



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

***MODELO DE EVALUACIÓN DE APTITUD TERRITORIAL PARA EL CRECIMIENTO
URBANO SUSTENTABLE EN LA ZONA METROPOLITANA DE TOLUCA***

Presenta:

Lic. en T.A. Alonso López Lara

Comité de Tutores:

Tutor Académico: Dr. Salvador Adame Martínez

Tutor Adjunto: M. en D.M. Guadalupe Hoyos Castillo

Tutor Adjunto: D. en C.A. Eduardo Campos Medina



Toluca, México, 21 de enero de 2022

Contenido

Resumen	6
Introducción.....	7
Planteamiento del problema	12
Justificación.....	14
Hipótesis.....	15
Objetivos	15
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	16
1.1. Lo urbano y organización social actual.....	17
1.1.1. Teoría clásica de estructura urbana	19
1.1.2. Modelos teóricos del crecimiento urbano	23
1.1.3. Procesos de suburbanización, periurbanización y contraurbanización	24
1.2. Modelo de capacidad de carga para el desarrollo sostenible	26
1.2.1. Dimensiones e indicadores de la capacidad de carga urbana.....	28
1.2.2. Evaluación y selección de indicadores de la capacidad de carga.....	33
1.3. Planeación del uso del suelo.....	37
1.3.1. Modelos de planeación de uso del suelo	39
1.3.2. Técnicas y procedimientos para evaluar la capacidad del territorio para nuevos usos	41
1.3.3. Modelos y técnicas para la evaluación.....	43
1.3.4. Análisis de la idoneidad del territorio para nuevos usos del suelo.....	46
1.4. La importancia de determinar el suelo de expansión urbana en los ordenamientos	50
1.5. Recapitulación.....	51
CAPÍTULO 2. MARCOS DE REFERENCIA Y JURÍDICO	53
2.1. Estudios de capacidad de carga a nivel internacional	54
2.2. Estudios de capacidad de carga a nivel nacional.....	58
2.3. Políticas internacionales y nacionales para orientar el crecimiento urbano.....	59
2.3.1. Desarrollo de acuerdos internacionales para la planeación urbana sostenible.....	59
2.3.2. Leyes, planes y programas nacionales para la orientación del crecimiento urbano.....	62

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	74
3.1. Propuesta metodológica	75
3.2. Etapa de desarrollo	79
3.2.1. Estandarización de factores.....	88
3.2.2. Ponderación de factores	90
3.3. Etapa de evaluación.....	93
3.3.1. Instrumentos para la validación metodológica.....	98
3.3.2. Análisis de la información disponible y adecuación de variables.....	98
3.3.3. Requerimientos de información para la determinación del suelo de expansión	101
3.3.4. Criterios para la determinación del suelo de expansión urbana.....	103
3.4. Etapa de selección	104
CAPÍTULO 4. VALIDACIÓN Y RESULTADOS.....	106
4.1. Antecedentes e identificación de la ZMT	107
4.2. Características del medio natural	111
4.3. Características del medio físico.....	113
4.4. Población y actividades económicas	116
4.5. Equipamiento e infraestructura	120
4.6. Resultados. Validación y resultados y discusión	122
4.6.1. Áreas con valor productivo	122
4.6.2. Áreas con valor ecológico y ambiental e histórico y cultural	125
4.6.3. Protección de cuerpos de agua y red hidrológica.....	126
4.6.4. Zonas de riesgo por inundación	128
4.6.5. Zonas de riesgo por el grado de pendiente.....	129
4.6.6. Evaluación de la aptitud territorial sobre el criterio de las ANP.....	130
4.6.7. Evaluación de la aptitud territorial sobre el criterio de hidrología.....	132
4.6.8. Aptitud territorial para nuevas zonas de expansión urbana.....	134
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
5.1. Principales hallazgos	138
5.2. Recomendaciones.....	141
Referencias.....	143

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Criterios para la selección de indicadores	30
Cuadro 2. Dimensiones y factores de la Capacidad de Carga Urbana.....	31
Cuadro 3. Estándares mexicanos de la Capacidad de Carga Urbana sustentable	35
Cuadro 4. Foro Urbano Mundial WUF1 a WUF10	61
Cuadro 5. Criterios de evaluación de aptitud territorial para determinar de zonas de expansión urbana	82
Cuadro 6. Métodos de estandarización lineal.....	88
Cuadro 7. Pesos asignados para determinar aptitud del suelo en el territorio.....	92
Cuadro 8. Variables que intervienen en la fórmula para determinar la aptitud del suelo	95
Cuadro 9. Estándares deseados para el uso óptimo del territorio.....	97
Cuadro 10. Información necesaria para evaluarla aptitud del territorio.....	102
Cuadro 11. Información cartográfica disponible de la ZMT	105
Cuadro 12. Tasa de crecimiento de la población total de la ciudad de Toluca 1950-2010.....	107
Cuadro 13. Municipios que conforman la Zona Metropolitana de Toluca 2015 y 2020	109
Cuadro 14.Principales actividades económicas de la ZMT, 2015-2019	117
Cuadro 15. Valor agregado bruto del tipo de actividades de la Zona Metropolitana de Toluca..	118
Cuadro 16. Porcentaje de Equipamiento e infraestructura de la Zona Metropolitana de Toluca.	120
Cuadro 17. Superficie total áreas con valor productivo	123
Cuadro 18. Áreas con valor ecológico y ambiental de la Zona Metropolitana de Toluca	125

Índice de Figuras

Figura 1. Variedad funcional del centro.....	20
Figura 2. Zona de transición.....	20
Figura 3. Formas de la periurbanización.....	22
Figura 4. Etapas de la urbanización diferencial	23
Figura 5. Modelo de las etapas del desarrollo urbano.....	24
Figura 6. Formación de las estructuras reticulares.....	26
Figura 7. Marco de evaluación de la Capacidad de Carga Urbana	29

Figura 8. Etapas para la planeación del uso de la tierra	40
Figura 9. Variables para la determinación de zonas de expansión urbana.....	76
Figura 10. Proceso metodológico para la evaluación de la aptitud del territorio y determinación del suelo para expansión urbana.....	79
Figura 11. Relación entre Ordenamiento del ecológico y Ordenamiento urbano para la determinación de los criterios de la aptitud territorial.....	82
Figura 12. Relación entre restricciones y factores para la expansión urbana en el territorio.....	90
Figura 13. Representación Vectorial y Ráster del mundo real.....	99
Figura 14. Propiedades geográficas de los datos de un ráster	100
Figura 15. Ubicación de la Zona Metropolitana de Toluca.....	109
Figura 16. Características del medio natural, 2018.....	112
Figura 17. ANP Estatales y Federales, 2021	113
Figura 18. Modelo de elevación 15m, 2013.....	114
Figura 19. Cuerpos de agua y red hidrológica	115
Figura 20. Uso del suelo y vegetación de la Serie VI, 2017	116
Figura 21. Equipamiento e infraestructura.....	121
Figura 22. Distancia euclidiana desde la cobertura de suelo construido.....	124
Figura 23. Franjas de restricción de las ANP para el desarrollo urbano	126
Figura 24. Franja de restricción de cuerpos de agua y red hidrológica.....	127
Figura 25. Vulnerabilidad de inundaciones (corrientes intermitentes)	128
Figura 26. Rango de pendientes	129
Figura 27. Aptitud territorial bajo el criterio de protección de ANP	130
Figura 28. Aptitud territorial bajo el criterio de hidrología y pendientes	133
Figura 29. ZMT. Aptitud territorial para el crecimiento urbano sustentable	135

Resumen

En el último cuarto del siglo pasado y lo que va del presente, la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) continúa presentando procesos acelerados de crecimiento urbano disperso, derivado de su estructura productiva. Esto genera que el crecimiento demográfico y físico limite acciones de planeación urbana; así mismo el proceso de urbanización alcanza a mayor número de municipios adyacentes al central, derivando en una serie de impactos sociales, económicos y ambientales. La planeación urbana y el ordenamiento ecológico de la ZMT han sido rebasados mientras que son ausentes los estudios de aptitud o capacidad territorial por lo que la ocupación del suelo carece de orientación racional, dirección, ocupación y aprovechamiento, incrementando con ello la complejidad de los impactos en los cambios en el uso de suelo, inadecuada localización de asentamientos humanos y falta de dotación de servicios, provocando con ello riesgo social y ambiental.

Por lo anterior, el propósito de esta investigación fue elaborar un modelo de evaluación de aptitud territorial para identificar nuevas zonas de expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca, a través de un estudio de capacidad de carga del territorio. Para ello se identificaron las variables que relacionan la aptitud y vulnerabilidad del medio físico para urbanizar un territorio, tomando como base límites permisibles e idóneos; para ello, se determinó el grado de idoneidad de uso de suelo. Posteriormente se realizó la normalización y ponderación de las variables para definir estándares deseados que determinaran la aptitud del suelo. Finalmente se utilizó la técnica multicriterio superposición ponderada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para interpretar la relación de las variables y generar la cartografía de la aptitud territorial que permita identificar las áreas urbanizables y no urbanizables. El modelo orienta la dirección del crecimiento urbano, y al mismo tiempo funciona como un componente de la sustentabilidad para la planeación urbana.

Palabras clave: expansión urbana, sustentabilidad urbana, aptitud territorial, capacidad de carga urbana.

Introducción

El suelo es un recurso natural no renovable, utilizado para diversos fines. En particular, la expansión urbana ejerce continua presión sobre el territorio rural, especialmente sobre suelos con aptitud agrícola, pecuaria o forestal. Por un lado, el área de influencia e intrusión de las ciudades en zonas rurales es multidimensional e intervienen varios factores, entre otros el crecimiento demográfico, especulación del costo del suelo, preferencias culturales de la población, dinamismo de la economía interna, inducción de políticas espaciales, así las ciudades se expanden por la demanda de espacio para la vivienda, industria, servicios e infraestructuras. Por otro lado, la demanda de suelo rural se orienta hacia usos y aprovechamiento agropecuario y forestal, minero, reservas y parques naturales, turismo, entre otros.

El uso y aprovechamiento del suelo está en continuo cambio, en este contexto, es fundamental orientar y planificar el crecimiento de las ciudades, reconociendo las potencialidades del suelo que podrían ser usadas para la expansión urbana y los suelos que presentan limitaciones o riesgos no considerarlos para ser incorporados al tejido urbano

Por otra parte, el Ordenamiento Territorial (OT) es un instrumento político-administrativo destinado a orientar el uso adecuado del territorio, Gómez (2007) dice que uno de los objetivos del OT es la organización coherente con un criterio de eficiencia para administrar la capacidad del medio y las actividades que puedan realizarse en el espacio, así mismo, es importante evaluar al territorio para obtener una localización óptima y bien administrada para usos de suelo urbano; en este sentido, evaluar al territorio para usos urbanos permite disminuir la degradación de las características ambientales, de tal manera que su integración en el ambiente natural y el paisaje cuente con la mejor aptitud y el menor impacto posible. Al evaluar al territorio se determina áreas en las que los recursos son insuficientes para justificar un desarrollo endógeno y permite identificar zonas aptas para soportar actividades que consumen de forma irreversible al territorio, es el caso del uso residencial, actividad industrial e infraestructuras.

La aptitud territorial, ha sido un concepto extensamente utilizado desde el enfoque pedológico para la evaluación de la tierra en áreas rurales. Este concepto funciona para determinar el grado de idoneidad en la evaluación del territorio para poder hacer uso adecuado de los recursos naturales. La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico define a la *aptitud territorial* como la capacidad para el desarrollo de actividades humanas en el que se incluye el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, el mantenimiento de los bienes y los servicios ambientales, y la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad, a partir de los atributos ambientales en el área de estudio (Artículo 3, fracción II y

III). Venegas (2008) menciona que la aptitud territorial plantea una perspectiva sobre la planeación del uso de la tierra en una estimación sistemática del potencial del agua y de la tierra y se basa en análisis muy detallados.

La *capacidad de carga* ha sido utilizada desde la antigüedad como un concepto en diferentes ramas de la ciencia con la finalidad de determinar atributos de objetos, cualidades de los seres vivos, límites intrínsecos del crecimiento, o el número de seres humanos que un territorio puede albergar sin alterar su equilibrio (Ress y Wackernagel, 2001). Inicialmente la capacidad de carga era utilizada en la ingeniería para determinar la capacidad de transporte del peso de los navíos (Sayre, 2008), sin embargo, la ciencia ha adoptado a la capacidad de carga para la gestión de especies para la química, medicina, economía, antropología, ingeniería y poblaciones biológicas. La Organización de Agricultura y Alimentación (FAO, 1993) ha utilizado este concepto para analizar las capacidades de carga necesarias para sostener las poblaciones de la mayoría de los países en desarrollo. La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, en Materia de Áreas Naturales Protegidas, define a la capacidad de carga como la estimación de la tolerancia de un ecosistema al uso de sus componentes, tal que no rebase su capacidad de recuperarse en el corto plazo sin la aplicación de medidas de restauración o recuperación para restablecer el equilibrio ecológico.

De igual modo, el planteamiento de la clasificación del suelo en muchas ocasiones se lleva a cabo sin la menor consideración de las propiedades físicas y químicas; además considerando que las leyes y normas de México tiene la función de “planificar el desarrollo nacional y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planeación nacional, regional y municipal, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural” (Sánchez, 2012: 52).

Así, se vuelve fundamental dotar de métodos e instrumentos de ayuda para la planeación del uso de suelo, desde el ámbito académico y la investigación, en una realidad local concreta, aportar con criterios técnicos, procesos de planeación y toma de decisiones, coadyuvando de esta manera al desarrollo urbano con ordenamiento ambiental y ecológico. El presente trabajo de investigación se inscribe en la línea de investigación: de las ciencias ambientales para el desarrollo urbano sustentable de México, con aplicaciones a territorios concretos.

La propuesta metodológica que se presenta en esta investigación pretende medir la capacidad del territorio para acoger usos urbanos y determinar zonas hacia donde deberán crecer las ciudades, con criterios de eficiencia y preservación de zonas productivas, de riesgo y ambiental. Se ha desarrollado una evaluación de la condición actual de los recursos naturales (capacidad: estimación

de los diferentes elementos del medio físico y los distintos usos del suelo), y una identificación de la situación deseable de áreas aptas para el crecimiento urbano.

Optar por el modelo de evaluación de la capacidad del territorio para determinar la aptitud para usos urbanos y zonas de expansión conduce a medir comparativamente la capacidad de los elementos del medio y distintos factores, teniendo en cuenta la relación entre aptitud y vulnerabilidad. En esta investigación se considera: a) aptitud, el grado de adaptación del medio a los requerimientos del objeto para el que es evaluado, b) impacto, son los efectos negativos producidos por una determinada actuación sobre los elementos del medio o sobre los distintos factores considerados. Es importante identificar el impacto negativo de las actividades sobre el medio, y confrontar los conceptos de fragilidad, singularidad, rareza, entre otros, a las consideraciones de tipo técnico; y c) restricción que es la delimitación entre alternativas reales y alternativas incompatibles por motivos naturales o normativos.

La estructura capitular del documento de tesis es la siguiente:

El Capítulo 1. Fundamentación Teórica, aborda a partir de una revisión bibliográfica, los elementos orientadores para la construcción de la metodología que dan rigurosidad al proceso y a la investigación, en este contexto. Se aborda el tema de la expansión urbana, tratando de encontrar las causas que la originan y las consecuencias y repercusiones en el medio ambiente. Se estudian modelos de crecimiento urbano con énfasis en la ciudad dispersa, cuyo aporte ha sido entender el comportamiento la descentralización urbana en el territorio. Se ha revisado el comportamiento de la expansión de las ciudades en América, Europa y Asia, para tener un conocimiento del estado actual de las ciudades y sus tendencias de crecimiento y los impactos ambientales y sociales.

El capítulo, también aborda la planeación del uso del suelo y métodos de planeación del uso del suelo, con énfasis en aquellos que puedan aportar conceptos teórico-conceptuales rigurosos. La determinación de la capacidad de carga del suelo, se ha validado como una herramienta óptima para este fin, por lo que a partir de esta se han estudiado métodos para su determinación, mismos que se sustentan en operaciones estadísticas y análisis espaciales, donde los Sistemas de Información Geográfica se consolidan como una importante herramienta que ayuda en el proceso.

La teoría conceptual que se aborda en el capítulo ha servido como referencia para la toma de decisiones respecto a los procesos estadísticos y análisis espaciales que se podrían utilizar a la hora de evaluar la aptitud del suelo para receptor una actividad, mismos que han servido como un sustento para el planteamiento de la propuesta metodológica. Este capítulo, es un esfuerzo por establecer la importancia en la determinación de la aptitud del suelo para el uso urbano y la necesidad de este proceso en la planeación y ordenamiento del territorio rural y urbano.

El Capítulo 2. Marcos de Referencia y Jurídico, se hace una revisión de los estudios a nivel internacional y nacional de la capacidad de carga, así como de estudios relacionados al ordenamiento del territorio y estudios urbanísticos en la Zona Metropolitana de Toluca para poder tener como referencia cuáles han sido los proyectos de investigación actuales y que se ha logrado para orientar la dirección del crecimiento urbano. Al mismo tiempo, se hace una revisión de las propuestas internacionales de la Organización de las Naciones Unidas para conocer y dar continuidad a los acuerdos que promueven el desarrollo urbano sustentable.

Finalmente, para concluir este capítulo se hace una revisión del marco legal y normativo de México con la finalidad de dar cumplimiento y apego a las leyes que promueven la orientación y forma del crecimiento urbano en el país para completar el modelo que se genera en esta investigación.

En el Capítulo 3. Metodología, se describe la propuesta metodológica para determinar la aptitud territorial de la Zona Metropolitana de Toluca e identificar el suelo de expansión urbana. Para ello, se ha escogido a la técnica de análisis multicriterio sumatoria lineal ponderada como método a aplicarse, ya que permite involucrar las preferencias del planificador en la toma de decisiones. En este proceso, la obtención del nivel de adecuación de las alternativas se obtiene multiplicando los pesos por las variables ya estandarizadas, para luego sumar cada variable; los pesos que intervienen en el análisis se establecen en función de la importancia e influencia de cada una de las variables en la determinación de suelo de expansión urbana. Como un aporte para mejorar la disponibilidad y acceso a la información necesaria para la aplicación de esta propuesta metodológica, se ha realizado un inventario de la cartografía con la que se cuenta en México y que forma parte de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Para validar la pertinencia de método planteado, en este capítulo, se realiza la determinación del suelo de expansión urbana como categoría de ordenación territorial. Es importante mencionar que es fundamental la utilización de los Sistemas de Información Geográfica para la validación de la metodología, como primer paso se identificaron las variables y la información cartográfica disponible; con la rigurosidad que el caso amerita, se aplicó la propuesta metodológica validando para el efecto cada uno de los procesos planteados, es decir la estandarización de los factores, la asignación de pesos y la evaluación de las alternativas.

Posteriormente se realizó una caracterización del medio físico y natural de la zona de estudio para poder identificar la información con la que se cuenta, para así generar una interpretación cartográfica con base a los factores y criterios ya estandarizados.

El Capítulo 4. Validación y Resultados, caracteriza la zona de estudio y realiza la superposición ponderada de las variables utilizadas para el cálculo de la aptitud para la interpretación final de la

cartografía generada, luego se describen y analizan los resultados obtenidos y se discute acerca de las zonas disponibles para la expansión urbana, así como la dirección actual en la que puede orientarse el desarrollo urbano. Los resultados de la aptitud territorial contribuyen en el análisis del desarrollo urbano actual, así mismo, funcionan como una propuesta para controlar y planificar la dirección del crecimiento urbano.

Finalmente, el apartado de Conclusiones y Recomendaciones describe los resultados obtenidos y se discute recomendaciones del estudio.

Planteamiento del problema

La Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) presenta una serie de transformaciones territoriales debido a factores económicos y demográficos, principalmente. Esto se ha traducido en un crecimiento urbano desordenado sobre todo en la interfaz urbano-rural, favorecido por la tenencia de la tierra y por la presión ejercida por parte de los desarrolladores inmobiliarios e industriales (Sánchez et al., 2015). El crecimiento metropolitano transforma el entorno rural y natural, ello a pesar de la existencia de los instrumentos de planeación del territorio como los planes municipales de desarrollo urbano y los programas de ordenamiento territorial.

A raíz del crecimiento desordenado y la inadecuada planeación urbana, la ZMT enfrenta el problema de reducción de áreas verdes, cambios de uso de suelo, competencia y conflictos por la utilización del suelo, desarrollo de vivienda en zonas de riesgo, aglomeración urbana, entre otros (Sánchez et al., 2015). Esta expansión urbana incontrolada o sin medida, (*urban sprawl por sus siglas en inglés*) se le considera muy costosa para sus ocupantes, la sociedad y el gobierno, además del costo ambiental que conlleva. Tal emplazamiento disperso de todos los estratos sociales de la ZMT demanda construcción de infraestructuras y de carreteras, ampliar cobertura de redes de servicio de agua potable y de drenaje, tendido de líneas de electricidad, esta ocupación de muy baja densidad y alto consumo de suelo del espacio rural y natural, también genera déficit de gestión e impactos negativos al ambiente; es un crecimiento metropolitano insustentable. Ello es contrario a procesos de urbanización relativamente más compactos con organización integrada por vivienda, densidad de uso del suelo con funciones mixtas y recursos diversos en balance apropiado.

El rápido crecimiento urbano de la ZMT ha sido abordado entre otros, en los trabajos de Aranda (2000), Arteaga y Alfaro (2001), Arteaga (2005), Lara (2015), Sánchez et al. (2015), y Mendoza (2016). Por ejemplo, la investigación de Sánchez et al. (2015) sobre los impactos socioeconómicos y ambientales del proceso de expansión urbana, explica como la periferia urbana de esta metrópoli ha sido vulnerable a las fuertes presiones, debido a la especulación de los costos de suelo y al incremento demográfico, la población se ha desplazado a causa de los altos costos de renta y servicios en el centro de la ciudad, produciendo patrones de consumo de suelo acelerado con ausencia de planeación urbana, urbanizando lugares alejados de los límites urbanos por los bajos costos del suelo, así como en zonas de riesgo, éstos carecen de instalaciones e infraestructura básica, además del alto consumo de áreas verdes.

Existe consenso en los estudios que el crecimiento desordenado de la ZMT, entre las causas referidas están el crecimiento demográfico, la especulación del suelo, las preferencias culturales de la población por localizarse en entornos menos aglomerados, el dinamismo y transformación de la

economía interna, la inexistencia de políticas del aprovechamiento y de protección de zonas agrícolas y, la ineficacia de los ordenamientos urbano y ambiental.

Por otra parte, además de factores socio económicos que propiciaron la expansión urbana de la ZMT están las condiciones geográficas tales como el relieve del terreno (pendientes suaves desde el punto de vista topográfico); el clima (templado subhúmedo); suelos aptos (no solo para los asentamientos humanos sino también para actividades productivas de todos los sectores económicos); geología (terrenos sin fracturas o fallas significativas), entre otros.

Justificación

Para aprehender la complejidad de la problemática de la ZMT es necesario considerar el funcionamiento integrado de los municipios que la conforman e interactúan con características y procesos de política, económicas, demográficas y ambientales específicos; esto es, el objeto de estudio conforma un ecosistema donde los distintos organismos comparten relación entre ellos, distintos flujos de energía y materia del medio ambiente.

El propósito en esta investigación es evaluar la aptitud territorial de la ZMT para orientar la dirección racional del crecimiento urbano, integrando las variables relacionadas con el adecuado crecimiento y desarrollo del territorio. Para ello se identificaron las zonas que representan restricciones para el crecimiento urbano o zonas de valor productivo, cultural y ambiental. El estudio se desarrolla bajo un modelo de capacidad de carga del territorio, el cual permite identificar factores determinantes de dimensiones de infraestructura y servicios, ambiental, social y económica, además de estándares de sustentabilidad para un uso idóneo del territorio. A manera de ejemplo están las áreas no urbanizables a zonas productivas para actividades agropecuarias, áreas naturales protegidas (federales y estatales), zonas con valor histórico y cultural, áreas de riesgo naturales (inundaciones, deslizamientos, fallas y fracturas), etcétera. La evaluación de estas variables permite conformar un modelo con componente de sustentabilidad y, a su vez, como un instrumento de la planeación urbana sustentable.

En el orden internacional y nacional, desde los años noventa del siglo pasado, la agenda de sustentabilidad del desarrollo humano y posteriormente el cambio climático, avanzan en enfoques y en diversos ámbitos: en la administración pública con marcos legales y de planeación que persiguen instrumentación en los tres órdenes de gobierno; en la agenda de investigación científica nacional que operan en las entidades de la república y, en los programas educativos de los diferentes grados formativos. Si bien el conocimiento científico y generación de metodologías han sido importantes, las propuestas concretas de herramienta específica son necesarios.

Hipótesis

Evaluar la aptitud del territorio permite identificar nuevas áreas para la expansión urbana, al tiempo que sirve como un componente para un desarrollo urbano sostenible.

Objetivos

Objetivo general

Crear un modelo de evaluación de aptitud territorial para orientar la dirección del crecimiento urbano a través de un estudio de capacidad de carga del territorio, que permita identificar lugares idóneos para la expansión urbana, tomando como base las potencialidades y limitaciones del medio físico natural para un desarrollo sostenible en la Zona Metropolitana de Toluca.

Objetivos particulares

- Identificar el estado de la comprensión de las condiciones de la acelerada urbanización y transformaciones del crecimiento metropolitano a través de una revisión de literatura especializada.
- Conformar el estado de arte de los métodos de planeación del uso del suelo, técnicas y procedimientos para evaluar la capacidad del territorio respecto a la implantación de nuevos usos, indicadores espaciales de sostenibilidad y estudio de dinámicas de usos del suelo, con la finalidad de establecer el sustento teórico conceptual para el diseño de la metodología.
- Construir una propuesta metodológica con variables que determinan la aptitud del suelo para receptor usos urbanos, y;
- Validar la pertinencia de la metodología planteada, mediante la determinación del suelo de expansión urbana como categoría del ordenamiento del territorio en la Zona Metropolitana de Toluca.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Este capítulo presenta las teorías y modelos necesarios para comprender la trayectoria del proceso urbano a la par de los diferentes cambios estructurales que se han suscitado hasta este siglo; los elementos que la constituyen y explican, así como las etapas por las que atraviesa y configuran las nuevas estructuras urbanas. Además, se presentan conceptos y modelos de evaluación de la capacidad de carga urbana para comprender el estudio hacia el territorio como los espacios que no son considerados como urbanos y definir las dimensiones y variables de la aptitud del suelo de acuerdo con las condiciones particulares de la mejor estimación de sus posibilidades y limitaciones. Finalmente se describe el modelo de evaluación multicriterio que permite desarrollar la cartografía especializada para identificar la aptitud de uso urbano.

En la primera parte se discute como el razonamiento teórico epistemológico ha cambiado en el siglo XXI, mostrando por diferentes autores que no es posible estudiarlo con el mismo instrumental teórico debido a las nuevas configuraciones urbanas, se revisa la teoría clásica de la estructura urbana y la del ciclo de la urbanización para adentrarnos al contexto global de los nuevos patrones de crecimiento urbano; en segundo se analiza a la desconcentración urbana y contraurbanización para comprender la suburbanización y periurbanización en un caso empírico de Europa Anglosajón y Meridional; en tercero se analiza el concepto y el modelo de la capacidad carga como un instrumento de apoyo para la planeación urbana por los autores Wei et al., (2015a) además, se revisa el estudio del Centro Mario Molina (2015) en el cual describe un conjunto de puntos de referencia, normas y estándares para la evaluación cualitativa y cuantitativa de los indicadores; en cuarto se menciona el concepto de metabolismo urbano para poder explicar el consumo de los recursos y patrones de emisiones contaminantes de las ciudades, además de evidenciar el impacto ambiental por el consumo exagerado de los recursos naturales. Por último, se describe el uso de los sistemas de información geográfica y la evaluación multicriterio como modelo para diseñar la cartografía necesaria de la aptitud territorial.

1.1. Lo urbano y organización social actual

Actualmente, en este siglo XXI, lo urbano continúa viviendo cambios estructurales, que condujo a debates enérgicos de los campos disciplinares de las ciencias sociales iniciados el siglo pasado; ello como consecuencia de que los modelos teóricos de crecimiento urbano precedentes no reportan el espacio urbano actual (Gasparatos, 2018). Los estudios de la ciudad se organizaron con la división del objeto de estudio de lo urbano y lo rural por separado, por ello Brenner (2013) argumenta cambios fundamentales en organización e integración en “lo urbano y lo rural”, sugieren entre otros factores explicativos que el cambio de modelo de desarrollo económico se encuentra en

la base de transformación del espacio urbano. Así, la trayectoria del conocimiento sobre la ciudad pretende registrar procesos y cambios en curso. En los cambios de la organización urbana, no debe perderse de vista que las geografías de la urbanización están adquiriendo morfologías nuevas y de mayor envergadura, que hacen estallar la antigua división entre lo urbano y lo rural (Brenner, 2013).

En 1970, Castells desde la sociología aborda la “cuestión urbana”. Para ese entonces, retoma los debates sobre los “problemas urbanos” que tendían a transmitirse en “un elemento esencial dentro de las políticas gubernamentales, las preocupaciones de los medios de comunicación y, por ende, la vida cotidiana de un amplio número de la población”. Castells partía desde su perspectiva marxista ortodoxa que presuponía que las cuestiones urbanas era una ideología, creía que el verdadero motor del cambio residía en la acción de la clase trabajadora y la movilización antiimperialista. Así, Castells procedió a deconstruir aquello que era una “ideología urbana”. Su concepción consideró la construcción social del fenómeno urbano, asociaba representaciones de los procesos fundacionales, relacionados al capitalismo y el papel del Estado en la reproducción de la fuerza laboral (Castells, 1974).

Castells (1974), en *la cuestión urbana*, el concepto de urbanización es algo ya muy complejo de definir, debido a las diversas dimensiones que lo componen, una de ellas es la ciudad y sus derivados, que hacen alusión a un tipo de organización estructural espacial, ligada a “la concentración espacial de la población a partir de unos determinados límites de dimensión y densidad”. De igual manera Castells (1974) menciona que un elemento significativo que caracteriza a la urbanización es el aumento de sus habitantes, acentuando la concentración espacial al incorporarse nuevos asentamientos al espacio geográfico. Realiza una crítica epistemológica de los temas ordenados teóricamente: el proceso de la urbanización, la estructura urbana, planeación urbana y los movimientos sociales urbanos para demostrar que al hablar de “lo urbano”, según él, no se está designando como un objeto teórico si no un objeto ideológico. En el cual la ideología, producida y modificada por la lucha de las clases, es siempre función de la coyuntura, de la especificidad histórica (Brenner, 2013).

Brenner (2013) refiere que el proceso urbano se teje ahora de manera desigual y con una densidad cada vez mayor en grandes extensiones de todo el mundo, tomando como referencia los trabajos del sociólogo Louis Wirth (1930) (Cfr. Brenner, 2013: 44), delineó el contorno urbano respecto a la triada clásica de propiedades sociológicas: tamaño de población, alta densidad y elevados niveles de heterogeneidad demográfica. Dicho sociólogo, mostrando así, la coexistencia espacial de estas propiedades dentro de las áreas urbanas que distinguía esas zonas de cualquier otro tipo de

asentamiento y justificaba la adopción de un campo de conocimiento diferente de la sociología urbana para la investigación.

