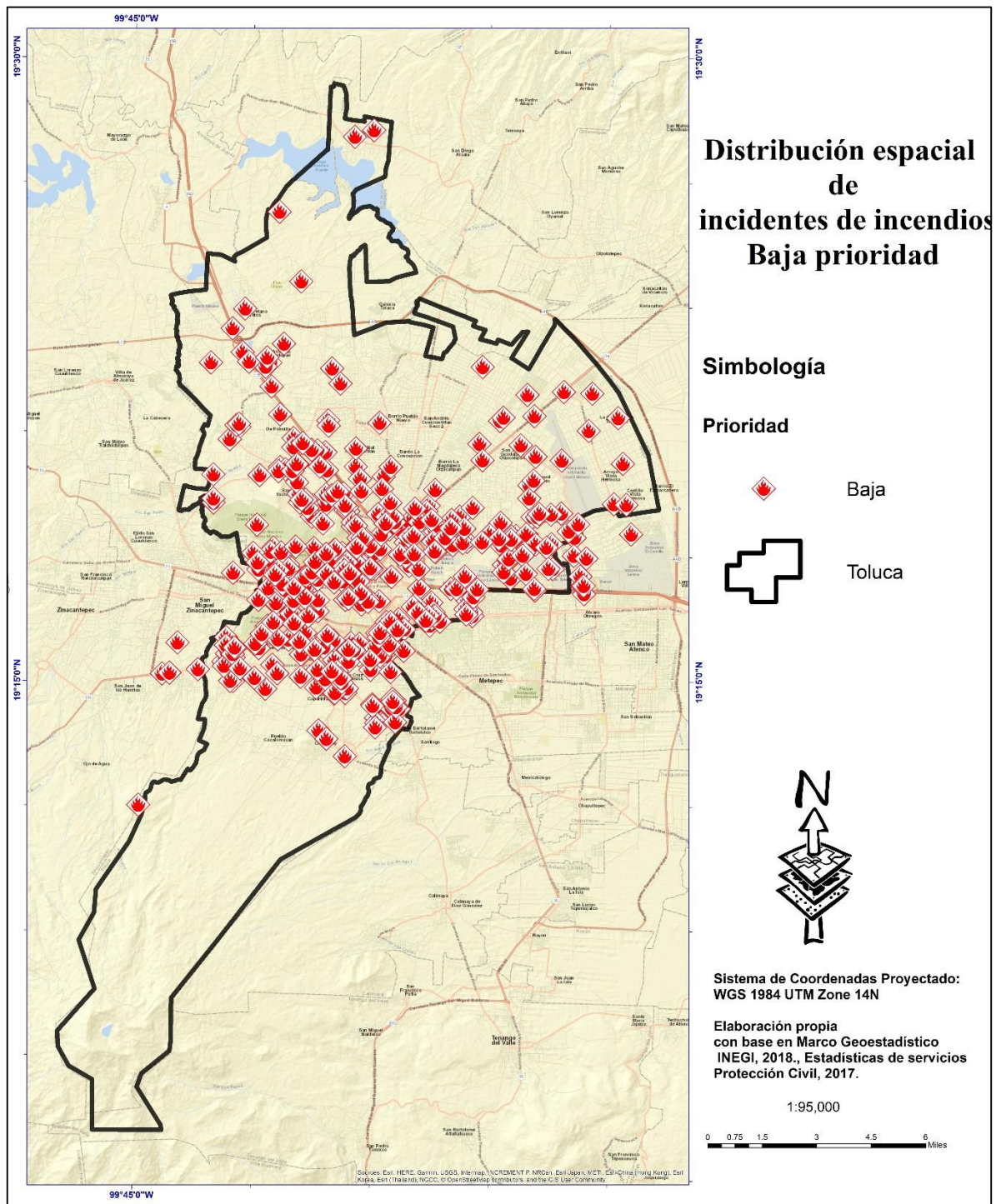


Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, Estadísticas de Servicios Protección Civil del Municipio de Toluca, 2017.

Los resultados muestran para un total de Número de puntos:52 referentes a incendios de media prioridad el Índice del vecino más cercano:0.8206, lo que indica que existe aleatoriedad en los incendios de media prioridad y pues con ello muestra que de la misma manera este tipo de incendios se distribuyen en todo el municipio y alrededores, teniendo de igual manera el mismo interés de emergencia, pero a menor prioridad por el tipo de incendio donde no hay riesgo de pérdidas humanas y/o materiales. También se muestra una relación entre la Distancia media observada: 1037.9972 m y la Distancia media esperada:1264.7736 m.

Por ultimo en lo que corresponde al análisis de distribución se realizó también para los incendios que correspondían a una clasificación de prioridad baja de acuerdo a la clasificación de prioridad antes mencionada Figura 10.

Figura 10. Distribución espacial de incidentes de incendios de Prioridad baja



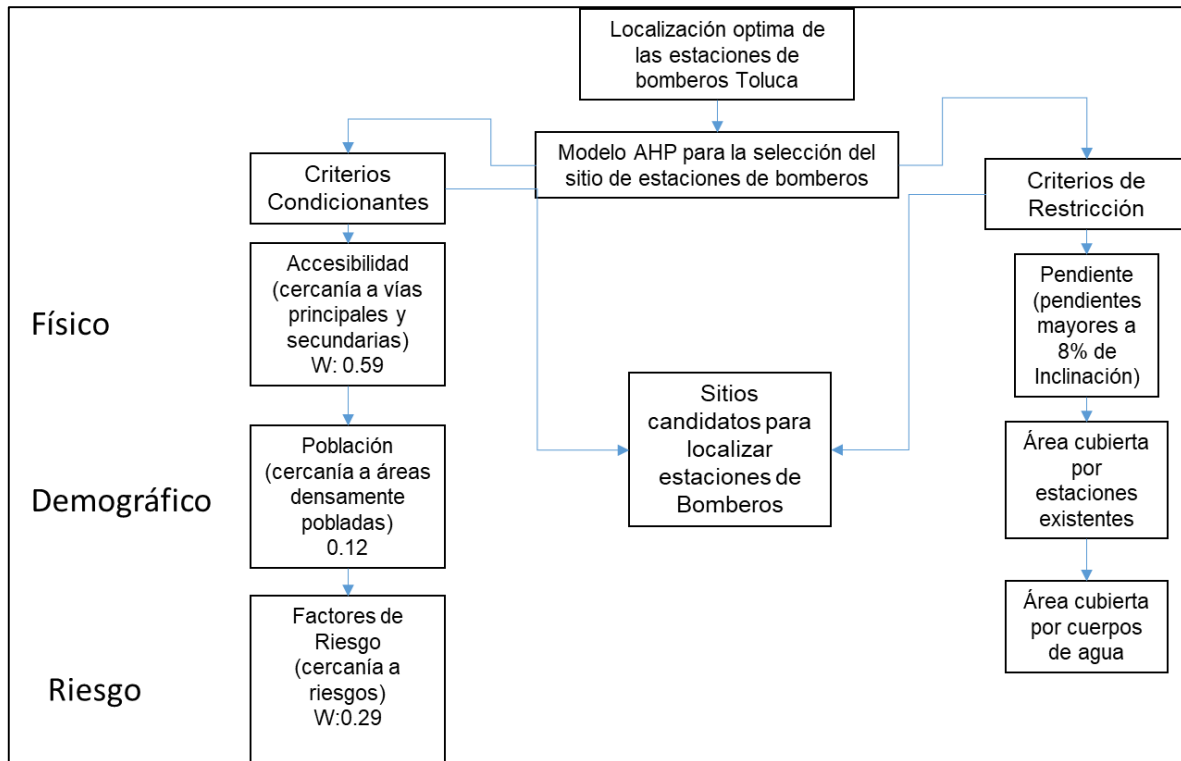
Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, Estadísticas de Servicios Protección Civil del Municipio de Toluca, 2017

Los resultados muestran que para un total de Número de puntos:588 referentes a incendios de baja prioridad existe un Índice del vecino más cercano:0.4003 lo que indica que existe una clasificación del tipo regular pues es próximo a 0.50 en los incendios de baja prioridad con una Distancia media observada: 211.0211 y una Distancia media esperada:527.1401 y con ello muestra que este tipo de incidentes pudieran ser causados intencionalmente pues estos tienden a la concentración en la parte central del municipio teniendo de igual manera el mismo interés de emergencia pero a menor prioridad por el tipo de incendio donde no hay del todo un riesgo de pérdidas humanas y/o materiales, pero de no atenderse a tiempo correría el riesgo de provocar un incendio más grande el cual tendría consecuencias de mayor magnitud, además de que este produce gran cantidad de contaminación atmosférica.

12.3) El proceso de análisis jerárquico de sitios óptimos para ubicar nuevas estaciones de bomberos (AHP Analytical Hierarchy Process).

El análisis multicriterio se ha llevado a cabo en un entorno ráster con el objetivo de análisis de localización óptima de sitios candidatos para estaciones de bomberos, cada pixel en la zona de estudio representaba una posible alternativa de localización. El esquema que muestra el modelo AHP para la localización optima de estaciones se muestra ver Figura 11.

Figura 11. Modelo de evaluación multicriterio para sitios candidatos de nuevas Estaciones de Bomberos



Elaboración propia. Este esquema muestra los valores de peso (w) obtenidos en el apartado 12.3.5) Cálculo de pesos.

12.3.1) Identificación de criterios

Esta fase consta de la identificación de criterios o variables que se van a incluir en el modelo, las fuentes de información de los mismos para establecer los métodos de edición y alistamiento de la información. Se seleccionaron estos considerando la aptitud para determinar sitios candidatos para la localización de nuevos establecimientos de estaciones de Bomberos, obtenidos de la normatividad vigente en México, Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 1999). Además, también de una revisión bibliográfica de trabajos donde se encontrará el mismo objetivo de localización de estaciones de bomberos tales como Chaudhary P., Kumar S., *et al* (2016) y en Habibi K, Lotfi S. and Koohsari M. (2008). Los criterios más relevantes y restricciones para la instalación de estaciones de bomberos son los mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14. Categorización de criterios condicionantes y de restricción

FACTORES	DESCRIPCIÓN Y FUENTE DE INFORMACIÓN	CLASIFICACIÓN	APTITUD	AUTORES
Densidad de Población	AGEB de población INEGI	Muy alta	172-270 HAB/HA	Chaudhary P., Kumar S., <i>et al</i> (2016), Habibi K, Lotfi S. and Koohsari M. (2008), SEDESOL, (1999)
		Alta	108-171 HAB/HA	
		Media	63-107 HAB/HA	
		Baja	30-62 HAB/HA	
		Muy baja	0-29 HAB/HA	
Cercanía a Vías	Vías principales y Vías secundarias	Alta	0-25 m	Chaudhary P., Kumar S., <i>et al</i> (2016), Habibi K, Lotfi S. and Koohsari M. (2008), SEDESOL, (1999)
	Red nacional de caminos 2017 SCT-IMT	Media	25-50 m	
		Baja	50-100 m	
Cercanía a Riesgos	- Estaciones de servicio - Estaciones de carburación - Gaseras - Industrias del Petróleo DENUE 2018	Alto	0-300 m	Habibi K, Lotfi S. and Koohsari M. (2008)
		Medio	300-600 m	
		Bajo	600-900 m	
RESTRICCIONES				
Pendiente	Pendiente	Alta	2-8°	SEDESOL, (1999)
	MDT 15m de Resolución obtenido de INEGI	Baja	8->	
Cuerpos de Agua	INEGI Uso de suelo y vegetación serie V	ríos, lagos , lagunas		
Área de Cobertura de Estaciones Actuales	Área de servicio	tiempo de respuesta preestablecido	8 minutos	Habibi K, Lotfi S. and Koohsari M. (2008)

Elaboración Propia con base en Chaudhary P., Kumar S., *et al* (2016), Habibi K, Lotfi S. and Koohsari M. (2008), SEDESOL, (1999).

12.3.1.1) Densidad de Población

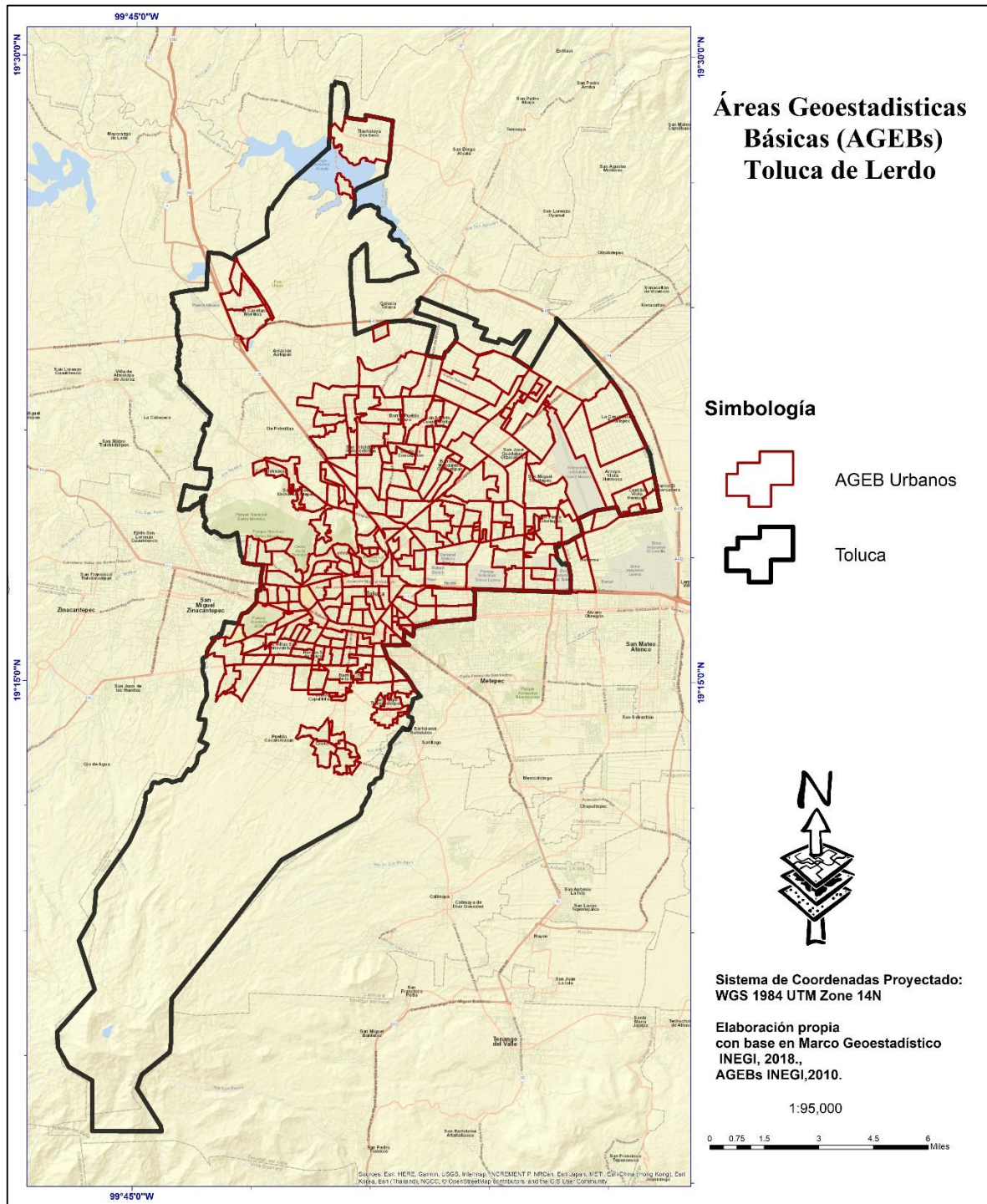
La población es un criterio importante y considerado en la normatividad, la información con respecto a población según INEGI (2015) de acuerdo a la encuesta Intercensal del 2015 muestra que en el municipio de Toluca existe una población de 873, 536 habitantes y para esta población debe existir un total de ya 9 UBS según SEDESOL (1999), recomienda que por cada 100000 habitantes debe existir 1 UBS de esta manera es fin prioritario dar mayor importancia a las zonas con mayor concentración de población.

Para el caso se pretende hacer uso de las áreas de geoestadística básica (AGEB) del INEGI Figura 12. En donde se calculará por cada AGEB la densidad de población correspondiente, la cartografía más actualizada disponible fue la del 2010, por lo tanto, se ocupó esta y ahí se calculó la densidad poblacional para cada AGEB con la fórmula:

$$\text{Densidad Poblacional} = \frac{\text{Habitantes}}{\text{Hectareas}}$$

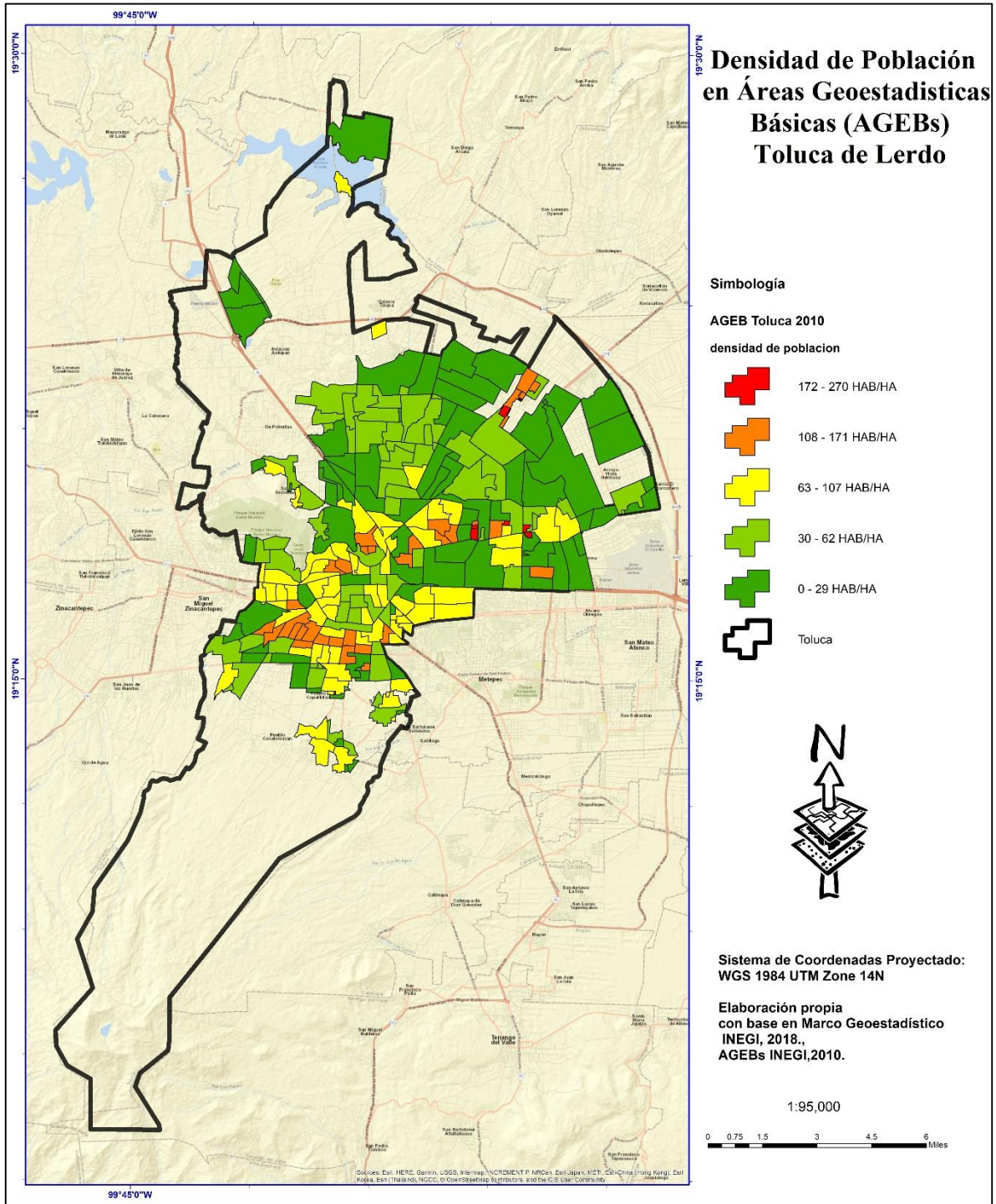
Calculada la información con los valores de población y superficie contenidos en la tabla de atributos de la capa vectorial de AGEBS se procedió a realizar un mapa que reflejara la información bajo una categorización en natural jenks y una cromática simple de rojo a verde Ver Figura 13. Así mismo, se continuo con la secuencia a rasterizar la información obtenida con el valor de densidad de población ver Figura 14. Esta información evidenciaba la densidad más alta de población de color rojo y la más baja de acuerdo a la escala de color degradada hasta llegar al color verde.

Figura 12. Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs) de Toluca de Lerdo.



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, AGEBS INEGI, 2010.

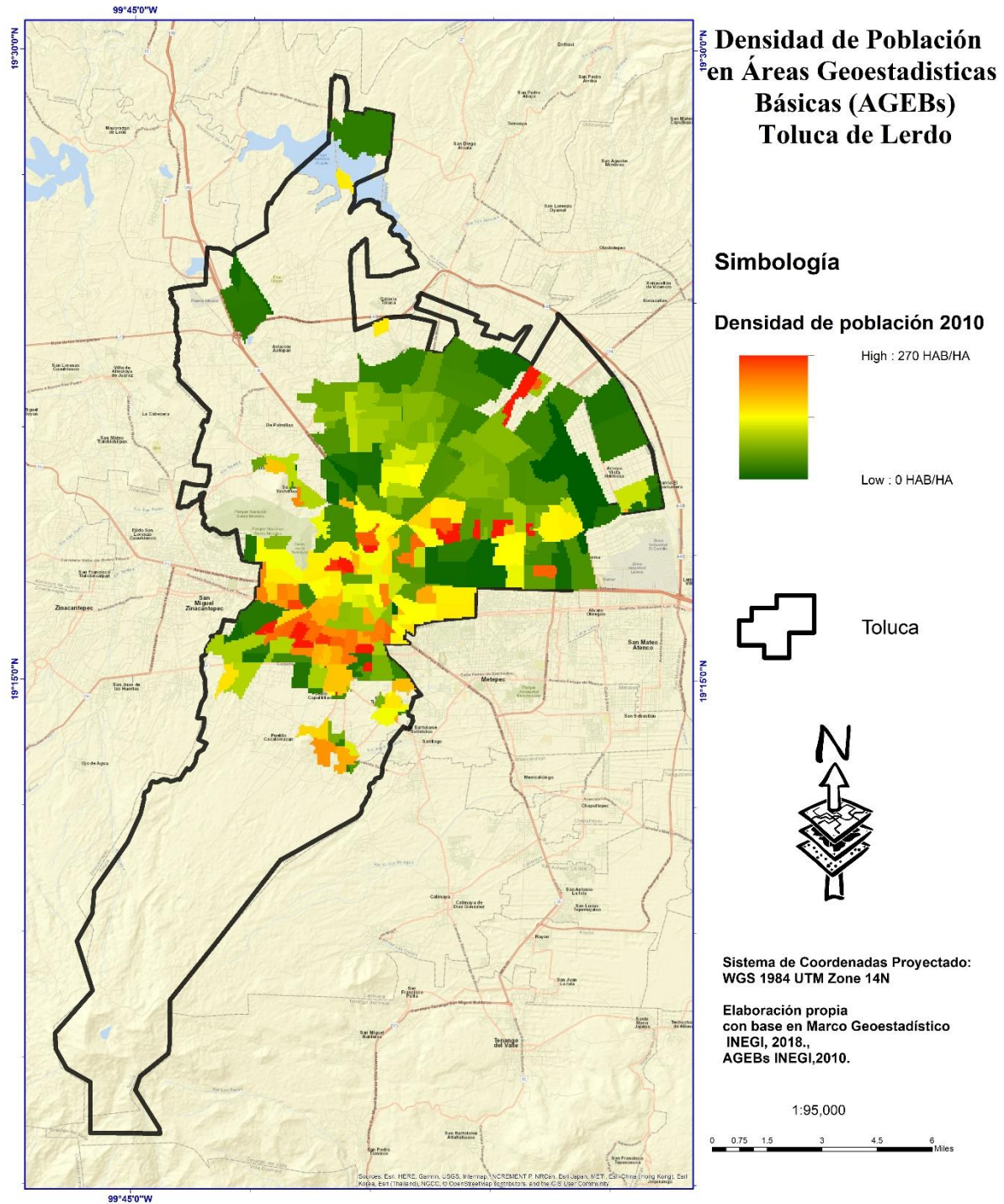
Figura 13. Cálculo de la Densidad poblacional AGEs vectoriales.



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018. AGEs INEGI, 2010.

Formato vectorial

Figura 14. Rasterización del cálculo de la Densidad poblacional AGEBs



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018., AGEBS INEGI, 2010.

Formato raster

12.3.1.2) Cercanía a Vialidades

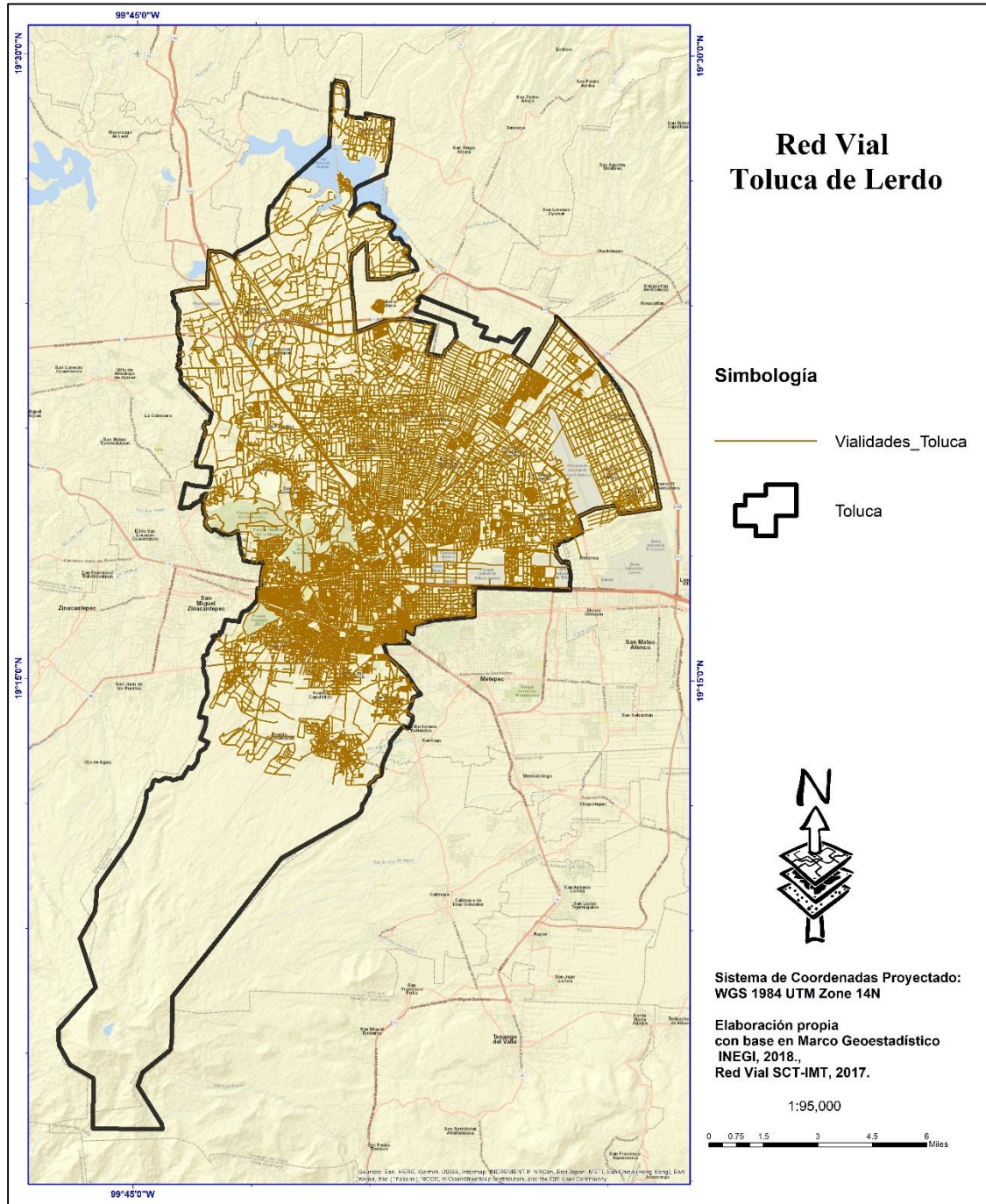
Siguiendo la normatividad (SEDESOL, 1999), la accesibilidad en la instalación de estaciones de bomberos es de suma importancia y como lo indica la normatividad es recomendable en las vialidades principales y vialidades secundarias, esto con la finalidad de tener un rápido acceso a las vialidades principales de la ciudad y así evitar congestionamientos viales. Así también se menciona que es recomendable la ubicación a la mitad de la cuadra y no a la esquina para un mejor acceso y pronta respuesta.

Este criterio fue considerada la cartografía de la Red Nacional de Caminos que es resultado de un esfuerzo interinstitucional Secretaria de Comunicaciones y Transporte y el Instituto Mexicano del Transporte (SCT-IMT) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) la cual es la representación cartográfica digital y georreferenciada de la infraestructura vial del país con alta precisión y escala de gran detalle; la cual tiene información importante de acuerdo al nombre de vías principales y vías secundarias.

Se muestra un mapa con toda la red vial correspondiente al municipio de Toluca de Lerdo ver Figura 15., misma que sirvió como base para posteriormente hacer una selección con respecto a normativa de SEDESOL, 1999. Siguiendo la secuencia para solo tener en consideración las vías principales y secundarias por lo tanto se seleccionaron las avenidas, boulevares y carreteras la cual es la velocidad promedio es mayor fuera de 40km/h. Figura 16.

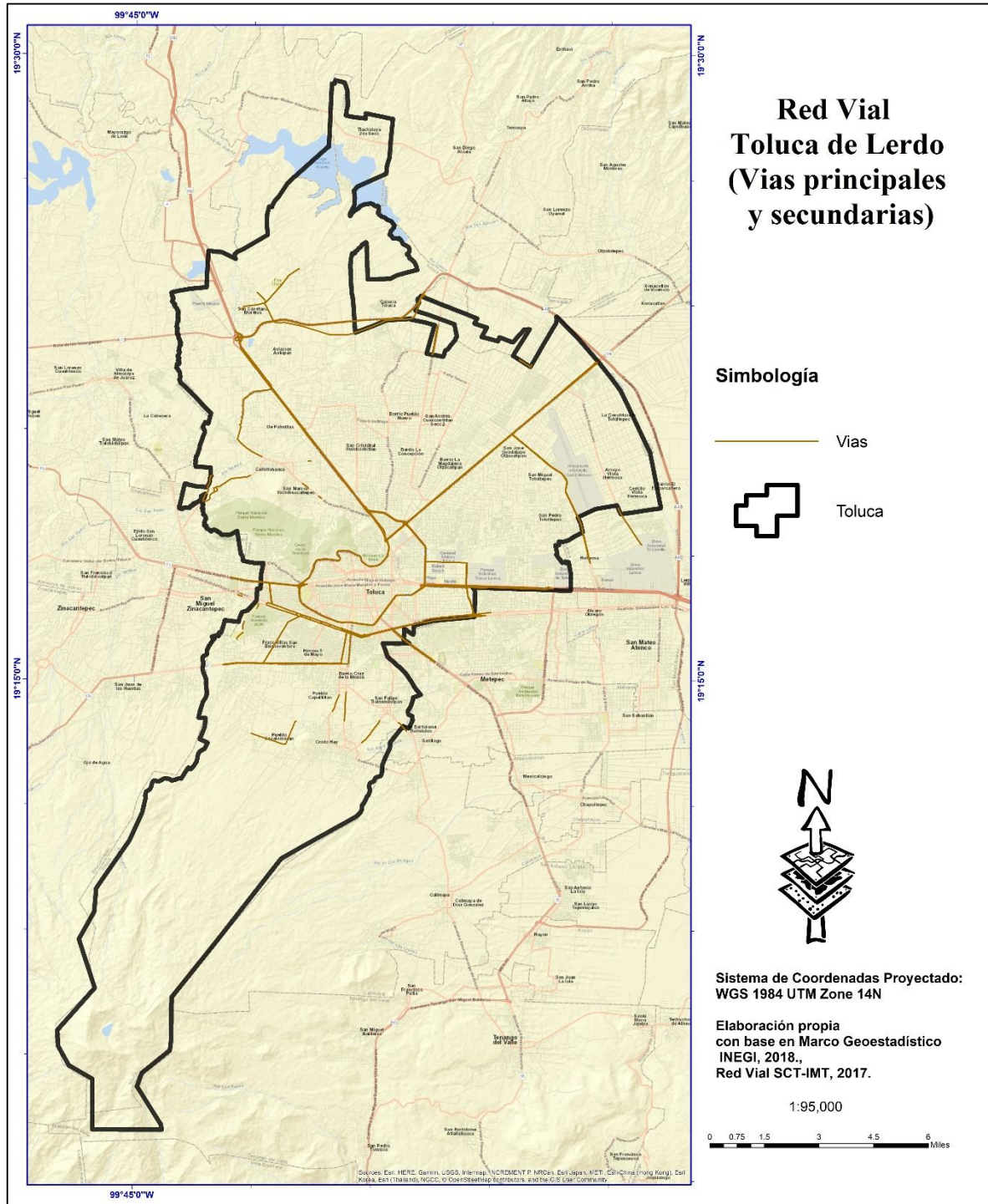
Continuando con el procedimiento se realizo un procedimiento de distance euclidian en el software ArcGis 10.3 para asi obtener la distancia con respecto a las vías seleccionadas este procedimiento permitio obtener un raster con un degradado de distancia el cual indica la cercanía a las vías en metros ver Figura 17.