Brenner (2013) sostiene, para finales del siglo XX y principios del XXI que el mundo urbano ha cambiado, se han unificado la geografía urbana y la rural, este cambio estructural ha traído una nueva organización en el espacio. La literatura actual no puede explicar la nueva configuración urbana con el mismo instrumental teórico epistemológico y que la disciplina al igual que el razonamiento de lo urbano se debe replantear como un estudio reorientado con: transformaciones espaciales, reposicionamientos institucionales y movilizaciones sociales.

Amin y Thrift (2002), mencionan que la división tradicional entre la ciudad y el campo ha sido destruida, el mundo urbanizado es ahora una cadena de áreas metropolitanas conectadas por lugares/corredores de comunicación (aeropuertos y líneas aéreas, estaciones y ferrocarriles, estacionamientos y carreteras, telepuertos y autopistas informáticas), asíéndose la pregunta ¿qué queda por fuera? ¿acaso el pueblo, la aldea, el campo? Las manchas de la ciudad están ahora en todos lugares como personas que viajan de forma pendular (Cfr. Brenner, 2013: 45).

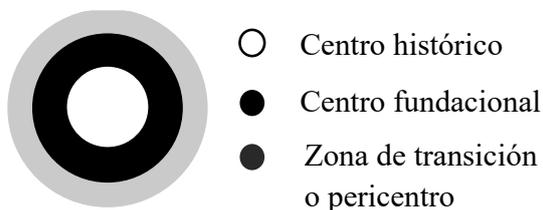
De manera que, la interpretación de lo rural y de lo urbano en el siglo XXI ha cambiado y la forma de estudiar a la actual organización espacial abre esas posibilidades. Diversos autores sugieren replantear el razonamiento epistemológico de la teoría urbana ya que el cambio estructural urbano se ha integrado al tejido socio organizativo del espacio rural.

1.1.1. Teoría clásica de estructura urbana

La estructura interna de la ciudad refiere a cómo está conformada y cuál es su organización. De manera aproximada se identifica un centro urbano, espacios de vivienda y áreas de negocios; sin embargo, un conocimiento especializado identifica que está compuesta por áreas de paisaje, y usos predominantes del suelo, a veces bien definidas y diferenciadas desde el punto de vista funcional y social, que forman un verdadero mosaico y constituyen una estructura urbana, conformada por: el centro, áreas residenciales, zonas industriales y, franjas rururbanas o franjas periurbanas (Zarate, 2012: 89).

La ciudad ha sido modificada a través del tiempo, anteriormente la segregación en funciones era mucho menor, los usos comerciales, residenciales e industriales, se ven cortados e interrumpidos por arterias principales de circulación. El centro de las ciudades siempre ha sido un espacio con una variedad funcional y con fuertes contrastes, siendo un importante patrimonio urbanístico y monumental heredado (Zarate, 2012: 90).

Figura 1. Variedad funcional del centro



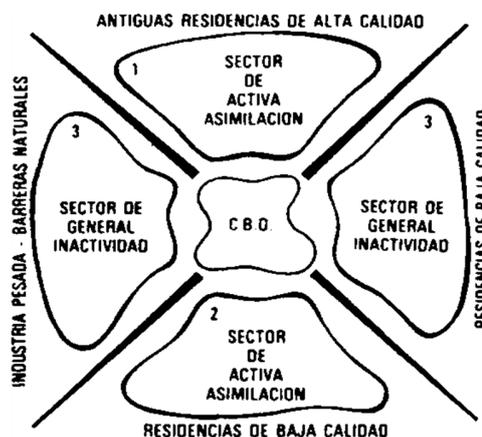
Fuente: Elaborado con base en Zarate (2012)

mezcla social tiende a desaparecer produciéndose por un lado la polarización social, detonando la huida de las clases medias y de la “tuguración” y por otro lado, la irrupción de grupos de rentas altas que ocupan los sectores de mayor calidad en un proceso de “gentrificación”.

El centro, es centro de actividad económica (*Central Business District*), que unas veces se superpone al núcleo fundacional y en otras, sitúa al ambiente urbano de mayor calidad heredada, representada por la más alta concentración de servicios a la producción y otros servicios superiores y de funciones comerciales (Figura 1). El centro transforma y dirige el funcionamiento general de la ciudad. Enseguida del centro, surge una “zona de transición” o “pericentro”, corresponde al borde de la ciudad histórica y estriba en su gran diversidad de usos del suelo, aquí se presentan fenómenos de invasión-sucesión funcional y social, provocando continuos cambios en las actividades económicas y en la composición del suelo. De acuerdo con Preston y Griffin (1966) (Cfr. Zarate, 2012: 92) los contrastes internos de las zonas de transición son grandes y tienden a acentuarse por la repercusión de los procesos contradictorios de revaloración y desvalorización en relación con los fenómenos de suburbanización y reurbanización. Todo esto llevo a distinguir varias partes en la zona de transición: sectores de asimilación activa y de asimilación pasiva o de inactividad, de acuerdo con su desigual grado de dinamismo funcional y residencial (Figura 2).

Siguiendo con Zárata (2012), dentro de la variedad funcional del centro existe un centro histórico, correspondiente a la ciudad más antigua en el cual predomina la arquitectura histórica, el acceso para el conjunto de ciudadanos y la teatralización de la vida urbana, propiciando una localización de ocio y diversión, así como el desarrollo de manifestaciones culturales, cabe mencionar que en el centro histórico la

Figura 2. Zona de transición



Fuente: Robert E. Preston y D. W. Griffin (1966) (Cfr. Zárata, 2012)

Zarate (2012) presenta criterios para delimitar el *Central Business District* (CBD por sus siglas en inglés), recuperando métodos propuestos por diferentes geógrafos, los primeros intentos lo realizan

Proudfoot (1937) y William Olsson (1940). Proudfoot creó el “índice de volumen de ventas por fachada de manzana” y William aplicó una delimitación del centro de actividad denominándolo “renta comercial”, sin embargo, estos esfuerzos no consideran actividades terciarias y cuaternarias en los usos específicos del centro. Surgen, Murphy y Vance (1954) quienes proponen “índices del centro de negocios”, considera el comercio al por menor, servicios financieros y oficinas como usos específicos del CBD, utilizan como criterios de delimitación: *Índice de altura del centro de negocios*, *Índice de intensidad del centro de negocios* e *Índice de negocios centrales*, no obstante, el centro no es un área homogénea; dentro de ella se observan importantes diferencias funcionales, morfológicas y sociales. Delimitar el centro es todavía una discusión abierta, su dinamismo lleva a que todo esfuerzo sea aproximado.

Respecto a los usos del suelo, los usos de suelo residencial han cambiado con el paso de los años, anteriormente las ciudades eran pequeñas y los usos se mezclaban entre sí, en la ciudad preindustrial, determinados grupos sociales o étnicos eran constreñidos a vivir en zonas bien delimitadas de acuerdo a los contextos culturales, más tarde en la ciudad industrial, en el siglo XIX hasta el primer tercio del siglo XX, comenzó la idea por sentimientos de identidad cultural determinando la formación de áreas naturales por su composición étnica, sobre todo en las aglomeraciones de fuerte inmigración, como lo fue en las norteamericanas o las del Cono Sur (Zarate, 2012: 96).

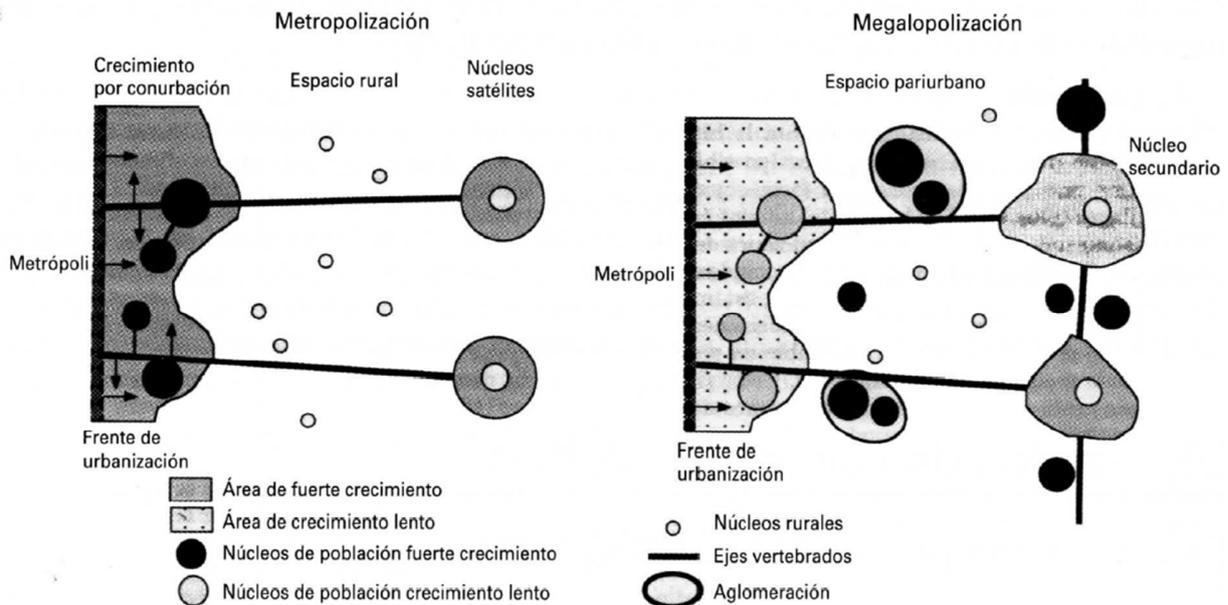
Actualmente los usos residenciales ocupan una gran parte en el espacio urbano y existen diversas teorías que intentan explicar la diferenciación y movilidad residencial a partir de enfoques microsociales, basados en el comportamiento y los modos de decisión de los individuos. La “teoría subsocial” propuesta por los ecólogos clásicos y neoclásicos de la escuela de Chicago (E. Burgess; R. Park; R. Mckenzie; L. Wirth y H. Zorbaugh) que deriva de la diferenciación social del comportamiento de los individuos en relación con los principios de “competencia impersonal” y de los “distintos valores del suelo”. La “teoría de los valores sociales” por Firey (1947) (Cfr. Zarate, 2012: 99) analiza los usos de suelo de acuerdo con la importancia del sentimiento y simbolismo en el comportamiento humano, y a partir de enfoques macrosociales. La “teoría de análisis de áreas sociales” por Shevky y Williams quienes muestran una relación entre la segregación residencial y los factores de diferenciación social vinculando la segregación residencial a los cambios globales de la sociedad a través del tiempo (Cfr. Zárate, 2012: 99).

Siguiendo con los componentes de la estructura urbana, el papel de la franja periurbana y su relación con el centro de la ciudad ha transitado de la sociedad industrial a las sociedades terciarias principalmente por el capitalismo, su formación es parte del proceso de expansión y dinámica del conjunto de la ciudad. Desde el siglo XIX al XXI el crecimiento ha sido un transformador externo, más allá del centro urbano, sobre los usos agrícolas y forestales. Conforme la ciudad crece el espacio

rural se verá unido al tejido del suelo urbano unificando poblados, localidades pequeñas y asentamientos aislados. La franja periurbana es imprecisa de definir, lo cual es un problema analítico para identificar donde inicia y donde termina. Para ello, existen diversas metodologías para distinguir su delimitación basados en instrumentos de descripción empírica, atendiendo variables cuantitativas y cualitativas (Zárate, 2012).

La expansión de la franja periurbana está impulsada por procesos de suburbanización, descentralización y contraurbanización que varía según las sociedades actuales. A continuación, se presenta la Figura 3, la cual muestra diferentes tipos de desarrollo urbano de acuerdo con los procesos de expansión de la franja periurbana.

Figura 3. Formas de la periurbanización



Fuente: Banzo, M. y Link T. (1996) (Cfr. Zarate, 2012: 103)

- Desarrollo discontinuo: los procesos periurbanos se extienden alrededor de la ciudad central, en forma de aureola concéntrica caracterizada de baja densidad de población, con alternancia de suelos rurales y barbechos sociales.
- Desarrollo radial: expansión de acuerdo con las líneas principales de comunicación y servicios.
- Desarrollo a saltos: Desarrollo de pequeños núcleos urbanos en la franja rururbana (en medio del espacio rural y paisajes naturales).

La Figura 3, muestra como la franja periurbana es impulsada conforme el tiempo avanza y los modelos sociales, económicos y políticos cambian la organización de la ciudad, esta seguirá siendo dinámica, asimismo la estructura urbana y sus componentes, siendo los principales efectos visibles en las periferias, espacios rurales y territorio abierto. Principalmente la razón de estos cambios es la búsqueda de la productividad de las tierras y la especulación de terrenos baratos y accesibles para la población (Sánchez, 2013).

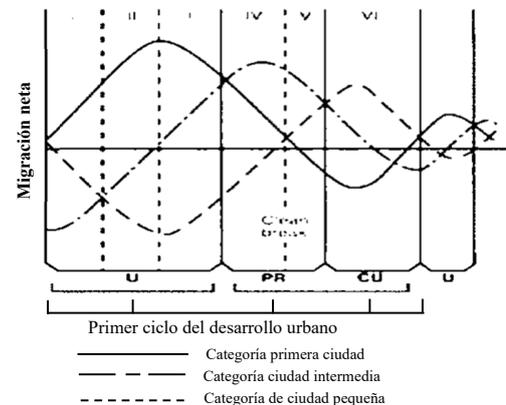
1.1.2. Modelos teóricos del crecimiento urbano

Existen diversos esfuerzos por construir formalmente el proceso de crecimiento urbano, ya sea que se trata de los cambios de la estructura urbana interna explicada en su crecimiento, de igual manera, por el cambio conjunto del crecimiento de las ciudades y porqué aumentan de manera acelerada. Siguiendo a Pacione (2005), aquí se presentan dos modelos.

a) Teoría del ciclo de la urbanización

Llamó la atención que en un gran número de países el nivel de urbanización decreció entre 1965 y 1970, después de un largo período de concentración, en ciudades estadounidenses, esto ha sido reconocido en la literatura urbana como proceso de redistribución de población o de *contraurbanización* por B. Berry en 1976, lo cual dio lugar al crecimiento relativo de lugares pequeños por el declive relativo y absoluto de las ciudades más grandes, es decir, al proceso de descentralización urbana. Geyer y Kontuly (1993) (en Pacione, 2005) han incorporado el término *polarización inversa* o más comúnmente *contraurbanización* mediante la “teoría de la urbanización diferencial” la cual postula, en un sistema teórico de tres ciudades, en el cual la ciudad grande, mediana y pequeña atraviesan periodos de lento crecimiento, otro de rápido crecimiento y después de declive, como efectos de la distribución del decrecimiento de unas y crecimiento de otras, hasta que el sistema urbano cubre un ciclo de urbanización. Cada ciudad presenta su fase según el comportamiento del conjunto (Figura 4).

Figura 4. Etapas de la urbanización diferencial



Fuente: Geyer H. y Kontuly T. (1993) (Cfr. Pacione, 2005)

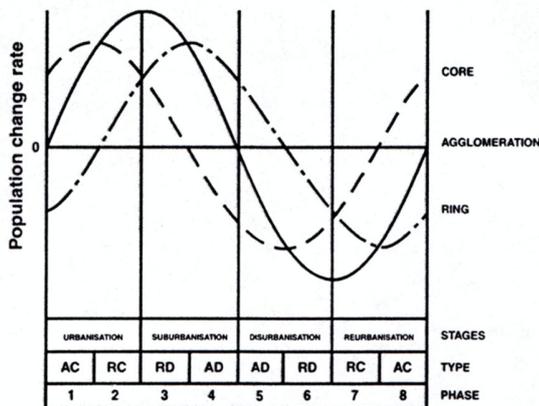
1. Fase de la ciudad primada: Rápido crecimiento de la ciudad, desarrollo creciente de actividad económica y de población de forma concentrada;

2. Fase de la ciudad intermedia: Lento crecimiento de la ciudad y la desconcentración de la población urbana, acompañado por el crecimiento de la ciudad intermedia próxima a la primada;
3. Fase de la ciudad pequeña: Representa una continuación de las etapas previas de las dos primeras, para alcanzar el ciclo de crecimiento, el sistema urbano se ha enriquecido hasta el “punto de saturación” y la población rural ya no puede estar más reducida y la migración rural cesa. (Cfr. Pacione, 2005).

b) Etapas del desarrollo urbano

El concepto de “ciclo de urbanización” ha sido retomado por Klassen y otros (1981) y van den Berg y otros (1982) (Cfr. Pacione, 2005: 106) para estudiar los patrones de crecimiento de una aglomeración individual y proponen el modelo de etapas de desarrollo urbano, distinguen cuatro etapas de cambio entre centro, anillo y conjunto de la ciudad.

Figura 5. Modelo de las etapas del desarrollo urbano



Fuente: A.Champion, (2000, Cfr. Pacione, 2005: 106)

1. Urbanización: Cuando el centro de los asentamientos crece a costa de sus entornos rurales;
2. Suburbanización o exurbanización: cuando el anillo urbano o *commuting* crece a costa del centro urbano;
3. Desurbanización o contraurbanización: cuando la pérdida de población del centro urbano excede las ganancias de población del anillo (pérdida de población en aglomeración).
4. Reurbanización: cuando la tasa de pérdida de población del centro disminuye gradualmente.

El modelo de las etapas del desarrollo urbano se basa en cambios en la dirección y tasa de movimientos de la población (las actividades, la inversión, etc.) entre el centro y el anillo urbano, la progresiva distribución, e incluso la salida del conjunto de la ciudad.

1.1.3. Procesos de suburbanización, periurbanización y contraurbanización

El origen de las periferias urbanas son el resultado de los profundos cambios de la estructura urbana (desurbanización o contraurbanización), de las tecnologías de comunicación y de la información

(telemática), en la organización y la regulación sociales (postfordismo) (Dematteis, 1998). Europa septentrional ha sido reconocido por su forma de asentamiento de periferia suburbana como un modelo anglosajón, dicho modelo ha influido en la Europa mediterráneo en su forma de expansión, cada una de estas civilizaciones urbanas han tenido modalidades de suburbanización propias. A finales de los años 70 las ciudades de Europa occidental sufren un cambio en el proceso de suburbanización, los núcleos centrales de las grandes ciudades comienzan a perder población y las “coronas” suburbanas comienza a ralentizar su crecimiento, cumpliéndose así el ciclo de urbanización. En el inter de los años 80, Europa manifestó un fenómeno relacionado con la transición demográfica negativa en las ciudades grandes: iniciando un crecimiento generalizado de los centros urbanos menores o incluso los rurales (Dematteis, 1998).

Este fenómeno de urbanización a la inversa, es decir, en el conjunto de asentamiento menores, ya había sido descrito por B. Berry (1976) (Cfr. Ferras, 2007: 6) con el nombre de *contraurbanización*. La desconcentración era tan relevante en la escala de las grandes regiones y países enteros, incluyendo a las zonas más alejadas de los polos metropolitanos. Entre 1980 y 1990 el proceso de desconcentración urbana continua, pero en la forma más selectiva de una “desconcentración concentrada”, revelando dos variaciones dinámicas demográficas positivas. La primera es una recuperación de la polarización urbana, que ahora se manifiesta como dilatación progresiva en las coronas externas y las ramificaciones radiales de los sistemas urbanos, con una reducción de los espacios residenciales en los núcleos centrales. La segunda se manifiesta como expansión urbana independiente de los campos de polarización de los grandes centros.

La combinación de estas dos dinámicas deriva en tres tipos morfológicos:

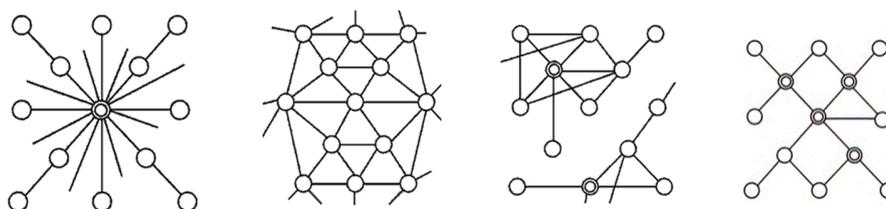
- i. Periurbanización: puede interpretarse como la situación de desarrollo más débil debido que el crecimiento depende solo de las funciones de servicio (eventualmente industriales) de un polo urbano, dentro de un contexto regional pobre tanto en servicios como en actividad productiva.
- ii. Difusión reticular (ciudad difusa): característica de los tejidos mixtos y residenciales, derivados de la dinámica endógenas de “tipo industrial”.
- iii. Superposición de ambas.

El análisis de la contra urbanización y el modelo del ciclo urbano ha permitido recoger datos sobre regiones y países diferentes, encontrado ciertas regularidades que requieren una interpretación. Dematteis (1998) afirma que es importante distinguir entre la escala de decenas y centenas de kilómetros. La escala de decenas pertenece a la dominación de regiones o sistemas urbanos,

tratándose de los ámbitos de la vida como el movimiento pendular cotidiano y movilidad residencial de quienes viven y trabajan en un territorio, integrada por pueblos, ciudades pequeñas y centro urbano principal, conformando una región funcional. La escala de centenas de kilómetros puede estar relacionada con la reorganización de los puestos de trabajo y los cambios en la localización de las empresas en el espacio regional.

Actualmente los nuevos campos de externalidad no tienen una forma compacta, ni un radio tan limitado, sino que se configura como retículas articuladas en centros y sistemas urbanos pequeños o grandes (Figura 6).

Figura 6. Formación de las estructuras reticulares



Fuente: Tomado de Dematteis (1998)

- A. Estructura tradicional, jerárquica;
- B. Estructura polarizada, se presenta en el entorno próximo de las áreas metropolitanas;
- C. Estructura reticular se manifiesta en grandes regiones intermedias, la localización es indiferenciada, interconexión con igualdad de potencial;
- D. Estructura mixta o de transición, surge en regiones periféricas con superposición de estructuras jerárquicas en árbol y de estructuras reticulares entre “distritos industriales”.

Finalmente, la desconcentración de funciones es y crea el periurbano y la ciudad difusa. Esto no quiere decir que es una simple difusión urbana y de la urbanización del campo, sino que, es una estructura funcional urbana autónoma que le es propia, es un cambio estructural sustantivo de “lo urbano”.

1.2. Modelo de capacidad de carga para el desarrollo sostenible

La población humana ha crecido de manera acelerada en décadas recientes, particularmente en países en desarrollo, en este caso la urbanización ha sido reconocida como la mejor solución para hacer frente al crecimiento masivo de la población. Sin embargo, debido a la rápida urbanización

en todo el mundo, algunas ciudades grandes y megaciudades presentan importantes problemas ambientales.

Autores como Wei et al., (2015) lo definen como las enfermedades urbanas que frecuentemente acosan a las ciudades, conllevando: congestión de tráfico, escasez de vivienda, falta de servicios, contaminación ambiental, entre otros. Lo que se ha planteado como un desafío actual y un impedimento para el desarrollo sostenible. Por su parte, Onishi (1994) y Saveriades (2000) argumentan que, si la contaminación y las actividades humanas se expanden indefinidamente y exceden los límites de la capacidad urbana, los urbanita no podrán percibir prosperidad debido a la fuerte preocupación por el deterioro general de los aspectos socioeconómicos y ecológicos urbanos. La causa inmediata de estos problemas es el sobre desarrollo o la sobre concentración de población y actividades socioeconómicas en áreas urbanas que han excedido en gran medida la Capacidad de Carga (CC) inherente de las ciudades, lo que por consiguiente el desarrollo urbano se expande hacia las afueras de la ciudad en busca de espacios disponibles para el uso urbano (Cfr. Wei et al., 2015a).

El desarrollo urbano sostenible ha sido el foco de atención para el desarrollo urbano actual y para las generaciones futuras, la preocupación tanto de los administradores de la ciudad como de los residentes urbanos radica en las condiciones que las ciudades se están suscitando. Un criterio de la sustentabilidad urbana es la capacidad de carga urbana como el concepto base para guiar al gobierno local en la promoción del desarrollo urbano sostenible.

El origen del concepto de la capacidad de carga proviene de la ecología animal basado en la Curva del Crecimiento Logístico de Vershult de 1990 (Cfr. Wei et al., 2015a: 3246). El crecimiento no regulado de determinadas poblaciones animales, superando la capacidad de carga ecológica, dañará sus hábitats, agotará el suministro de energía disponible y, finalmente, dará lugar a una menor densidad de población. Por el contrario, si una determinada densidad de población animal es controlada por depredadores, manteniéndola por debajo de la capacidad de alimento disponible para esa especie animal se vuelve suficiente y su capacidad para resistir las fluctuaciones ambientales aumenta.

La capacidad de carga ecológica constituye la base de conceptos derivados, como la capacidad de carga humana, la capacidad de carga turística, la capacidad de carga urbana, entre otras.

Wei et al., (2015a) mencionan que la capacidad de carga humana puede definirse como el tamaño de la población que el mundo puede soportar sin dañar el "entorno natural, cultural y social" y, por lo tanto, no degradar las capacidades de carga futuras. Además, aseguran que está determinada en gran medida por la resiliencia de una región, es decir, la capacidad de absorber influencias externas

sin causar cambios estructurales en la condición y el funcionamiento del medio ambiente. A pesar de ello, los impactos negativos de la sobrepoblación mundial combinados con la intensa explotación de los recursos ambientales han alterado la capacidad de los seres humanos para habitar dentro de los límites de la capacidad de carga de acuerdo con su dotación de recursos naturales.

a) Conceptualización de la capacidad de carga urbana

La capacidad de carga urbana como foco de estudio tiene en gran medida significados e implicaciones diferentes de las capacidades de carga ecológico y humano antes mencionado ya que el concepto de capacidad de carga urbana debe abordar la complejidad del entorno urbano, enmarcando los atributos integradores asociados con la planeación y gestión urbana.

Schneider mencionaba en 1978 que: “A medida que los estudios urbanos sigan desarrollándose permitirán un análisis más detallado de sus componentes determinantes.” (Cfr. Wei et al., 2015a), por ejemplo: los planificadores urbanos definen vagamente la capacidad de carga urbana como la capacidad de una zona urbana para acomodar el crecimiento de la población o el desarrollo físico sin causar daños sustanciales o una degradación aparente.

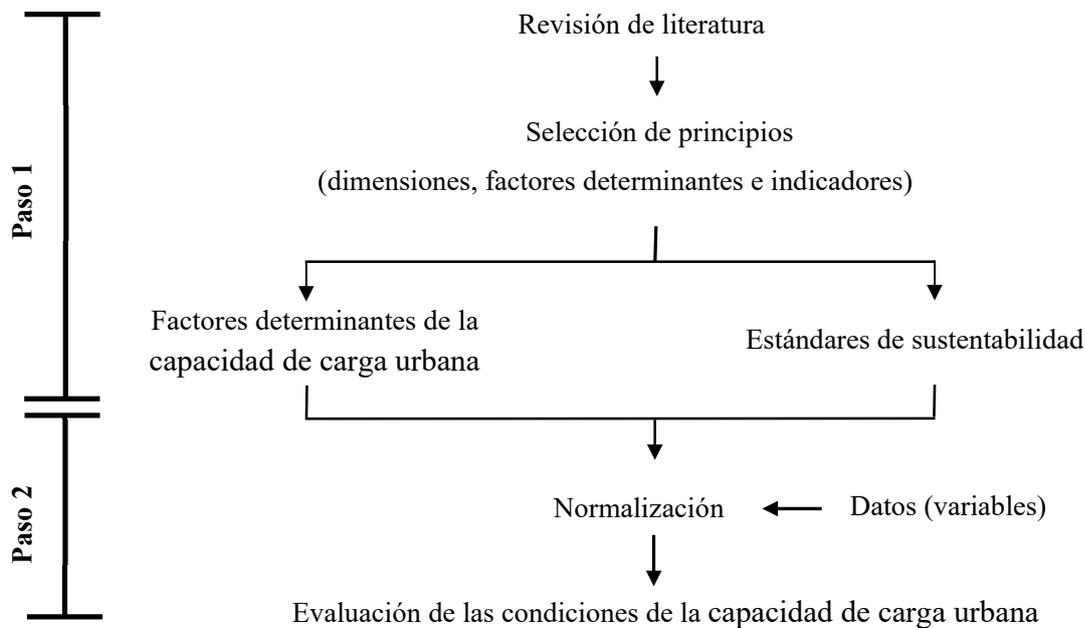
Al adoptar una perspectiva social, el Instituto de Desarrollo de Seúl (1999) define a la capacidad de carga urbana como la escala económica máxima que la base natural de una región puede soportar/cargar. Al centrarse en los aspectos físicos, Liu (2012) simplificó el concepto de capacidad de carga urbana en cuatro factores determinantes, a saber; tierra, agua, transporte y medio ambiente. Oh et al., (2005) definen la capacidad de carga urbana como "el nivel de las actividades humanas, el crecimiento de la población, el uso de la tierra y el desarrollo físico, que pueden ser sostenidos por el medio urbano sin causar una degradación grave y daños irreversibles", así mismo enumeran siete factores determinantes primarios de los componentes de la capacidad de carga urbana, incluyendo a la energía, áreas verdes, carreteras, suministros de aguas, tratamientos de aguas residuales y sistemas de metro. Centrándose en los factores físicos ambientales y artificiales, dejando otros factores blandos fuera del alcance. (Wei et al., 2015a: 3246)

1.2.1. Dimensiones e indicadores de la capacidad de carga urbana

Para la evaluación de la capacidad de carga urbana, Wei et al., (2015a), adoptan el método Indicador-Benchmark Comparison, el cual permite analizar la capacidad de carga urbana mediante un proceso simple y de fácil comunicación. La Figura 7 describe los procedimientos para determinar el alcance para el desarrollo urbano sostenible, el cual consta de dos pasos. El primer paso es determinar los indicadores de capacidad de carga urbana y sus umbrales asociados a través de la revisión de la literatura, organizando los indicadores en subcategorías apropiadas. El siguiente

paso consiste en realizar comparaciones entre los indicadores y umbrales conexos, que conducen a medidas creíbles sobre las condiciones de la capacidad de carga urbana de las áreas.

Figura 7. Marco de evaluación de la Capacidad de Carga Urbana



Fuente: Elaborado con base en Wei et al. (2015a) y Centro Mario Molina (2014)

Con base en la revisión de literatura, la Figura 7 resume los principios clave para la selección adecuada de los indicadores de la capacidad de carga urbana que permite evitar redundancia y confusiones. Los principales factores para las evaluaciones, así como de los indicadores de la capacidad de carga urbana se presentan en el Cuadro 1, los indicadores relativos a factores perceptuales e institucionales son limitados en el mismo cuadro, debido a las dificultades para adquirir datos. Por esto, la mayoría de estos factores implican sentido común, actitudes y comportamientos del público, los datos deben obtenerse mediante una encuesta social (Aspeslaugh, 1994). El objetivo de la sostenibilidad urbana es promover una síntesis más fuerte de los componentes ambientales, económicos y sociales (Li et al., 2009).

A continuación, el Cuadro 1 muestra una selección de criterios para determinar indicadores que sirvan para el estudio de la capacidad de carga, Wei et al. (2015a) elaboraron el siguiente cuadro con base en la revisión de diferentes estudios urbanísticos para facilitar la selección de indicadores

con el objetivo que sea accesible para los estudios y que se adecuen a los objetivos de las investigaciones urbanas.

Cuadro 1. Criterios para la selección de indicadores

Criterios	Autor
a. Precisión científica, operatividad, jerarquía integridad y dinámica.	Yu y Mao (2002)
b. Implicaciones en el estado de las condiciones actuales y vinculación de los impactos finales con las actividades humanas.	Button (2002)
c. Implicaciones políticas con una función de previsión en cuanto a medidas de tendencia y proactivas.	Button (2002)
d. Disponibilidad de un campo de pruebas para validar teorías relacionadas con factores subyacentes.	
e. La elección de un conjunto pequeño y manejable de indicadores para un marco de evaluación eficaz.	Yu y Mao (2002), Graymore et al. (2010), Button (2002)
f. Alto grado de sensibilidad a las condiciones subyacentes que existen.	Button (2002)
g. De fácil cuantificación y medible de forma fiable	Graymore et al. (2008),
h. Uniforme y coherente de los indicadores para todas las ciudades.	Button (2002)
i. Con disponibilidad de datos.	Oh et al (2005) Graymore (2010), Shi et al. (2013)

Fuente: Elaborado con base en Wei et al. (2015a)

Los criterios del Cuadro 1 son muy generales y accesibles para la diversidad de estudios urbanos, por lo que, Wei et al. (2015) mencionan que es importante tener una separación y organización en dimensiones y factores a los indicadores para tener un mayor control de los datos que se requieren para los objetivos de la investigación.

A continuación, el Cuadro 2 muestra las dimensiones y factores para evaluar la capacidad de carga en el entorno urbano, se encuentra clasificado en dimensiones de área para poder subdividir factores y variables a las que pertenecen y enseguida las referencias de los autores que en sus estudios de la capacidad de carga urbana consideraron para su objeto de investigación e importancia para evaluar al entorno urbano.

Cuadro 2. Dimensiones y factores de la Capacidad de Carga Urbana

Dimensiones	Áreas y factores de evaluación	
Impactos ambientales y recursos naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas verdes: <ul style="list-style-type: none"> a) Cobertura de áreas verdes en la ciudad b) Áreas verdes per cápita 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos del agua 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos de la tierra: <ul style="list-style-type: none"> a) Suelo urbano per cápita b) Terrenos constructivos per cápita c) Zonas de arado 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Biodiversidad 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad ambiental del aire: <ul style="list-style-type: none"> a) Índice de calidad el aire b) Concentración de contaminantes en la atmosfera 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos y consumo energético: <ul style="list-style-type: none"> a) Intensidad de uso de energía 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento de residuos y sistema de reciclaje de residuos <ul style="list-style-type: none"> a) Tasa de eliminación y reciclado de residuos solidos b) Tasa de eliminación y reciclado de aguas residuales c) Tasa de cobertura del área de ruido 	
	Infraestructura y servicios urbanos	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios municipales básicos como agua, electricidad, gas, vías de comunicación: <ul style="list-style-type: none"> a) Longitud de tubería de agua, drenaje y cable b) Accesibilidad a los servicios públicos c) Desglose de frecuencia
		<ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones culturales y recreativas: <ul style="list-style-type: none"> a) Numero de bibliotecas públicas/museo/parque per cápita b) Cobertura de instalaciones recreativas cercanas al hogar
		<ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones deportivas
<ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones educativas del gobierno local 		
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de vivienda: 		
<ul style="list-style-type: none"> a) Calidad de construcción de vivienda 		
<ul style="list-style-type: none"> • Espacio de planta per cápita 		
<ul style="list-style-type: none"> • Servicios médicos: 		
<ul style="list-style-type: none"> a) Esperanza de vida de la población 		
<ul style="list-style-type: none"> b) Número de camas por piso/ personal médico per cápita 		
<ul style="list-style-type: none"> c) Tasa de cobertura de servicio de salud comunitario 		
<ul style="list-style-type: none"> • Servicios de transporte público: 		
<ul style="list-style-type: none"> a) Longitud y áreas de las vías per cápita 		
<ul style="list-style-type: none"> b) Tasa de transporte público 		
<ul style="list-style-type: none"> c) Tiempo promedio de desplazamiento 		
<ul style="list-style-type: none"> d) Tarifa de estacionamiento 		

continúa

	<ul style="list-style-type: none"> • Disparidades entre ricos y pobres: <ul style="list-style-type: none"> a) Coeficiente de Gini
	<ul style="list-style-type: none"> • Vivienda asequible: <ul style="list-style-type: none"> a) Relación precio ingreso de la vivienda b) Tasa de renta media del ingreso familiar por vivienda c) Tasa de hogares con vivienda promedio de 10 m² per cápita d) Porcentaje de vivienda ordinaria con productos básicos de bajo costo y económicamente asequibles en el total de viviendas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad pública: <ul style="list-style-type: none"> a) Tasa de criminalidad baja b) Tasa de detección de casos criminales
	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad de alimentos y medicamentos: <ul style="list-style-type: none"> a) Tasa de verificación para el monitoreo de la calidad de los alimentos b) Tasa de apropiación de la verificación de medicamentos
	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de seguridad social: <ul style="list-style-type: none"> a) Tasa de cobertura de seguridad social b) Muerte de ingresos bajos, incluyendo ancianos y discapacitados con acceso a subsidios por parte del gobierno
	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidad Cultural: <ul style="list-style-type: none"> a) Número de eventos culturales
	<ul style="list-style-type: none"> • Número de sitios históricos y culturales
	<ul style="list-style-type: none"> • Democracia en la toma de decisiones políticas
Capacidad de carga institucional	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema para la prevención de conflictos sociales
	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicación política y transparencia de información al público
	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento económico: <ul style="list-style-type: none"> a) PIB b) PIB per cápita c) Tasa de consumo final
	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de crecimiento del ingreso disponible en los hogares
	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad financiera del gobierno local para programas y proyectos: <ul style="list-style-type: none"> a) Gasto del gobierno para la salud, educación, protección del ambiente
	<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso fiscal público <ul style="list-style-type: none"> a) Tasa de crecimiento de los ingresos fiscales b) Superávit fiscal
	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad técnica del gobierno local para completar en tiempo los programas y proyectos
	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de empleo <ul style="list-style-type: none"> a) Tasa de empleo b) Tasa de desempleo registrada
	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura económica: <ul style="list-style-type: none"> a) Productos de la industria de servicios como porcentaje del PIB b) Gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB c) Porcentaje de empleo en industrias terciarias en el total del empleo
	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo y costo de vida para hogares promedio: <ul style="list-style-type: none"> c) Coeficiente de Engle

Fuente: Elaborado con base en Wei et al. (2015a)

1.2.2. Evaluación y selección de indicadores de la capacidad de carga

El siguiente paso es determinar los puntos de referencia para permitir el monitoreo, la medición y el ajuste a través de estándares de sustentabilidad para la conciliación de los objetivos del trabajo, crecimiento urbano sostenible y la ocupación adecuada del territorio.

a) Entandares de sustentabilidad

Es necesario un conjunto de puntos de referencia, normas y estándares para las evaluaciones cualitativas o cuantitativas de las condiciones de la CC para determinar los puntos de referencia y la evaluación de los indicadores (Lee, 2006). Para evaluar los indicadores, se establecen diferentes métodos de comparación de acuerdo con el tipo de estándar utilizado para cada indicador.

El Cuadro 3 muestra una estandarización de las variables por el Método Directo empleado por el Centro Mario Molina, el cual se desarrolla mediante la asignación natural de pesos a los factores, en este proceso, se puede jerarquizar la importancia relativa de cada factor en función de los objetivos que se pretende conseguir, para determinar la capacidad de carga.

Los pesos son automáticamente normalizados en este método y los pesos asignados, también dependen de los criterios tomados por el investigador y de los objetivos que sea desean conseguir para la investigación, más adelante se enlistan las referencias internacionales y nacionales en las que brindan límites permisibles para el mejor uso del suelo y para la evaluación de la capacidad de carga urbana.

b) Normalización de los indicadores

Una parte fundamental para la evaluación de la CC consiste en la normalización, ponderación y agregación de los indicadores con el objetivo de estandarizarlos y poder compararlos entre sí. Los indicadores se encuentran en diferentes unidades y rangos numéricos; por lo tanto, es importante normalizarlos para que sean comparables entre sí (CCM, 2015).

Se realiza una normalización de indicadores de tal manera que los resultados queden entre cero y cien, siendo cien la mejor puntuación y cero la peor. Para realizar la normalización se utilizan cinco métodos diferentes, dependiendo del tipo de indicador que se tenga (CCM, 2015).

- 1- se utiliza para los indicadores con límites mínimos o máximos deseable, los cuales equivalen a cien en la normalización. De esta forma, conforme el valor del indicador se

aleja del límite deseado en una sola dirección, su valor disminuye linealmente hasta llegar a cero.

- 2- Se utiliza cuando se tiene un estándar deseable y conforme el indicador se aleja de ese valor, ya sea en dirección positiva o negativa, disminuye el valor de la normalización de forma lineal hasta convertirse en cero.
- 3- En vez de tener un estándar deseable puntual como en el método número dos, se tiene un rango deseable que equivale al cien. El resto de la normalización ocurre de la misma forma que en el segundo método.
- 4- En caso de desconocer el estándar deseable, este método permite utilizar los valores más altos y bajos observados en la muestra para comparar los indicadores, resultandos equivalentes a cien y cero respectivamente.
- 5- Es similar al tercero, pero invierte los valores otorgados. Es decir, que el valor observado más alto significa cero y el más bajo cien.

Las ecuaciones utilizadas para la normalización se representan a continuación (CCM, 2015).

Donde:

y = valor normalizado del indicador

x_{ind} = valor original del indicador

x_{max} = valor del estándar máximo

x_{min} = valor del estándar mínimo

$$y = \frac{x_{ind} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} * 100$$

$$y = \frac{x_{max} - x_{ind}}{x_{max} - x_{min}} * 100$$

c) Ponderación de resultados

La ponderación consiste en asignar cierto peso por factor determinante para poder obtener un resultado que resuma los resultados de los factores determinantes en un solo valor, a manera de ejemplo el Centro Mario Molina (2015) realizó diversas ponderaciones con el fin de comparar su impacto en los resultados y estas fueron: mismo peso a todos los factores determinantes, más peso a los factores determinantes de la dimensión de infraestructura y servicios urbanos, más peso a los factores determinantes de la dimensión ambiental, más peso a los factores determinantes de la dimensión social, institucional y económica, y menos peso a los factores determinantes que tuvieran menos información disponible. (Centro Mario Molina, 2015:18)

Dichas ponderaciones pueden establecer un ranking en materia de CC y con el análisis por factor determinante, se pueden identificar aquellas áreas de oportunidad en las que las zonas metropolitanas y/o los municipios y delegaciones que las conforman requieren de acuerdos, así como de esfuerzos adicionales por parte de los involucrados, para no comprometer el futuro de sus ciudades (Centro Mario Molina, 2015).

Cuadro 3. Estándares mexicanos de la Capacidad de Carga Urbana sustentable

Método de comparación	Indicador	Estándar deseado	Referencia
Estándares nacionales	Dotación de agua potable per cápita	200-300 l/hab./día	CONAGUA (2012)
	Volumen recibido de RSU para disposición de acuerdo con la normativa	100%	SEMARNAT NOM-083
	Población con acceso a hospitales	En la ciudad	SEDESOL TOMO II
	Población con acceso a clínicas de salud	En la ciudad	SEDESOL TOMO II
	Población con acceso a educación preescolar	750 m	SEDESOL TOMO I
	Población con acceso a educación primaria	500 m	SEDESOL TOMO I
	Población con acceso a educación secundaria	1000 m	SEDESOL TOMO I
	Población con acceso a educación media superior	5000 m	SEDESOL TOMO I
	Población con acceso a educación superior dentro	En la ciudad	SEDESOL TOMO I
	Población con acceso a áreas verdes urbanas	350 m	SEDESOL TOMO I
Estándares internacionales	Índice de sensibilidad a desastres naturales	Muy Bajo	CMM (2014)
	Superficie de áreas verdes per cápita	15 m ²	Vijai y Pandey (2010)
	Proporción entre áreas verdes en el área urbana	10%	Natuhara y Morimoto (2005)
	Concentraciones de PM _{2.5}	10 µg/m ³	OMS (2014)
	Concentraciones de NO ₂	40 µg/m ³	OMS (2014)
	Densidad demográfica (bruta)	273 hab./ha	INEGI, CABA (2012), CPRE (2006) Ministerio del Medio Ambiente (2007)
	Densidad total viviendas	70 viv./ha	CABA (2012), CPRE (2006), Ministerio del Medio Ambiente (2007)
Porcentaje	Viviendas deshabitadas	5%	Vinuesa (2008)
	Cobertura de viviendas con agua potable entubada	100%	NA
	Eficiencia física de la red de agua potable	80%	CONAGUA (2012)
	Capacidad instalada de tratamiento de aguas residuales	100%	NA
	Volumen de agua tratado respecto al producido	100%	NA

continúa

	Índice de disponibilidad de agua	100%	NA
	Viviendas particulares habitadas con conexión al drenaje	100%	NA
	Viviendas particulares habitadas con luz eléctrica	100%	NA
	Relación entre volumen exportado y volumen generado de RSU	0%	NA
	Viviendas atendidas de recolección de RSU	100%	NA
	Población con acceso a transporte público	100%	NA
Mejor y peor desempeño de la muestra	Consumo eléctrico doméstico, de alumbrado público y bombeo de agua per cápita	Mejor desempeño	NA
	Consumo eléctrico industrial y de servicios per VACB	Mejor desempeño	NA
	Generación diaria de RSU per capita	Mejor desempeño	NA
	Emisiones GEI per capita	Mejor desempeño	NA
	Tasa de crecimiento anual de la huella urbana	Mejor desempeño	NA
	Proporción entre inversión pública y gastos corrientes	Mejor desempeño	NA
	Proporción entre deuda y gastos totales	Mejor desempeño	NA
	Disponibilidad de recursos para inversión por km ²	Mejor desempeño	NA
	Estimación de la capacidad financiera propia del municipio	Mejor desempeño	NA
	Valor agregado censal bruto por km ²	Mejor desempeño	NA
	Valor agregado censal bruto por persona ocupada	Mejor desempeño	NA
	Proporción entre la población ocupada y la población económicamente activa	Mejor desempeño	NA
	Valores de suelo promedio por m ²	Mejor desempeño	NA
Binarios	Reporte de la existencia de un PMDU	Sí	NA

Fuente: Elaborado con base en CCM (2015)

1.3. Planeación del uso del suelo

Es indispensable para esta investigación entender, diferenciar y conceptualizar el ordenamiento y la planeación territorial; el *Ordenamiento Territorial u Ordenación Territorial* (OT) identifica, distribuye, organiza y regula las actividades humanas en el territorio, que, a su vez, debe estar ordenado para diferentes usos. El OT, es un instrumento fundamental para el desarrollo y puede interpretarse como la proyección en el espacio de las políticas económica, social, cultural y ambiental; en este sentido el estilo de desarrollo definido por tales políticas se plasma en las actividades (usos de suelo), que se localizan en el territorio, los asentamientos poblacionales y en los canales de relación (Gómez, 2007); sus objetivos fundamentales son: el desarrollo socioeconómico, el equilibrio de los usos del suelo del territorio, la mejora de la calidad de vida, la gestión responsable de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y la utilización racional del territorio.

La Planeación Territorial (PT), es un proceso técnico-estratégico orientado hacia el futuro, la planeación permite prever y decidir, las acciones que nos pueden llevar desde el presente hasta un futuro deseable. El objetivo de la PT, es la toma de decisiones basada en criterios racionales que definen la estructura espacial (forma de utilización del suelo, redes formadas por los núcleos de población y por los canales que conectan el conjunto) en la que se han de ubicar las actividades propiciadas por las políticas de desarrollo (Gómez, 2007). Es importante aprovechar esta disciplina científica, con la finalidad de gestionar responsablemente los recursos naturales, aprovechar racionalmente el territorio y proteger al medio ambiente.

En México existen diferentes leyes que apoyan a la planeación del territorio, entre ellas, la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, esta ley define y norma principios para determinar la orientación del crecimiento urbano, así como, demarcaciones territoriales para la planeación de la fundación, crecimiento, mejoramiento, consolidación y conservación de los centros de población y asentamientos humanos en todo el país (Artículo 1, fracción III y IV), por otro lado se tiene a la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente la cual reglamenta y define los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación, esta ley busca garantizar un aprovechamiento equilibrado de los recursos naturales, preservación, restauración del suelo, agua y demás recursos naturales de manera que sean compatibles con la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas (Artículo 1, fracción II y V).

En cuanto a la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente cuenta con un reglamento en materia de *Ordenamiento Ecológico Territorial*, esta tiene por objeto la formulación,

aplicación, expedición, ejecución y evaluación del programa de ordenamiento ecológico general del territorio y de los programas de ordenamiento ecológico marino, en coordinación con las dependencias y entidades federales (Artículo 1, fracción I y II).

Sánchez et al. (2013) mencionan que la transformación territorial que ha vivido México durante el siglo XX, ha traído consigo la constitución de un territorio desequilibrado con marcadas limitaciones en la integración y articulación de las actividades humanas, expresadas en: la existencia de conflictos funcionales, dificultades de accesibilidad a los sitios de explotación de los recursos naturales y a las zonas potencialmente productivas, la aparición de fuertes manifestaciones de contaminación, desequilibrios ecológicos e insolencia a la naturaleza, explotación irracional de recursos, deficiente protección, conservación, recuperación del patrimonio natural, desintegración entre regiones, en el campo y entre el campo y la ciudad, lo que ha marcado el deterioro progresivo de las zonas rurales.

Este uso intensivo, desordenado e indiscriminado de los recursos naturales, ha provocado agotamiento, destrucción y degradación de la tierra y sus recursos, creando un desequilibrio que afecta a la integridad del medio ambiente. El suelo actual no tiene una vocación propia, es utilizado con muchos fines sin considerar si las actividades que se están desarrollando son compatibles o conflictivas, provocando una competencia entre ellas, lo que conlleva a un enfrentamiento y fuertes problemas por: la transformación espacial de los paisajes naturales, ampliación de la frontera agrícola, alteración en los sistemas ecológicos, erosión y degradación de suelos, deforestación, malas prácticas agroproductivas, expansión de áreas urbanas hacia zonas de valor ambiental, sobrepastoreo, uso indiscriminado de agroquímicos para mejorar la producción agrícola, etc. Bajo este contexto, es poco acertado el hecho de que en México las tierras con aptitud para el uso agrícola como valles, llanuras, tierras planas estén siendo usadas en su mayoría para fines pecuarios, mientras que los suelos con fuertes pendientes y páramos se utilicen para la agricultura. Las consecuencias del desordenado manejo de este recurso, es una liberación del territorio rural, lo que ha generado la introducción de nuevas actividades.

En este sentido, se dan dos conceptos: lo urbano y lo rural, a este último se puede considerarlo como un espacio destinado únicamente a las actividades agrícolas, con funcionalidades y estructuras complejas, pues contienen recursos naturales muy frágiles que pueden subutilizarse o perderse, este espacio suele ser considerado muy vulnerable y deseado por sus características naturales, ya que generan una oferta que puede satisfacer una demanda creciente para el desarrollo urbano. Es decir, la presión de la expansión de las ciudades hacia el territorio rural se vuelve una amenaza que debe prevenirse y planificarse adecuadamente. Debido al cambio tan acelerado del uso del suelo, se han generado conflictos entre la vocación del territorio y su destino, entre los

intereses de propietarios, grupos ambientalistas, agricultores, promotores, organizaciones o asociaciones privadas e instituciones directamente implicados en esta problemática, (Gómez, 2007). Para poder dar solución a estos conflictos es necesario desarrollar a largo plazo una política de planeación y ordenación del suelo rural, con capacidad, más que de adaptación ante el cambio, de anticipación al cambio; que contemple la problemática esbozada de forma integral e integrada, que coordine las acciones de las entidades del Estado dentro de un planeamiento global y unitario, orientado al desarrollo integral.

En relación con lo anterior; es necesario acoger una adecuada planeación y gestión del uso del suelo que absorba los rápidos cambios que está experimentando el suelo rústico, mediante la implementación de normas reguladoras que definan su nuevo rol, que como ya se mencionó es un recurso natural no renovable.

1.3.1. Modelos de planeación de uso del suelo

Van Lier (1998a) explica que el objetivo de planificar el uso del suelo es para obtener el mejor provecho posible de los recursos naturales, valorando las necesidades y la capacidad de la tierra para satisfacerlas, identificando y resolviendo conflictos entre usos competitivos y buscando soluciones sostenibles. También, Van Lier (1998b) destaca la importancia de la planeación de los usos del suelo en el desarrollo de sistemas rurales sostenibles.

Por otro lado, la Food and Agriculture Organization of the United States (FAO, 1993), define a la planeación de usos del suelo como la valoración sistemática del potencial de la tierra, las alternativas de uso del suelo y las condiciones socioeconómicas para seleccionar y adoptar las mejores opciones de uso del suelo. Adicionalmente “los planes de uso del suelo proporcionan una identificación de lo que es posible en relación con la tierra y cómo debería procederse para ir del uso actual de la tierra al futuro” (De Ridder e Ittersum, 1998 citando en Santacruz, 2015).

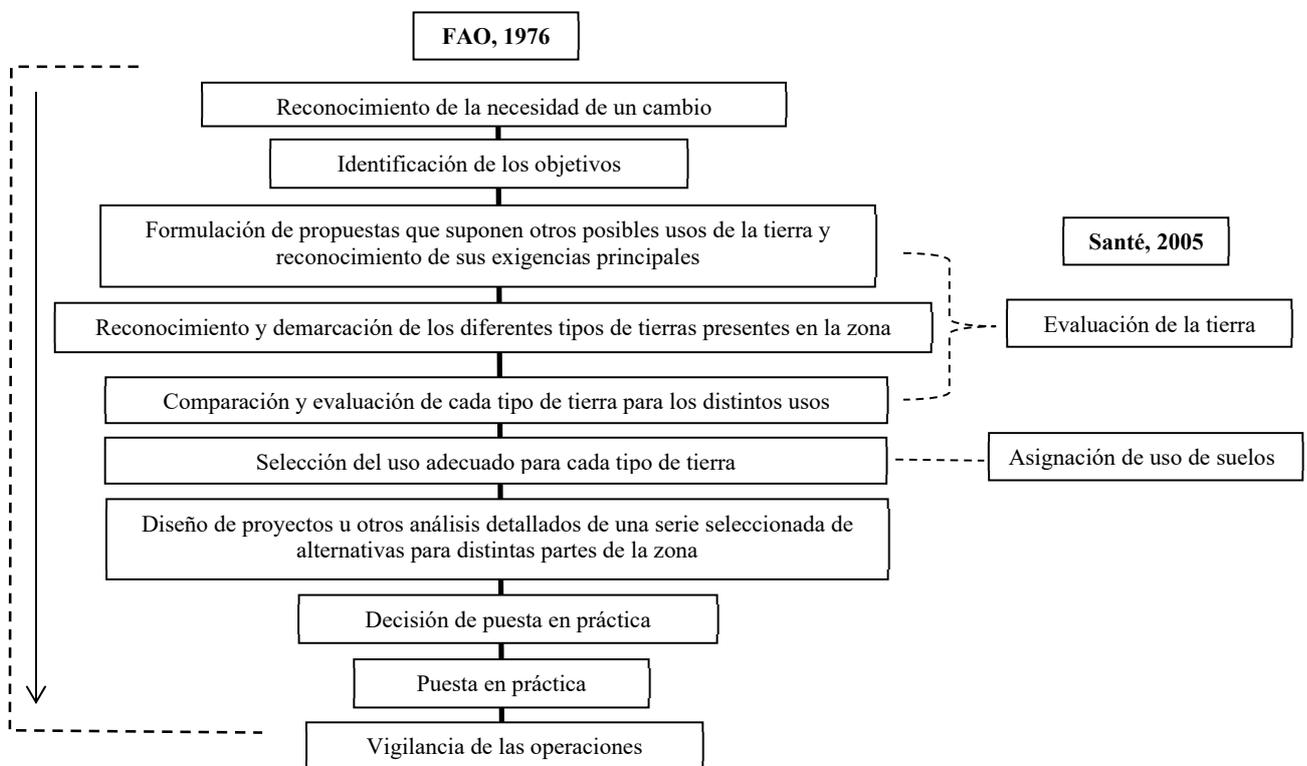
Gómez (2007) establece como objetivo de la ordenación del territorio la organización coherente, entre sí y con el medio, de las actividades en el espacio, con un criterio de eficiencia. En FAO (1993) se identifican tres objetivos; eficiencia, aceptabilidad y sostenibilidad. La eficiencia se consigue asignando los diferentes usos a las tierras para producir mayores beneficios con el menor costo posible. La aceptabilidad consiste en que el uso del suelo debe ser socialmente aceptado. La sostenibilidad del uso del suelo implica satisfacer las necesidades del hoy y al mismo tiempo conservar los recursos para las generaciones futuras.

En el Marco de Evaluación de la Tierra que propone la FAO (1976), se enumeran como principales etapas en un proceso de planeación del uso de tierras las siguientes: i) reconocimiento de la

necesidad de un cambio, ii) identificación de los objetivos, iii) formulación de propuestas que suponen otros posibles usos de la tierra y reconocimiento de sus exigencias principales, iv) reconocimiento y demarcación de los diferentes tipos de tierras presentes en la zona, v) comparación y evaluación de cada tipo de tierra para los distintos usos, vi) selección del uso adecuado para cada tipo de tierra, vii) diseño de proyectos u otros análisis detallados de una serie seleccionada de alternativas para distintas partes de la zona, viii) decisión de puesta en práctica, ix) puesta en práctica; y, x) vigilancia de las operaciones.

Por otro lado, Santé (2005), considera únicamente dos etapas en el modelo de ordenación de usos del suelo: la primera es la evaluación de tierras, en la que se evalúa la aptitud de la tierra para los usos considerados, y la segunda es la asignación de usos del suelo, en la cual, partiendo de los resultados de la etapa anterior, se resuelve la asignación óptima de usos a las unidades de tierra. La evaluación de tierras comprende la tercera, cuarta y quinta etapa del proceso de planeación descrito por la FAO (1976), mientras que la sexta etapa de este esquema se corresponde con la asignación de usos del suelo. A continuación, se presenta la Figura 8, esta muestra las etapas que propone la FAO sobre su Marco de Evaluación de la Tierra y los compara con el de Santé (2005).

Figura 8. Etapas para la planeación del uso de la tierra



Fuente: Elaborado con base en FAO (1976) y Santé (2005)

Los dos procesos que menciona Santé (2005) presentan una superposición y/o dependencia, pues se complementan y retroalimentan, debido a que los métodos que se pueden emplear, en ambos casos, integran en cierta medida ambas fases; los mapas de aptitud para usos específicos, resultantes de la evaluación de tierras, son usados directamente por los planificadores para la toma de decisiones.

Para los fines que persigue la construcción de esta metodología para la determinación de suelo de expansión urbana como categoría de ordenación territorial, se ha considerado fundamental profundizar el análisis y comprensión de los métodos utilizados para la evaluación de tierras, donde se valora su aptitud para los diferentes tipos de usos de suelo, a este proceso también se le conoce como la determinación de la capacidad de carga que tiene un territorio para receptor las actividades humanas.

A continuación, se presenta una revisión de las distintas técnicas y procedimientos que se han estudiado para evaluar la capacidad del territorio para receptor los diferentes tipos de usos de suelo, en los cuales se han identificado técnicas y metodologías con distintos objetivos y aplicaciones. Es importante mencionar que se ha prestado especial atención a los modelos y métodos integrados en los sistemas de información geográfica, ya que se han vuelto una herramienta fundamental para el análisis, evaluación e implementación de estos modelos.

1.3.2. Técnicas y procedimientos para evaluar la capacidad del territorio para nuevos usos

Uno de los aspectos más importantes de la planeación física del territorio es la designación de sitios aptos para un apropiado uso del suelo. A este proceso se puede entender como la determinación de la capacidad de carga, que, en concepto, es “el grado de idoneidad que presenta el territorio para una actividad, teniendo en cuenta a la vez, la medida en que el territorio satisface los requisitos locativos y los efectos sobre el medio” (Barredo y Bosque, 1995); en este sentido, un lugar tendrá mayor capacidad de carga cuando presente la mayor aptitud para receptor un uso de suelo o actividad y a su vez un menor impacto sea este social, económico y ambiental. Asimismo, la capacidad acogida, valora el potencial y las restricciones naturales para la instalación de una actividad o uso de suelo en un determinado espacio; este concepto ha sido muy utilizado en el ordenamiento territorial a través de los años.

En la práctica de la ordenación territorial y el planeamiento urbanístico este concepto se ha desarrollado sobre dos bases teóricas: el análisis de las aptitudes y el análisis de los impactos. El primero, se orienta a la valoración de las oportunidades que el medio ofrece al desenvolvimiento de la actividad humana, es una práctica básica en la planeación territorial. El segundo, el análisis

de los impactos, cuya base son las directrices de protección, parte de la valoración de la fragilidad del medio, a fin de establecer las limitaciones de uso que puedan impedir su deterioro. La integración de estas dos líneas de evaluación del territorio, la de aptitud y la de impacto, puede derivar en la elaboración de un modelo territorial ideal, en el que se optimice el aprovechamiento de los recursos y la implantación de las actividades. Este modelo se basa en los mismos conceptos de aptitud (que resume el grado de adaptación del medio a los requerimientos del objeto para el que es evaluado) e impacto (los efectos negativos que pueden derivarse de la implantación de las actividades).

El modelo de evaluación de la aptitud del suelo no se construye sobre un proceso cerrado, cuyo inicio es la formulación del objeto de la valoración y su fin la obtención de una propuesta única, sino a través de posibles alternativas y según diversos escenarios. Aunque esto complejiza enormemente el diseño del modelo, se avanza en la construcción de escenarios futuros, y el método puede dotarse de un aspecto predictivo. Para ello, metodológicamente, es necesario llegar a valoraciones con una desagregación muy elevada de juicios parciales. Considerando estos argumentos, se puede decir que, la utilización combinada de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), constituyen herramientas muy útiles para su aplicación en los procesos de evaluación de tierras. Así el método adquiere la máxima aplicabilidad posible, siendo posible investigar el número de alternativas y, en definitiva, facilitar la toma de decisiones.

Como se afirma, las ventajas de utilizar estas técnicas con SIG se sitúan en poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio, otorgándosele el peso y la proporcionalidad adecuada o necesaria en cada momento. Un atributo cualquiera contenido en cada una de las capas de información de un SIG, pueden ser dentro de él, ponderado como elemento positivo o negativo según un determinado objeto. Y puede igualmente ser valorado en conjunción con otros y en función de ello contrarrestado, potenciado o anulado. A su vez, en lo que concierne al proceso de evaluación, su diseño dentro de un SIG, permite aprovechar las potencialidades de éste en la interrelación de las capas de información requeridas (capas que darán lugar a criterios y factores) y sus utilidades de análisis/evaluación; de modo que sea factible su aplicación y revisión en otros escenarios espaciales con la mera adecuación de los datos, y en su caso de los procesos, a las nuevas condiciones geográficas o territoriales.