Figura 15. Red vial Toluca de Lerdo



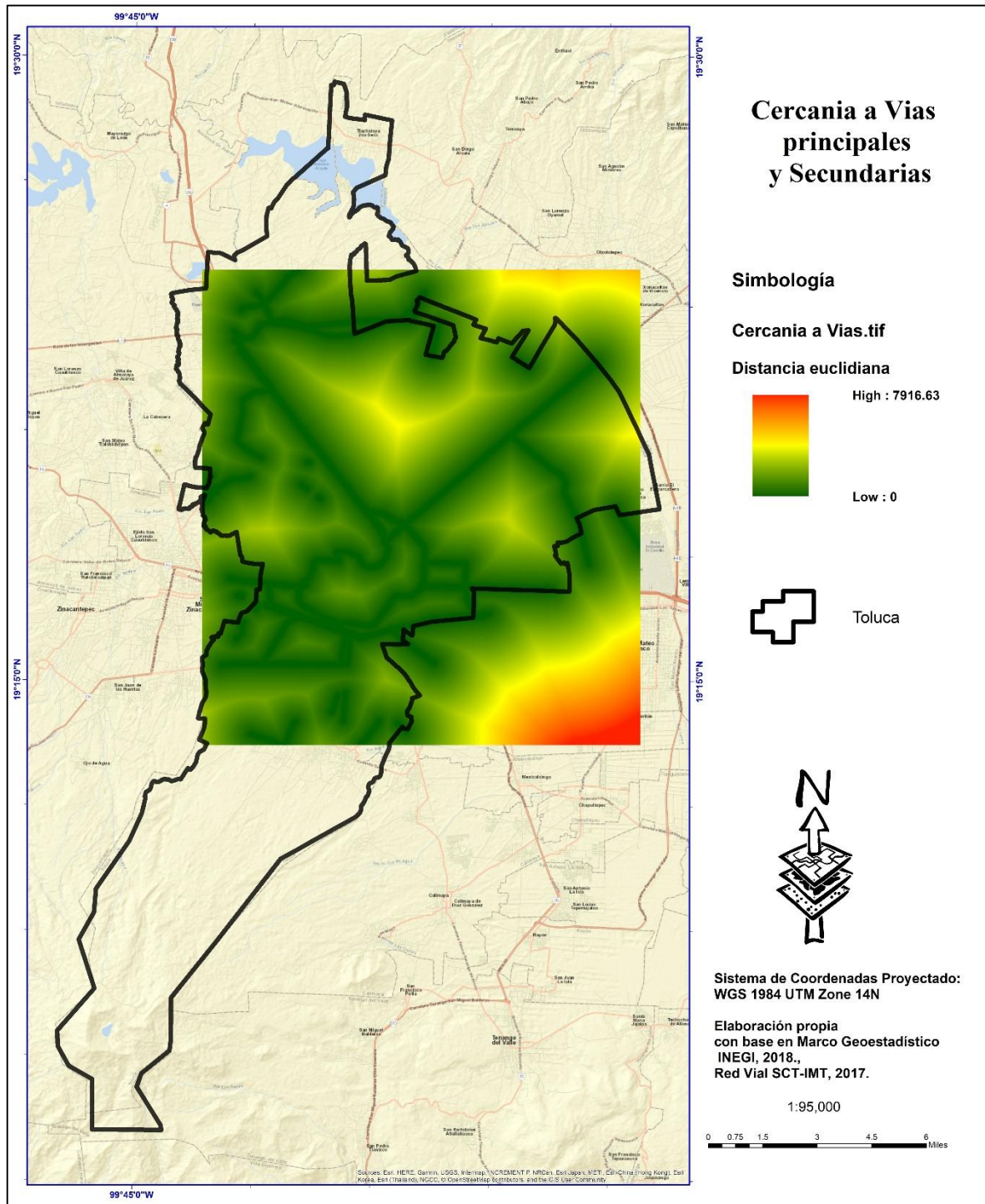
Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018 y Red Vial SCT-IMT, 2017

Figura 16. Vialidades principales y secundarias de Toluca.



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018 y en cartografía de la red vial 2017 SCT-IMT.

Figura 17. Cercanía a vías principales y secundarias de Toluca.



Elaboracion: propia con base en cartografía de la red vial 2017 SCT-IMT

12.3.1.3) Cercanía a riesgos

Algunos de los usos del suelo de los predios tienden a tener cierta finalidad más peligrosa que otras como lo son las estaciones de servicio (gasolineras), estaciones de gas, industria petrolera y sus derivados, etc., por lo que se dará cierta prioridad a este tipo de instalaciones para una rápida respuesta ante un probable incidente de incendio. La información fue obtenida del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE, 2017) en donde se ofrecen los datos de identificación, ubicación, actividad económica y tamaño de los negocios activos en el territorio nacional, actualizados, fundamentalmente, en el segmento de los establecimientos grandes.

Los sitios a los cuales se seleccionaron corresponden a los seleccionados mediante el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2013 (SCIAN) procedente del INEGI (2013), cual es el clasificador de actividades económicas único para la región de América del Norte. El SCIAN contiene categorías (actividades económicas clasificadas en cualquier nivel de agrupación) acordadas de forma trilateral por Canadá, Estados Unidos (EE.UU.) y México (Tabla 15).

La selección realizada fue en cuanto los comercios, industria o bien venta de productos derivados del petróleo y que implicaran materiales explosivos o bien altamente inflamables en los cuales un accidente pudiere provocar un incendio de grandes magnitudes. Respectivamente se realizó un mapa ver Figura 18. En donde se muestran los sitios seleccionados para de alguna manera tener presente la cercanía a la cual se encuentran este tipo de comercios asimismo ser contemplados en la selección optima de sitios para la instalación correcta de las estaciones de bomberos.

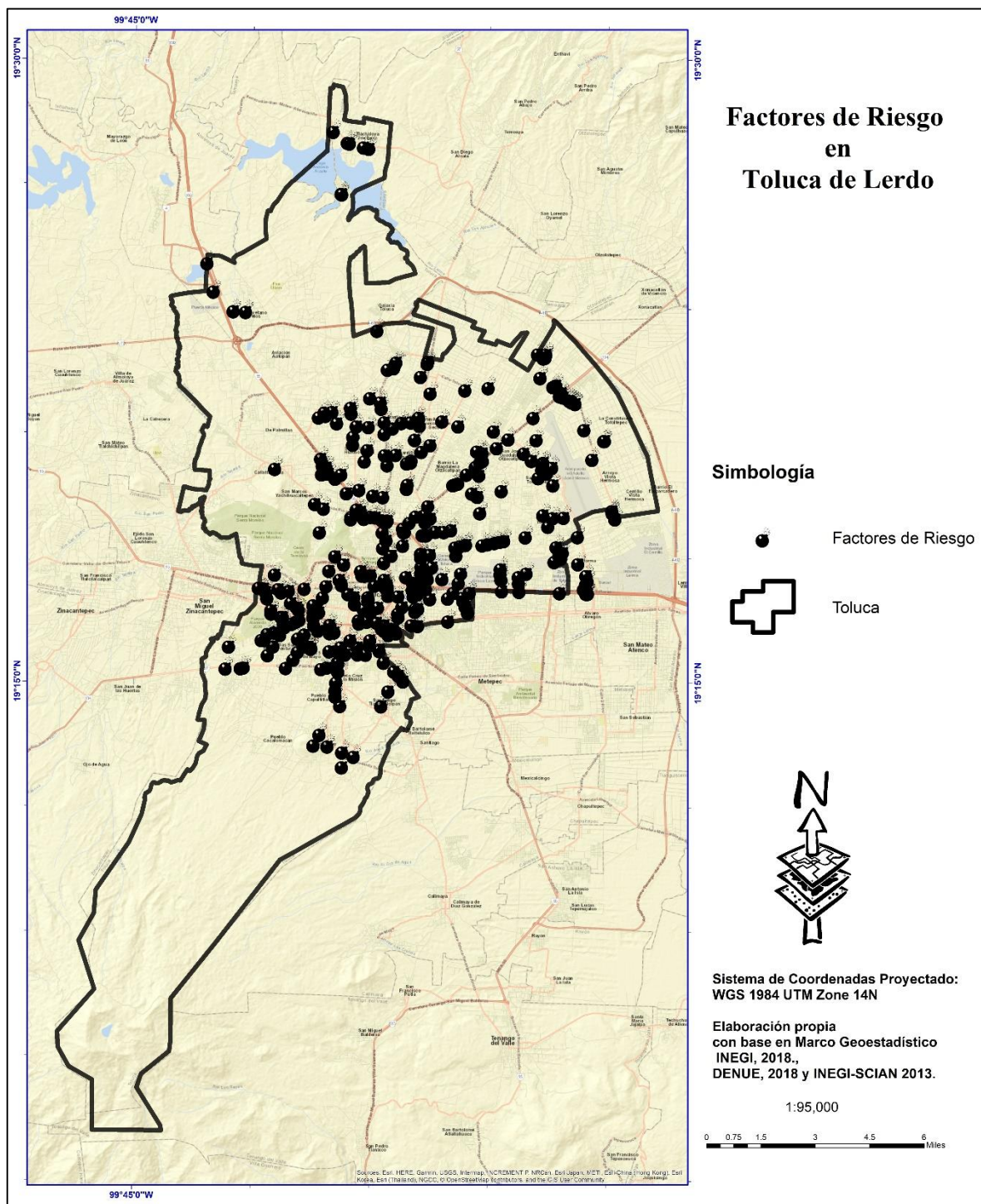
Posteriormente se realizó un mapa en el software ArcGis 10.3 con la herramienta euclidian distance para obtener la distancia euclidiana con respecto factores de riesgo, esto nos permitio obtener un raster con un degradado de distancia el cual indica la cercania a los factores de riesgo considerados ver Figura 19.

Tabla 15. Factores de riesgo considerados

Fabricación de bolsas de papel y productos celulósicos recubiertos y tratados		32551	Fabricación de pinturas y recubrimientos
324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	325510	Fabricación de pinturas y recubrimientos
3241	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	32552	Fabricación de adhesivos
32411	Refinación de petróleo	325520	Fabricación de adhesivos
324110	Refinación de petróleo	3256	Fabricación de jabones, limpiadores y preparaciones de tocador
32412	Fabricación de productos de asfalto	32561	Fabricación de jabones, limpiadores y dentífricos
324120	Fabricación de productos de asfalto	325610	Fabricación de jabones, limpiadores y dentífricos
32419	Fabricación de otros productos derivados del petróleo refinado y del carbón mineral	32562	Fabricación de cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador
324191	Fabricación de aceites y grasas lubricantes	325620	Fabricación de cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador
324199	Fabricación de coque y otros productos derivados del petróleo refinado y del carbón mineral	3259	Fabricación de otros productos químicos
325	Industria química	32591	Fabricación de tintas para impresión
3251	Fabricación de productos químicos básicos	325910	Fabricación de tintas para impresión
32511	Fabricación de petroquímicos básicos del gas natural y del petróleo refinado	32592	Fabricación de explosivos
325110	Fabricación de petroquímicos básicos del gas natural y del petróleo refinado	325920	Fabricación de explosivos
32512	Fabricación de gases industriales	32599	Fabricación de otros productos químicos
325120	Fabricación de gases industriales	325991	Fabricación de cerillos
32513	Fabricación de pigmentos y colorantes sintéticos	325992	Fabricación de películas, placas y papel fotosensible para fotografía
325130	Fabricación de pigmentos y colorantes sintéticos	325993	Fabricación de resinas de plásticos reciclados
32518	Fabricación de otros productos químicos básicos inorgánicos	325999	Fabricación de otros productos químicos
325180	Fabricación de otros productos químicos básicos inorgánicos	Comercio al por menor de materiales para la construcción en tiendas de autoservicio especializadas	
32519	Fabricación de otros productos químicos básicos orgánicos	468	Comercio al por menor de vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes
325190	Fabricación de otros productos químicos básicos orgánicos	4684	Comercio al por menor de combustibles, aceites y grasas lubricantes
3252	Fabricación de resinas y hules sintéticos, y fibras químicas	46841	Comercio al por menor de combustibles
32521	Fabricación de resinas y hules sintéticos	468411	Comercio al por menor de gasolina y diésel
325211	Fabricación de resinas sintéticas	468412	Comercio al por menor de gas L.P. en cilindros y para tanques estacionarios
325212	Fabricación de hules sintéticos	468413	Comercio al por menor de gas L.P. en estaciones de carburación
32522	Fabricación de fibras químicas	468419	Comercio al por menor de otros combustibles
325220	Fabricación de fibras químicas	Transporte colectivo urbano y suburbano de pasajeros en trolebuses y trenes ligeros	
3253	Fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos	486	Transporte por ductos
32531	Fabricación de fertilizantes	4861	Transporte de petróleo crudo por ductos
325310	Fabricación de fertilizantes	48611	Transporte de petróleo crudo por ductos
32532	Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos, excepto fertilizantes	486110	Transporte de petróleo crudo por ductos
325320	Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos, excepto fertilizantes	4862	Transporte de gas natural por ductos
3254	Fabricación de productos farmacéuticos	48621	Transporte de gas natural por ductos
32541	Fabricación de productos farmacéuticos	486210	Transporte de gas natural por ductos
325411	Fabricación de materias primas para la industria farmacéutica	4869	Transporte por ductos de otros productos
325412	Fabricación de preparaciones farmacéuticas	48691	Transporte por ductos de productos refinados del petróleo
3255	Fabricación de pinturas, recubrimientos y adhesivos	486910	Transporte por ductos de productos refinados del petróleo
		48699	Transporte por ductos de otros productos, excepto de productos refinados del petróleo
		486990	Transporte por ductos de otros productos, excepto de productos refinados del petróleo
		4343	Comercio al por mayor de materiales de desecho

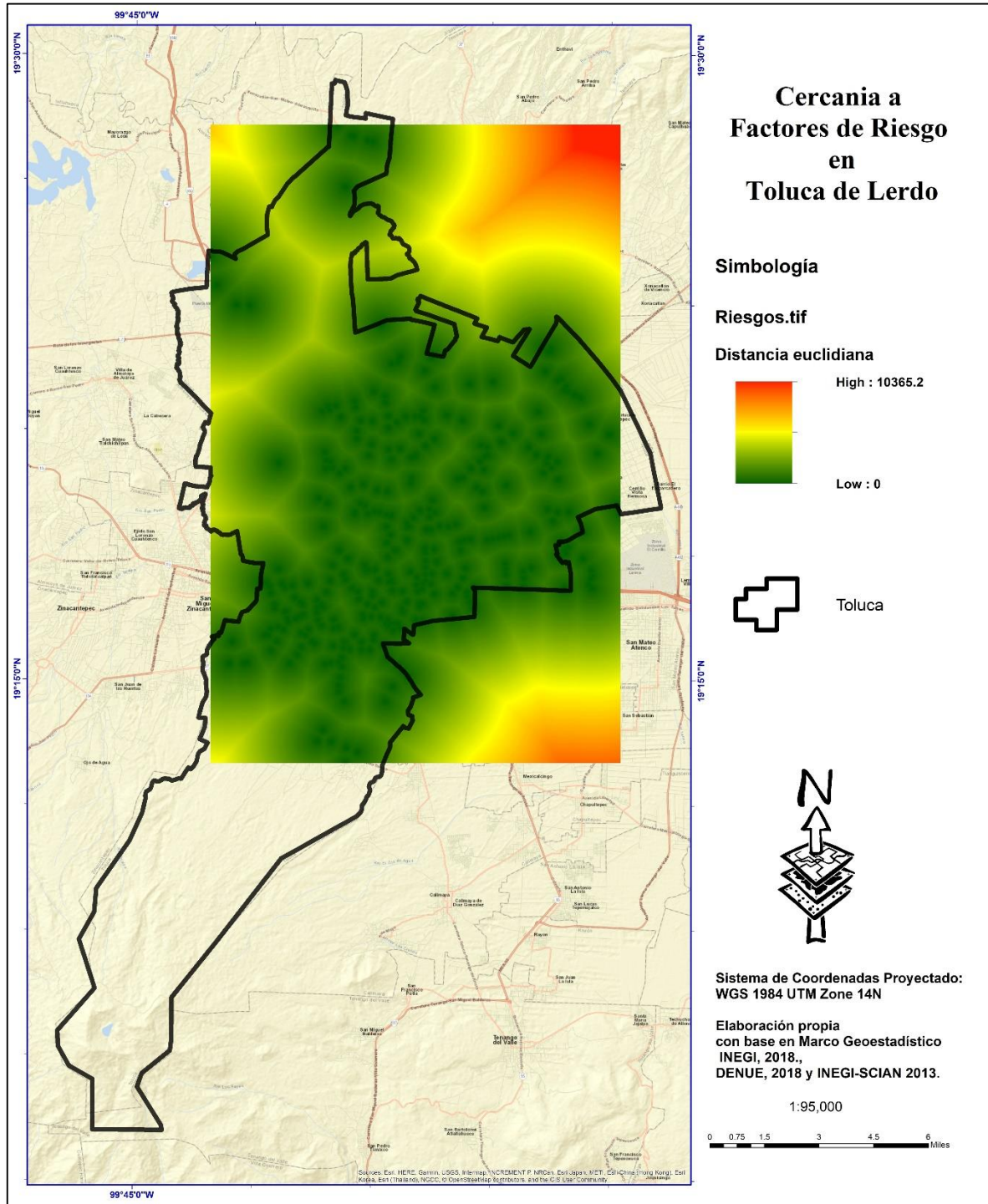
Elaboración propia con base en el DENU, 2018 y INEGI-SCIAN 2013.

Figura 18. Factores de riesgo en Toluca



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018., DENUE, 2018 y INEGI-SCIAN 2013.

Figura 19. Cercanía a Factores de riesgo en Toluca



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018., DENUE, 2018 y INEGI-SCIAN 2013.

12.3.2) Estandarización de la información

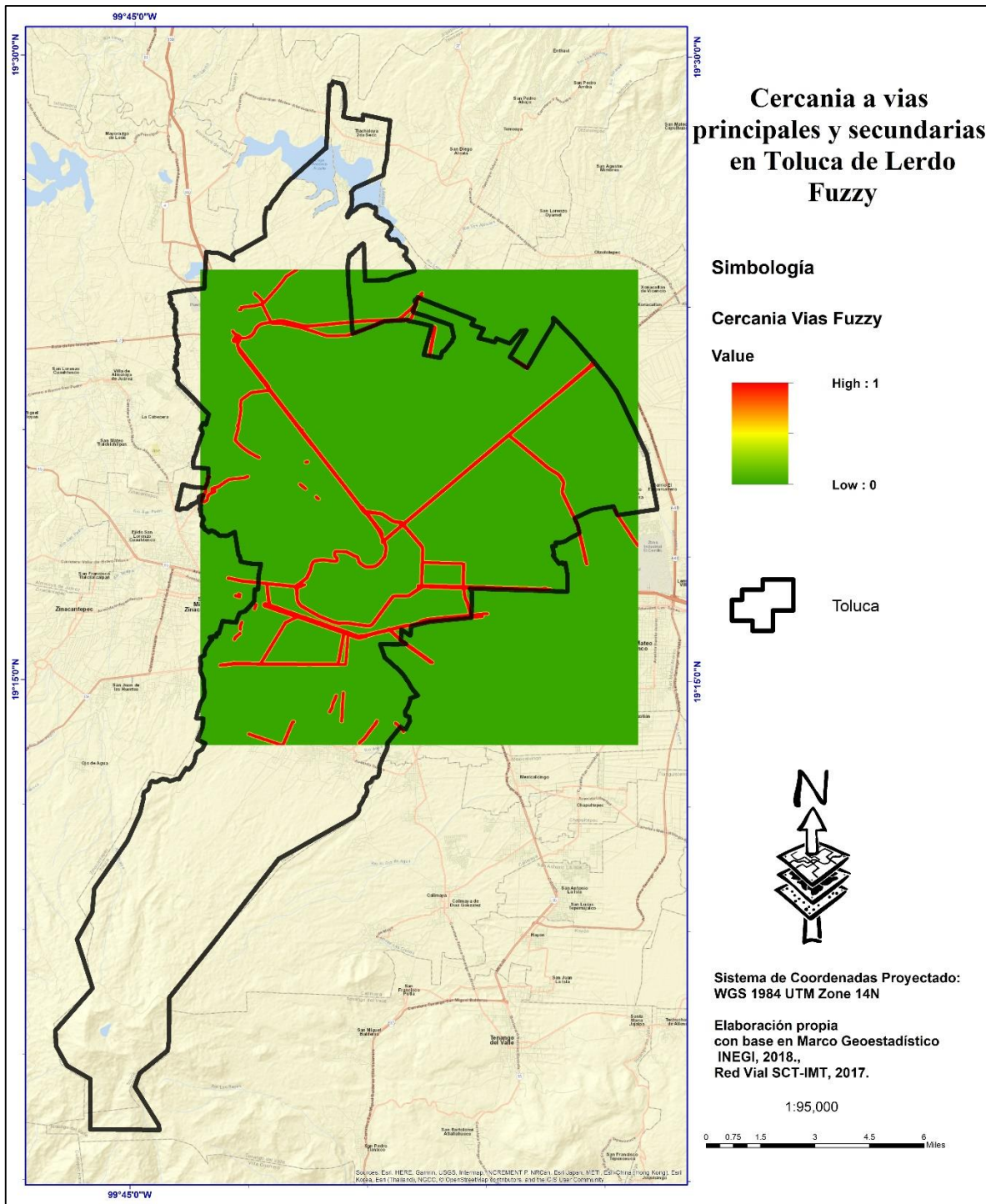
La estandarización de la información es necesario definir el sistema de proyección, las características comunes de la información generada que van a servir de insumo para generar las capas de información raster por lo tanto se tendrá que transformar archivos vectoriales en archivos raster, así también para la modelización de los criterios se deben normalizar todos los factores y han de ser medidos en la misma escala, para que se puedan utilizar de la manera más adecuada.

12.3.3) Normalización de criterios

La normalización de criterios se realizó en Arc Gis con la herramienta FuzzyMembership tiene diferentes tipos de funciones de pertenencia borrosa, los tipos de normalización de pertenencia borrosa existentes en Arc Gis son: FuzzyGaussian, FuzzyLarge, FuzzyLinear, FuzzyMSLarge, FuzzyMSSmall, FuzzyNear, and FuzzySmall, para este propósito se utilizó la función de tipo FuzzyLinear en donde los valores más altos corresponden a las mayores aptitudes.

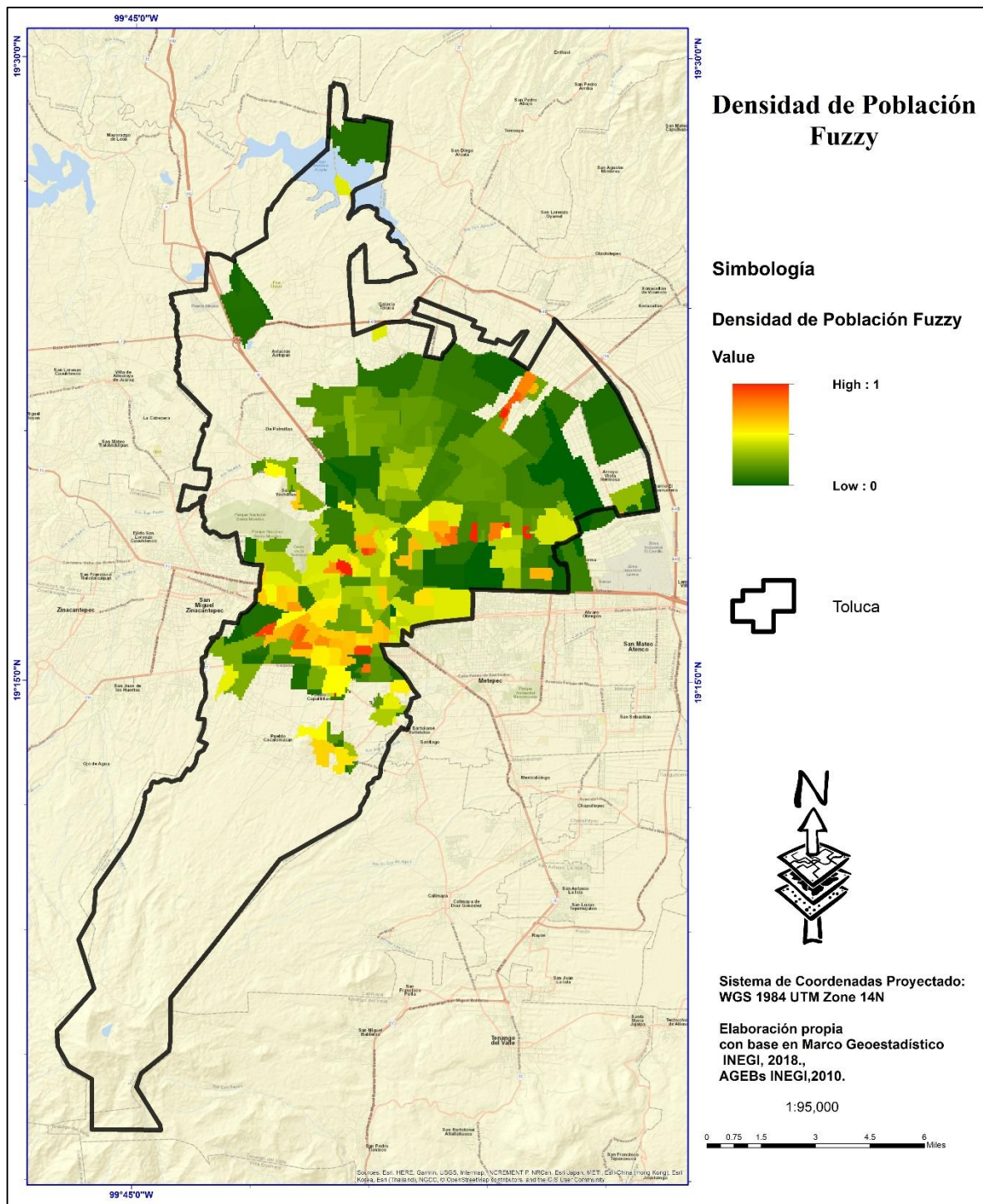
El resultado de los mapas obtenidos se muestra en la siguiente los valores ingresados a son los que se encuentran en el apartado de la Metodología en Tabla 14. Categorización de criterios condicionantes y de restricción. Se utilizaron los valores encontrados ahí para en la columna de Valor para escalar a tipo booleano que va en una escala de 0 y 1. Este procedimiento se utilizó para el criterio de Cercanía a vías Principales y secundarias y se muestra bajo la siguiente secuencia de mapas Fuzzy ver Figura 20., Densidad de Población Fuzzy ver Figura 21. y Cercanía a factores de Riesgo Fuzzy Figura 22.

Figura 20. Cercanía a vías Principales y secundarias (Fuzzy)



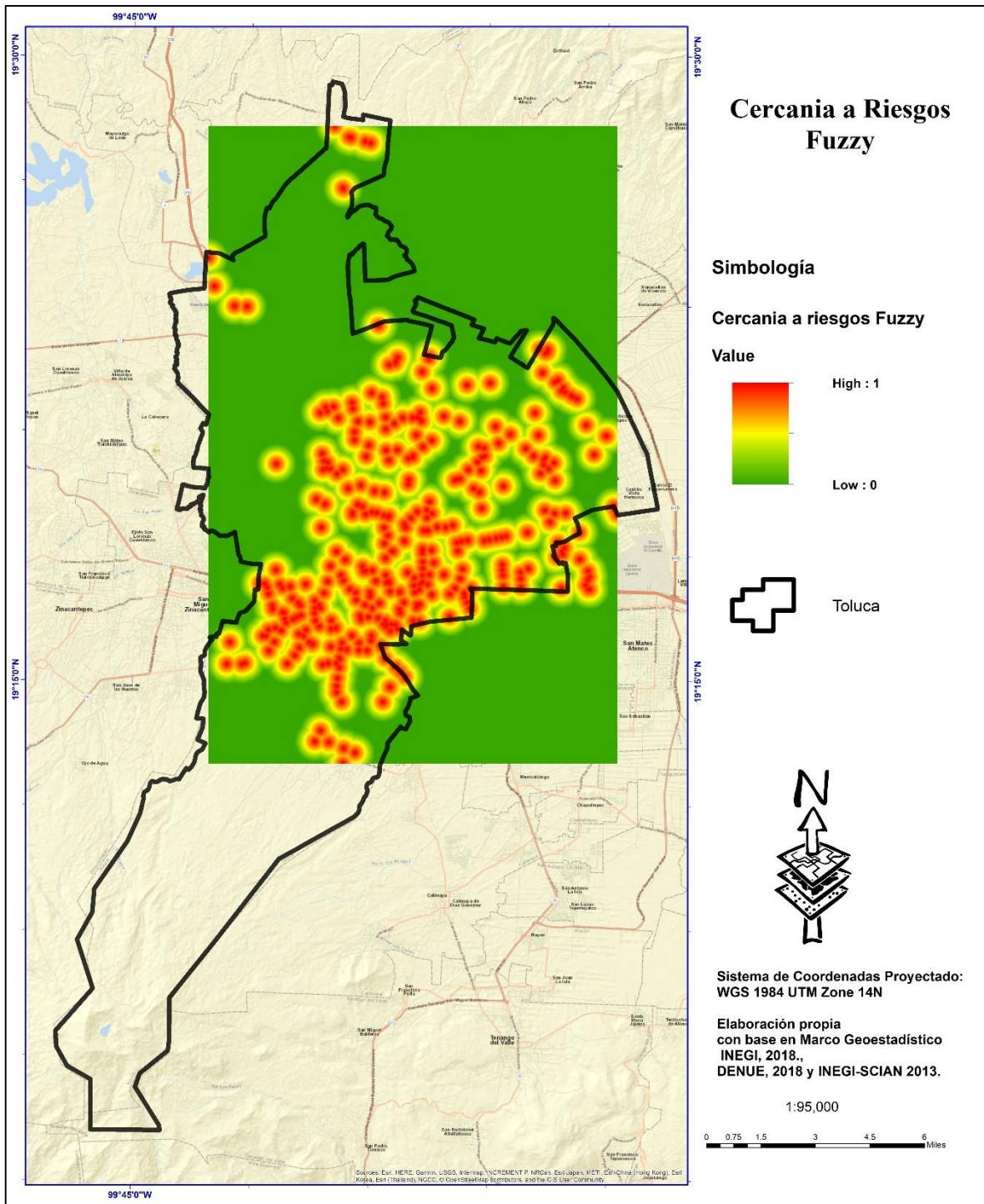
Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, SCT-IMT (2017).