Con ello el método adquiere un carácter aplicado y una finalidad demostrativa y se convierte en una herramienta útil con la que se puede interactuar, el método es capaz de reorientar las evaluaciones de acuerdo con diferentes puntos de vista. Así los resultados serán válidos en función de los juicios y las valoraciones emitidas, teniendo cabida por tanto experimentar sobre resultados

alternativos, rectificar los juicios, considerar o no determinadas variables o criterios, etc. (Bosque y Moreno 2012).

Con estas consideraciones se puede concluir que un modelo adecuado para evaluar la capacidad del territorio, respecto a la implantación de nuevos usos, sería aquel que considere el análisis de la idoneidad del territorio para acoger diferentes formas de uso del suelo, en función del potencial y restricciones que esté presente (Santé, 2005) (Figura 8).

1.3.3. Modelos y técnicas para la evaluación

Los procesos para la evaluación de tierras pueden ser clasificadas en dos grupos principales: cualitativos y cuantitativos. Los métodos cualitativos como los sistemas expertos y métodos paramétricos; son muy flexibles y permiten una completa incorporación del conocimiento experto, sin embargo, poseen un gran nivel de subjetividad. Los métodos cuantitativos incluyen modelos estadísticos y metodologías de análisis multicriterio cuya característica principal es la capacidad para integrar juicios de valor en los procedimientos de toma de decisiones; también existen aproximaciones más recientes basadas en inteligencia artificial como, los sistemas borrosos, las redes neuronales, los algoritmos genéticos y los autómatas celulares. (Beguería y Lorente, 2003; de la Rosa, 2004; Guzzetti, 1999 en Lamelas 2009). Tanto los métodos cuantitativos como cualitativos tienen ventajas e inconvenientes, por lo tanto, la elección de una u otra metodología debe basarse en numerosos factores como son; la disponibilidad y calidad de la información necesaria para llevar a cabo los modelos, la posibilidad que obtener información para su validación, la adecuación de la información disponible a la zona de estudio y el objetivo final de los modelos.

a) Aproximaciones cualitativas:

En muchas aproximaciones cualitativas, una clasificación formal se consigue mediante la aplicación del factor más limitante, especificando el grado de aptitud o vulnerabilidad del suelo. Ello conlleva un conocimiento de las condiciones óptimas del uso de la tierra y de las consecuencias de las desviaciones de este óptimo (Verheye, 1988 en Lamelas, 2009). Estos sistemas relativamente simples de evaluación de tierras dependen pues en buena medida de la experiencia y del conocimiento intuitivo y representan verdaderos modelos empíricos. El sistema de “Capacidad de Uso del Suelo” (USDA, 1961) y sus diversas adaptaciones, son típicas metodologías cualitativas de evaluación de tierras, que se han utilizado ampliamente en diversas partes del mundo (Santé y Crecente 2005).

b) Sistemas expertos:

Los sistemas expertos son programas de ordenador que simulan las habilidades de uno o varios expertos para solucionar problemas en un determinado campo y dan soluciones ese problema. Estos sistemas expresan conocimiento deductivo por medio de árboles de decisión. Los árboles expertos de decisión están basados en antecedentes científicos (descripción teórica) y resultan de la experiencia y discusiones entre expertos (experiencia práctica); como consecuencia, reflejan el conocimiento experto disponible. Los árboles de decisión son llaves jerárquicas en las que las hojas son las elecciones (las clases/gamas), tal como los niveles característicos de generalización, y los nodos interiores del árbol son los criterios de la decisión. Estos árboles de clasificación y de regresión han sido típicamente utilizados en investigaciones sobre suelos y recursos naturales (de la Rosa et al., 2004). Sistema MicroLEIS, desarrollado por de la Rosa et al., (2004) presentan algunos modelos que son buenos ejemplos de aplicación de esta metodología.

c) Métodos paramétricos:

Los métodos paramétricos pueden ser considerados como una fase de transición entre los métodos cualitativos, basados en juicios expertos, y los modelos matemáticos. Tienen en cuenta las interacciones entre los factores más significativos mediante la simple multiplicación o adición de índices de los factores (de la Rosa et al., 2004). Uno de los ejemplos más conocidos de esta metodología es la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (Universal Soil Loss Equation –USLE) (Wischmeier y Smith, 1978) para la susceptibilidad a la erosión.

d) Modelos estadísticos:

En la evaluación de tierras, los modelos estadísticos son potentes métodos empíricos para la predicción de la idoneidad o potencialidad del territorio en función de las características del terreno. Las aproximaciones estadísticas están orientadas a datos y sus resultados no implican una relación causa-efecto (pero pueden dar certeza a hipótesis bien enunciadas). Además, con la introducción de variables adecuadas, los modelos estadísticos pueden dar resultados satisfactorios para una determinada área de estudio; sin embargo, sus conclusiones difícilmente pueden ser aplicadas a otros lugares, o usadas para probar escenarios de simulación. En la bibliografía científica se ha observado una presencia de diferentes aproximaciones estadísticas multivariante incluyendo regresión lineal, análisis discriminante y regresión logística. La naturaleza de la variable dependiente y las independientes debe determinar la selección del método más apropiado (Beguería y Lorente, 2003). La técnica de regresión logística que ha sido utilizada en este trabajo para la evaluación de la susceptibilidad a la aparición de fenómenos de dolina pertenece a este tipo de metodologías (Lamelas, 2009).

e) Técnicas de evaluación multicriterio:

La Evaluación Multicriterio (EMC) puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones (Barredo y Bosque, 1995). El fin básico de las técnicas de EMC es comparar una serie de alternativas en función de varios criterios teniendo en cuenta las preferencias del usuario. El análisis multicriterio proporciona el marco adecuado para la integración de los distintos factores (medio ambiente, economía y sociedad) que intervienen en la planeación, diseño y gestión del uso del suelo. Entre las ventajas que presentan los métodos multicriterio para la gestión de usos del suelo pueden citarse las siguientes (Beinat y Nijkamp, 1998 en Santacruz, 2015):

- Permite el análisis de múltiples decisiones alternativas y opciones de uso del suelo
- Los resultados de las distintas opciones pueden presentarse de distintas formas.
- Permite entender y justificar las cuestiones implicadas en una decisión
- Hace posible el análisis de las ventajas e inconvenientes de cada opción
- Posibilita que la opinión de los diferentes agentes implicados sea considerada, identificando conflictos potenciales en una fase inicial del proceso
- Ofrece la posibilidad de analizar la sensibilidad y robustez de las diferentes elecciones

Como inconvenientes de estas técnicas, Voogd (1983) ha señalado la complejidad de las operaciones matemáticas, las suposiciones implícitas a los distintos métodos, la imposibilidad de cuantificar gran parte de los criterios y la reducción de las cualidades de las alternativas a un número.

f) Técnicas basadas en inteligencia artificial:

En la última década se han desarrollado diversos paradigmas que integran componentes de la inteligencia artificial y SIG. Estos modelos híbridos incluyen principalmente la integración de los sistemas borrosos, las redes neuronales, los algoritmos genéticos y los autómatas celulares. Todos estos modelos, se enmarcan en la denominada inteligencia computacional (Malczewski, 2004).

Los sistemas borrosos, emulan el razonamiento aproximado de nuestro cerebro, permitiendo manejar conceptos vagos e imprecisos como los empleados en la vida cotidiana. Esta teoría está diseñada para tratar problemas, elementos, clases, etc., sin límites bien definidos y se sustenta en la idea de que el mundo no está compuesto por partículas elementales indivisibles y discretas, sino que se trata de un continuo con diferentes propiedades en diferentes localizaciones (Gómez y Barredo, 2005). Las redes neuronales muestran una gran capacidad para tratar con sistemas multivariante no lineales. Además, pueden procesar las pautas de entrada nunca presentadas, de

manera casi igual al cerebro humano. Recientemente, han surgido conexiones entre las técnicas de redes neuronales y sus aplicaciones en ingeniería, agricultura y ciencias ambientales (de la Rosa, 2004).

Los Algoritmos Genéticos son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización de información. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos, a lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes. (Teoría de Darwin, 1859). Por imitación de este proceso, los algoritmos genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de estas (Malczewski, 2004).

Los autómatas celulares permiten simular ciertos fenómenos complejos con la integración de células finitas, que interactúan de acuerdo con reglas simples basadas en consideraciones heurísticas. Las reglas de interacción que generalmente se aplican a los vecinos inmediatos, pueden o no guardar una semejanza con las leyes físicas que gobiernen el fenómeno.

1.3.4. Análisis de la idoneidad del territorio para nuevos usos del suelo

El propósito de este análisis es el identificar el modelo espacial más apropiado para la localización de futuros usos del suelo, de acuerdo con requerimientos y preferencias específicos.

En este contexto, el análisis de la idoneidad del terreno para acoger usos del suelo basado en SIG ha sido ampliamente utilizado en una gran variedad de situaciones; incluyendo estudios ecológicos y geológicos, idoneidad de actividades agrícolas, evaluación de impacto ambiental, localización óptima de diferentes infraestructuras y planeamiento regional (Collins et al., 2001; Hoppe et al., 2006; Jankowski, 1995; Malczewski, 2004; Pereira y Duckstein, 1993).

Cualquier proceso de planeamiento debe orientarse a la incorporación de una mezcla de información objetiva y subjetiva. La información objetiva se deriva de hechos comentados, estimaciones cuantitativas e investigaciones sistemáticas de opinión; la información subjetiva representa las opiniones (preferencias, prioridades, juicios, etc.) de los grupos de interés y los centros de decisión. La idea de combinar los elementos subjetivos y objetivos de todo proceso de planeamiento en un sistema informatizado recae sobre el concepto de Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SDSS, Spatial Decision Support System) (Malczewski, 2004). Pueden ser definidos como un sistema informatizado, interactivo, diseñado para apoyar a un usuario o grupo de usuarios a alcanzar un alto grado de efectividad en la toma de decisiones, mientras soluciona un problema de decisión espacial semiestructurado (Malczewski, 2004). Un SDSS también se refiere

a la combinación de metodologías sofisticadas para el apoyo a la toma de decisiones (técnicas de EMC y SIG) (Gómez y Barredo, 2005; Malczewski, 2004; Marinoni, 2005; Jankowski, 1995).

Los trabajos de Voogd (1983), Janssen y Rietveld (1990), Carver (1991), Can (1993), Pereira y Duckstein (1993), Barredo y Bosque (1995), Bosque et al., (1999), Thill (1999), Eastman et al., (1993), entre mucho otros, indican la tendencia de integración de técnicas de EMC y SIG, tratando de solventar de algún modo las carencias analíticas de los SIG (Gómez y Barredo, 2005 citado en Lamelas, 2009).

Las metodologías de EMC, definen una relación en los datos de entrada y los de salida. Estas metodologías implican la utilización de información geográfica, las preferencias del agente de la decisión y la manipulación de esta información y preferencias de acuerdo con unas reglas de decisión específicas.

Anteriormente las metodologías de EMC han sido duramente criticadas por su subjetividad. Sin embargo, es importante acotar que las decisiones sobre los usos del suelo son tomadas por agentes, que son los que finalmente asignan los diferentes usos, por lo que, el proceso de toma de decisiones siempre tendrá una parte importante de subjetividad. Las metodologías de evaluación multicriterio han hecho un gran esfuerzo por introducir tanta objetividad cómo es posible en un proceso altamente subjetivo.

Sin embargo, la integración de estas técnicas sigue planteando ciertos problemas o inconvenientes en el momento de realizar aplicaciones específicas. Entre los inconvenientes más notables destacan (Gómez y Barredo, 2005):

- La imposibilidad de aplicación de los métodos de EMC basados en la comparación por pares con largas series de datos, debido a las restricciones que plantean los actuales sistemas informáticos en este sentido.
- La dificultad que presentan algunos métodos de EMC en su implementación metodológica, lo que genera por consiguiente un difícil análisis de los resultados, así como un desconocimiento del procedimiento interno de los métodos por parte de usuarios no especialistas en EMC.
- La necesidad de generar en muchos de los casos programas de procesamiento de los datos anexos a los SIG, basados en algoritmos que describan los métodos de EMC, lo que

obviamente ocasiona que muchos usuarios de estos sistemas no puedan acceder a dichos métodos.

Existen en la bibliografía científica diferentes intentos de clasificar los métodos de decisión multicriterio por diversos autores (Gómez y Barredo, 2005, Jankowski, 1995; Malczewski, 1999; Pereira y Duckstein, 1993; Voogd, 1983). Unos diferencian entre multiatributo y multiobjetivo, mientras otros distinguen entre técnicas compensatorias y no compensatorias, así como deterministas o borrosas.

La mayoría coincide en que las reglas aditivas de decisión (Sumatoria Lineal Ponderada, Análisis de la Concordancia, Jerarquías Analíticas, etc.) son los métodos para la toma de decisión multiatributo más conocidos y ampliamente utilizados en el proceso de toma de decisiones basado en la utilización de SIG, y se detallan a continuación:

- La Sumatoria lineal ponderada (Simple Additive Weighting methods SAW or Weighted Linear Combination, WLC) es la técnica más comúnmente utilizada para llevar a cabo la toma de decisiones espaciales multiatributo. Esta técnica aditiva y compensatoria está basada en el concepto de media ponderada.
- El método de Sumatoria lineal ponderada ordenada (Ordered weighted average, OWA) se incluye en algunos casos en las técnicas borrosas, pero más que un método borroso, sería una generalización de tres tipos básicos de funciones de agregación: la intersección de conjuntos borrosos, la unión de conjuntos borrosos y los operadores de medias.
- El método de Jerarquías analíticas (Analytical Hierarchy Process, AHP), desarrollado por Saaty (1977), también se trata de una técnica aditiva y compensatoria que está basada en tres principios: descomposición, juicio comparativo, síntesis de prioridades.
- Los métodos de concordancia (Concordance methods) están basados en la comparación por pares de alternativas, de la cual se deriva una clasificación ordinal.

Estos métodos también son conocidos como técnicas de superación (Outranking techniques).

- El Análisis del Punto Ideal (Ideal point) ordena un conjunto de alternativas a partir de su separación del punto ideal que se considera inalcanzable; posteriormente es comparada la distancia entre cada alternativa y el ideal en un espacio multivariado, donde cada criterio

representa un eje. El punto ideal puede ser considerado tanto como uno o muchos puntos posibles que pueden ser usados para ordenar un grupo posible de alternativas. Este análisis se encuentra incluido en las técnicas compensatorias basadas en la aproximación al punto ideal.

- El método TOSIS (Technique for order Preference by Similarity to Ideal Solution), también incluido en las técnicas compensatorias basadas en la aproximación al punto ideal, sustenta su funcionamiento en el cálculo de las distancias al punto ideal y al punto anti-deal; la mejor alternativa sería, la más lejana posible a este punto.

En el contexto del análisis de la idoneidad o capacidad del terreno para determinados usos del suelo es importante diferenciar entre el problema de la selección de alternativas óptimas y el problema de búsqueda de localización óptima. El propósito del análisis de alternativas óptimas es identificar la mejor localización para una determinada actividad, dado un grupo de localizaciones posibles.

A pesar de la existencia de diversas metodologías, los métodos para la toma de decisiones multicriterio tienen ciertos aspectos en común. Las alternativas representan las diferentes elecciones de acción de los agentes de decisión. Los atributos múltiples representan el nivel más bajo de los criterios de decisión; se asignan pesos de decisión a dichos atributos. Normalmente, estos pesos se normalizan para sumar la unidad (Gilliams et al., 2005 en Santacruz, 2015). Por tanto, un problema fundamental en la teoría de la decisión es cómo asignar pesos a un conjunto de criterios de acuerdo con su importancia. Un método para la evaluación de pesos, excelente y ampliamente conocido, es el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Este método, se usa para el análisis de localización y alternativa óptima, para la asignación de los pesos, implica la comparación de pares de criterios para la creación de una matriz ratio. Específicamente, los pesos son determinados mediante la normalización del autovector asociado con el autovalor de la matriz ratio.

El procedimiento consiste en tres pasos principales: i) generación de la matriz de comparación de pares, ii) el cálculo de los pesos de los criterios; y, iii) la estimación del índice de consistencia (Saaty, 1977). Aplicaciones empíricas sugieren que este método de comparación por pares es una de las técnicas más efectivas para la toma de decisiones espaciales que incluyen aproximaciones basadas en SIG (Eastman et al., 1993; Malczewski et al., 1997). Existen una gran cantidad de ejemplos bien documentados de la aplicación de este método con éxito (Banai, 1989; Banai, 1993, Miller et al., 1998; Malczewski, 1996). De acuerdo con Marinoni (2004) la incorporación del AHP en un SIG combina las metodologías de apoyo a la toma de decisiones con una visualización potente y unas capacidades cartográficas, las cuales, en definitiva, deberían facilitar considerablemente la creación de mapas de idoneidad de los usos del suelo.

1.4. La importancia de determinar el suelo de expansión urbana en los ordenamientos

El crecimiento del tejido urbano construido, cuyas causas y consecuencias ya se mencionaron en el apartado anterior, evidencia la necesidad de orientar y anticipar la dirección del mismo en la medida que las ciudades se transforman, reconociendo el potencial de áreas rurales que podrían ser absorbidas en zonas urbanas, identificando las áreas que presentan limitaciones por razones de protección, riesgos o aptitud agropecuaria, forestal y minera.

Según Gómez (2007), las zonas aptas para recibir usos que consumen irreversiblemente el territorio como en este caso la urbanización, son aquellas que no tienen ninguna vocación de uso. Por su parte, Sánchez et al. (2013) comenta que la determinación de zonas de expansión urbana, requiere de la integración del ordenamiento territorial y la ordenación urbanística, ya que ambas mantienen complementariedad, pues la primera condiciona en gran parte a la segunda; al fijar los roles, funciones y actividades de los asentamientos humanos y sus posibilidades de expansión física, por lo que los instrumentos de la ordenación urbanística deberán ajustarse a las determinaciones de los instrumentos del ordenamiento territorial

En el crecimiento metropolitano contemporáneo, se vuelve fundamental aplicar rigurosamente los ordenamiento ambiental y urbano, para identificar el suelo destinado a la expansión urbana, a continuación, se señalan algunos motivos por lo que se debería definir estas zonas:

- Para lograr la integración entre el campo y la ciudad, en lo que económico, social y cultural, garantizar el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza, proteger, conservar, defender y recuperar el patrimonio natural y cultural, garantizar un modelo sustentable de desarrollo y respetuoso de la diversidad cultural (Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 2019, Artículo 1, fracción I y III y Artículo 8, fracción I, II y XXIII).
- El ordenamiento territorial señala la vocación de destino de estas unidades territoriales, es decir, su idoneidad para admitir los usos de suelo, en función de las debilidades y fortalezas que posea el territorio. En el caso de la determinación de suelo de expansión urbana, se deberá considerar aquellas áreas sin vocación de uso definido, se trata de zonas cuyos recursos son insuficientes para justificar un desarrollo endógeno, y por tanto no están ligados directamente a los recursos del medio físico.

- Al ordenamiento territorial a nivel nacional, le corresponde delimitar en su circunscripción, las zonas que, por sus valores ecológicos, productivos, paisajísticos, científicos, culturales o funcionales, constituyan el patrimonio natural de la nación, independientemente de las áreas naturales protegidas de carácter federal y estatal (Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 2019, Artículo 26, fracción VII; Artículo 34, fracción I, III y X; Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 2015, Artículo, fracción I, II y VI).
- Porque es indispensable definir los asentamientos urbanos y el territorio rural antes de determinar la localización de equipamientos o instalaciones de alcance nacional, regional y provincial establecidos en los planes de ordenamiento territorial de otros niveles de gobierno o en la Estrategia Territorial Nacional. (Sánchez et al., 2013)

Asimismo, se deberá considerar la ordenación de las unidades urbanas mayores, intermedias y menores, mismas que formaran parte de la ordenación territorial a nivel metropolitano, integrándose en el modelo urbanístico objetivo, la normativa reguladora de uso y ocupación de suelo urbano; y, las actuaciones urbanísticas. (Figura 8)

Las determinaciones de la ordenación urbanística, permitirán controlar y guiar adecuadamente los procesos de expansión, consolidación, renovación y conservación de las zonas urbanas.

1.5. Recapitulación

En este capítulo se ha realizado una revisión bibliográfica de los elementos orientadores para la construcción de la metodología, que permiten obtener un sustento teórico y dan rigurosidad al proceso de investigación y a la construcción de la metodología, la finalidad de este proceso ha sido construir el estado de arte en relación a los métodos de planeación del uso del suelo, técnicas, procedimientos para evaluar la capacidad del territorio rural respecto a la implantación de nuevos usos, indicadores espaciales de sostenibilidad y estudio de dinámicas de usos del suelo, con la finalidad de establecer el sustento teórico conceptual para el diseño de la metodología.

En relación a las tendencias de crecimiento de las ciudades se ha determinado que una de las causas para la expansión de las ciudades es el incremento poblacional que estas experimentan, fruto de las migraciones campo – ciudad, en este sentido se ha establecido que las ciudades se expanden hacia zonas con interés y aptitud para usos agrícolas, forestales o de protección, lo que genera conflictos y una fuerte presión hacia el territorio rural lo que pone en tela de duda la sostenibilidad ambiental y se suma a los factores del cambio climático, contaminación y ocupación intensiva del territorio.

Orientar el crecimiento de las ciudades, reconociendo primeramente que es un proceso natural y necesario para las urbes, sin desconocer la importancia del recurso suelo y la calidad del medio rural, se vuelve fundamental en los procesos de planeación del territorio, de allí la importancia de contar con métodos adecuados que permitan una valoración del potencial del suelo para receptor el crecimiento de las ciudades, a esto se le denomina, “capacidad de carga para el uso urbano”, estos usos tendrán su óptima localización cuando sean asignados en un lugar que los pueda recibir sin que se degraden las características ambientales del territorio y que su integración en el medio y en el paisaje tengan la mayor aptitud y el menor impacto posible.

Existen un sin número de métodos y aplicaciones que permiten alcanzar este proceso, sin embargo luego de la revisión bibliográfica se ha determinado que un método adecuado para este fin es el empleo de técnicas de evaluación multicriterio integradas en sistemas de información geográfica, ya que permiten libremente el establecimiento de las variables necesarias para el proceso de toma de decisiones, mismas que son ponderadas en función de la importancia que tiene cada una, lo destacable de este proceso es que en cada paso de evaluación, permite tomar el criterio de un agente decisor que en este caso corresponde al criterio técnico del planificador, para seguir avanzando en el proceso. Los SIG, juegan un papel fundamental ya que permiten el análisis espacial y general.

Al analizar las dinámicas de los usos de suelo, se pudo conocer que, relacionados con la expansión urbana, tienen una estrecha relación con la ocupación y evolución de los patrones de usos en las áreas urbanas y suburbanas y estas con factores físicos, naturales y socioeconómicos.

En pleno conocimiento de los efectos que trae consigo la expansión de las ciudades en el territorio, es necesario controlar su crecimiento, mediante políticas que propicien la sostenibilidad de los sistemas urbanos, pero es aún más importante orientar este crecimiento de manera planificada para que este proceso natural y necesario, no cause un deterioro del medio rural y un agotamiento de los recursos no renovables, la determinación de zonas de expansión urbana como categoría de ordenación territorial, visto desde la planeación metropolitana, es factible y necesaria, pues permitirá sacar el mejor provecho posible al territorio y coadyuvará a que el sistema territorial mantenga un equilibrio armónico.

CAPÍTULO 2. MARCOS DE REFERENCIA Y JURÍDICO

CAPÍTULO 2. MARCOS DE REFERENCIA Y JURÍDICO

En este capítulo se analizan algunas propuestas científicas relacionadas con el estudio de la capacidad de carga como un instrumento de apoyo para la planeación del uso sostenible del territorio. Se incluye también consideraciones de los autores para desarrollar el estudio contemplando el valor de los recursos naturales, la preservación del medio por su calidad ambiental y la minimización de los riesgos naturales. Posteriormente se describen los acuerdos internacionales y los periodos de tiempo en el que se decretaron los acuerdos para orientar el crecimiento urbano al logro de la sustentabilidad urbana. Finalmente se describen las políticas de México que organizan y regulan el uso sostenible del territorio para desarrollo urbano.

2.1. Estudios de capacidad de carga a nivel internacional

Los estudios de la capacidad de carga, centrados en el entorno urbano, es un tema de investigación en gran medida diferente debido al énfasis, significados, principios e implicaciones. Por ejemplo, la Capacidad de Carga Urbana investiga el sistema urbano, considerando no sólo los elementos naturales, sino también los atributos artificiales, tales como aspectos económicos, culturales, de infraestructura, etcétera.

La escasez de estudios centrados en el tema, y los estudios existentes frecuentemente plantean cuestiones de comprensión fragmentada e incompleta, falta de métodos de evaluación creíbles y aplicaciones limitadas. Sin embargo, diversos autores han trabajado bajo este concepto que se convierten en la base estructural de la capacidad de carga urbana para desarrollar diferentes estudios. A manera de ejemplo:

Schneider et al. (1978) trabajaron bajo el concepto de la capacidad de carga urbana como una herramienta para la planeación y gestión. Su trabajo se enfoca y aborda únicamente al entorno urbano, dejando por separado aspectos sociales y ambientales. Los autores desarrollan su concepto para apoyar a los planificadores a definir la orientación del crecimiento de la población o el desarrollo físico sin causar daños sustanciales o degradación;

Aspeslaugh (1994) realizó un trabajo de capacidad de carga en el Área Metropolitana de Portland, aplicando su estudio entre el aspecto ecológico y social para poder definir una capacidad de carga social de acuerdo con el nivel poblacional y patrones de asentamientos humanos. Así mismo relaciono su estudio al contexto de la sustentabilidad en una metrópoli, describiendo seis criterios para definir las variables de la capacidad de carga en una región metropolitana tomando como base

componentes ambientales, económicos y sociales (tierra, agua, aire de la región, recursos educativos, económicos, etc.) para lograr una calidad de vida deseada;

Onishi (1994) analizó las condiciones de capacidad de carga del centro de la ciudad de Tokio, estudio empírico que comparó la relación oferta-demanda de recursos físicos hechos por el hombre, como carreteras, agua, alcantarillado, eliminación de residuos, etc. Los resultados de la investigación revelan las áreas de infraestructura que necesitan mejoras como una cuestión prioritaria. (cfr. Wei et al., 2015a).

El conjunto de los modelos de la capacidad de carga urbana anteriormente mencionados se limita a variables físicas que parecen incompletas y fragmentadas. No obstante, para llenar el vacío, Onishi (1994) en su estudio permite una integración holística de los indicadores esenciales de la capacidad de carga urbana en las evaluaciones y gestión de la ciudad para diferentes estudios.

Joardar (1998) Desarrolló un marco conceptual de evaluación de la capacidad de carga urbana en la India. El autor estableció una serie de indicadores medibles para condiciones de infraestructura y aspectos financieros. La investigación proporciona una base importante para futuros estudios de la capacidad de carga urbana, así como un conjunto de normas para determinar indicadores medibles en términos cuantitativos y cualitativos. El estudio se adapta a una perspectiva sobre los “marcos de tiempo dinámico”, indicando que la sustentabilidad como la capacidad de carga urbana deben considerarse “un proceso continuo en lugar de un solo evento”. Aunque, dicho marco conceptual carece de aplicabilidad en casos reales (cfr. Wei et al., 2015a);

Sandoval y Abellán (2000) Analizan el fenómeno de la afluencia turística en las áreas recreativas de Calasparra, Murcia y la relación que existe entre el uso público y los impactos ambientales generados por los visitantes. Ambos autores proponen un escenario de gestión del turismo mediante un estudio de la capacidad de carga para poder planificar el volumen que puede soportar las áreas recreativas de Calasparra. Finalmente, el estudio busca ofrecer información que permita administrar que el uso público compagine la satisfacción de la demanda recreativa y la conservación con los recursos naturales;

Saveriades (2000) en su estudio trabajo con el concepto de capacidad de carga como una herramienta para la gestión en la planeación y el desarrollo del turismo, el foco de su investigación es la evaluación de la capacidad de carga en la Costa Este de la República de Chipre en términos de capacidad social, para poder medir la magnitud que un destino en relación con el volumen de la actividad turística puede soportar. Su estudio muestra una evaluación sobre el deterioro sociocultural y la disminución en la calidad de experiencia por el visitante debido a la ausencia por

un estudio de la capacidad de carga de ciertos destinos, finalmente el autor propone una evaluación de diferentes regiones para equilibrar la actividad turística con la capacidad de cada lugar;

Oh et al., (2005) desarrollaron un marco de evaluación de la capacidad de carga urbana para determinar la densidad de población basado en la infraestructura y uso de la tierra, el estudio integra siete factores a ser evaluados, incluye: energía, áreas verdes, carreteras, sistemas de metro, suministro de agua, tratamiento de aguas residuales y tratamiento de residuos.

Downs (2008) en su trabajo analizo la capacidad de carga ecológica de la especie animal Grulla Canadiense en el Norte de Ohio, Estado unidos. Especie que se encuentra en peligro de extinción. El estudio busca obtener información precisa a través de la capacidad de carga para determinar lugares adecuados para anidación de estas especies. Para ello Downs desarrolló un modelo de índice de idoneidad de hábitat, aplicando evaluación espacial para determinar el número máximo y mínimo de parajes reproductoras que un área puede soportar. El trabajo permite un análisis para identificar ubicaciones prioritarias para la conservación de vida animal e identifica lugares que requieren restauración de hábitat;

Galacho y Arrebola (2008) realizaron un análisis sobre la utilidad del concepto de la Capacidad de Carga del Territorio, como un instrumento de apoyo en las decisiones espaciales, tomando en consideración aspectos de las condiciones del terreno y ambientales de los mismos. El estudio aporta consideraciones para el desarrollo metodológico de aplicaciones y la utilización combinada de instrumentos de análisis espacial como los Sistemas de Información Geográfica y las técnicas de evaluación multicriterio. El trabajo de investigación funciona como base para desarrollar modelos de planeación y gestión del territorio.

Sayre, (2008) Profundizo en el concepto de capacidad de carga y comenzó a analizar la relación y la utilización de este concepto en diferentes campos, entre ellos: la manufactura en la ingeniería mecánica, los sistemas naturales en la determinación en las cualidades de los seres vivos, la determinación del límite intrínseco de crecimiento poblacional y la determinación del número de seres humanos que un territorio puede soportar. El autor menciona que las variables claves en el concepto de capacidad de carga es el tiempo de estadía y el número de ocupantes en el espacio para poder medir el impacto que se genera en ese momento, esto permite estimar la capacidad de soporte y la recuperación espacio;

Liu (2012) trabajo basándose en el concepto de equilibrio entre oferta y demanda, propone un modelo de evaluación de la capacidad de carga urbana en dieciséis ciudades en el Delta del río Yangtsé de China. En su trabajo propone doce indicadores medibles que se centran en factores

físicos; tierra, agua, transporte y medio ambiente, este trabajo, sin embargo, no tiene en cuenta los factores blandos de la ciencia, tecnología, cultura y humanidad (cfr. Wei et al., 2015a);

El trabajo de Sarma et al., (2012) ha servido como un medidor para determinar el tamaño óptimo de la población y la escala de actividad, sin embargo, la debilidad de capacidad de carga urbana ha sido obvia, a pesar de muchas discusiones y explicaciones la capacidad de carga urbana todavía carece de una definición ampliamente aceptada y un método de evaluación estandarizado, lo que dificulta su uso efectivo en la planeación y gestión urbana. Las evaluaciones actuales de la capacidad de carga urbana se centran en el análisis de un solo factor y se han logrado pocos progresos en estudios exhaustivos. Además, rara vez se han aplicado análisis espaciales y comparaciones dinámicas (cfr. Liu, 2012);

Galacho y Arrebola (2013), desarrollaron un modelo de evaluación de la capacidad de carga del territorio en Malaga, España, mediante el uso de sistemas de información geográfica para la implantación de edificaciones en espacios rurales. El modelo se fundamenta bajo una perspectiva de la sustentabilidad rural y contempla los recursos naturales, la preservación del medio por su calidad ambiental y la minimización de riesgos socio naturales. El estudio permite identificar y evaluar las condiciones particulares del medio rural en orden a la mejor estimación de sus posibilidades y vulnerabilidades, dando como resultado una capa de información que muestra una clasificación del espacio estudiado con una valoración asignada a cada parte del territorio que finalmente apoya a la toma de decisiones para la implantación de edificaciones en espacio rural;

Ríos (2014) desarrollo una metodología para evaluar usos potenciales en los embalses y sus zonas de protección, que sean compatibles y complementarios con la protección, restringiendo áreas naturales para proyectos hidroeléctricos de utilidad pública en Medellín, Colombia. Dentro de su metodología Ríos elaboro un modelo conceptual, lógico y cartográfico a través de la capacidad de carga del territorio aplicando Evaluación Multicriterio, Evaluación Multiobjetivo y Sistemas de Información Geográfica. Su trabajo permite identificar el mejor uso del territorial para uso multipropósito, para el marco de la sustentabilidad ambiental, social y económica;

Wei et al. (2015a) desarrollaron un marco practico de evaluación de la capacidad de carga urbana para orientar el desarrollo urbano hacia el logro de la sustentabilidad. El marco está basado en una serie de indicadores y puntos de referencia medibles para que los planificadores de la ciudad lleven un monitoreo sobre la dinámica de los procesos urbanos, y ayuden a identificar áreas deficientes, que necesiten urgentemente recursos para mejorar. El estudio está centrado en Beijing, China y promueve el desarrollo urbano sustentable para aprovechar los espacios vacantes en el centro de la capital.

2.2. Estudios de capacidad de carga a nivel nacional

El Centro Mario Molina (2015) realizó un estudio de la capacidad de carga urbana para evaluar el desarrollo urbano sobre las ciudades compactas. Dicho trabajo describe que las ciudades mexicanas están viviendo un crecimiento poblacional y urbano demasiado acelerado, mencionan que una posible solución son las ciudades compactas como un componente para el desarrollo urbano sostenible. El estudio analiza el uso de suelo a través de tres escenarios: El de tendencia, planeación y visión, así como una estimación de los impactos ambientales, económicos y sociales relacionados a cada escenario. Finalmente, el trabajo busca formar una sociedad más eficiente, equitativa e incluyente y ofrece información útil y precisa para la toma de decisiones;

Lara (2015) trabajó en un estudio de la capacidad de carga territorial en el centro de la ciudad de Toluca, para identificar espacios vacantes para el uso urbano. El autor propone al crecimiento compacto como solución para la actual dinámica de crecimiento en las periferias. Su estudio se desarrolla bajo cuatro propuestas: La primera es la identificación de los espacios disponibles dentro del centro urbano para nuevos usos urbanísticos; la segunda es la incompatibilidad de los actuales usos de suelo causado por la acelerada expansión urbana que han afectado las características físico-ambientales en el espacio; la tercera es la ausencia de un modelo que analice la capacidad de carga de los espacios actuales en el centro urbano por una evaluación de la aptitud territorial que permita identificar el mejor uso urbanístico; por último, la cuarta argumenta sobre la carencia de un método de evaluación científica que auxilie en los procesos de planeación en relación al ordenamiento territorial;

Zavala et al. (2016) aplicaron un modelo de estudio en la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco, aplicando un índice de capacidad de uso del suelo urbano para estimar la capacidad de uso urbano en una planicie fluvial. El estudio se desarrolla sobre factores y variables limitantes. Los factores son seleccionados por su incidencia en el uso urbano, como: relieve, inundación, pendiente, suelo y uso del suelo, los cuales aportan información sobre limitantes físicas; las variables se desarrollan con base a los factores y establecen un acuerdo de limitaciones físicas para el desarrollo urbano. Elaboraron un índice de grado de idoneidad de I hasta V, donde: I representa escasas limitaciones y V como limitación extrema. La investigación ofrece una cartografía detallada con información de la capacidad de uso del suelo urbano en planicies fluviales, así como estándares de limitaciones físicas para el desarrollo urbano.

2.3. Políticas internacionales y nacionales para orientar el crecimiento urbano

2.3.1. Desarrollo de acuerdos internacionales para la planeación urbana sostenible

La trayectoria de políticas internacionales y políticas públicas para atender al fenómeno de la acelerada expansión urbana tiene sus inicios en 1977 con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos en Vancouver, Canadá (ONU-Habitat). La conferencia tuvo dos aspectos sobresalientes: la primera fue la Declaración de Vancouver, en la cual insistió en los países como en la comunidad internacional a controlar y regular la forma de crecimiento de los asentamientos humanos, comprometiéndose con las políticas para la planeación espacial con un marco de referencia de la justicia social; en segundo, fue el anuncio sobre el establecimiento del Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.

Dos décadas más tarde en Estambul, Turquía se llevó a cabo la Segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos (Hábitat II). La conferencia contribuyó a elevar la conciencia acerca de los asentamientos humanos invitando no solo a países, sino a ONGs y organizaciones de la sociedad civil, a hablar y a participar en el dialogo sobre las propuestas y recomendaciones para un crecimiento planificado (Cohen, 2016). Muchos de los temas hablados en la conferencia se resumen en *El Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos 1996* (ONU-Hábitat, 1996). Entre los asuntos planteados en el histórico documento, los más destacados fueron:

- i. El aumento de las estrategias para el desarrollo urbano.
- ii. La incidencia de la pobreza y el aumento de las malas condiciones de las viviendas.
- iii. La urgente necesidad de las ciudades por gobiernos competentes y responsables.
- iv. La importancia de atender agrupaciones ciudadanas, organizaciones comunitarias y ONGs, para que los gobiernos sean facilitadores más que proveedores.

A partir de 1990 el mundo se estaba moviendo hacia un modelo global dentro de un paradigma de mega tendencias o patrones de reestructuración, los cambios eran notables: la sociedad industrial a sociedad de la información; de economías nacionales a economía mundial; de centralización a descentralización; de ayuda institucional a autoayuda y de jerarquías a interconexiones (Naisbitt, 1996). Así mismo, en Estambul fue aprobada la *Agenda Hábitat*, que serviría como base para la política de las Naciones Unidas para las próximas dos décadas. El documento está conformado por cinco objetivos centrales bajo el marco de asentamientos humanos sostenibles:

- Garantizar un vivienda digna y adecuada para todos
- Fomento de la seguridad de la tenencia en todo el mundo en desarrollo

- Apoyo para grupos vulnerables, especialmente a las mujeres y gentes de escasos recursos
- Acceso adecuado y equitativo a los servicios urbanos básicos
- Fomento de la descentralización y del buen gobierno urbano.

A pesar de ser loable el hecho de tratar asuntos urbanos al tema de la política global, la Agenda Hábitat resultó ser muy criticada por varios motivos. La principal crítica es que tiene recomendaciones sin establecer prioridades y con un grado generalizado que dificulta la ejecución política para cualquier nivel de gobierno (Cohen, 2016). Por otra parte, otra crítica es la falta de mecanismo efectivo de supervisión, por lo que dificulta a una manera sistemática de dar seguimiento a la implementación de la Agenda (Satterthwaite, 1997 citado en Cohen, 2016).

En el año 2000 se celebró en Nueva York, la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas. En el evento los líderes de 189 naciones se comprometieron con el contenido de la Declaración del Milenio: compuesta por los ocho Objetivos de Desarrollo de Milenio, iniciando desde la reducción de la pobreza, hasta la detención de la propagación del VIH/Sida. Los objetivos serían trabajados durante 15 años (ONU, 2000).

En el 2001, cinco años han pasado después de la Segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos celebrada en Estambul. Nueva York fue la sede para un examen y evaluación del programa de Hábitat, conocido como Estambul+5. El periodo extraordinario renovó compromisos de los Estados miembros y se comprometieron a acelerar sus esfuerzos para garantizar la aplicación de la Agenda a la par del seguimiento de políticas sociales y económicas diseñadas para satisfacer las necesidades de viviendas familiares y sus miembros individuales, promoviendo cambios en las actitudes, estructura y políticas con el fin de eliminar todos los obstáculos a la dignidad humana y a la igualdad en la familia y la sociedad (ONU, 2001).

El año 2002 es uno de los más importantes para concientizar al mundo sobre la urbanización sostenible, partiendo por la Primera Sesión del Foro Urbano Mundial (WUF) en Nairobi, Kenia. El principal objetivo de este foro es amalgamar intereses en temas urbanos, a través de intercambios de nuevas ideas, lecciones aprendidas, intercambios de mejores prácticas y buenas políticas. Los Foros WUF continúan llevándose a cabo en lapsos de dos años excepción del año 2016 que fue aplazado para 2018, el último se llevó a cabo en el año 2020 en Abu Dabi (Cuadro 4), finalmente, del 26 de agosto al 4 de septiembre de 2002 se lleva a cabo la Cumbre de la Tierra de Johannesburgo, el encuentro pretendía abrir un diálogo ecologista como parte de la labor de concienciación ambiental. Así mismo, hubo revisión sobre el desarrollo sostenible y se integró a la nueva Agenda 21 el saneamiento como una prioridad clave para el desarrollo (ONU, 2016).

Cuadro 4. Foro Urbano Mundial WUF1 a WUF10

WUF 1	2002	Urbanización Sostenible	Nairobi, Kenia
WUF 2	2004	Ciudades: Encrucijada de cultura, inclusión e integración	Barcelona, España
WUF 3	2006	Nuestro Futuro: Convertir ideas en acción	Vancouver, Canadá
WUF 4	2008	Urbanización armoniosa: el desafío del desarrollo territorial equilibrado	Nanjing, China
WUF 5	2010	El derecho de la ciudad: reducir la brecha urbana	Rio de Janeiro, Brasil
WUF 6	2012	El futuro Urbano	Nápoles, Italia
WUF 7	2014	Equidad urbana en el desarrollo - ciudades para la vida	Medellín, Colombia
WUF 9	2018	Ciudades para todos	Kuala Lumpur Malasia
WUF 10	2020	Ciudades de oportunidades – Conectando cultura e innovación	Abu Dabi, Emiratos Árabe

Fuente: Elaboración con base en ONU Hábitat (2020)

La siguiente Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible Río+20 celebrada en el 2012 en Río de Janeiro, Brasil examina el progreso sobre los acuerdos establecidos que incluyen a la Agenda 21, el Programa para la implantación adicional del a Agenda 21 y el Plan de implementación de Johannesburgo. En esta conferencia se tratan dos temas principales: la primera es la búsqueda para una economía verde en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza y la segunda un marco institucional para el desarrollo urbano (ONU, 2012).

En el año 2015 se presentaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (2015-2030) para darle continuidad a la agenda de desarrollo y ampliar los Objetivos de Desarrollo del Milenio con ahora 17 objetivos y 169 metas, incluyendo cambio climático, desigualdad económica, la innovación, el consumo sostenible, la paz y la justicia, etc. Se aprobó por 193 dirigentes mundiales en Nueva York, una agenda que lleva por título “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” (ONU, 2015).

Para el año 2016 se llevaría a cabo La Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos (Hábitat III) en Quito, Ecuador. La conferencia mostro diversos pronósticos estadísticos, entre ellos uno sobre la poblacional del mundo para el 2050 en el cual estiman habrá un duplicado de población al igual que enfatización de las ciudades como elementos

potenciales para generar las innovaciones para impulsar cambios positivos, sacar a millones de personas de la pobreza, allanar el camino a la igualdad social y poner freno al cambio climático.

La conferencia muestra a las ciudades como los elementos claves que sirven como fuerza transformadora de la urbanización para la planeación y el desarrollo. La elaboración de la Nueva Agenda Urbana en esta conferencia se encuentra muy apegada a los objetivos de la Agenda 2030 y el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático 2015 (ONU, 2016). Es importante recordar que Hábitat se convoca cada 20 años como lo fue en Vancouver, Canadá en 1976, y Hábitat II en Estambul, Turquía en 1996 y tiene previsto presentar un cambio de paradigma histórico de la urbanización como instrumento de desarrollo.

La Nueva Agenda presentada en Hábitat III puntualiza en los retos urbanos ambientales del hoy donde se busca el acceso igualitario a recursos y servicios. Como anteriormente se mencionó las ciudades se han vuelto una pieza clave para poder controlar los procesos urbanos. Las ciudades deben garantizar el acceso a los servicios básicos, tales como agua saneamiento, manejo de residuos, energía, alimentos y movilidad.

2.3.2. Leyes, planes y programas nacionales para la orientación del crecimiento urbano

Marco Jurídico de las políticas mexicanas ejecutadas en la Zona Metropolitana de Toluca para legislar, normar y reglamentar las actividades urbanas tomando en consideración atribuciones y responsabilidades de todos los implicados durante cada una de sus fases, en los diferentes niveles de gobierno, con el fin de disminuir, o minimizar el riesgo de desastres socio-naturales, orientar el crecimiento urbano y regular el uso del territorio.

La *Ley General de Protección Civil* constituye la primera ley federal en materia de riesgo la cual ha sido modificada para incorporar no sólo la atención de desastres sino la prevención de estos. Ésta tiene como objetivo estipular las bases de coordinación de los diferentes órdenes de gobierno en materia de Protección Civil (DOF, 2012).

En su artículo 4 (Fracción I a V), establece que las políticas públicas de protección civil, tendrán como prioridad identificar y analizar riesgos para la implementación de medidas de prevención y mitigación; promover una cultura de responsabilidad social con énfasis en la prevención y autoprotección respecto de los riesgos y peligros que representan los agentes perturbadores y su vulnerabilidad; el Estado en sus tres niveles tendrá la obligación de reducir los riesgos y llevar a cabo acciones para identificar y reconocer la vulnerabilidad de zonas de su jurisdicción; fomentar la participación social para crear comunidades resilientes, a través de una acción solidaria y

recuperarse en el menor tiempo sus actividades productivas, económicas y sociales; e incluir la Gestión Integral de Riesgos (GIR), como parte fundamental en la planeación, en la programación del desarrollo y ordenamiento del país.

Como parte de la última actualización realizada en 2018, la ley incluye de igual manera que las políticas públicas tienen como prioridad instaurar un sistema de certificación de competencias, para garantizar que el personal responsable de protección civil posea un perfil adecuado en los diferentes niveles de gobierno; al igual que la atención prioritaria a la población vulnerable (Artículo 4, fracción VI y VIII).

El artículo 23, indica que la institución técnica-científica encargada de crear, gestionar y promover las políticas públicas en materia de prevención de desastres y reducción de riesgos es el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Sus atribuciones son apoyo técnico al Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), la integración del Atlas Nacional de Riesgos, conducción de la Escuela Nacional de Protección Civil, coordinación del monitoreo y alertamiento de fenómenos perturbadores al igual que fomentar la resiliencia de la sociedad.

En cuanto a las funciones en materia de Protección Civil se establece lo siguiente, al Ejecutivo Federal le corresponde (Artículo 7, fracción I a VIII):

- Asegurar el correcto funcionamiento del Sistema Nacional de Protección Civil y dictar los lineamientos para coordinar las tareas de protección civil en beneficio de la población, sus bienes y entorno, fomentando y conduciendo la participación de los diferentes sectores y grupos de la sociedad en la Gestión Integral del Riesgo;
- Promover la incorporación de la GIR en el desarrollo regional y local, mediante el establecimiento de estrategias y políticas basadas en el análisis de riesgos, para evitar la construcción de riesgos futuros y la realización de acciones de intervención para la reducción de riesgos existentes;
- Contemplar recursos para el buen funcionamiento y operación de instrumentos financieros de GIR en el proyecto de Egresos de la Federación, con el objeto de promover y apoyar la realización de acciones de orden preventivo, así como para el auxilio de la población en situación de emergencia y atención a daños causados por los desastres de origen natural;
- Emitir declaratorias de emergencia o desastres de origen natural;
- Disponer la utilización y destino de recursos de los instrumentos financieros en GR;
- Promover la realización de acciones para la transferencia de riesgos ante la eventualidad de los desastres de origen natural, mediante la identificación de la infraestructura por asegurar,

análisis de riesgos, medidas para su reducción y la definición de esquemas de retención y aseguramiento, entre otros;

- Inducir y fomentar que el principio de la GIR y la continuidad de operaciones sea un valor de política pública y una tarea transversal para realizar acciones de índole preventivo, con énfasis en aquellas relacionadas con la salud, educación, ordenamiento territorial, planeación urbano-regional, conservación y empleo de recursos naturales, gobernabilidad y seguridad;
- Así como vigilar a través de dependencias y entidades competentes, que no se autoricen centros de población en zonas de riesgo o en su caso notificar a las autoridades competentes para su desalojo y deslinde de responsabilidades.

El promover la realización de bases que posibiliten la identificación y registro de zonas en el país de riesgo para la población, patrimonio público y privado, en los atlas de riesgo nacional, estatales y municipales de riesgos, es función del Gobierno Federal, con la participación de las entidades federativas y el gobierno de la Ciudad de México, mientras que las entidades federativas deben asegurarse que el Atlas Nacional de Riesgos sea de fácil acceso a la población, de acuerdo con lo plasmado en el artículo 83.

Los gobiernos estatales y el gobierno del Distrito Federal son responsables por su parte de la contratación de seguros e instrumentos de administración y transferencia de riesgo para la cobertura de daños causados por un desastre natural en bienes e infraestructura, de acuerdo con su disponibilidad presupuestaria; para ello las entidades federativas pueden requerir que dichos instrumentos sean complementados con instrumentos financieros federales de gestión de riesgo (Artículo 18).

La coordinación ejecutiva del Sistema Nacional de Protección Civil tiene como atribuciones, garantizar el funcionamiento del SINAPROC, mediante la supervisión y coordinación de acciones de protección civil de los diferentes órdenes de gobierno, a través de la GIR, incluyendo la participación activa y comprometida de la sociedad, en lo individual y colectivo; promover y apoyar la creación de instancias, mecanismos, instrumentos y procedimientos que permitan prevenir y atender la eventualidad de un riesgo o peligro que representan los agentes perturbadores y la vulnerabilidad; investigar, estudiar y evaluar riesgos, peligros y vulnerabilidades, integrando y ampliando los conocimientos de dichos; difundir entre autoridades correspondientes y la población los resultados de los trabajos realizados, así como la información pública (Artículo 19, fracción I y IV a VI).

Otras de las atribuciones de la coordinación ejecutiva del Sistema Nacional de Protección Civil según se manifiesta en el artículo 19 son, instrumentar y operar redes de detección, monitoreo, pronóstico y sistemas de alerta miento, en coordinación con dependencias responsables (Fracción IX); emitir y publicar declaratorias de emergencia y de desastres naturales; promover la constitución de fondos de las entidades federativas para la prevención y atención de emergencias y desastres de origen natural (Fracción XI y XII); gestionar la incorporación y ampliación de contenidos de protección civil con enfoque en la GIR en el Sistema Educativo Nacional en todos los niveles; fomentar en la población una cultura de protección civil que le brinde herramientas que le permitan salvaguardar su vida, bienes y su entorno en caso de riesgos derivados de fenómenos naturales y humanos (Fracción XVI y XVII).

Las autoridades llevarán a cabo proyectos, estudios e inversiones para ampliar y actualizar la cobertura de los sistemas de medición de los fenómenos perturbadores tanto naturales como antropogénicos, enfocados en prevenir los riesgos que pongan en peligro la vida y puedan causar daños a la población (Artículo 25). Los diferentes niveles de gobierno fomentarán la cultura en materia de protección civil entre la población a través de su participación individual y colectiva. La población expuesta y vulnerable a un peligro, tiene derecho a estar informada y tener las vías adecuadas de opinión y participación en la gestión del riesgo (Artículo 41). En lo referente a los medios de comunicación masivos sean electrónicos o escritos, estos colaborarán con las autoridades orientando y difundiendo oportuna y verazmente información en materia de protección civil y la GIR (Artículo 13).

El mecanismo encargado de coordinar las acciones en situaciones de emergencia y desastre originados por la presencia de agentes perturbadores que pongan en riesgos a la población, sus bienes y el entorno, es el Comité Nacional de Emergencias (Artículo 32), éste podrá convocar sesiones extraordinarias cuando la probabilidad de afectación sea muy alta (Artículo 33).

Mientras el Sistema Nacional de Prevención de Desastres tiene como objetivo, según el artículo 15, proteger a la persona, sociedad y su entorno ante riesgos y peligros que representan los agentes perturbadores y su vulnerabilidad, provocada por fenómenos naturales o antropogénicos, mediante la GIR y el fomento de la capacidad de adaptación, auxilio y restablecimiento en la población.

La GIR por su parte considera dentro de las fases anticipadas a la ocurrencia de un agente perturbador, el conocimiento del origen y naturaleza de los riesgos, al igual que los procesos de construcción social de los mismos; la identificación de peligros, vulnerabilidades y riesgos, junto con sus escenarios; análisis y evaluación de posibles efectos; revisión de controles de mitigación de impactos; acciones y mecanismos de prevención y mitigación de riesgos; una mayor

comprensión y concientización de los riesgos; finalmente el fortalecimiento de la resiliencia social (Artículo 10, fracción I a VII).

La declaratoria de emergencia es el suceso mediante el cual la Secretaría de Protección Civil reconoce que uno o varios municipios o delegaciones se encuentran ante una alta probabilidad o presencia de una situación anormal generada por un agente perturbador que ponga en riesgo la vida humana, que por tanto requiere prestar auxilio inmediato a la población y la rápida actuación del Sistema Nacional (Artículo 59 y 64).

La *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano* (DOF, 2016) tiene como objeto fijar normas básicas e instrumentos de gestión para ordenar el uso del suelo y los asentamientos humanos del país así como el cumplimiento de las obligaciones que tiene el Estado para promoverlos, respetarlos, protegerlos y garantizarlos de manera permanente; fijar criterios para que exista una congruencia efectiva, coordinación y participación entre los diferentes niveles de gobierno para la planeación de la fundación, crecimiento, mejoramiento, consolidación y conservación de los centros de población y asentamientos humanos, garantizando la protección y acceso equitativo a espacios públicos; definir los principios para determinar las provisiones, reservas, usos del suelo y destinos de áreas y predios que regulan la propiedad en los centros de población (Artículo 1, fracción I y III).

Finalmente, las disposiciones de la Ley de Asentamientos tienen como objeto propiciar mecanismos que permitan la participación ciudadana en particular para las mujeres, jóvenes y personas en situación vulnerable, en los procesos de planeación y gestión del territorio, así como la creación de espacios e instrumentos que garanticen la corresponsabilidad del gobierno y la ciudadanía en la formulación, seguimiento y evaluación de la política pública en la materia (Artículo 1, fracción V).

La regulación de la tenencia de la tierra en los centros de población, la atención de situaciones de emergencia originadas por el cambio climático y fenómenos naturales, al igual que la delimitación de zonas de riesgo y establecimiento de polígonos de protección, amortiguamiento y salvaguarda para garantizar la seguridad de las personas e instalaciones estratégicas de seguridad nacional, son causas de utilidad pública (Artículo 6, fracción IV, IX y X).

Corresponde a la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano formular y conducir la política nacional de asentamientos humanos y ordenamiento territorial; formular la estrategia nacional de ordenamiento territorial, con la participación de las entidades federativas y municipios; promover la elaboración de instrumentos que identifiquen zonas de alto riesgo ante fenómenos

naturales y antropogénicos en coordinación con la Secretaría de Gobernación (Artículo 8, fracción I, II y XXIII).

Mientras que a las entidades federativas les concierne, formular, aprobar y administrar su programa de ordenamiento territorial y desarrollo urbano, vigilar y evaluar su cumplimiento en conjunto con los municipios y la sociedad; prevenir y evitar la ubicación de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo, de acuerdo con los atlas de riesgo y la legislación aplicable (Artículo 10, fracción V y XXIV). Al formular dichos programas estatales deberán considerar el análisis y congruencia territorial con el programa nacional de ordenamiento y desarrollo urbano, los programas de ordenamiento ecológico, de prevención de riesgos y deberá ser congruente con el atlas nacional de riesgos (Artículo 29, fracción II).

A los municipios por su parte les compete regular, controlar y vigilar las reservas, usos del suelo, destinos de áreas y predios, así como las zonas de alto riesgo en centros de población dentro del municipio; atender y cumplir lineamientos y normas relativos a los polígonos de protección y salvaguarda en zonas de riesgo, zonas restringidas o identificadas como no urbanizables de acuerdo a leyes de carácter federal; promover y ejecutar acciones para prevenir y mitigar el riesgo de los asentamientos humanos y aumentar su resiliencia ante fenómenos naturales y antropogénicos (Artículo 11, fracción II, XVII y XXIV). Deben establecer en los programas municipales de desarrollo urbano la zonificación primaria a mediano y largo plazo en que se determinarán las áreas de alto riesgo no urbanizables (Artículo 59, fracción II).

Es de interés de las zonas metropolitanas la planeación del ordenamiento territorial y los asentamientos humanos: el suelo y las reservas territoriales; al igual que la prevención, mitigación y resiliencia ante los riesgos y efectos del cambio climático (Artículo 34, fracción I, III y X), sus programas deben contener estrategias de seguridad, prevención del riesgo y resiliencia (Artículo 37, XII).

Conforme con el artículo 26, el programa nacional de ordenamiento territorial y el de desarrollo urbano, estarán sujetos al Plan Nacional de Desarrollo (PND), mientras que la estrategia de Ordenamiento Territorial contendrá estrategias generales para prevenir los impactos negativos en ambiente urbano y regional ocasionados por la fundación y crecimiento de los centros de población, así como para fomentar la gestión integral del riesgo y la resiliencia urbana (Fracción VII).

Los planes y programas de desarrollo urbano deben considerar las normas oficiales mexicanas en la materia, las medidas y criterios en materia de resiliencia incluidos en el programa nacional de ordenamiento territorial y desarrollo urbano y atlas de riesgo, para definir los usos del suelo, destinos y reservas; las autorizaciones de construcción, edificación, realización de obras de

infraestructura que otorgue SEDATU o las entidades federativas y municipios; deben realizar un análisis de riesgo y en su caso definir medidas de mitigación para su reducción de acuerdo a la LGPC (Artículo 46).

Como parte de las regulaciones de la propiedad en los centros de población es necesario establecer que las autoridades municipales están obligadas a verificar el cumplimiento de las leyes estatales y federales antes de expedir las autorizaciones para el uso, edificación o aprovechamiento urbano. En acciones urbanísticas que impliquen expansión del área urbana para el fraccionamiento de terrenos, subdivisión o parcelación de la tierra, las autoridades locales tendrán que asegurar una congruencia con las normas de zonificación y planeación urbana vigentes, sin ocupar áreas de riesgo o no urbanizables (Artículo 57).

A partir de la reforma en noviembre de 2016 de la Ley General de Asentamiento Humanos incorpora la resiliencia y la gestión integral del riesgo, dedicando de manera expresa su título sexto a la resiliencia urbana, en donde plantea que la legislación local establecerá estrategias de GIR que incluyan acciones preventivas, en su caso, de reubicación de asentamiento humanos, en conjunto con acciones reactivas tal es el caso de provisiones financieras y operativas para la recuperación, en concreto, promover medidas para incrementar la resiliencia de las ciudades (Artículo 64).

Las normas vertidas en dicho apartado son obligatorias y tienen como objeto fijar las especificaciones a cumplir en caso de procesos de ocupación del territorio, concretamente, aprovechamientos urbanos, edificación de obras de infraestructura equipamiento urbano y viviendas en zonas con riesgos geológicos e hidrometeorológicos, para prevenir riesgos, daños irreversibles en la población y sus bienes, a la par de mitigar los impactos y costos (Artículo 65).

En caso de acciones, proyectos u obras ubicadas en zonas de alto riesgo conforme a los planes y programas de desarrollo urbano y ordenamiento territorial, las autoridades antes de otorgar las licencias de usos del suelo y edificaciones, construcciones, así como factibilidades y demás autorizaciones urbanísticas, solicitarán un estudio de prevención de riesgo que identifique la realización de medidas de mitigación adecuadas (Artículo 66).

Dichos estudios de prevención de riesgos contendrán los responsables técnicos, requisitos y alcances, las autorizaciones para el crecimiento urbano deberán ajustarse a estos, en ningún caso podrán asignarse usos o aprovechamientos urbanos o asentamiento humanos en zonas de alto riesgo que no hayan tomado medidas de mitigación previas. Los planes y programas de desarrollo urbano serán modificados por las autoridades estatales y municipales competentes a fin de que las zonas consideradas de riesgo no mitigable se clasifiquen como no urbanizables o con usos compatibles con dicha condición (Artículo 67).

Las autoridades federales, estatales y municipales deberán asegurarse previamente a la expedición de autorizaciones para el suelo, edificaciones, aprovechamiento urbano o habitacional, cambio de uso del suelo o impactos ambientales, del cumplimiento de las leyes federales y estatales en materia de prevención de riesgos en asentamiento humanos, así como que las obras, acciones o inversiones en que intervengan o autoricen, cumplan las normas de prevención de riesgos que la Ley de Asentamientos Humanos y la Ley General de Protección Civil establecen (Artículo 68 y 69).

La Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) por su parte promoverá la emisión de normas, lineamientos y manuales para fortalecer la resiliencia urbana y en zonas metropolitanas, asimismo, fomentará la elaboración de guías de resiliencia urbana y metropolitana en las entidades federativas y municipios, que posibilite la identificación de riesgos y recursos para la recuperación ante una contingencia (Artículo 69).

Las leyes locales establecerán que los predios que con base en la normatividad aplicable los fraccionadores y desarrolladores están obligados a ceder al municipio para áreas verdes y equipamiento, no pueden ubicarse en zonas inundables o de riesgo (Artículo 76). Mientras que aquellos que propicien o permitan la ocupación irregular de predios y áreas en centros de población, o bien autoricen indebidamente asentamientos humanos o construcción en zonas de riesgo, polígonos de protección, salvaguarda y amortiguamiento en torno a la infraestructura o equipamiento de seguridad nacional, serán acreedores a sanciones administrativas, civiles y penales (Artículo 118).