Figura 21. Densidad de Población (Fuzzy).



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, SCT-IMT (2017).

Figura 22. Cercanía a factores de Riesgo (Fuzzy)



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, SCT-IMT (2017).

12.3.4) Construcción de jerarquías

La construcción de jerarquías y establecimiento de prioridades es la fase más importante del proyecto porque de acuerdo a la investigación realizada y con el apoyo de la matriz de comparación pareada se obtiene la importancia obtenidas a partir de criterios de expertos académicos con los cuales se aplicará la metodología en el SIG ver Tabla 16.

Tabla 16. Matriz de comparación pareada y cálculo de pesos

Variables	Densidad de Población	Cercanía a Vías Principales y Secundarias	Cercanía a Riesgos
Densidad de Población	1	1/4	1/3
Cercanía a Vías Principales y Secundarias	5	1	2
Cercanía a Riesgos	4	1/4	1
Suma	10	1.5	3.3

Elaboración propia con base en Saaty (1980).

Estas cantidades fueron obtenidas mediante consenso en un grupo de académicos expertos que aportaron su juicio para determinar el valor para cada variable, el grupo estaba integrado por:

Dr. Miguel Ángel Balderas Plata

Dr. Juan Campos Alanís

Mtro. Leonardo Alfonso Ramos

Dr. Manuel Fuenzalida Díaz

12.3.5) Calculo de pesos

Una vez se haya definido la jerarquización de criterios, se hace el cálculo de pesos de cada una de las variables en esta fase se obtiene la matriz de pesos y jerarquías ver Tabla 17.

Tabla 17. Matriz de pesos y jerarquías

Criterios	Densidad de Población	Cercanía a Vías Principales y Secundarias	Cercanía a Riesgos	Peso relativo
Densidad de Población	0.10	0.17	0.10	0.12
Cercanía a Vías Principales y Secundarias	0.50	0.67	0.60	0.59
Cercanía a Riesgos	0.40	0.17	0.30	0.29
				1.00

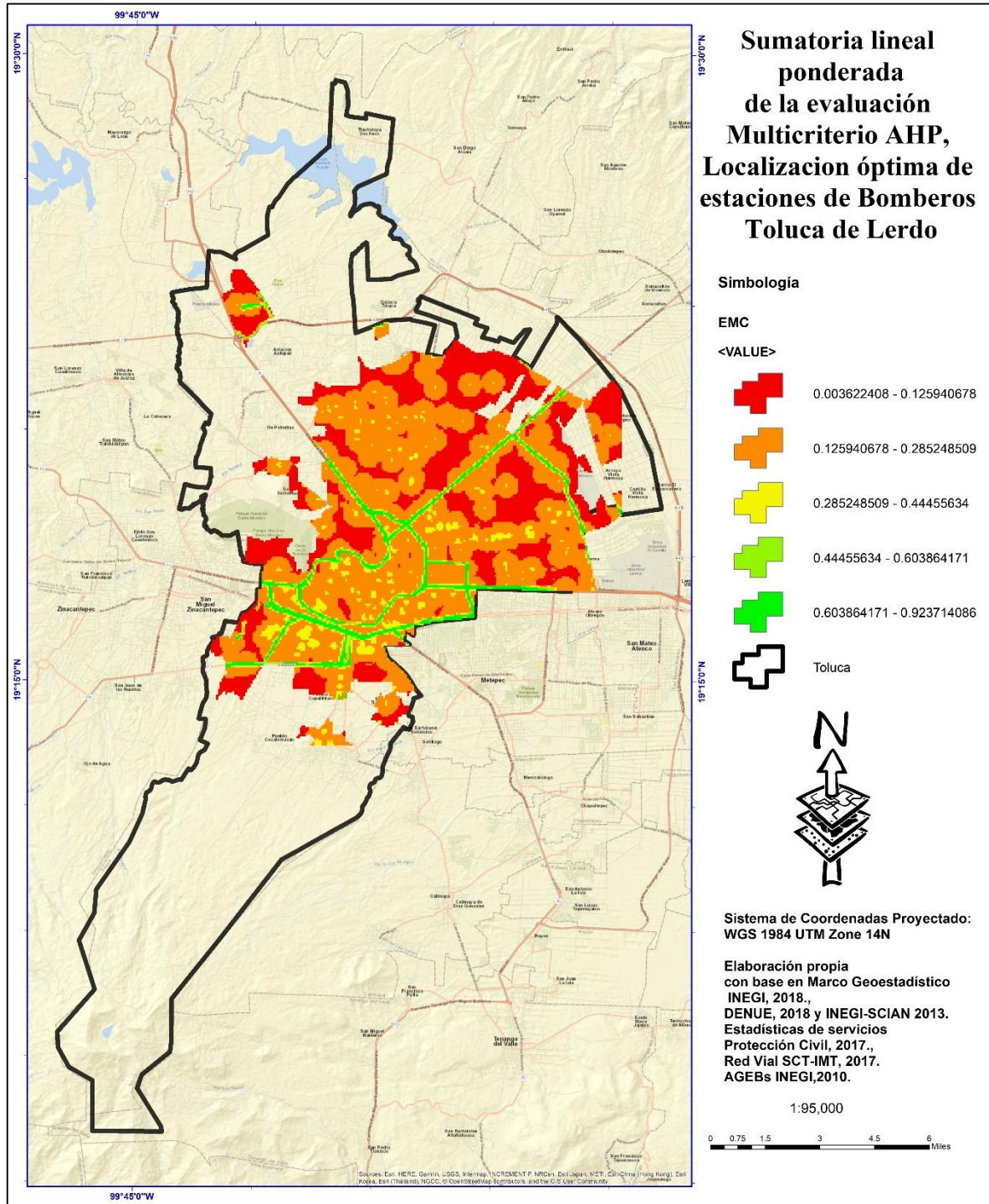
Elaboración propia pesos de variables

12.3.6) Sumatoria lineal ponderada

La suma lineal ponderada es el procedimiento de evaluación multicriterio más comúnmente empleado para la obtención de mapas de aptitud para una actividad y además es fácilmente implementado en ambiente SIG raster. En la suma lineal ponderada los factores de evaluación son combinados aplicando un peso a cada uno y sumando los resultados según la siguiente ecuación, la fórmula aplicada para realizar la sumatoria lineal ponderada después de realizar el cálculo de pesos para cada criterio fue la siguiente:

$$(\text{"Densidad_Poblacion_fuzzy"} * 0.12) + (\text{"Cercania_Vias_fuzzy"} * 0.59) + (\text{"Cercania_riesgo-fuzzy"} * 0.29)$$
 que fue aplicada en la calculadora raster de arcgis el resultado final de la sumatoria lineal ponderada es reflejado en la Figura 23.

Figura 23. Resultado de la Sumatoria lineal ponderada



Elaboración propia con base en evaluación multicriterio AHP.

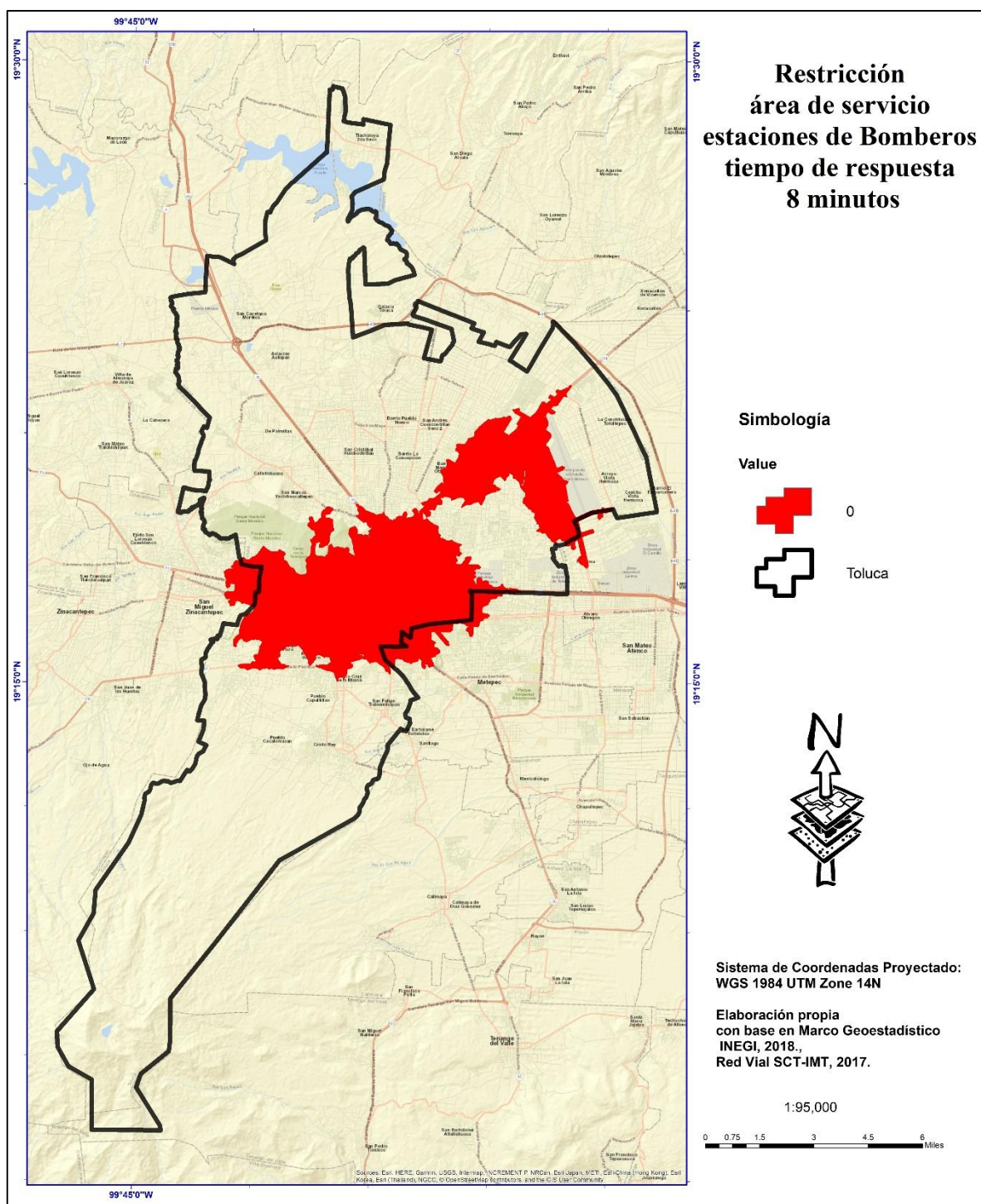
Este mapa de la Figura 15 es el resultante de la sumatoria lineal ponderada y fue clasificado en 5 clases de aptitud escaladas de 0 a 1 y los valores cercanos a 1 son los más aptos para cumplir con el objetivo.

12.3.7) Restricciones

Ahora lo siguiente es restar las restricciones las cuales representan la ausencia de aptitud y que contienen sólo dos valores numéricos: el código 1, que indica aquel lugar es candidato para cierta actividad, y el valor 0, que indica la ausencia de idoneidad. Este tipo de criterios corresponde a un cierto tipo que restringe en forma permanente la disponibilidad del sitio para la evaluación y que este pueda ser una alternativa para la instalación en este caso de estaciones de Bomberos.

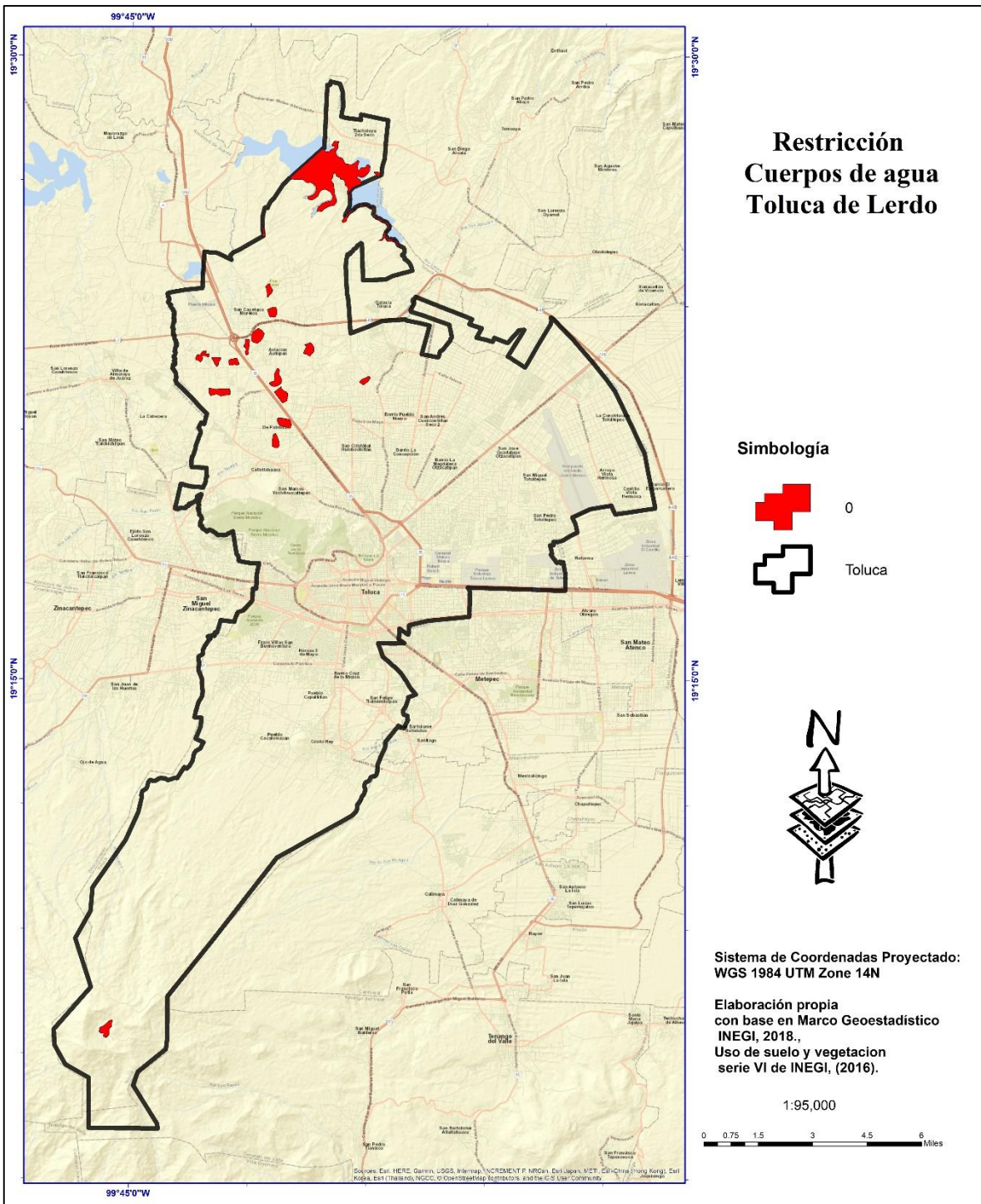
Para este caso se encontraron que las restricciones las cuales son: las Áreas de servicio de las estaciones existentes en un tiempo de respuesta de 8 minutos que es el tiempo mínimo de acción de los bomberos ante un incendio Figura 24., Los cuerpos de agua fueron seleccionados de la serie VI del Uso de suelo y vegetación de INEGI, (2016) ver Figura 25. La pendiente la cual indica el marco Normativo de Equipamiento de Sedesol, 1999 que sugiere emplazar estaciones de bomberos de 2 a 8 grados de inclinación por lo tanto lo que sobrepasara los 8 grados de pendiente seria descartado para este procedimiento se utilizó un Modelo de Elevación Digital INEGI, 2000 con la herramienta slope en el software Arc Gis 10.3 . el mapa obtenido se muestra reflejado en Figura 26.