La *Ley General de Cambio Climático* (LGCC) instituye disposiciones para hacer frente a los efectos adversos del cambio climático (DOF, 2012). En ella se establece que la resiliencia representa la capacidad de los sistemas sociales y naturales que les permite recuperarse o soportar los efectos derivados del cambio climático, por otro lado, el riesgo es la probabilidad de que se produzca un daño en las personas, o ecosistemas, originado por fenómenos naturales o antropogénicos (Artículo 3, fracción XXVIII y XXX).

En cuanto a las atribuciones en materia de cambio climático, la federación es la encargada de elaborar, actualizar y publicar el atlas nacional de riesgo, así como emitir los criterios para la elaboración de atlas a nivel estatal (Artículo 7, fracción IV). Mientras que corresponde a las entidades federativas elaborar, actualizar y publicar los atlas estatales de riesgo, en colaboración con los municipios o delegaciones, siguiendo los criterios establecidos por la federación (Artículo 8, fracción XII).

Los tres niveles de gobierno deben ejecutar acciones para la adaptación en la elaboración de políticas, estrategia nacional, planes y programas sobre gestión integral del riesgo, ordenamiento

ecológico territorial, desplazamiento de personas originado por los fenómenos asociados al cambio climático, asentamientos humanos y desarrollo urbano (Artículo 28, fracción I, VII).

Las dependencias, entidades de la Administración Pública Federal (APF) centralizada y paraestatal, entidades federativas y municipios en el ámbito de sus competencias de acuerdo con el artículo 30, tienen la responsabilidad de implementar acciones de adaptación en cumplimiento de diversas disposiciones destacando las que se enlistan enseguida:

Elaborar y publicar atlas de riesgo que consideren escenarios de vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático, atendiendo principalmente a las zonas más vulnerables y de mayor riesgo, así como islas, zonas costeras y deltas de ríos (Fracción I);

Emplear la información de los atlas para la elaboración de planes de desarrollo urbano, reglamentos de construcción y ordenamiento territorial de entidades federativas y municipios (Fracción II);

Proponer e impulsar mecanismos de recaudación de recursos y destinarlos a la protección y reubicación de asentamiento humanos más vulnerables (Fracción III);

Instaurar planes de protección y contingencia ambientales en sitios de alta vulnerabilidad (Fracción IV);

Formar recursos humanos especializados en fenómenos meteorológicos extremos (Fracción VI);

Mejorar los sistemas de alerta temprana y la capacidad para pronosticar escenarios climáticos (Fracción IX).

La política nacional de adaptación al cambio climático, tiene como objetivos, reducir la vulnerabilidad social y de los ecosistemas; fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos; minimizar los riesgos y daños, mediante la consideración de escenarios actuales y futuros sobre cambio climático; identificar la vulnerabilidad, capacidad de adaptación y transformación de los sistemas sociales, ecológicos y físicos, aprovechar las oportunidades generadas de las nuevas condiciones climáticas; establecer mecanismos como parte de los planes y programas de protección civil, para la atención inmediata y expedita en las zonas impactadas por los efectos del cambio climático (Artículo 27, fracción I, II, III, IV, V).

El *Programa Especial de Cambio Climático* debe contener las metas relacionadas con la gestión integral del riesgo, aprovechamiento y conservación de recursos hídricos, ecosistemas y biodiversidad, ordenamiento ecológico territorial y desarrollo urbano, asentamientos humanos e infraestructura, por último, con los servicios de salud pública (Artículo 67, fracción III).

El artículo 29 estipula como acciones de adaptación, la determinación de la vocación del suelo; establecimiento de centros de población o asentamientos humanos, así como acciones de desarrollo, mejoramiento y conservación de los mismos; manejo, protección, conservación y restauración de ecosistemas, recursos forestales y suelos; rehabilitación de playas, costas, zona federal marítimo terrestre, terrenos ganados al mar y cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas de uso turístico, agrícola, pesquero, acuícola, industrial o de conservación (Fracción I a IV); construcción y mantenimiento de infraestructura; protección a zonas inundables y áridas (Fracción VI y VII); elaboración de atlas de riesgo (Fracción XI); los programas del Sistema Nacional de Protección Civil, programas de asentamientos humanos y desarrollo urbano (Fracción XIV).

En su artículo 101, fracción I, la LGCC establece que es necesario reducir la vulnerabilidad de la sociedad frente a los efectos del cambio climático, fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos (Fracción II), identificar la vulnerabilidad y capacidad de adaptación, asimismo, la transformación de los sistemas ecológicos y físicos (Fracción V).

La *Ley de Vivienda* tiene como objetivo establecer y regular la política nacional, programas, instrumentos y apoyos para que las familias puedan gozar de una vivienda digna y decorosa. El Programa Nacional de Vivienda debe contener como lo marca el artículo 8, fracción XVI, las estrategias para desarrollar acciones de vivienda que permitan la reubicación de la población establecida en zonas de alto riesgo o afectada por desastres, en congruencia con la política de ordenación territorial (DOF, 2006).

Por otra parte, la *Ley General de Población* tiene como objeto regular los fenómenos que perturban a la población, referente a su volumen, dinámica, estructura y distribución en el territorio, acorde a ello a lo largo del Capítulo I, artículo 3, fracción XIII estipula que la Secretaría de Gobernación tiene como atribuciones coordinar las actividades de las dependencias públicas de los tres niveles de gobierno y organismos privados, en el auxilio de la población ubicada en zonas en que se prevea la ocurrencia de un desastre (DOF, 1974).

En el caso de la *Ley de Aguas Nacionales*, ésta tiene por objeto acorde con lo plasmado en los artículos I y II, regular la explotación, uso y aprovechamiento de aguas nacionales, su distribución, control, preservación de su cantidad y calidad, a fin de lograr un desarrollo sustentable, aplica tanto para aguas superficiales o del subsuelo, aguas de zonas marinas mexicanas (DOF, 1992).

La *Comisión Nacional del Agua* (CONAGUA), tiene como atribución a nivel nacional de acuerdo al Capítulo III, artículo 9, fracción XLIII, realizar las declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y elaborar los atlas de riesgos conducentes; en los términos del reglamento,

y con el apoyo de los Organismos de Cuenca; clasificar las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación; emitir las normas y recomendaciones necesarias; establecer las medidas de operación, control y seguimiento y aplicar los fondos de contingencia que se integren al efecto. Los Organismos de Cuenca apoyarán a CONAGUA, para promover, en su caso, en coordinación con las autoridades competentes, el establecimiento de seguros contra daños por inundaciones en zonas de alto riesgo, de acuerdo con su clasificación (Capítulo V, Artículo 83).

La *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente* (Gobierno Federal, 2015a) tiene como objeto propiciar el desarrollo sustentable, así como establecer las bases para asegurar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, bienestar y salud; definir los principios de política ambiental en conjunto con los instrumentos para su aplicación; la prevención y control de la contaminación en aire, suelo y agua (Artículo 1, fracción I, II y VI). Considera de utilidad pública el ordenamiento ecológico del territorio nacional; el establecimiento de zonas de salvaguarda en caso de presentarse actividades consideradas como riesgosas; al igual que la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático (Artículo 2, fracción I, IV y V).

La Federación según se indica, es la encargada de participar en la prevención y el control de emergencias y contingencias ambientales, de acuerdo con las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan; formular, aplicar y evaluar los programas de ordenamiento ecológico general del territorio y los programas de ordenamiento ecológico marino; formular y ejecutar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático (Artículo 5, fracción VII, IX y XXI).

Acorde al artículo 11, la federación por conducto de la Secretaría podrá suscribir convenios o acuerdos de coordinación para que los gobiernos del Distrito Federal o de los Estados, con la participación de los municipios, asuman la facultad de solicitar la evaluación de impacto ambiental de obras o actividades referidas en el artículo 28 de la presente ley (como explotar aguas nacionales, renunciar a las concesiones o asignaciones, solicitar correcciones administrativas, solicitar u obtener prórroga de títulos) y la expedición de autorizaciones correspondientes excepto cambios de uso de suelo de áreas forestales, así como en selvas y zonas áridas, desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros (Fracción III, incisos f y g).

Durante la formulación del ordenamiento ecológico se deberá considerar la naturaleza y características de los ecosistemas existentes en el territorio nacional y zonas sobre las que la nación ejerza soberanía y jurisdicción; la vocación de cada zona o región en función de los recursos naturales, la distribución de la población y las actividades económicas que predominan; los

desequilibrios existentes en los ecosistemas por acción de los asentamientos humanos, las actividades económicas u otras actividades humanas o fenómenos naturales; debe existir equilibrio entre los asentamientos humanos y sus condiciones ambientales; el impacto ambiental de nuevos asentamientos humanos, vías de comunicación y demás obras o actividades (Artículo 19, fracción I a V).

En lo referente a los programas de ordenamiento ecológico local serán expedidos por autoridades municipales o del Distrito Federal ahora Ciudad de México y tendrán como objeto establecer los criterios de regulación ecológica para protección, preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en los centros de población, con la finalidad de ser considerados en los planes o programas de desarrollo urbano (Artículo 20 BIS 4, fracción III).

A fin de lograr los objetivos de la política ambiental la planeación del desarrollo urbano y la vivienda, deben considerar lo siguiente: los planes o programas de desarrollo urbano deben tomar en cuenta los lineamientos y estrategias expresadas en los programas de ordenamiento ecológico del territorio; en la determinación de los usos de suelo, se buscará alcanzar una diversidad y eficiencia de los mismos; durante la determinación de las áreas para el crecimiento de centros de población, se fomentará la mezcla de usos habitacionales y productivos que no representen riesgo para la población (Artículo 23, fracción I, II y III).

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

En este capítulo se explica y se desarrolla la propuesta metodológica en tres etapas, inicialmente se seleccionan las variables que permiten el cálculo de la aptitud territorial para posteriormente estandarizar y ponderar las variables, seguido de ello, se realiza un análisis de la información disponible para adecuar las variables a los requerimientos y definir los estándares deseados para la investigación. Finalmente se hace la selección de cartografía para posteriormente generar resultados en un SIG mediante la técnica multicriterio denominada Superposición Ponderada.

3.1. Propuesta metodológica

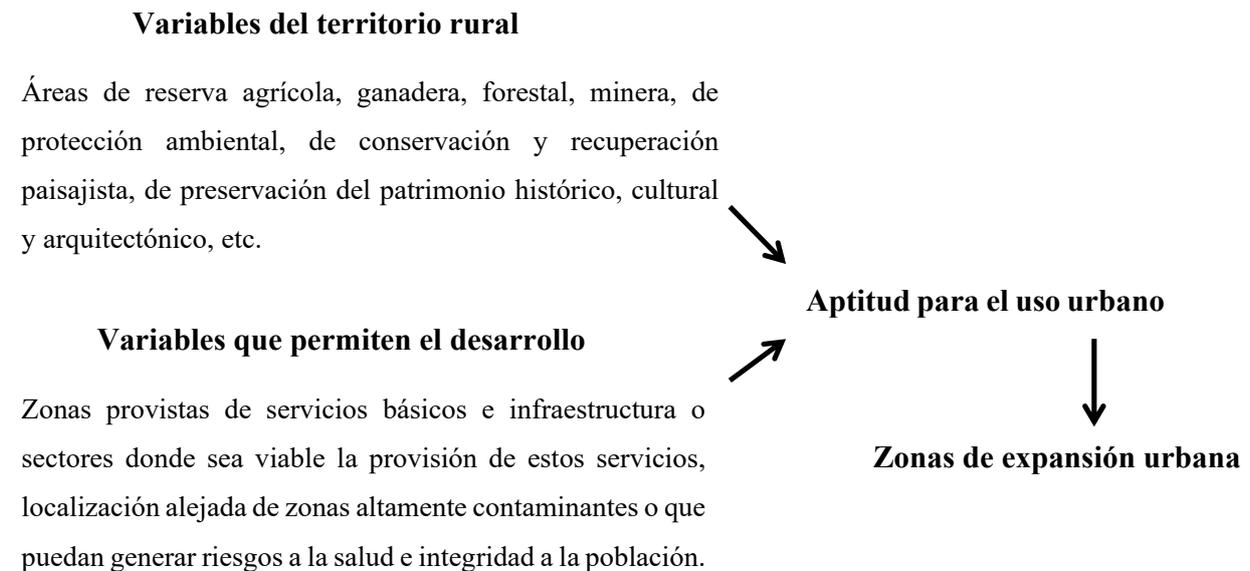
A diferencia del suelo urbano que cuenta con infraestructura vial, redes primarias de energía, agua potable, alcantarillado; y, que está destinado por el Plan de Ordenamiento Territorial exclusivamente a receptor usos urbanos; el suelo de expansión urbana, son porciones del territorio metropolitano destinados a este propósito, se debe ir habilitando en función del crecimiento de la ciudad y a la posibilidad de dotación con infraestructura para el sistema vial, transporte de servicios públicos domiciliarios, áreas libres y parques y equipamiento colectivo de interés público o social. La necesidad de identificar estas reservas de suelo permite planificar el crecimiento de las ciudades y la inversión en la dotación de la infraestructura y servicios, así como también para evitar el uso del territorio en áreas no aptas para el uso urbano, ya sea por ser productivas, o por el potencial de riesgo que represente.

Un proceso adecuado para medir la aptitud del territorio es a través de la evaluación de la capacidad de carga del suelo, y se resume en un proceso que mide el grado de idoneidad que presenta el territorio para una actividad, considerando a la vez la medida en el que el territorio satisface los requisitos en el medio (Gómez, 2007). Para el caso de las zonas de expansión urbana, se considerará las zonas menos valiosas, las cuales serán aptas para el establecimiento de estas actividades que consumen irreversiblemente el territorio.

Por ello se evalúa al territorio que tenga áreas de reserva agrícola, ganadera, forestal, minera, de protección ambiental, de conservación y recuperación paisajista y de preservación del patrimonio histórico, cultural y arquitectónico; así como también aquellas condiciones favorables para la urbanización como las zonas provistas de servicios básicos e infraestructura, o aquellos sectores donde sea viable la provisión de estos servicios, al igual que su localización alejada de zonas altamente contaminantes o que puedan generar riesgos a la salud e integridad de la población.

A continuación, la Figura 9 presenta como se determina las variables que se relacionan con el territorio y las variables que permiten el desarrollo urbano.

Figura 9. Variables para la determinación de zonas de expansión urbana



Fuente: Elaboración propia (2021)

Para la evaluación de la tierra se hizo uso de los Sistemas de Información Geográfica y las Técnicas de Evaluación Multicriterio, que, integradas entre sí, dan paso el proceso denominado como Evaluación Espacial Multicriterio; esta se vuelve una herramienta aplicable en la determinación de la capacidad de carga del territorio para diversas actividades. El empleo de esta herramienta para evaluar la capacidad del territorio permitió construir un modelo de evaluación de la aptitud del suelo, sobre un proceso abierto, cuyo inicio es la formulación del objeto de la valoración (aptitud para el uso urbano), y su finalidad es la obtención de una propuesta única (zonas de expansión urbana), a través de posibles alternativas y según diversos escenarios.

De las diferentes técnicas de evaluación espacial multicriterio existentes, se decidió por la Sumatoria Lineal Ponderada por ser un método accesible y comprensible para determinar la aptitud del suelo para la expansión urbana, por lo que se establecieron criterios y factores relevantes y reglas de decisión o juicios de valor, es decir, qué características del territorio son las que diferencian las alternativas en función de cada criterio, y en qué medida inciden en la valoración de la aptitud para el uso urbano. Bajo este contexto los SIG apoyan en el proceso de evaluación

espacial otorgándoles un peso y proporcionalidad adecuados a las variables que fueron seleccionadas para generar la cartografía de la aptitud del territorio.

La Evaluación Espacial Multicriterio permite dar cumplimiento al objetivo de la metodología y al mismo tiempo permitió:

- Evaluar el territorio para plantear las posibles zonas aptas para el uso adecuado del suelo urbano, lo cual sirve como una herramienta para la toma de decisiones.
- Evaluar impactos ambientales que genera el uso urbano en el territorio, a partir de la consideración de las variables ambientales y antrópicas.
- Generar escenarios que permitan disminuir incertidumbre con relación a la toma de decisiones; es decir, presentar alternativas de localización para las zonas de expansión urbana en función de la capacidad de carga del territorio para evitar usos inadecuados del suelo.
- Evaluar localizaciones, en función de los requerimientos de suelo y los objetivos de los planes de desarrollo municipal de los municipios que conforman la ZMT. El proceso debe considerar la posibilidad de ajustar o revisar los planes en cuestión, identificar la mayor aptitud y el menor impacto en el medio rural inmediato y mediano, pero también en relación con la propia ciudad.

La metodología para evaluar la aptitud del territorio y determinar el suelo de expansión urbano, consta de tres etapas:

- I. Etapa de desarrollo:** definir la aptitud del suelo para el uso urbano; también el establecimiento de criterios para determinar esa aptitud, para ello se consideraron las variables que parten desde una visión amplia y general del territorio rural y aquellas que permiten la urbanización.

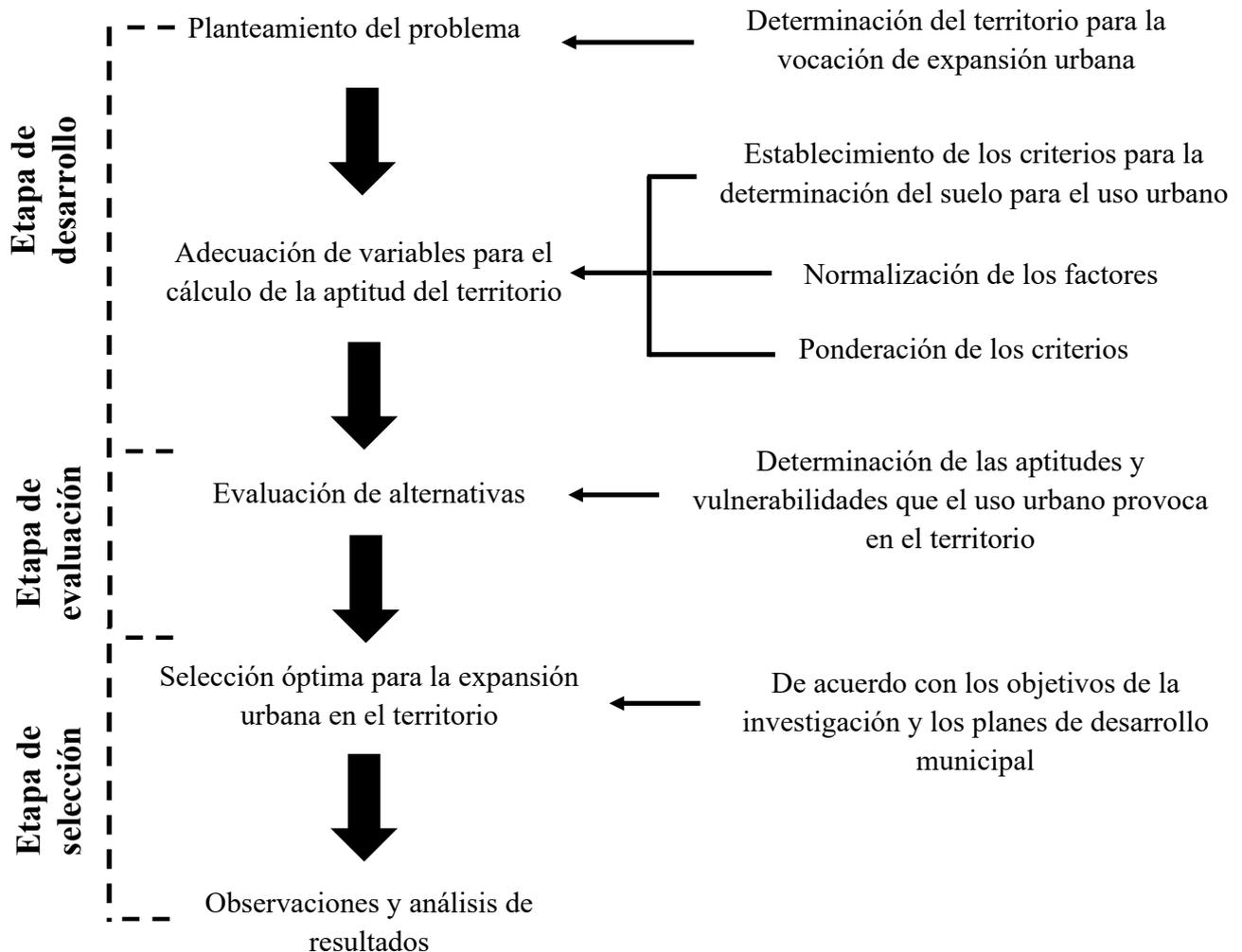
Como parte de esta fase de preparación fue necesario considerar la adecuación de las variables previo al cálculo de la aptitud del suelo, por lo que se realizó la normalización de estas, es decir mediante operaciones aritméticas básicas las variables fueron colocadas en una sola unidad y posterior a este proceso, es necesaria y obligatoria la ponderación de estas variables de tal manera que al momento de evaluar las alternativas de estas puedan reflejar la importancia que cada una de ellas representa en la determinación de la aptitud del suelo.

- II. Etapa de evaluación:** Luego de estandarizar y ponderar las variables, fue necesario definir el grado de adecuación e impacto de cada alternativa en la determinación de la aptitud para el uso urbano, para este fin se ha optado por la aplicación de la técnica de evaluación multicriterio denominada Sumatoria Lineal Ponderada.

- III. Etapa de selección:** Una vez elaborada la cartografía para la valoración del suelo en el territorio, se seleccionaron las áreas óptimas para la expansión urbana, mediante la técnica multicriterio Superposición Ponderada, dicho proceso se realizó considerando, aquellos objetivos y requerimiento propios de la ciudad y que son apegados a los planes de desarrollo municipal de los municipios que conforma la ZMT.

A continuación, se reporta el proceso metodológico en la Figura 10.

Figura 10. Proceso metodológico para la evaluación de la aptitud del territorio y determinación del suelo para expansión urbana



Fuente: Elaboración propia (2021)

3.2. Etapa de desarrollo

En seguida se explica cada etapa de la fase de desarrollo, que son el planteamiento del problema y el establecimiento de los criterios para la determinación del suelo para el uso urbano.

- a) Planteamiento del problema

El crecimiento urbano, ejerce fuertes presiones en el territorio rural, poco a poco el suelo con capacidad agrícola, pecuario, minero, forestal o de conservación es sustituido por suelo urbano, sin embargo, el problema radica principalmente cuando este fenómeno se produce por motivo de planeación que oriente este crecimiento, por este motivo la expansión de las ciudades van generando espacio intersticial en el territorio donde la demanda de equipamientos, infraestructura, servicios, sistemas de transporte, se vuelve difícil de cubrir o a su vez la dotación de servicios generan altos costos de inversión. En la actualidad se buscan alternativas como la compactación de funciones, densificación urbana, revaloración de los centros urbanos, como posibles soluciones para atender los requerimientos de la población urbana que crece cada vez más rápido, así como las actividades propias de las áreas urbanas tales como el comercio y los servicios. Sin embargo, las políticas y responsabilidades de los gobiernos locales no exhiben criterios de eficiencia y sostenibilidad, las zonas hacia donde debería extenderse las ciudades de tal manera que se mantengan los recursos existentes del territorio rural; así como desde el punto de vista de las necesidades de la ciudad, se deberá necesariamente considerar suelo rural a incorporarse en el medio o largo plazo para desarrollar precisamente las actividades relacionadas con los usos urbanos.

Bajo este contexto, la identificación de las zonas de expansión de las ciudades debería abordarse desde los planes de desarrollo municipal, donde se podrá considerar variables relacionadas al medio rural, así como desde la ordenación urbanística que determinará las necesidades de suelo desde el punto de vista del funcionamiento metropolitano.

b) Establecimiento de los criterios

Esta etapa plantea los criterios que servirán para la metodología, aquí se evalúa al territorio y se determinan aquellas zonas aptas para el uso urbano, mismas que serán las zonas potenciales que constituirían las áreas de expansión urbana.

Es indispensable que los criterios estén asociados a entidades geográficas y cartográficas; por lo que se ha considerado primordial relacionar los criterios establecidos, con la información geográfica existente y representarla en forma de capas temáticas. Para lo anterior será necesario establecer algunos criterios que cumplan con las siguientes características:

- Deben ser de información completa, es decir que cubran los aspectos relacionados con la determinación de la mayor aptitud del suelo con el menor impacto posible para el uso adecuado del uso urbano, y satisfacer los requerimientos necesarios para su implantación, es decir la disponibilidad de servicios, infraestructura, accesibilidad, localización, etc.

- Ser objetiva y significativa para el análisis, en este proceso debe evitarse establecer aquellas variables que sean similares o que puedan proporcionar información similar y por tanto redundante.
- Que pueda descomponerse en partes pequeñas para facilitar el análisis.

3.1.1.1 Criterios para la determinación de la aptitud del territorio para el uso urbano

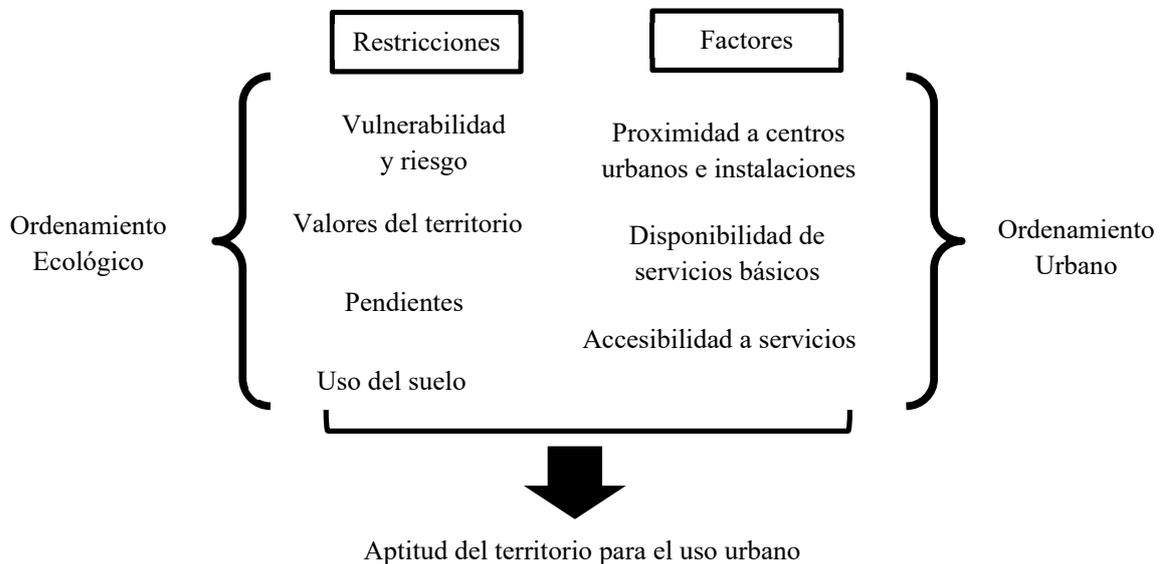
Se ha considerado para el establecimiento de los criterios de la aptitud del territorio para el uso urbano, las siguientes consideraciones:

- I. Limitaciones existentes del medio físico para el uso urbano**, como son las que se relacionan con la conservación de áreas por su interés productivo, ecológico, funcional, paisajístico y científico-cultural.
- II. Las áreas de riesgo socio natural para el uso urbano**, son aquellas que representan vulnerabilidad y riesgo para el uso urbano, estas pueden ser entendidas como zonas susceptibles a inundaciones, áreas de movimientos inestables, deslizamientos, cercanía a volcanes activos o fallas geológicas, redes de infraestructura energética, instalaciones que generen desechos contaminantes, explosivos o radioactivos, etc.
- III. Factores del medio físico**, como pendientes, usos de suelo, disponibilidad de servicios básicos y accesibilidad a servicios e instalaciones.

Además, con la intención de determinar la importancia de cada criterio en el proceso de evaluación de la aptitud del territorio para el uso urbano, se han dividido a los criterios en restricciones y factores (Figura 11).

Para este contexto se ha considerado a las restricciones como aquellas variables que se obtienen de una visión general que prevén la preservación y conservación del territorio rural, ya sea por su valor o por evitar el consumo irreversible del suelo, estas variables se determinan desde el ordenamiento del territorio; y , a los aptitud como variables que se determinan con una visión particular, en función de las necesidades del proceso de urbanización como por ejemplo la disponibilidad de servicios básicos necesarios para establecer una adecuada ordenación urbanística.

Figura 11. Relación entre Ordenamiento del ecológico y Ordenamiento urbano para la determinación de los criterios de la aptitud territorial



Fuente: Elaboración propia (2021)

El Cuadro 5 resume los criterios que serán utilizados para evaluar la aptitud del territorio para el uso urbano, cabe aclarar que los criterios son de fácil y accesible aplicación para la técnica Sumatoria Lineal Ponderada.

Cuadro 5. Criterios de evaluación de aptitud territorial para determinar de zonas de expansión urbana

Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas con valor ecológico y ambiental - Zonas con valor histórico y cultural - Zonas de riesgo por inundación e inestabilidad - Lugares de equipamientos incompatibles - Zonas destinadas para el desarrollo industrial - Pendientes - Uso actual del suelo
Factores	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas con valor productivo (agrícola, pecuario, minero, etc.) - Accesibilidad a vías de transporte - Cercanía a centros urbanos - Cercanía a instalaciones y equipamientos - Dotación de servicios básicos (agua potable, energía eléctrica, alcantarillado)

Fuente: Elaboración propia (2021)

a) Restricciones

Las restricciones, se refiere a las limitaciones o reducciones impuestas, que garantizan la conservación del territorio rural por los valores que posee y la no ocupación de aquellas zonas que representan riesgos potenciales o impactos negativos para el uso urbano. Se han considerado como restricciones las siguientes:

- **Áreas de valor ecológico y ambiental:** Dirigido a los recursos naturales, elementos, ecosistemas y paisajes valiosos, ya sea por su estado de conservación o por la importancia en el funcionamiento de los subsistemas territoriales en el ámbito de la planeación, también se considera la protección de ríos y lagos y zonas de recarga de acuíferos subterráneos, bosques, etc.
- **Zonas de valor histórico y cultural:** Corresponde para aquellas zonas que se encuentran inscritas por:
 - i) Monumentos arqueológicos los bienes muebles e inmuebles, como: objetos de cerámica, metal, piedra o cualquier otro material a las épocas prehispánicas y colonial; ruinas, edificaciones cementerios y yacimientos arqueológicos en general; también restos humanos de la flora y fauna, relacionados con la misma época.
 - ii) Templos, conventos, capillas y otras edificaciones que pudieron ser construidos en tiempos prehispánicos, colonial o en diferentes periodos históricos; así como pinturas, esculturas, objetos de orfebrería, cerámica, etc.
 - iii) Objetos y documentos como manuscritos antiguos e incunables que pertenecieron o se relacionan con los precursores o próceres de la independencia de México o de personajes singulares que tuvieron relevancia en la historia de México.
 - iv) Objetos etnográficos que posean valor científico, histórico o artístico, pertenecientes al patrimonio etnográfico; así como objetos o bienes culturales producidos por artistas contemporáneos laureados serán considerados bienes pertenecientes al Patrimonio Cultural e Histórico de la Nación.
 - v) Obras de la naturaleza que hayan sufrido cambios en sus características geomorfológicas por el paso de los años o haya habido una intervención por la mano del hombre y tengan interés científico para el estudio de la flora y fauna y la paleontología;

y, todo objeto o producción que no conste en los literales anteriores que sean producto del Patrimonio Cultural de la Nación tanto del pasado como del presente y que por su mérito artístico, científico o histórico hayan sido declarados bienes pertenecientes al Patrimonio Cultural por el Instituto sea que se encuentren en el poder del Estado, de las instituciones religiosas o pertenezcan a sociedades o personas particulares cuya área de influencia haya sido delimitada por el Instituto de Patrimonio Cultural.