Figura 24. Restricción por Área de servicio de estaciones actuales



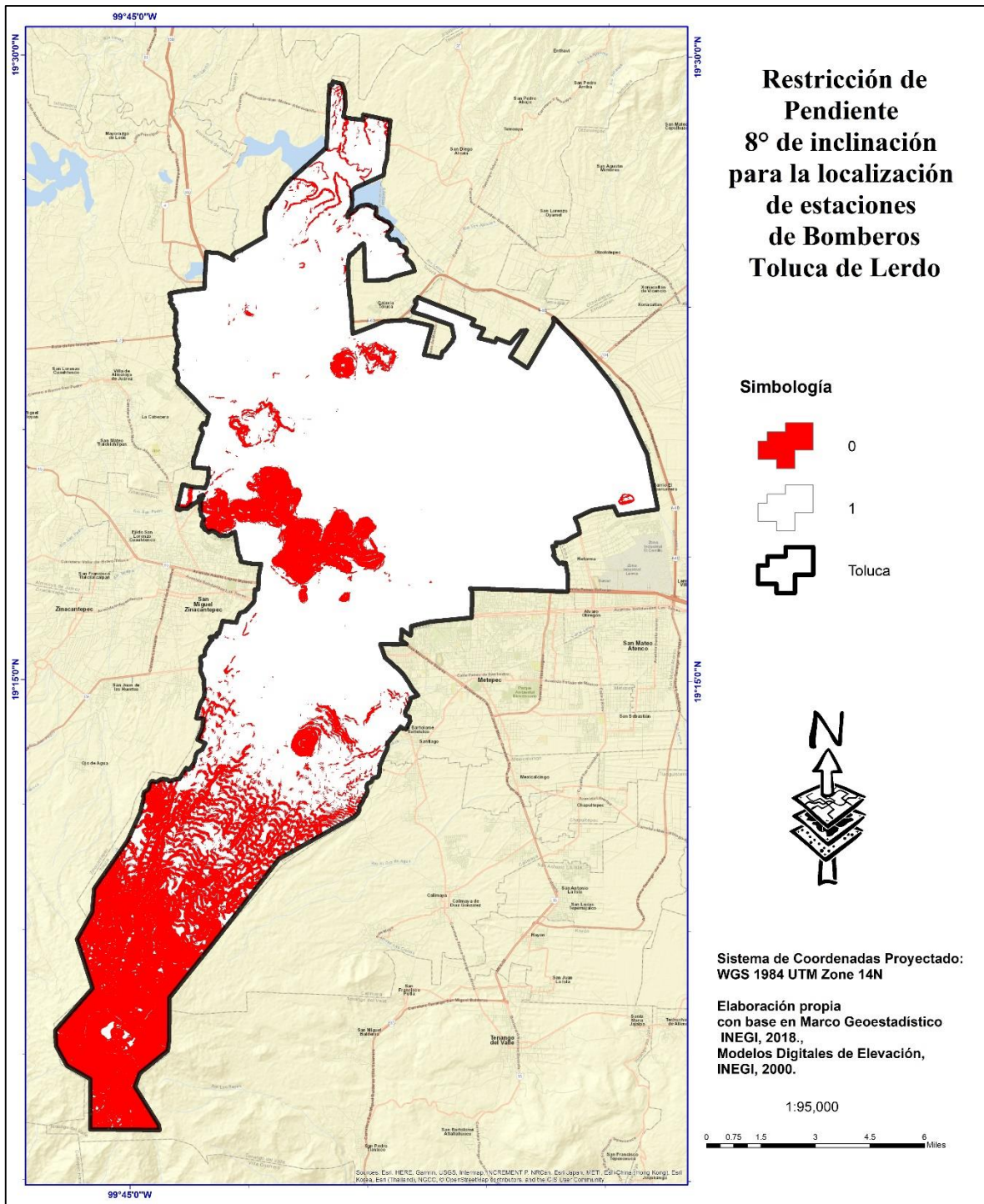
Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018 a) cobertura de estaciones existentes a 8 minutos de tiempo de respuesta.

Figura 25. Restricción por Cuerpos de agua



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, Uso de suelo y vegetación serie VI de INEGI, (2016).

Figura 26. Restricción por Pendiente



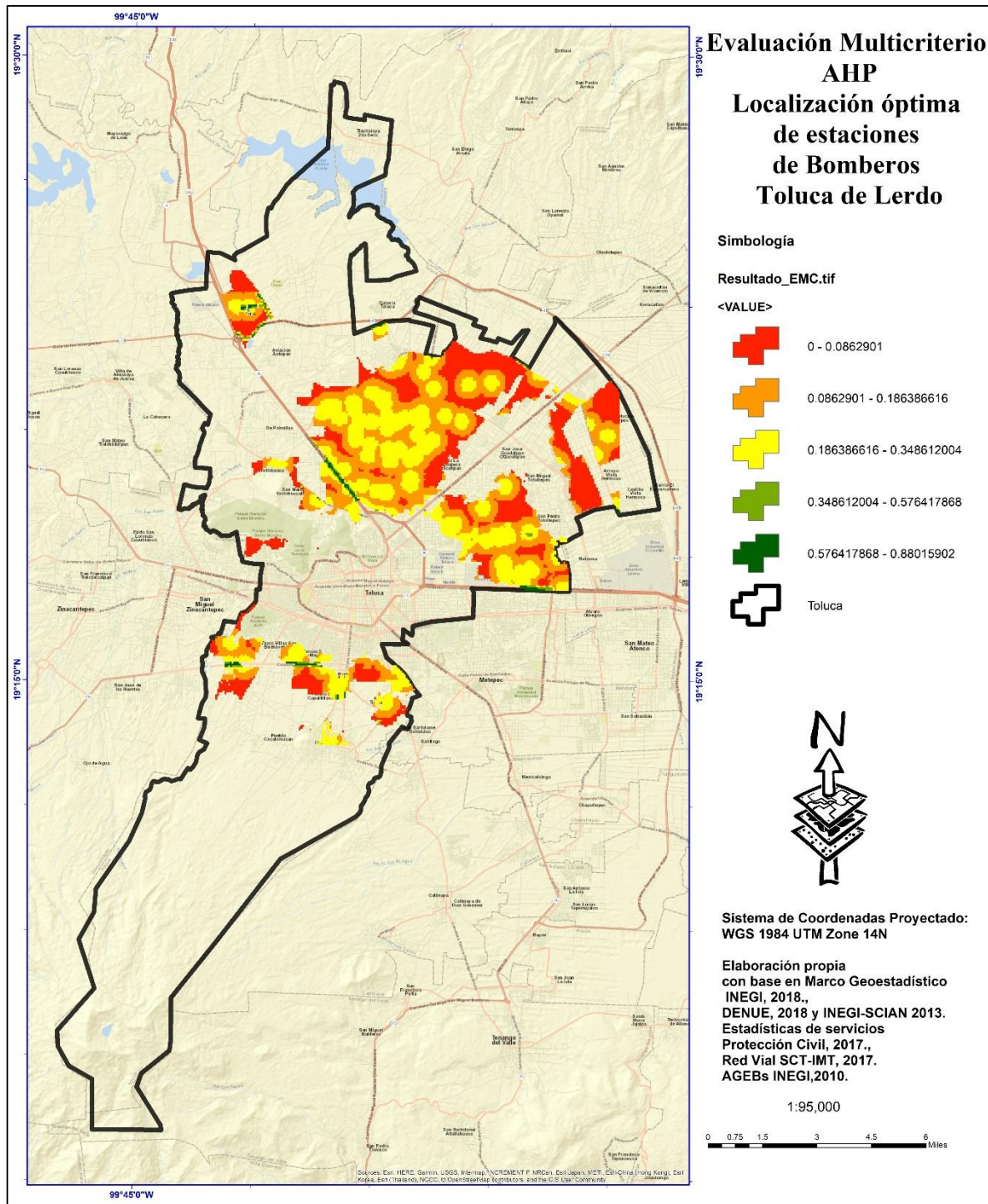
Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, Modelos Digitales de Elevación. INEGI,2000.

Cada una de las restricciones fueron sustraídas del mapa resultante de la sumatoria lineal ponderada bajo la lógica booleana en la calculadora raster, teniendo como entendido que cualquier valor multiplicado por 0 su resultado es 0, ahora bien, el resultado final después de hacer la resta de los criterios de restricción ver Figura 27.

El resultado final de la evaluación multicriterio nos muestra los lugares de sitios candidatos probables para la instalación de estaciones de bomberos los cuales se encuentra en valores normalizados fuzzy o difusos los cuales se muestran escalados de 0 a 1 los valores más altos son los que tienen mayor idoneidad para localizar nuevas estaciones de bomberos. Los valores fueron clasificados con la clasificación (Natural Jenks) de 5 clases se consideró esta clasificación porque en ella se muestra dónde hay diferencias considerables entre los valores de los datos, las clases son muy alta, alta, media, baja y muy baja idoneidad.

El raster obtenido fue transformado a un vector de puntos en donde cada punto toma el centroide de cada pixel del raster con la herramienta de ArcGIS (raster to point) así mismo se realizó una selección de atributos de la clase muy alta, para el fin de tener mayor certeza de la clase más idónea que va de entre los valores de 0.41 a 0.88, seguido a ello se creó una nueva capa de sitios candidatos respetando la selección anterior de atributos, para tener así una clasificación de sitios candidatos óptimos.

Figura 27. Resultado Final de la Evaluación Multicriterio



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018, sitios candidatos para estaciones de bomberos mediante la metodología de jerarquías analíticas AHP.

12.4) Aplicación del modelo localización-asignación y el algoritmo COBEMAX

Para la aplicación del modelo de localización-asignación se utilizará gvSIG desktop 2.2.0, el cual es un proyecto de desarrollo de software para sistemas de información Geográfica basado en software libre. En él se trabajó con la herramienta SEXTANTE y el modulo localización óptima de elementos que de igual manera se encuentra el algoritmo COBEMAX o Cobertura máxima, en donde implica tener una oferta (sitios óptimos) distribuida de manera puntual y una demanda (incendios sin cubrir) que con motivos de simplificación puede ser asignada a un centroide de cada área (nueva estación de bomberos) y una red de transporte que las vincula.

Según Pirkul y Schilling (1991), las variaciones de este modelo se han formado para tener en cuenta las capacidades de trabajo o para aumentar la cobertura y disminuir la distancia a cada nodo de demanda en las afueras de la distancia máxima de cobertura. La distancia máxima fue calculada mediante la fórmula matemática de la distancia la cual es la siguiente:

$$d = v * t$$

d=Distancia

v=Velocidad

t=Tiempo

$$d = (20.11 \text{ km/h}) * (8 \text{ min})$$

$$d = (20.11 \text{ km/h}) * ((8 * 1) / 60)$$

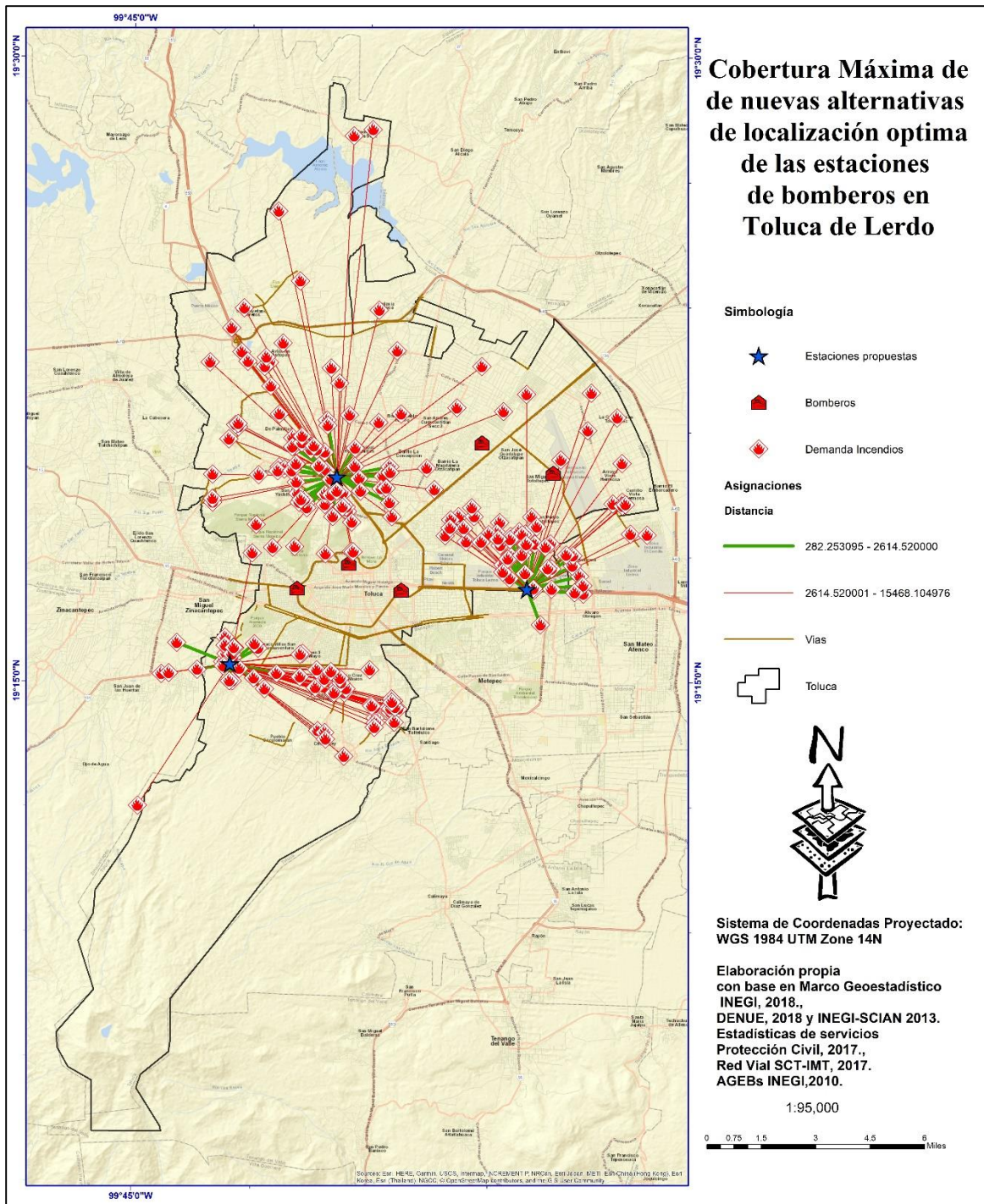
$$d = (20.11 \text{ km/h}) * (0.133)$$

$$d = 2.6143 \text{ km}$$

Convertidos a metros=2614.52 m.

En la herramienta de localización optima de elementos se ingresaron los parámetros como: puntos de demanda: incendios sin cubrir y puntos de oferta candidatos: corte de los lugares óptimos, y en las opciones se ingresó: Tipo de distancia: euclidiana, Método: cobertura máxima, nuevas localizaciones a establecer: 3 y distancia máxima: 2614.52 m que estas son las unidades de la cartografía UTM ver Figura 28.

Figura 28. Cobertura máxima de nuevas alternativas de estaciones de bomberos, Toluca de Lerdo



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018., DENU, 2018 y INEGI-SCIAN 2013. Estadísticas de servicios Protección Civil, 2017., localización-asignación (cobemax).

Estadísticas de la solución global se obtuvieron al realizar la localización de elementos Función objetivo: 209, Distancia media: 3364.234 m, Distancia cuadrática media: 48.956 m, Distancia mínima: 283.381 m, Distancia máxima: 14901.387 m, Varianza: 4468570.562, Suma total de distancias: 1032819.91 y Coeficiente de variación: 1328.258 con base a la información vectorial ingresada.

En el área de estudio actual, existen cinco estaciones de bomberos y un total de 673 incidentes estaban cubiertos por cinco estaciones, pero de los cuales solamente 378 (56.2%) era atendido en un tiempo de respuesta de 8 minutos, hubo un total de 295 (43.83%) incidentes de incendios y rescates fuera del área de cobertura que en este caso es la distancia máxima 2614.52 m o bien los 8 minutos de tiempo de respuesta, por lo tanto, se necesitan nuevas estaciones de bomberos para una gestión efectiva de incendios y rescates.

Como respuesta a esta necesidad, se propusieron tres ubicaciones basadas en los casos sin cobertura de acuerdo con el área de cobertura de 8 minutos. Después de determinar la ubicación de tres nuevas estaciones propuestas, las ocho estaciones totales cubrieron un total de 503 casos de incendio y rescate según el tiempo de respuesta de 8 minutos en el área de estudio. Tabla 18.

Tabla 18. Análisis de resultados

ESTACIONES		UBICACIÓN	NUMERO DE INCENDIOS	PORCENTAJE CUBIERTO DE INCENDIOS (%)
ALTERNATIVAS	A	Calzada del pacifico	43	6.39
	B	Carretera Toluca-Palmillas	79	11.74
	C	Avenida Paseo Tollocan	56	8.32
ACTUALES	1	Modulo Norte	61	9.06
	2	Modulo Central De Abasto	11	1.63
	3	Módulo Exportec	18	2.67
	4	Subestación Poniente	144	21.40
	5	Estación Central	93	13.82
Incendios cubiertos con actuales			327	48.59
Incendios cubiertos con alternativas			178	26.45
Total incendios cubiertos			505	75.04
Incendios sin cobertura			168	24.96
Total incendios			673	100

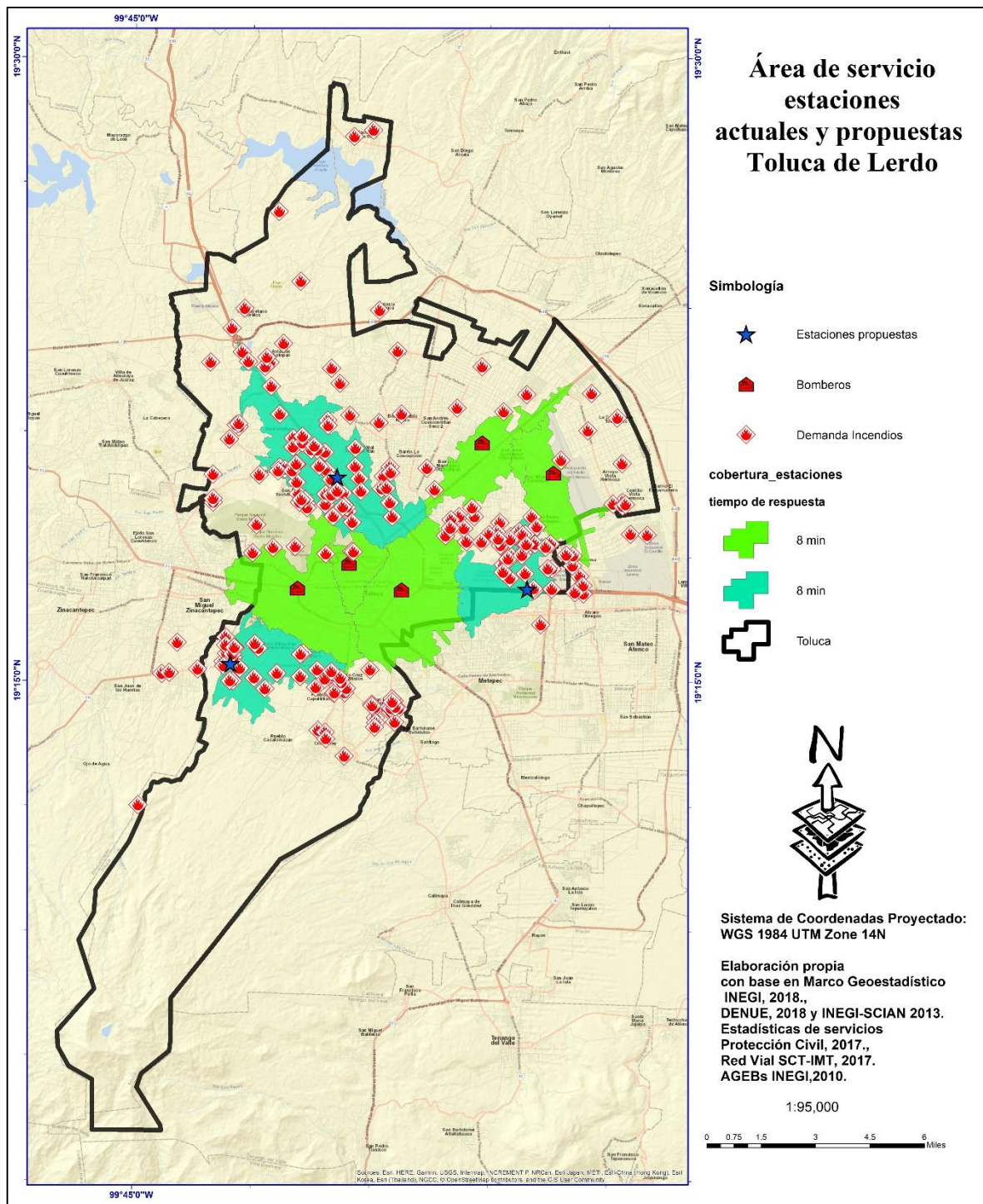
Elaboración propia con base a resultados obtenidos mediante isócronas de 8 minutos a estaciones propuestas.

Por lo que 505 casos de incendio serian cubiertos en un tiempo de 8 minutos teniendo el total de 75.04 % de efectividad al responder a un incidente de incendio, esta efectividad puede aumentar ya sea con otra estación mas. Como parte de una comparación necesaria para comprender la necesidad y en aras de justicia espacial, equidad el servicio de emergencia debe ser distribuido de manera óptima, por ello se elaboró el mapa de isócronas de cobertura para las estaciones existentes y para las alternativas nuevas ubicaciones de acuerdo al análisis realizado en esta investigación Figura 29.

Este mapa muestra las coberturas de servicio a un tiempo de 8 minutos de respuesta, tanto de las estaciones actuales y las alternativas de ubicación de estaciones de bomberos. Asimismo, hay incendios que fuera del área de servicio de 8 minutos de las estaciones actuales y las alternativas de ubicaciones y quizás esto puede deberse al crecimiento de la ciudad en términos de expansión territorial e incremento de población.

El análisis de los patrones espaciales de las áreas descubiertas en el municipio de Toluca sugiere que los modelos de localización - asignación cubren más delegaciones y áreas, si las demandas fueran concentradas, el servicio sería más efectivo, pero eso no es posible pues las demandas de incendios son aleatorias. Además, se logran los objetivos de maximizar la cobertura y minimizar la distancia de recorrido aún más también reduciendo los costos de traslado hacia los incidentes.

Figura 29. Área de servicio de estaciones actuales y propuestas



Elaboración propia con base en Marco Geoestadístico INEGI, 2018., DENUE, 2018 y INEGI-SCIAN 2013. Estadísticas de servicios Protección Civil, 2017.,

Las alternativas propuestas como sitios de localización óptima cuentan con un gran valor obtenido por la metodología realizada asimismo se describen de manera resumida en los siguientes párrafos:

12.5) Alternativa 1. San Antonio Buenavista (Calzada del pacifico)

Esta carretera en particular es una conexión importante de los municipios del sur como lo son Temascaltepec, Sultepec, Coatepec Harinas etc. al municipio de Toluca y a la ciudad de México esto es de gran importancia para estos municipios por diversos motivos tanto laborales, educativos, ocio etc. En su mayoría los incendios registrados en esta zona son incendios de pasto, de zacate y basura; en baldíos principalmente estos ocasionados posiblemente y para los que se requeriría aumentar el número de instalaciones de bomberos. Figura 30.

Figura 30. Alternativa en Calzada del pacifico



Fuente. Google maps 2017

12.6) Alternativa 2. Carretera Toluca-Atlacomulco (Palmillas)

En esta carretera se encuentra con el mercado más grande del municipio de Toluca por lo que se tiene gran afluencia de población en los días de mercado y también ahora más reciente de nuevos pobladores, asimismo tiene un afluente porque es la única ruta de comercio para los estados del Norte como lo son Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí etc. Figura 31.

Figura 31. Alternativa en Palmillas

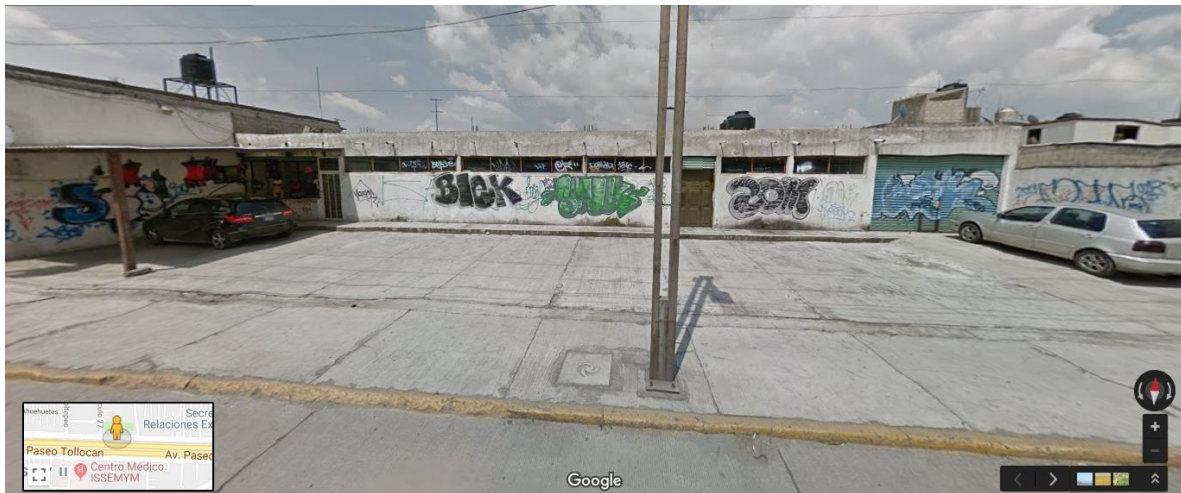


Fuente: Google Maps 2017.

12.7) Alternativa 3. Carretera Toluca-México (Avenida Paseo Tollocan)

Esta avenida comunica al municipio de Toluca con la ciudad de México es una de las carreteras más transitadas del país, esto resulta por la gran densidad de población que tiene la necesidad de transportarse diariamente, los tipos de incendios que se encuentran en su mayoría en esta zona conforme a los registros de las estadísticas de servicios son los incendios de pasto, zacate y basura en baldíos, además incendios en vivienda e incendios de vehículos etc. Figura 32.

Figura 32. Alternativa en avenida Paseo Tollocan



Fuente: Google maps 2018

XIII) CONCLUSIONES

Las conclusiones se encuentran en divididas en: teóricas, metodológicas y de resultados, para terminar, se mencionan algunas recomendaciones.

13.1) Con respecto a la Teoría

Algunas decisiones de análisis de ubicación pueden ser lógicas, pero cuando se profundice más en la investigación sobre cómo se relaciona una instalación con la demanda y los servicios que brinda, se generará una interacción geográfica e instalación más eficiente.

El modelo de cobertura máxima queda mejor respaldado debido al cumplimiento de sus objetivos para este caso y se mantiene la encomienda de aumentar el número de alternativas.

Es de evidenciarse que la Teoría de la localización trata principalmente es minimizar los costos en términos económicos, sociales, humanos, medioambientales etc. de los servicios a ser localizados.

13.2) Con respecto a la Metodología

La propuesta metodológica es efectiva para la localización óptima de estaciones de bomberos porque la ventaja de las técnicas AHP al integrarla en ambiente SIG como herramienta es que son realmente eficaces para las investigaciones de planificación urbana, pues apoyan en investigaciones donde existen diferentes puntos de vista en el proceso de toma de decisiones de un determinado objetivo.

Además, las técnicas AHP permitió manejar la evaluación de una manera cuantitativa, proporcionando una mayor realidad y menos subjetividad en el análisis y selección de criterios.

La aplicación del modelo de cobertura máxima para este estudio fue de gran utilidad para que las estaciones propuestas cubrieran mayor cantidad de superficie del territorio de Toluca, satisfaciendo mayor la demanda y a su vez se disminuyendo el tiempo de respuesta.

El uso de localización - asignación ha demostrado ser extremadamente útil para determinar las ubicaciones óptimas para las funciones de la estación de bomberos.

13.3) Con respecto a los Resultados

Las estaciones de bomberos actualmente en el municipio de Toluca de lerdo se clasifican como una distribución es aleatoria, sin embargo, su número no alcanza a tener una cobertura total de la demanda alcanzando un 48.59% de área cubierta.

Esta investigación utilizó datos de estadísticas de incendios de enero a septiembre del 2017, obtenidos de la Coordinación de Protección civil del municipio de Toluca de Lerdo.

Se utilizó como dato la población del 2010 de los AGEB del mismo año pues aún no se encuentran disponibles las cartografías de AGEB del 2015.

Las ubicaciones actuales de estaciones de bomberos en la ciudad de Toluca fueron obtenidas con un dispositivo GPS.

Después de evaluar la distribución de las estaciones de bomberos existentes en el municipio utilizando modelos de localización-asignación y las isócronas de cobertura en ambiente SIG, este estudio encontró que algunas partes estaban fuera de las áreas de servicio definidas por 8 minutos según la NFPA 2010.

Teniendo en cuenta que no hay una cobertura total sobre el área total del municipio de Toluca de lerdo, se hace necesaria la construcción de tres nuevas estaciones de bomberos por lo que los sitios óptimos derivados de la investigación realizada considerados como de gran valor obtenido mediante la metodología realizada y se ubican en calzada del pacifico, carretera Toluca-Atlacomulco a la altura de palmillas, carretera Toluca-México.

Los resultados aquí presentados son obtenidos bajo las condiciones más satisfactorias, pero existen diversos factores que pueden frenar el trayecto de los servicios de rescate como lo son el trafico este ocasionado por diversas causas, horas pico, accidentes, caminos en mal estado, bloqueos preventivos de seguridad, marchas, por el nuevo tren interurbano Toluca-México en vialidad las torres, etc...

El número y la ubicación de las estaciones de bomberos influyen significativamente en la eficiencia de la respuesta de emergencia durante los accidentes de incendio.

Las estaciones de bomberos deben encontrarse en el lugar más apropiado de Toluca para llegar a la escena lo más rápido posible, considerando el aumento de la población y los embotellamientos.

Una de las dificultades en la aplicación del modelo fue el desarrollo de los tiempos de viaje en el análisis de redes. Los tiempos de viaje se pueden dar más precisos, considerando el atasco de tráfico y la restricción de una vía.

El número de alternativas se puede aumentar para proporcionar la variedad de ubicaciones.

Este proceso sirve como un prototipo para el desarrollo de un sistema de apoyo a la decisión que combina GIS con un modelo matemático. Dicho sistema será valioso en la toma de decisiones para la ubicación de instalaciones de emergencia y otros problemas de optimización espacial de la vida real.

Las muchas limitaciones que presentan los modelos de localización: la omisión de los costes de instalación y de sus posibles variaciones espaciales, de los costes de operación etc...

Estos incendios proporcionados por la coordinación de protección Civil 2017, muestran cierto aumento de incendios o bien cierta ocurrencia en la época invernal, en este tiempo de acuerdo

13.4) Recomendaciones

Un criterio que no se incluyó debido a la ausencia de este para su uso, fue la cartografía catastral del municipio es de gran importancia contar con esta información pues facilita la ubicación ya que amplía la información acerca del tamaño y uso utilitario.

Se sugiere que se fortalezca la evaluación multicriterio con la evaluación de la consistencia de las evaluaciones de cada experto académico o experto en la temática que, forma parte del comité de evaluadores.

Este estudio parte de una base experimental en ambiente SIG para la toma de decisiones en cuanto a planificación urbana en el ámbito de localización de equipamiento urbano, es posible que no sea utilizado para el fin planteado desde un principio, pero puede ser base

para los investigadores que tengan como objetivo la localización optima de equipamiento, tomando como base las técnicas de EMC y los modelos de localización- asignación.