- **Zonas riesgo por inundación e inestabilidad:** Para definir a las zonas de riesgo por inundación, se deberá determinar los mapas de amenaza por inundación y los tiempos estimados de recuperación de la funcionalidad de estos fenómenos, estos se realizan mediante una zonificación de alto, medio y bajo. Para la consideración de una amenaza alta en un área geográfica delimitada por la línea de inundación correspondiente a crecientes con periodos de retorno de 10 años, como amenaza media, al, área delimitada por la línea de inundación que corresponde a periodos de retorno de 50 años y la zona de amenaza baja a la franja delimitada por creciente con periodos de retorno de 100 años, adicionalmente se debe considerar la profundidad de agua, la velocidad de flujo y la duración del fenómeno.

Lugares de equipamientos incompatibles: Se considera como lugares de equipamientos incompatibles a lugares como relleno sanitario, centros de faenamiento de animales, plantas de tratamientos de desechos líquidos, presas, centrales eólicas, térmicas o nucleares, y redes de electricidad de alta y media tensión, transformación y distribución de redes de combustible como oleoductos, gasoductos, concentradores, etc.; redes hidráulicas como canales de riego.

Los rellenos sanitarios y las plantas de tratamiento de desechos líquidos o lagunas de oxidación no deben ubicarse cerca de zonas donde exista población humana, es indispensable planificar la localización en de estos lugares en función de las previsiones del plan de desarrollo urbano de la ciudad. Las distancias del relleno a las viviendas más cercanas se determinarán en función del tamaño de la población de los centros urbanos.

Con respecto a los centros de faenamiento, estos deben estar aislados de las áreas urbanas ya que, si bien no se considera una actividad perjudicial para la salud pública; los malos olores generados, insectos y otros vectores que se acumulan por la materia fecal de los animales alojados en los corrales, las aguas residuales vertidas sin tratamiento previo y los decomisos que se generan en los rastros y mataderos; junto con el ruido de la misma

actividad, lo que puede provocar un descenso en la calidad de vida de los habitantes asentados en las cercanías de estos establecimientos.

También, debe considerarse un descenso a la calidad de vida por la cercanía a las plantas de tratamientos líquidos, centrales eólicas, redes de electricidad de alta y media tensión, oleoductos, gasoductos, concentradores, etc.

Zonas destinadas para el desarrollo de actividades industriales: De acuerdo con la posición en la que se encuentre la industria en el proceso productivo y los impactos que genere, se puede distinguir a las industrias de base, que inician el proceso productivo, transformando materia prima en productos semielaborados que utilizan otras industrias para su transformación final, se consideran de alto impacto ambiental, la industrias de bienes de equipo, que se dedican a transformar los productos semielaborados en equipos productivos para equipar industrias, esto es fabricación de maquinaria, equipos electrónicos, etc., y las industrias de bienes de consumo, que fabrica, bienes destinados al uso directo por parte del consumidor (textiles, productos farmacéuticos, electrodomésticos, etc.), sin embargo no pueden localizarse cerca de áreas urbanas o zonas para la urbanización que presentes densidades considerables de población.

Pendientes: Representan una condición que incide directamente en la identificación de áreas para la expansión urbana. Para este caso, las áreas con menor pendiente son aquellas en las que oscila entre 0 y 5%, ubicándose en su mayor parte en fondos de valles, abanicos aluviales y terrazas fluviales, consideradas de muy alta aptitud para la expansión urbana, las zonas que representen pendientes de 5 a 10% puede tener una alta aptitud para el uso adecuado de suelo urbano y hace referencia al fondo del valle y en las partes bajas de las vertientes, por otra parte una pendiente de 10-20% se puede considerar como moderada aptitud y corresponde a zonas ubicadas en vertientes de ríos y quebradas, por último, las pendientes mayores 30% presentan una aptitud muy baja y estas se encuentran caracterizadas por estar en zonas donde predominan las vertientes abruptas y taludes.

Uso actual del suelo: El uso del suelo es aquel uso que el ser humano hace en la superficie terrestre. Dentro del abanico de los usos del suelo abarca la gestión y modificación del medio natural para convertirlo en un ambiente construido tal como terrenos agrícolas, pecuarios, forestales y asentamientos humanos; también puede ser definido como “las acciones, actividades e intervenciones humanas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla” (FAO/UNEP, 2000). Es de

suma importancia conocer el uso que actualmente se está llevando a cabo para valorar los siguientes factores en función de la importancia que revisten para la determinación del suelo de expansión urbana.

b) Factores

- **Áreas de valor productivo.** Aquellas zonas que por su calidad de suelo tienen como uso potencial la agricultura, ganadería, minería, entre otras actividades. Y que disponen de infraestructura para la conservación, asimismo las zonas con menor valor productivo, pero en las que la agricultura juega un papel importante en la economía rural y no son susceptibles de otros aprovechamientos intensos.
- **Vialidad.** Es indispensable contar con carreteras que permitan una fácil comunicación entre un poblado y otros, y que brinde una adecuada accesibilidad a las zonas destino y receptoras para un crecimiento urbano bien planificado. La red vial, se vuelve el medio espacial por el cual es más sencillo dotar de servicios básicos, transporte y de abastecimiento para las zonas urbanas. Cabe mencionar que los patrones de crecimiento de los asentamientos humanos han sido desarrollados con base a los trayectos de vías principales, por lo que este es un factor muy importante para considerar.
- **Cercanía a centros urbanos.** Tener en cuenta la cercanía a otros centros urbanos bajo la determinación de nuevos suelos aptos para un uso adecuado del suelo es fundamental ya que permite la cercanía de la infraestructura y los servicios de las zonas urbanas siendo estos totalmente aprovechables, no obstante, esto sirve para disminuir la generación de espacios intersticiales y el crecimiento desmesurado sobre la mancha urbana.
- **Cercanía a instalaciones y equipamientos.** La distancia a instalaciones y equipamientos principalmente relacionados a la educación, salud y para abastecimientos de primera necesidad (alimento y bebidas no alcohólicas, medicinas y dispositivos médicos) que son los que generan mayor necesidad de desplazamiento de la población.
- **Dotación de servicios básicos.** Es indispensable considerar la distancia de los servicios básicos para identificar la aptitud del territorio para un adecuado uso urbano, su aptitud dependerá de acuerdo con su proximidad a redes de abastecimiento de agua potable, energía eléctrica y alcantarillado.

3.2.1. Estandarización de factores

Para aplicar la técnica multicriterio Sumatoria Lineal Ponderada, se requiere estandarizar las variables, es decir, que sean transformados a un criterio que pueda ser medible, de tal manera que la información que se tenga pueda ser comparable en escalas, con la finalidad de que puedan cotejarse y asegurar que los pesos de los criterios reflejen apropiadamente su importancia. Existen diversos tipos de estandarización, pero para esta metodología se utilizó la estandarización lineal, el Cuadro 6, muestra algunos métodos que pueden utilizarse para la estandarización lineal de las variables.

Cuadro 6. Métodos de estandarización lineal

Intervalo	Este método es utiliza para estandarizar valores absolutos, alto y bajo.	
	Factor como utilidad Valor estandarizado = (valor – valor más bajo) / (valor más alto – valor más bajo)	Factor como costo Valor estandarizado = 1 - [(valor – valor más bajo) / (valor más alto – valor más bajo)]
Fórmula	$V_a = \frac{(x_i - x_b)}{(x_a - x_b)}$	$V_a = 1 - \frac{(x_i - x_b)}{(x_a - x_b)}$
Máximo	Se utiliza para estandarizar los valores entre 0 hasta el máximo valor de la categoría, se calcula de la siguiente manera.	
	Factor como utilidad Valor estandarizado = valor/valor más alto	Factor como costo Valor estandarizado = 1- (valor/valor más alto)
Fórmula	$V_a = \frac{x_i}{x_a}$	$V_a = 1 - \frac{x_i}{x_a}$
Meta	Se utiliza para estandarizar entre dos valores de referencia	
	Factor de utilidad Valor estandarizado = (valor - valor más bajo) / valor meta mínimo – valor más bajo)	Factor como costo Valor estandarizado = 1 - [(valor – valor más bajo) / (valor meta máximo – valor más bajo)]
Fórmula	$V_a = \frac{(x_i - x_b)}{(x_{jmin} - x_b)}$	$V_a = 1 - \frac{(x_i - x_b)}{(x_{jmax} - x_b)}$

Fuente: Elaboración con base en Barredo (1996)

La estandarización lineal de las metodologías mencionadas sirve para normalizar valores absolutos, máximos y mínimos, para esta metodología se transformó en una sola unidad de medida los

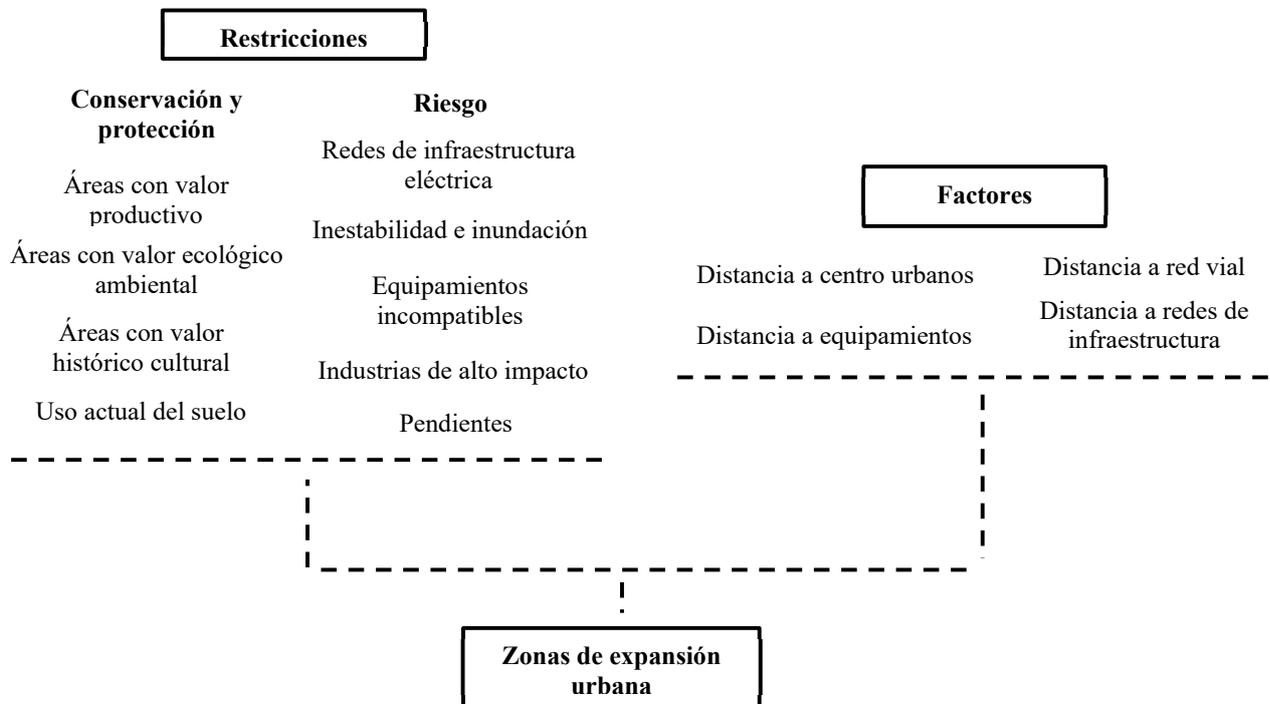
criterios establecidos para evaluar la aptitud del territorio e identificar las mejores zonas para la expansión urbana.

Bajo este contexto, se consideran los criterios como beneficio en el caso de que la peor puntuación de un factor sea 0 y la mejor 1. No obstante, se puede presentar el caso de que cuanto mayor sea el valor de un factor, la aptitud del suelo puede ser la peor, de esta manera se consideró que para todo criterio que sobre pase 1 resulte costo para la ocupación del suelo o inadecuado.

A manera de ejemplo para el caso de las pendientes, cuando mayor sea la pendiente, menor es la probabilidad de que el suelo presente condiciones para la urbanización o la distancia a las vías, de redes de agua potable, alcantarillado y electricidad, cuanto mayor sea las distancia, menor será la probabilidad de que sea factible determinar la aptitud del territorio para el uso urbano, debido al costo que representaría dotar de servicios a esa área. Las variables que tienen valor agrícola, ecológico o histórico, cuanto mayor sea el valor, menor será la probabilidad de que sean zonas seleccionadas para el uso urbano.

En cuanto a las variables cualitativas como lo son los usos de suelos, será necesario asignarles un rango de 1 a 5 a cada uno de los valores de cada variable, en función de su relación con el uso urbano, el método de estandarización que se utilizó para este tipo de variables será el de escalas subjetivas (Malczewski, 2004) debido a que las variables se clasificaran de acuerdo con el criterio que uno considera factible para la planeación urbana. La intención de este es relacionar las restricciones y los factores. A continuación, en la Figura 12 se muestra la relación entre restricciones y factores.

Figura 12. Relación entre restricciones y factores para la expansión urbana en el territorio



Fuente: Elaboración con base en Barredo (1996)

3.2.2. Ponderación de factores

Cuando se hace la utilización de técnicas de evaluación multicriterio es necesario asignar un peso a los criterios, para este caso, el peso asignado estará en función de la importancia relativa del criterio y su incidencia en la determinación de la aptitud del territorio para el uso urbano.

Los pesos asignados a cada criterio no pueden ser negativos, y la suma total de todos los pesos de los criterios asignados deben ser igual a uno, a continuación, se describe el método de asignación de pesos para las variables, el método es de carácter subjetivo denominado Método Directo.

El Método Directo se desarrolla mediante la asignación natural de pesos a los factores, en este proceso, el usuario estima la importancia relativa de cada factor en función de los objetivos que se pretende conseguir, para determinar la aptitud del suelo en el territorio para el mejor uso urbano.

Los pesos son automáticamente normalizados en este método, debido a que la sumatoria total de estos debe ser igual a uno, el Cuadro 7, muestra los pesos determinados que intervienen en la evaluación de la aptitud del suelo en el territorio. Los pesos asignados, también dependen de los

criterios tomados por el investigador y por los límites permisibles de los Planes de Desarrollo Municipal, sin embargo, la estimación que a continuación se muestra, se realizó con base a los objetivos que se detallan en el apartado 3.2.

La asignación de pesos por el método directo considera en las restricciones a: áreas con valor productivo, con una puntuación asignada que equivale al 35% (mayor porcentaje y ponderación asignada), siendo esta variable la que tendría mayor influencia para determinar la aptitud del suelo para el mejor uso urbano en el territorio. Debido a que el uso de suelo más próximo a las afueras del entorno urbano de la ZMT es el suelo con potencial agrícola y minero. Sin embargo, al momento de la elección de estas variables, estas deben cumplir una distancia con los factores que permita el aprovechamiento de la infraestructura ya presente, para así evitar generar costos adicionales y excesivos.

Así mismo las variables que se vinculan con la dotación y disponibilidad con servicios básicos como redes de abastecimiento de agua potable, energía eléctrica y alcantarillado y cercanía a las vías de comunicación, se consideran con una ponderación importante, ya que precisamente estos factores permiten generar las condiciones necesarias para la urbanización.

Cuadro 7. Pesos asignados para determinar aptitud del suelo en el territorio

Dimensiones	Restricciones/Factores/Variables	Porcentaje de aptitud	Peso	
Recursos naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Relieve <ul style="list-style-type: none"> a) Pendiente b) Planicie fluvial [%] c) Lomerío [%] 	6%	0.02 0.02 0.02	
	<ul style="list-style-type: none"> • Biodiversidad <ul style="list-style-type: none"> a) Suelo para conservación natural 	5%	0.01 0.02 0.02	
	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad y recursos del territorio <ul style="list-style-type: none"> a) Tierra constructiva [m^2/hab] b) Áreas con valor productivo c) Superficie territorial [m^2/hab] d) Superficie total de la ZMT [km^2] 	38%	0.1 0.15 0.1 0.03	
	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas verdes: <ul style="list-style-type: none"> a) Cobertura de áreas verdes a las afueras de la ciudad b) Proporción entre las áreas verdes y el área urbana 	16%	0.08 0.08	
	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos del agua <ul style="list-style-type: none"> a) Cuerpos de agua [m^3/hab] b) Longitud de ríos existentes [km] 	5%	0.025 0.025	
	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad de riesgos socio naturales <ul style="list-style-type: none"> a) Lugares susceptibles a inundaciones b) Lugares susceptibles a deslaves c) Equipamientos incompatibles d) Áreas de alto impacto industrial 	5%	0.0125 0.0125 0.0125 0.0125	
Infraestructura disponible para la dotación de servicios	<ul style="list-style-type: none"> • Dotación de servicios básicos <ul style="list-style-type: none"> a) Capacidad para suministrar agua [%] b) Disponibilidad de drenaje c) Disponibilidad de servicio eléctrico d) Disponibilidad de servicio de recolección e) Accesibilidad a vías carreteras [%] f) Acceso al transporte público [%] g) Disponibilidad de acceso a las telecomunicaciones 	20%	0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.02	
	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamiento urbano <ul style="list-style-type: none"> a) Acceso cercano a hospitales [%] b) Acceso cercano a instalaciones educativas [%] 	5%	0.025 0.025	
	TOTAL		100%	1

Fuente: Elaboración propia (2021)

Continuando en las restricciones, las zonas de riesgo por inestabilidad e inundaciones, lugares de equipamientos incompatibles, zonas para el desarrollo de actividades de alto impacto industrial y pendientes, se ha establecido una ponderación variada del 10% o menos, debido a que tiene una baja injerencia en la determinación de suelo con aptitud para el uso urbano, asignar un porcentaje bajo a estas variables permite prevenir la propagación de asentamientos urbanos en zonas de riesgo geológico, susceptibles a inundación, previene los riesgos a la salud e integridad de la población, y en cuanto a las áreas con valor ecológico y ambiental y las zonas con valor histórico y cultural, se les asignara un porcentaje variado de 5% o menos, precisamente para proteger las áreas con valor ambiental, paisajístico, ecológico, científico y cultural, con una ponderación baja se lograra conservar el funcionamiento de los ecosistemas y salvaguardar las zonas que representen un patrimonio cultural para el país.

En relación con las redes de infraestructura eléctrica, la proximidad a equipamientos de salud, educación y centros urbanos, estas tendrán un porcentaje por debajo del 10% ya que, si bien se consideran como restricciones y factores de localización, no influyen drásticamente para la determinación de la aptitud del suelo en el territorio para el uso urbano. En el Cuadro 9 se muestra la ponderación de los criterios de evaluación que se ha asignado con base a la aplicación del Método Directo y que recoge todas las reflexiones que se han explicado anteriormente.

En el Cuadro 9 se reporta el porcentaje y peso de influencia para determinar la aptitud del suelo en el territorio para el mejor uso urbano; la disponibilidad y recursos del territorio, áreas con infraestructura disponible para la dotación de servicios básicos (agua, drenaje, electricidad, manejo de residuos y comunicación y transporte) y áreas verdes son consideradas como las más influyentes en la determinación de la mejor aptitud del suelo en el territorio, por lo que sumadas dan 70%. Por otro lado, suelo, relieve, recursos del agua y equipamiento urbano son variables que se han estimado en segundo plano y en total representan el 20%, las variables relacionadas con lugares no aptos para el crecimiento urbano por su riesgo y baja calidad de vida para el desarrollo urbano, así como la protección y conservación de los recursos naturales y monumentos con valor histórico y cultural son la de sensibilidad de riesgos socio naturales, biodiversidad y espacios con riqueza natural y cultural con 10% de acuerdo al cálculo del Cuadro

3.3. Etapa de evaluación

En esta etapa de evaluación, se trabaja en el desarrollo de la técnica multicriterio Sumatoria Lineal Ponderada para poder establecer la aptitud del suelo en el territorio para el uso urbano. Malczewski (1999) menciona que la gran ventaja de esta metodología es el bajo grado de complejidad y la

facilidad de integración en un Sistema de Información Geográfica, para ello será necesario obtener todas las variables que constituyeron los criterios de evaluación estandarizados y en archivos raster.

Una vez estandarizados los criterios en escala y ponderados, es necesario evaluar las alternativas, es decir, hallar el grado de adecuación e impacto de cada alternativa en la determinación de la aptitud para el uso urbano. El método sumatorio lineal ponderada permite la utilización combinada y el análisis en un Sistemas de Información Geográfica sobre cada proceso que se involucra en las preferencias del investigador para la toma de decisiones, en función de los objetivos y metas de los planes de Desarrollo Municipal y Metropolitanos.

Obtener el nivel de adecuación de cada alternativa para el uso urbano, se hallará multiplicando los pesos asignados a las variables, por los criterios estandarizados, para finalmente sumar los puntajes por alternativa. La fórmula se describe de la siguiente manera:

Donde:

a_i = es la aptitud i ,

w_j = es el peso asignado al factor j ; y,

x_{ij} = es el valor del factor j en i

$$a_i = \sum_{j=1}^J w_j x_{ij}$$

La aplicación de esta fórmula sobre las variables estandarizadas y ponderadas permite evaluar la aptitud del suelo en el territorio para el uso urbano, dicha ecuación general permite la siguiente demarcación de las posibles zonas urbanas. En el Cuadro 8 aparece la información codificada de estándares y peso que será utilizada en la construcción de la ecuación y más adelante se presenta el Cuadro 9 con los estándares meta que se desea alcanzar para determinar el uso óptimo del suelo para la expansión urbana.

Cuadro 8. Variables que intervienen en la fórmula para determinar la aptitud del suelo

Restricciones/Factores/Variables	Estandarización Codificada	Peso Codificada
• Relieve	pendien	W1
d) Pendiente	planicieflu	W2
e) Planicie fluvial [%]	lomer	W3
f) Lomerío [%]		
• Biodiversidad	sueloconserva	W4
b) Suelo para conservación natural		
• Espacios con riqueza cultural y natural	anp	W5
c) Áreas Naturales Protegidas (ANP) [m^2 /hab]	monuhistori	W6
d) Monumentos con valor histórico y cultural [m^2 /hab]		
• Disponibilidad y recursos del territorio	tierraconstr	W7
e) Tierra constructiva [m^2 /hab]	areaproduct	W8
f) Áreas con valor productivo	supterritorial	W9
g) Superficie territorial [m^2 /hab]		
• Áreas verdes:	coberturaverdefue	W10
c) Cobertura de áreas verdes a las afueras de la ciudad	proporcionverurba	W11
d) Proporción entre las áreas verdes y el área urbana		
• Recursos del agua	cuerpoagua	W12
c) Cuerpos de agua [m^3 /hab]	longrios	W13
d) Longitud de ríos existentes [km]		
• Sensibilidad de riesgos socio naturales	inundacion	W14
e) Lugares susceptibles a inundaciones	deslaves	W15
f) Lugares susceptibles a deslaves	equipincompa	W16
g) Equipamientos incompatibles	impactindustria	W17
h) Áreas de alto impacto industrial		
• Dotación de servicios básicos	suminagua	W18
h) Capacidad para suministrar agua [%]	dispodrenaje	W19
i) Disponibilidad de drenaje	dispoelectric	W20
j) Disponibilidad de servicio eléctrico	disporecolec	W21
k) Disponibilidad de servicio de recolección	accescarreteras	W22
l) Accesibilidad a vías carreteras [%]	accespublico	W23
m) Acceso al transporte público [%]	dispocomunica	W24
n) Disponibilidad de acceso a las telecomunicaciones		
• Equipamiento urbano	distahospitales	W25
c) Acceso cercano a hospitales [%]	distaescuela	W26
d) Acceso cercano a instalaciones educativas [%]		

Fuente: Elaboración propia (2021)

Teniendo en consideración que w_n , representa la ponderación que debería dársele a cada factor, la ecuación se desarrolla de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & [\text{pendien} * w_1] + [\text{planicieflu} * w_2] + [\text{lomer} * w_3] + [\text{sueloconserva} * w_4] + [\text{anp} * w_5] + \\ & [\text{monuhistori} * w_6] + [\text{tierraconstr} * w_7] + [\text{areaproduct} * w_8] + [\text{supterritorial} * w_9] + \\ & [\text{coberturaverdefue} * w_{10}] + [\text{proporcionverurba} * w_{11}] + [\text{cuerpoagua} * w_{12}] + [\text{longrios} * w_{13}] + \\ & [\text{inundacion} * w_{14}] + [\text{deslaves} * w_{15}] + [\text{equipincompa} * w_{16}] + [\text{impactindustria} * w_{17}] + \\ & [\text{suminagua} * w_{18}] + [\text{dispodrenaje} * w_{19}] + [\text{dispoelectric} * w_{20}] + [\text{disporecolec} * w_{21}] \\ & [\text{accescarreteras} * w_{22}] + [\text{accespublico} * w_{23}] + [\text{dispocomunica} * w_{24}] + [\text{distahospitales} * w_{25}] + \\ & [\text{distaescuela} * w_{26}] \end{aligned}$$

Finalmente, en el Cuadro 9, se reportan los estándares deseados que se desea alcanzar para la mejor aptitud del suelo en el territorio, estos estándares han sido definidos en función de las metas y objetivos de la investigación, al mismo tiempo que el usuario define ciertos límites de acuerdo con las preferencias de los planes de desarrollo municipal y metropolitano para una adecuada planeación del uso del territorio para el uso urbano.

Cuadro 9. Estándares deseados para el uso óptimo del territorio

Restricciones/Factores/Variables	Umbrales	Referencias
<ul style="list-style-type: none"> • Relieve <ul style="list-style-type: none"> a) Pendiente 	=50%	Zavala et al. (2016), SEMARNAT (2003)
<ul style="list-style-type: none"> • Espacios con riqueza cultural y natural <ul style="list-style-type: none"> a) Suelo para conservación natural b) Áreas Naturales Protegidas (ANP) [m^2/hab] c) Monumentos con valor histórico y cultural [m^2/hab] d) Distancia resiliencia ecológica y ambiental 	Restringir el uso Restringir el uso Restringir el uso 2000 m	Shen et al. (2011), Oh et al. (2005), Joardar (1998), Li et al. (2009), Wackernagel (2002), SEMARNAT (2003)
<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad y recursos del territorio <ul style="list-style-type: none"> a) Tierra constructiva [m^2/hab] b) Distancia Áreas con valor productivo c) Superficie territorial [m^2/hab] 	$\leq 250 m^2$ $\geq 2205m$ (obligatorio) $\geq 65\%$	Shen et al. (2011), Tzoulas et al (2007), Oh et al. (2005), Zhang et al. (2011), Downs et al. (2008), Li et al. (2009)
<ul style="list-style-type: none"> • Áreas verdes: <ul style="list-style-type: none"> a) Cobertura de áreas verdes a las afueras de la ciudad b) Proporción entre el área urbana y las áreas verdes 	$\geq 65\%$ $\leq 35\%$	Shen et al. (2011), Tzoulas et al (2007), McKinsey (2011), Oh et al. (2005), Liu (2012), Wei et al. (2015b), Zhang et al. (2011), Downs et al. (2008), Li et al. (2009), SEMARNAT (2003)
<ul style="list-style-type: none"> • Recursos del agua <ul style="list-style-type: none"> a) Cuerpos de agua [m^3/hab] b) Longitud de ríos existentes [km] 	$\geq 100m$ de distancia $\geq 100m$ de distancia	Shen et al. (2011), McKinsey (2011), Oh et al. (2005), Liu (2012), Onishi (1994), Joardar (1998), Zhang et al. (2011), SEMARNAT (2003) CONAGUA (2014)
<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad de riesgos socio naturales <ul style="list-style-type: none"> a) Lugares susceptibles a inundaciones b) Lugares susceptibles a deslaves c) Equipamientos incompatibles d) Áreas de alto impacto industrial 	=20% =20% =20% =20%	SEMARNAT (2003)
<ul style="list-style-type: none"> • Dotación de servicios básicos <ul style="list-style-type: none"> a) Capacidad para suministrar agua [%] b) Disponibilidad de drenaje c) Disponibilidad de servicio eléctrico d) Disponibilidad de servicio de recolección e) Accesibilidad a vías carreteras [%] f) Acceso al transporte público [%] g) Disponibilidad de acceso a las telecomunicaciones 	=100% =100% =100% =100% =100% =100% =100%	INEGI (2010), CONAGUA (2014), CONAGUA (2013), CMM (2015), INECC (2013) INEGI (2012)
<ul style="list-style-type: none"> • Equipamiento urbano <ul style="list-style-type: none"> a) Acceso cercano a hospitales [%] b) Acceso cercano a instalaciones educativas [%] 	=70% =70%	INEGI (2014)

Fuente: Elaboración propia con base autores referidos (2021)

3.3.1. Instrumentos para la validación metodológica

Para poder validar la aplicabilidad de la metodología planteada es necesario definir la aptitud del suelo en el territorio para determinar nuevas áreas de expansión urbana en el caso real; para lo cual es indispensable realizar un análisis de la información cartográfica.

A partir de la información obtenida, se puede seleccionar las áreas que permitan soportar y darle dirección a la expansión urbana, mismas que conforman la categoría de suelo de expansión, y que se definirán en función de los objetivos del Plan de Ordenamiento Ecológico y del Territorio, así como también los Planes de Desarrollo Municipal para una adecuada planeación territorial.

Para darle cumplimiento a este propósito se ha previsto utilizar como software de Sistema de Información Geográfica “ArcGIS”, Dicho software proporciona y facilita el análisis de información tanto en formato vectorial como en formato ráster, mediante la utilización de comandos y herramientas de fácil manejo y comprensión.

Con relación a la información que se ha utilizado para el análisis, se ha optado por recopilar información temática básica y suficiente del país, así como del Estado de México y los municipios que conforman a la ZMT por parte del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) para trabajar con las variables necesarias y poderlas adecuar al cálculo para el análisis multicriterio que se plantea en la metodología.