Es evidente que la cantidad de registros de incendios sobrepasan al cuerpo de bomberos y por lo que es necesario tener una localización estratégica para las unidades de servicio de emergencia, es por ello que este tipo de estudios son realmente benéficos para la planeación y distribución de unidades de emergencia de zonas urbanas.

XIV) BIBLIOGRAFÍA

- Aktas E., Ozaydin O., Bozkaya B., Önsel S. (2013). Optimizing Fire Station Locations for the Istanbul Metropolitan Municipality. *Interfaces*, 43(3), 1–16. 10- octubre 2016, De Researchgate, Base de datos.
- Badri, M.A., Mortagy, A.K. and Alsayed, A. (1998) A multi-objective model for locating fire stations. *European Journal of Operational Research* 110: 243–260.
- Ballou, R. H. (2001), Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial. Bookman, São Paulo/SP.
- Bárcenas M. A. C. y Aguilera O. A. (enero-junio 2012). Análisis del servicio de bomberos y riesgos de siniestros en la zona metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez. *Revista de El Colegio de San Luis*, año II, número 3, 88,105. 10 octubre 2016, De El Colegio de San Luis Base de datos.
- Barredo Cano, J., & Bosque Sendra, J. (1999). Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment. España: RAMA.
- Bailey TC, Gatrell AC (1995) *Interactive Spatial Data Analysis*, Addison-Wesley,
- Bosque Sendra, J. (1992). *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp, S. A. 451 pp. Madrid, España.
- Bosque Sendra, J. (2001). Planificación y gestión del territorio. De los SIG a los Sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE). *El campo de las ciencias y las artes*, 137-174.
- Bosque Sendra, J. (2004). *El uso de SIG para localizar equipamientos e instalaciones*. Madrid: RAMA.
- Bosque Sendra J. & Moreno Jiménez, A. (2004) *Sistemas de información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. Ra-ma. Madrid. pp. 153-172.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. (2006). *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

- Centro Nacional de Comunicaciones, Secretaría de Gobernación. (2015). Incendios. 21 octubre 2016, de UNAM Sitio web: <https://www.unam.mx/medidas-de-emergencia/incendios>.
- Chaudhary P., Kumar S., et al (2016) “Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: A case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal”, *Socio-Economic Planning Sciences*, ISSN: 0038-0121, Vol: 53, pag: 60-71.
- Chen, J., Roth, R., Naito, A., Lengerich, y Maceachren, A. (2008): “Geovisual analytics to enhance spatial scan statistic interpretation: an analysis of U.S. cervical cancer mortality”. *International Journal of Health Geographic*, 7 (57), pp. 1-18.
- Chevalier P, Isabelle Thomas, David Geraets, Els Goetghebeur, Olivier Janssens, Dominique Peeters, Frank Plastria. (2012). Locating fire stations: An integrated approach for Belgium. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46, 173-182. 10 Octubre 2016, De Elsevier Base de datos.
- Chuang, P. T. (2001), “Combining the Analytic Hierarchy Process and Quality Function Deployment for Location Decision from a Requirement Perspective”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, n.18, pp.842-849.
- Church, R. & ReVelle, C. (1974): The Maximal Covering Location Problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32, pp.101-118.
- Church, R.L.; Sorensen, P. 1994. Integrating normative location models into GIS: Problems and prospects with the p-median models. Technical Report 94-5. NCGIA. Santa Barbara.
- Colson, G., & De Bruin, C. (1989). *Models and methods in multiple criteria decision making*. Pergamon Press.
- Crainic, T.G. (1998) A survey of optimization models for long-haul freight transportation. *Publicação CRT-98-67*, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, Montréal, QC, Canadá.
- Current, J., Min H., Schilling D. 1990. Multiobjective analysis of facility location decisions. *European Journal of Operational Research*, 49, pp.295–307.
- Daskin, M.S. (1995), *Network and discrete location: Models, algorithms and applications*, Wiley Interscience, New York.

- Daskin M, Dean LK (2004) Location of health care facilities. Handbook of OR/MS in Health Care: A Handbook of Methods and Applications. Evanston, IL, 43–76. pp.
- Densham, P.J.; Rushton, G. (1992). Strategies for solving large location-allocation problems by heuristic methods. *Environment and Planning A*. 24:289-304.
- Environmental Systems Research Institute. (ESRI), (2004). ArcGIS 9.0 Manual
- Environmental Systems Research Institute. ESRI, (2007). GIS for Fire Station Locations and Response Protocols. White Paper, 1, 28.
- Environmental Systems Research Institute. (ESRI). online el 15 de mayo del 2018 <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/arcpy-spatial-analyst/an-overview-of-fuzzy-classes.htm>
- Ertugrul R., Sisman A., Mayıs O. (2015). Determination of Fire Station Coverage Area Using Response Time Approach: A Case Study of Samsun. FIG Working Week, 17-21, 1,9. 10 octubre 2016, De From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World Base de datos.
- Estado de México (1981) “Artículo 22 “Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de México”, Gobierno Estatal.
- Estado de México (1981) “Artículo 22/VIII Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de México, Gobierno Estatal.
- Estado de México, (2002) Artículo 6/XII “Reglamento de la ley de planeación del Estado de México y municipios”. Gobierno estatal
- Fuenzalida Díaz, M. (2011). Diseño de esquemas de localización optima para hospitales discriminando según status socio-económico. Instituto de Geografía, Pontificia universidad católica de Valparaíso, 1-18.
- Fuenzalida Díaz, M. (2017). Análisis espacial de percepción ciudadana a externalidades negativas. En A. Moreno Jiménez, G. D. Buzai, & M. Fuenzalida Díaz, *Sistemas de Información Geográfica: Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geo ambientales* (págs. 243-246). Madrid, España: Ra-Ma.

- Galvão, F. A., Gualda, N. D. F. e Cunha, C. B. (2003), "An Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) for Locating a Distribution Center". In: International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Bali, Indonésia.
- Garrocho, C. (1990). Localización geográfica de los servicios de salud en el subsistema de asentamientos rurales en el Estado de México: un intento de evaluación. Estudios demográficos y urbanos, 5(1), 127-148.
- Ghosh, A. & Rushton, G. (1987). Spatial Analysis and Location-Allocation Models. Van Nostrand Reinhold Company. 373 pp. New York. Estados Unidos.
- Habibi K, Lotfi S. and Koohsari M. (2008) "Spatial Analysis of Urban fire station locations by Integrating AHP Model and IO Logic Using Gis (Acase Study of Zone 6 of Tehran)", Journal of applied sciences ISSN: 1812-5654, Vol. 8(19) pag. 3302-3315.
- Hale TS, Moberg CR (2003) Location science research: A review. Ann. Oper. Res. 123(1-4):21-35.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (1995). Censo de Población y Vivienda.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2000). XII Censo General de Población y Vivienda.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2005). II Censo de Población y Vivienda.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2010). Censo de Población y Vivienda.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2015). Encuesta Intercensal.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2013). Sistema de clasificación Industrial de América del norte (SCIAN), online <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/SCIAN/presentacion.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2016). Serie VI Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión.
- Lea, A.C. & Simmons, J., (1995) Location-allocation models for retail site selection: The N Best Sites in the Toronto Region. Research Report N°1. Centre for the Study of Commercial Activity. Ryerson Polytechnic University. Toronto.

- Ley General De Protección Civil, (2014) Nuevo Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación, Texto Vigente, Última reforma publicada DOF 09-12-2015.
- Lopez, R. A. e Henderson, N. R. (1989), "The Determinants of Location Choices for Food Processing Plants". *Agrobusiness*, v.5, pp.619-632.
- Malczewski J, (2015) *Advances in Geographic Information Science*) Claus Rinner (auth.)- Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science-Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Martínez, M E. et al (2015). Programa Nacional de Agrologística, Informe 5, Análisis Territorial Preliminar. SAGARPA, Mexico: Wageningen UR Food & Biobased Research.
- M. Krisp Jukka, Virrantaus Kirsi and Jolma Ari (2005), "Using Explorative Spatial Analysis to Improve Fire and Rescue Services", Helsinki University of Technology, Department of Surveying, Cartography and Geoinformatics, PO Box 1200, FIN-02015 HUT, Finland.
- Machorro, J. (2016). Generan incendios urbanos 3 mil fallecimientos en 15 años en México. *Miambiente.com.mx*. Retrieved 23 November 2016, from [http://www.miambiente.com.mx/en-ambiente/generan-incendios-urbanos-3-mil-fallecimientos-en-15-anos-en-mexico?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+MiAmbiente+\(Mi+Ambiente\)](http://www.miambiente.com.mx/en-ambiente/generan-incendios-urbanos-3-mil-fallecimientos-en-15-anos-en-mexico?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+MiAmbiente+(Mi+Ambiente))
- Méndez, R. (1997). *Geografía económica. La lógica del capitalismo global*. Editorial Ariel S. A. Ariel Geografía. 384 pp. Barcelona, España.
- Merrall, S. (2001) "GIS for spatial analysis of fire incidence, Identification of social, economic and environmental risk indicators", In A. Hirschfield & K. Bowers (Eds.) *Mapping and analyzing crime data – Lessons from research and practice*, pp. 156–183, Taylor and Francis, London and New York.
- Moreno Jiménez, A (2004) Modelos de localización óptima de instalaciones y equipamientos. En: Bosque, J. & Moreno, A. (Eds.), *Sistemas de información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. Editorial RA-MA, Madrid.
- Moreno Jiménez, A. (2016). Los servicios colectivos y el desarrollo territorial: una reconsideración conceptual y metodológica actual. In A. Moreno Jiménez & G. Buzai, análisis y planificación de servicios colectivos con sistemas de información geográfica (1st ed.). Madrid: los autores.

- Murray A. T. (2009). Location Theory . Elsevier, 270, 276. 10 octubre 2016, De Elsevier Ltd Base de datos.
- Murray, Alan T. (2013). Optimising the spatial location of urban fire stations. Fire Safety Journal, 62, 64–71. 10 octubre 2016, De ScienceDirect Base de datos.
- Ortiz T. (2015). Urgente creación de Ley de Bomberos del Estado de México. 20 octubre 2016, de Edomex al Día Sitio web: <http://www.edomexaldia.com.mx/2015/07/urgente-creacion-de-ley-de-bomberos-del-estado-de-mexico/>
- Owen, S.H.; Daskin, M.S., (1998) Strategic facility location: a review. European Journal of Operational Research, n.111, p.423-447.
- Palm Rojas, F.J. (2004). Aspectos del desarrollo de LOCALIZA. En: Bosque Sendra, J.
- H. Ayuntamiento de Toluca, (2016) Plan de desarrollo municipal de Toluca 2016-2018.
- National Fire Protection Association, (2010) NFPA 1710 Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments. <http://www.nfpa.org/>.
- Pebema, E., De Jong, K. y Briggs, D. (2007) “Interactive visualization of uncertain spatial and spatial-temporal data under different scenarios: an air quality example”. International Journal of Geographical Information Science 21 (5), pp. 515-527.
- Ramírez, L.; Bosque Sendra, J. (2001), Localización de hospitales: analogías y diferencias del uso del modelo p-mediano en SIG raster y vectorial. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. 21:53-79. Madrid, España.
- Romero, B. C. (2006), Análisis de Localización de Plataformas Logísticas: Aplicación ao Caso do ETSP – Entrepósito Terminal São Paulo da CEAGESP. Disertación de Mestrado, Engenharia de Sistemas Logísticos, Escuela Politécnica da Universidad de de São Paulo – POLI/USP, São Paulo/SP, 143p.
- Saaty, T. L. (1977), "*A scaling method for priorities in hierarchical structures*", Journal of Mathematical Psychology, 15, pp 234-281. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022249677900335>

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation (Vol. 1). New York: McGraw-Hill.

Sanders L. (2007), Models in Spatial Analysis. London, UK: ISTE Ltd.

Secretaria de Comunicaciones y Transporte y el Instituto Mexicano del Transporte SCT-IMT
online <http://imt.mx/micrositios/sistemas-de-informacion-geoespacial/servicios-tecnologicos/red-nacional-de-caminos/visualizador-geocartografico-de-la-rnc.html>

SEDESOL, (1999) Tomo VI, Sistema Normativo de Equipamiento.

Toluca de Lerdo (2009) Artículo 4.20/III, “Código reglamentario del municipio de Toluca”, Ayuntamiento de Toluca.

Toluca de Lerdo (2009) Artículo 4.20/IV, “Código reglamentario del municipio de Toluca”, Ayuntamiento de Toluca.

Toluca de Lerdo (2009) Artículo 6.204, “Código reglamentario del municipio de Toluca”, Ayuntamiento de Toluca.

Xiaoping Zhou, Hantao Zhang, Lei Sun. (2012), *Research on Location Technology in Building Fire Rescue. Elsevier*, 3, 445-450. 10 octubre 2016, De Beijing Engineering Research Center of Monitoring for Construction Safety, Beijing University of Civil Engineering and Architecture Base de datos.

Yang, J. e Lee, H. (1997), “*A AHP Decision Model for Facility Location Selection*”. *Facilities*, n.15, pp.241-254.

XV) ANEXOS

Entrevista con el oficial Guillermo Sandoval Jaime perteneciente al cuerpo de bomberos de la estación central del municipio de Toluca, agosto 2017.

1.- ¿Cuáles son las estaciones, subestaciones y módulos de Bomberos con los que cuenta actualmente el municipio de Toluca?

Estación Central, Subestación Poniente, Exportec Aeropuerto, Central de Abastos, Subestación Norte.

2.- ¿Cuál es la dirección de cada una de las estaciones, subestaciones y módulos de Bomberos?

Estación Central- Paseo Fidel Velázquez S/N, San Sebastián, 50090 Toluca de Lerdo, Méx.

Subestación Poniente- Tollocan CU

Exportec Aeropuerto- interior del Parque Industrial Exportec II, en San Pedro Totoltepec

Central de Abastos- interior central de abastos

Subestación Norte- 304 Enrique Olascoaga, colonia unión, Toluca de Lerdo, Estado de México

3.- ¿Cuál es el tipo de emergencias a las que atiende de manera general el cuerpo de bomberos?

Incendio de todo tipo (forestal, pastizal, viviendas etc.), accidentes de tránsito (volcaduras, prensados etc.), fugas de hidrocarburos (químicos, fugas de gas, thinner, gasolina, gas lp, tanques estacionarios), inundaciones, derrumbes, encharcamientos en vía pública, desbordes de ríos, captura de enjambre de abejas, captura de animales (víboras, perros enfermos o perros atropellados, aves “pelicano”), trombas de agua, desrame de árboles.

4.- ¿Cuál es el tiempo de respuesta a emergencias de incendio que tienen para asistir al incidente?

Con respecto a las condiciones de tránsito en promedio de 5 a 8 minutos aproximadamente

5.- ¿Existe prioridad ante emergencias con respecto a situaciones donde llegasen a presentar al mismo tiempo?

Debe existir mayor atención a las que exista el riesgo en vidas humanas y de ahí valorar el servicio

6.- ¿Cuál es el equipamiento con el que cuenta cada estación, subestación o modulo actualmente el municipio de Toluca?

Tabla 19. Inventario actual por estación

UNIDAD DE SERVICIO	RECURSOS MATERIALES Y HUMANOS	CANTIDAD
MODULO NORTE	unidad ligera (pick up)	1
	mini tanque	1
	elemento por turno	5
MÓDULO EXPORTEC	unidad ligera (pick up)	1
	elementos por turno	3
MODULO CENTRAL DE ABASTOS	mini tanque	1
	elementos por turno	3
SUBESTACIÓN PONIENTE	unidad ligera (pick up)	1
	mini tanque	1
	elementos (primer turno 8, segundo turno 7, tercer turno 7)	22
ESTACIÓN CENTRAL	carros escalera (no funciona 1)	2
	carros bomba	3
	unidades ligera (pick up)	5
	Ambulancias	2
	vehículo para comisiones	1
	Patio	
	Comedor	
	Salón de clases	
	Dormitorios	
	Baños	
	Regaderas	

Elaboración propia con base a entrevista

7.- Considerando su experiencia ¿dónde considera que podría incluirse más estaciones para tener mayor eficacia en el servicio y así reducir su capacidad de atención en la estación central?

Rumbo a Atlacomulco a la altura de carretera Naucalpan