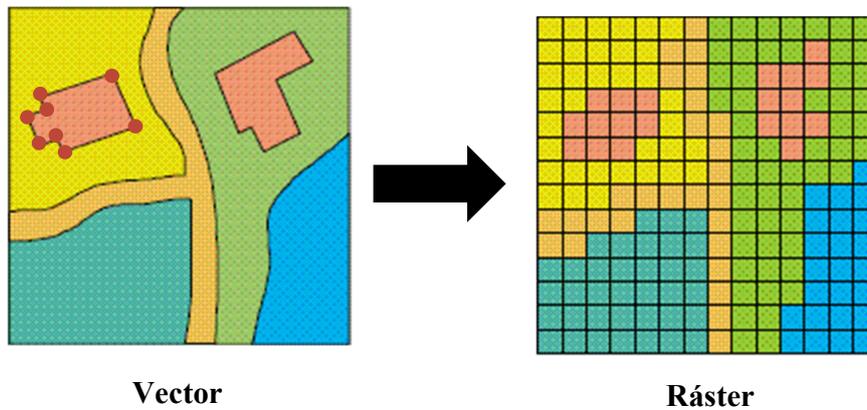
3.3.2. Análisis de la información disponible y adecuación de variables

La información se trabajó en formato vectorial, siendo estas en: puntos, líneas y polígonos; cabe señalar que para realizar la sumatoria lineal ponderada como método de análisis multicriterio que permita determinar la aptitud del territorio para nuevas áreas de expansión urbana, es necesario considerar al territorio como una malla, es decir como una matriz de celdas, en la que para cada celda se deberá calcular la aptitud del suelo sobre cualquier tipo de uso, siempre y cuando se establezcan las variables que influyen para cada análisis.

Con el fin de poder entender mejor las cualidades, diferencias y utilidades que tienen el formato vectorial y ráster, enseguida se procede a explicar en qué consiste cada uno de estos elementos.

La Figura 13 muestra como los datos de un vector puede interpretarse en el mundo real por medio de un gráfico vectorial, los datos se registran por medio de los límites de la entidad geográfica, las cuales delimitan en puntos líneas y polígonos.

Figura 13. Representación Vectorial y Ráster del mundo real



Fuente: ESRI (2019)

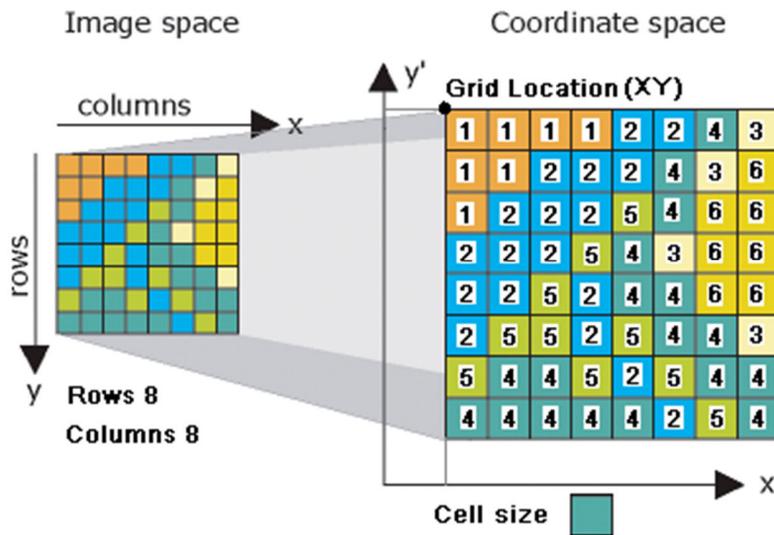
El modelo ráster que se observa en la Figura 13 permite representar toda la información geográfica (entidades, imágenes y superficies), este formato, no registra los límites de los objetos si no su contenido, quedando sus límites implícitamente representados; el área se divide en una malla regular de celdas, en el que a cada Cuadro se le asigna un valor numérico que representa el atributo que está registrando. A cada una de las celdas se le denomina “píxel”.

Las propiedades geográficas de un ráster suelen ser:

- Su sistema de coordenadas
- Una coordenada de referencia o ubicación (x, y)
- Tamaño de celda
- Recuento de filas y columnas

La información que ofrece un ráster permite identificar y buscar la ubicación de cualquier celda concreta. Guiándonos por el valor que cada celda tiene. (Figura 14.)

Figura 14. Propiedades geográficas de los datos de un ráster



Fuente: ESRI (2019)

La representación vectorial y ráster es ideal para el desarrollo de gráficas y mapas para cuando se requiere información precisa de limitaciones y de contenido. Ciertas operaciones y análisis espacial son más sencillos y rápidos de realizar con la organización vectorial, pero estas ventajas se consiguen a partir de una organización de los datos que puede resultar compleja al momento de actualizar la base de datos, cualquier cambio determina la necesidad de modificar muchos elementos.

En cuanto al formato ráster, su organización de los datos es más simple, esta permite realizar con gran facilidad procesos de análisis. A manera de ejemplo, la superposición de los mapas es muy sencilla y fácil de programar ya que se desarrolla mediante operaciones y matrices. El principal inconveniente es el tamaño de almacenamiento que genera y requiere, en especial si es necesario disponer de una representación muy precisa, por lo que exige disminuir el tamaño del píxel y, en consecuencia, aumentar el número de filas y columnas del mapa.

Conociendo lo anterior, a continuación, se muestra los resultados que se han conseguido de las variables que intervienen en el cálculo de la aptitud del territorio para las nuevas áreas de expansión urbana. Cabe señalar que se ha determinado que el tamaño del píxel que se empleará en el análisis es de 5 metros para poder tener una buena precisión y la mejor calidad de detalle.

3.3.3. Requerimientos de información para la determinación del suelo de expansión

Se presenta la información cartográfica disponible caracterizándola por su tipo de función y escala, que permitirá brindar la información necesaria para el análisis del territorio, gran parte de esta información se puede encontrar en la base de datos de diferentes dependencias del Gobierno Federal de México. Es preciso señalar que, para mejorar los resultados sobre el análisis del territorio, se deberá transformar gran parte de la información obtenida a formato Shape y Raster, ya que este tipo de archivos permite mostrar la superficie en una matriz de celdillas (pixels).

A continuación, el Cuadro 10 describe la información de las diferentes dependencias del Gobierno Federal de México que se requiere para construir la base de datos cartográfica.

Cuadro 10. Información necesaria para evaluarla aptitud del territorio

Variables	Mapa	Título	Año	Descripción	Escala
Restricciones o limitantes					
Áreas con potencial Agrícola	INEGI	Uso de suelo y vegetación	2017	Suelo con potencial agrícola	1:250,000
Áreas con valor ecológico y ambiental	SEMARNAT	Áreas Naturales Protegidas	2021	Áreas pertenecientes a la clasificación Federal y Estatal de ANP	1:100,000
Zonas con valor histórico y cultural	INEGI	Uso de suelo y vegetación	2017	Lugares declarados como patrimonio cultural, por su importancia histórica	1:250,000
Equipamientos incompatibles	-	-	-	Ubicación de vertederos, centros de faenamiento,	-
Zonas de riesgo por inundación e inestabilidad	SEGOB SEDATU	Centro nacional de prevención de desastres	2018	Zonas con rangos hidrológicos y susceptibles a movimientos en masa	1:250,000
Factores biofísicos					
Hidrología	INEGI CONABIO	Hidrografía	2010 2018	Red hídrica	1:250.000
Pendientes	INEGI	Continuo de elevación mexicano	2013	Representación	1:100.000
Uso del suelo	INEGI	Uso de suelo y vegetación	2017	Usos actuales del suelo	1:250.000
Localización y equipamiento					
Áreas de uso industrial	INEGI	Uso de suelo y vegetación	2017	Localización de industrias	1:250.000
Vías de comunicación	INEGI	Vías de comunicación	2020	Distancia a red vial, tipo y categoría	1:250.000
Centros urbanos	INEGI	Uso de suelo y vegetación	2017	Localización de centros urbanos	1:250.000
Servicios y equipamientos	INEGI	Uso de suelo y vegetación	2017	Localización de centros de salud, educativos, templos, plazas	1:250.000
Infraestructura básica	INEGI	Uso de suelo y vegetación	2017	Red de distribución de agua potable, alcantarillado, electricidad	1:250.000

Fuente: Elaboración propia con base a autores referidos (2021)

3.3.4. Criterios para la determinación del suelo de expansión urbana

De acuerdo con Gómez (2007) el ordenamiento del territorio es un instrumento que sirve para racionalizar, y controlar el uso del suelo y sus aprovechamientos, el ordenamiento del territorio se encuentra vinculado con las propuestas de planeación urbana que cada ciudad tiene. En este contexto y considerando que los elementos que configuran el modelo del territorio son:

- I. Las categorías de ordenamiento, que representan el carácter, uso y aprovechamiento del medio físico;
- II. La distribución de los núcleos de población en el espacio, con un nivel de jerarquía e importancia en relación con su población, servicios que ofrecen o localización de equipamientos o industrias que determinan su importancia;
- III. Los canales de relación y las conexiones;
- IV. Localización de actividades secundarias y terciarias.

Estos elementos tienen relación directa e indirecta con la determinación de zonas de expansión urbana, a continuación, se detalla algunos criterios que pueden considerarse al momento de plantear objetivos en el modelo del territorio para un adecuado ordenamiento del territorio en la ZMT.

- **Definir áreas específicas únicamente para soportar la urbanización**, la incorporación de una categoría destinada para “zonas de expansión urbana” permitiría controlar los cambios de uso de suelo, así como facilitaría el crecimiento sobre un espacio que pueda contar con los servicios ya establecidos, dichas áreas se encontrarían exentas de riesgos socio naturales y restricciones ambientales.
- **Control de crecimiento de los centros urbanos**, un crecimiento que va incorporando progresivamente suelo de expansión en función de las demandas del suelo disponible.
- **Uso adecuado del espacio rural**, esto puede favorecer a diferentes áreas de interés ecológico, paisajístico, ambiental, científico, cultural y de producción.
- **Asentamientos humanos con dotación de servicios de infraestructura**, áreas con equipamientos y servicios ya establecidos, que no representen costos elevados de inversión.

Disminución de la especulación del costo del suelo y disminución de la segregación socio espacial.

3.4. Etapa de selección

Esta etapa refiere a la selección de información disponible de la revisión de fuentes cartográficas que indica el Cuadro 11, para la ZMT se ha encontrado las siguientes: áreas con valor productivo, áreas con valor ecológico y ambiental, áreas con valor histórico y cultural, red hidrológica y carretera, equipamientos y servicios, usos del suelo, pendientes, urbano y rural construido (suelo construido). y vegetación. Sin embargo, no se pudo obtener información relacionada con equipamientos mayores incompatibles, localización de fuentes y redes eléctricas, información sobre áreas destinadas para el desarrollo industrial.

Una vez presentada la información existente, se reconoce el estado de los archivos en formato vectorial (*.shp), para después hacer la conversión a formato ráster (*.grid). Este proceso ha sido necesario tomarlo en consideración para poder relacionar cada porción del territorio con una malla o retícula en función de lo que se desea calcular para evaluar la aptitud del territorio, mediante el proceso multicriterio Superposición Ponderada.

Por tanto, la información recopilada representa un 80% de la información necesaria para poder realizar la investigación; se considera que esta proporción permitirá evaluar y obtener resultados satisfactorios. A continuación, se presenta el Cuadro 11 que muestra la información disponible, descripción y escala, la información se encuentra en formato vectorial a escala de 1:100.000.

Cuadro 11. Información cartográfica disponible de la ZMT

Variables	Descripción	Escala	Mapa	Año	Fuente
Áreas con valor productivo	Uso destinado al uso agrícola	1:100,000	Uso de suelo y Vegetación Serie VI	2017	INEGI
Áreas con valor ecológico y ambiental	Sistema de Áreas Naturales protegidas de carácter Federal y Estatal	1:100,000	Áreas Naturales Protegidas	2021	SEMARNAT
Áreas con valor histórico y cultural	Edificaciones históricas, templos y personajes históricos	1:100,000	Uso de suelo y Vegetación Serie VI	2017	INEGI
Red hidrológica	Sistema hidrológico nacional	1:100,000	Hidrología	2010 2008	INEGI CONABIO
Zonas susceptibles a inundaciones	Vulnerabilidad por municipio de sequías e inundaciones	1:100,000	Atlas de Riesgo	2018	SEDATU
Zonas susceptibles a deslaves	Vulnerabilidad de zonas de deslaves	1:100.000	Centro Nacional de prevención de desastres	2018	SEGOB
Red carretera	Infraestructura carretera	1:100.000	Vías de comunicación	2020	INEGI
Equipamientos y servicios	Equipamientos de salud, educación, comercio, templos, gubernamentales, recreativos	1:100.000	Uso de suelo y Vegetación Serie VI	2017	INEGI
Usos del suelo	Cobertura del suelo	1:100.000	Uso de suelo y Vegetación Serie VI	2017	INEGI
Pendientes	Modelo de elevación digital a 15m	1:100.000	Continuo de elevación mexicano	2013	INEGI
Urbano y rural construido	Uso de suelo con edificaciones construidas	1:100.000	Uso de suelo y Vegetación Serie VI	2017	INEGI
Tipo de ecosistema	Flora y fauna	1:100.000	Uso de suelo y Vegetación Serie VI	2017	INEGI

Fuente: Elaboración propia (2021)

CAPÍTULO 4. VALIDACIÓN Y RESULTADOS

CAPÍTULO 4. VALIDACIÓN Y RESULTADOS

El siguiente capítulo tiene como objetivo identificar y caracterizar a la ZMT de acuerdo con la información de diferentes estudios y órganos públicos para posteriormente hacer una utilización combinada de los SIG con las técnicas de evaluación multicriterio para llevar a cabo la superposición ponderada. Finalmente se genera la cartografía especializada que nos permite evaluar la aptitud del territorio y enseguida se discute los resultados obtenidos.

4.1. Antecedentes e identificación de la ZMT

El fenómeno de crecimiento urbano de la ZMT tiene sus inicios desde 1960. De acuerdo con Bobińska (1976: 44) la reforma agraria comienza a crear oportunidades para el trabajo, el reparto de tierras y créditos a los campesinos está más presente, durante el periodo de 1915 y 1965 se repartió en México 52.2 millones de hectáreas de tierra entre 2.3 millones de campesinos. Al mismo tiempo la actividad industrial comenzaba a generar más oportunidades laborales y aumentaba la demanda por la expansión industrial a las periferias de las ciudades de Toluca, Lerma y Metepec. Para este tiempo el aumento de la actividad agraria e industrial requería de una mejor infraestructura, por lo que, para facilitar el traslado de trabajadores, material y equipo, se conforma el corredor industrial Toluca-Lerma.

Mendoza (2016) realizó un estudio sobre el proceso de la metropolización de Toluca en el cual describe como el proceso de industrialización que se vivió en el periodo de 1960 fue y continúa siendo el formador de la ZMT, es a partir de este proceso que el crecimiento urbano ha sido radial, es decir, se ha ido urbanizando de acuerdo a las principales vías de comunicación, una ciudad que ejemplifica el alto crecimiento demográfico es la ciudad de Toluca, debido a la alta tasa de natalidad y la inmigración por la búsqueda de oportunidades laborales; donde la tasa de crecimiento 2000-2010 era del 2.02 (Cuadro 12).

Cuadro 12. Tasa de crecimiento de la población total de la ciudad de Toluca 1950-2010

Años	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Ciudad de Toluca	115,019	156,033	239,261	357,071	487,612	666,596	819,561

Fuente: Elaboración con base en Mendoza (2016)

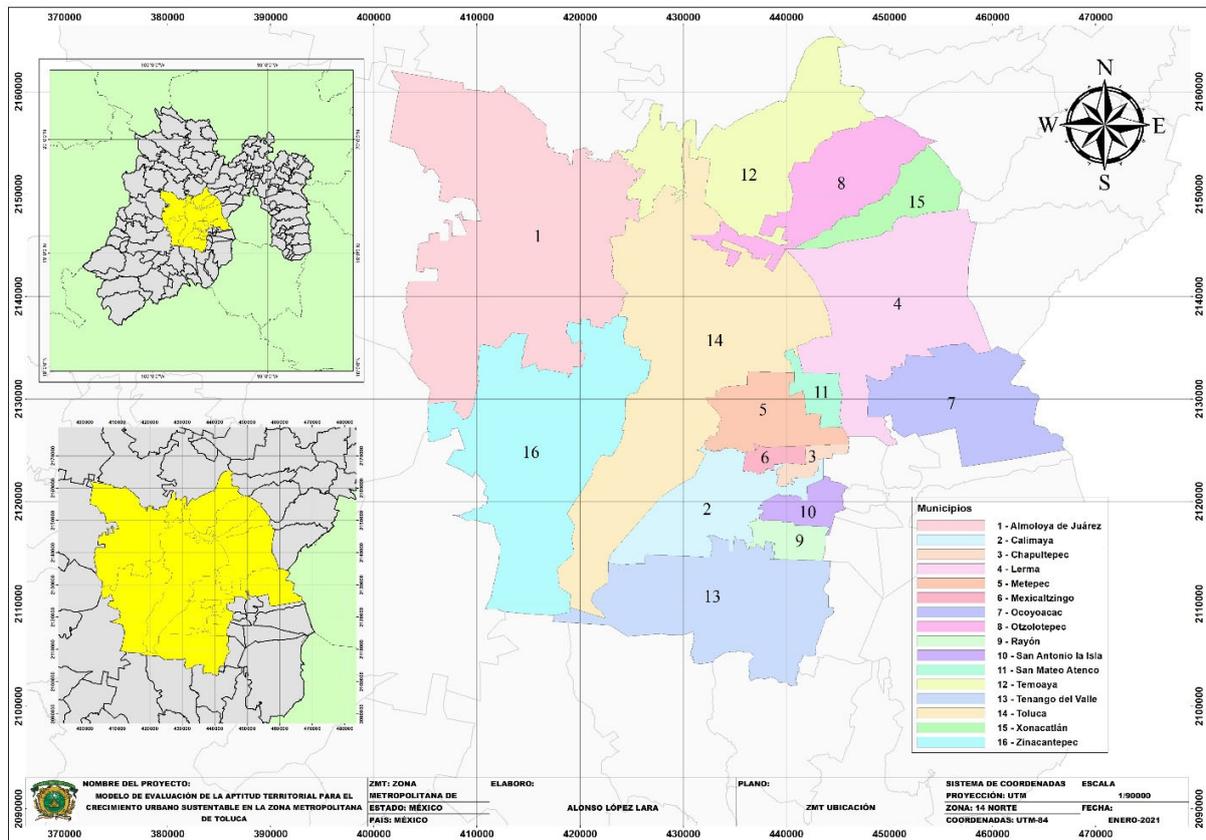
Es a partir de 1960 que se comienza a conformar la ZMT, por los municipios de Almoloya de Juárez, Metepec, Toluca y Zinacantepec, y no es hasta 1980 que se le considera como metrópoli semidiversificada, Aranda (2000) asegura que a partir de este periodo la población y la estructura urbana empieza a crecer de una manera desmesurada y sin control, los municipios vecinos al centro de la ciudad de Toluca comienzan a unificarse al tejido de la metrópoli, como es el caso de Oztolopepec y Xonacatlán en 1990, posteriormente para el año 2005 municipios como Calimaya, Chapultepec, Lerma Ocoyoacac, Rayón, San Antonio la Isla conformaban la ZMT con 14 municipios; finalmente para el 2015-2018 se unen dos municipios más al tejido de la ZMT como son Temoaya y Tenango del Valle (Mendoza 2016).

En México, el último estudio sobre las zonas metropolitanas realizado por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), el Consejo Nacional de Población (CONAPO) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018), señala que México actualmente cuenta con 74 zonas metropolitanas, las cuales albergan a un total de 75.1 millones de habitantes lo que representa el 62.8 por ciento de la población nacional. De acuerdo con este estudio el Estado de México cuenta con tres zonas metropolitanas, la primera es la Zona Metropolitana del Cuautitlán-Texcoco; conformada por 59 municipios y con 11 millones 854 mil 629 habitantes. La segunda es la Zona Metropolitana de Toluca integrada por 16 municipios con 2 millones 353 mil 924 habitantes, y la tercera es la Zona Metropolitana de Santiago Tianguistenco comprendida por 6 municipios y 170 mil 461 habitantes (COESPO, 2018).

SEDATU, CONAPO e INEGI (2018) reportan que la ZMT se encuentra conformada por 16 municipios, entre ellos: Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Oztolopepec, Rayón, San Antonio La Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec, con una superficie territorial de 2,438.12 km².

La ZMT se encuentra en la región centro del país, al poniente del Estado de México, a una distancia con respecto a la Ciudad de México de 63.5 km.

Figura 15. Ubicación de la Zona Metropolitana de Toluca



Fuente: Elaboración con base en SEDATU CONAPO e INEGI (2018)

La ZMT, presenta expansión urbana acelerada, en las últimas décadas, integrando funcionalmente mayor número de municipios y localidades de todos los tamaños, mediante el proceso de periurbanización. Ello ha sido sin aplicar instrumentos de planeación, gestión y gobernanza en esta compleja realidad. El desbordamiento metropolitano impacta de manera diversa a los municipios de acuerdo con la dirección del crecimiento, demanda y oferta de suelo.

De acuerdo con el último censo población del INEGI (2020) en el Estado de México el número de habitantes total por municipio es de 2,353,924. Entre el año 2018 y 2020, el número de habitantes aumento 6.41% (Cuadro 13).

Cuadro 13. Municipios que conforman la Zona Metropolitana de Toluca 2015 y 2020

Municipio	Población 2018	Población 2020	Superficie (km²)
Almoloya de Juárez	170,237	174,587	485.21
Calimaya	56,574	68,489	101.19
Chapultepec	11,764	12,772	12.62
Lerma	146,654	170,327	212.83
Metepec	227,827	242,307	67.52
Mexicaltzingo	12,796	13,807	11.42
Ocoyoacac	66,190	72,103	134.72
Otzolotepec	84,519	88,783	116.67
Rayón	13,261	15,972	23.40
San Antonio la Isla	27,230	31,962	18.50
San Mateo Atenco	75,511	97,418	27.38
Temoaya	103,834	105,766	192.3
Tenango del Valle	86,380	90,518	207.54
Toluca	873,536	910,608	452.37
Xonacatlán	51,646	54,633	65.85
Zinacantepec	188,927	203,872	308.62
TOTAL	2,202,886	2,353,924	2,438.14

Fuente: Elaboración con base en SEDATU CONAPO e INEGI (2015) y el INEGI (2020)

Si bien el proceso de expansión metropolitana trae consigo beneficios de diverso tipo, tales como: acceso a oportunidades laborales, educativas, de salud, ocio, a recursos e infraestructura, lo hace a costa del cambio de uso de suelo con potencial productivo, de construir viviendas en zonas de riesgo y ocupación selectiva de los ingresos altos, carencia de servicios e infraestructura; se expande por la lógica del mercado inmobiliario que genera segregación espacial, contrastes socioeconómico, congestión de entradas a la ciudad, deficiente transporte público y de cobertura metropolitana, en fin carencia de empleo local que propicia movilidad externa a mayor distancia.

La importancia de estudiar a estos 16 municipios que conforman a esta Zona Metropolitana como una sola zona de estudio, es porque se encuentran agrupados por su vecindad e intereses comunes; es decir, comparten características ambientales, físicas y político económicas similares, así como objetivos y estrategias coordinadas en relación con sus recursos.

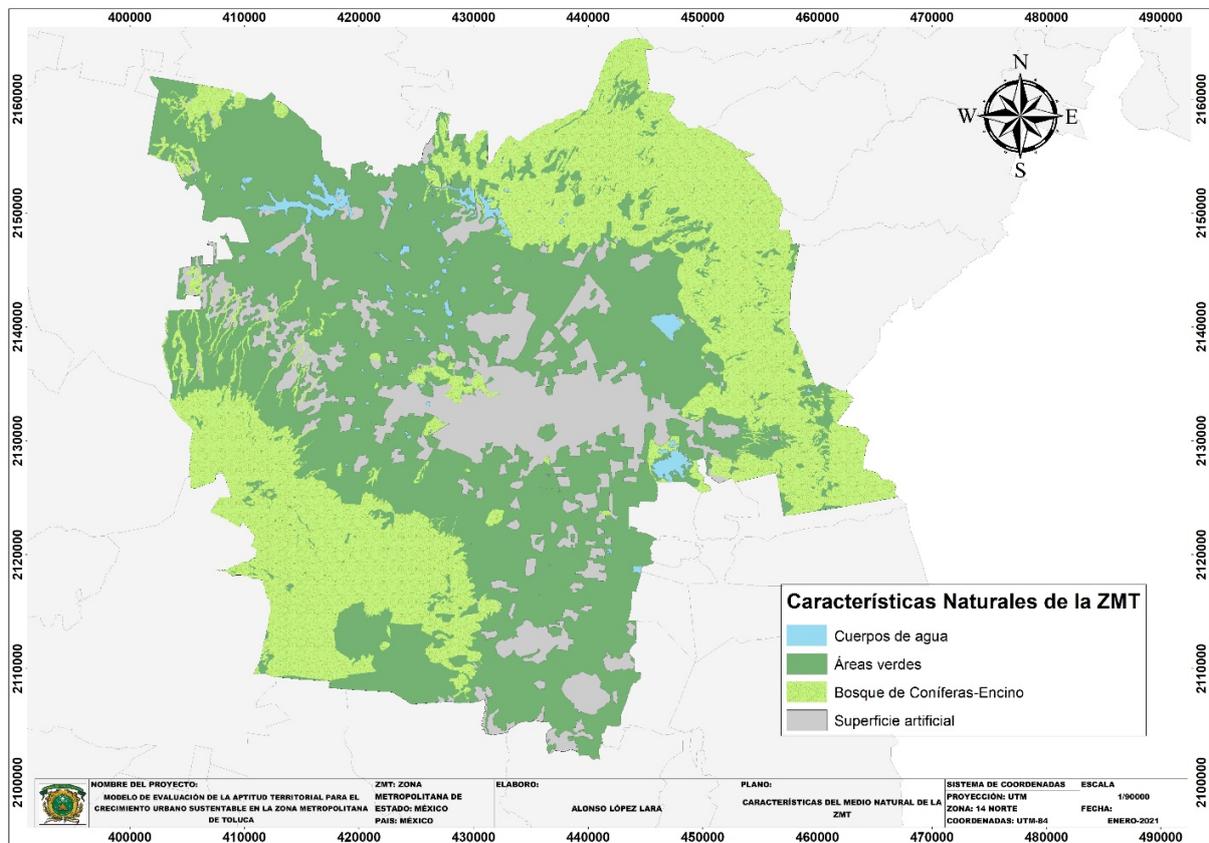
4.2. Características del medio natural

La información presentada a continuación es descrita a través de los planes de desarrollo municipal de cada municipio y del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED); para complementar la información, INEGI (2018) brinda información acerca del tipo de actividades que se llevan a cabo, así como también, información geográfica, y finalmente SEMARNAT (2018) brinda información en el apartado ambiental y cultural de esta Zona Metropolitana.

El clima es muy similar entre los municipios que conforman esta metrópoli, siendo templado subhúmedo, estos climas son considerados mesotérmicos, debido a que la temperatura media de los meses más cálidos y fríos no es muy alta ni muy baja; con una temperatura promedio de 12.5 °C. La precipitación anual promedio es de 1361 mm. El mes más seco es el de diciembre con 16 mm y en verano las lluvias se intensifican con un promedio de 269 mm. Mayo es el mes más cálido del año con una temperatura promedio de 14.7 °C y el mes más frío es el de enero con 10.1 °C. (INEGI, 2016)

El tipo de ecosistema de que predomina en la ZMT es “Bosque de Coníferas y Encino”, caracterizado por tener: pino, abeto, aile, ocote, oyamel, ayarín, cedro, etc. (INAFED, 2015). El pino y abeto se encuentran muy presentes y se pueden distinguir con facilidad ya que son arboles con altura aproximada de hasta 30 metros. Según Vázquez (2011), la fauna se encuentra ligada al tipo de ecosistema: codorniz, chara enana, venado cola blanca, conejo de las nieves o teporingo, correcaminos y mapache (INAFED, 2015), sin embargo, debido a la acelerada expansión urbana estas especies han disminuido en población (Figura 16).

Figura 16. Características del medio natural, 2018

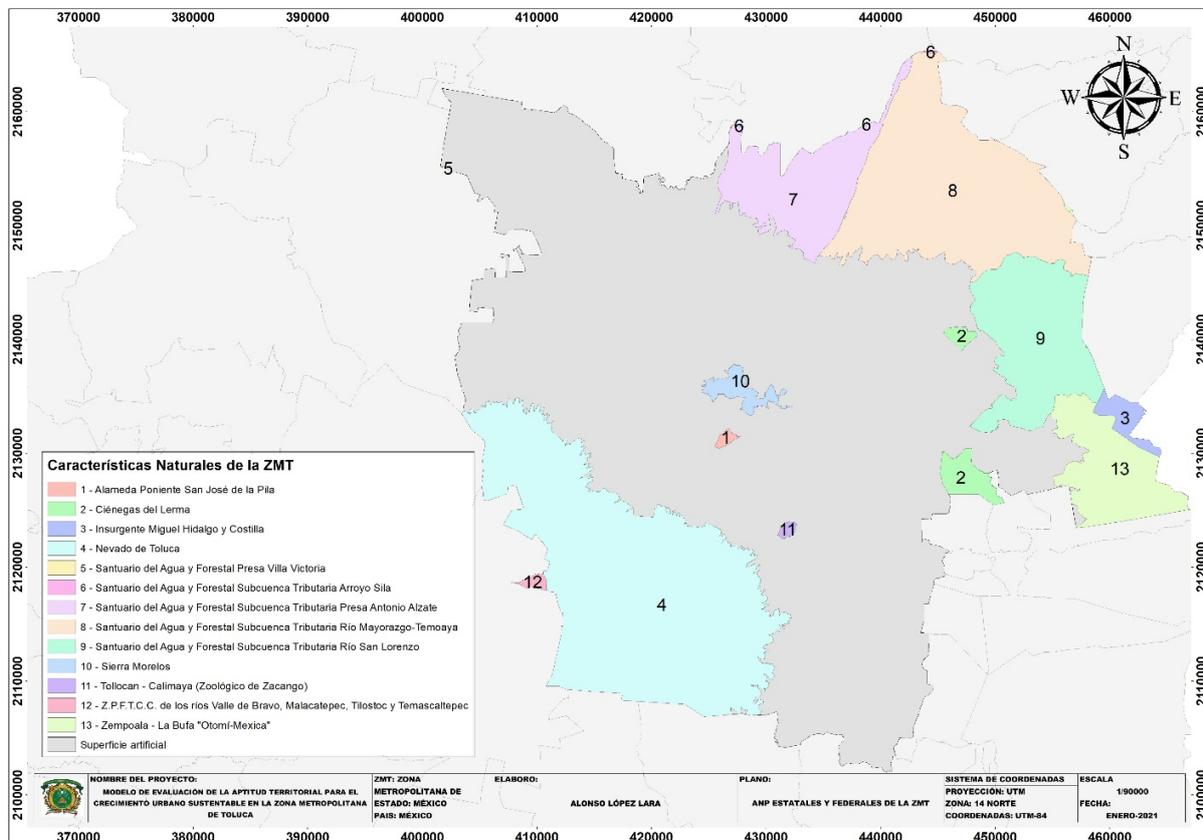


Fuente: Elaboración propia (2021)

La fauna se encuentra muy ligado al tipo de tipo de ecosistema de entre los cuales podemos encontrar: codorniz, chara enana, venado cola blanca, conejo de las nieves o teporingo, correcaminos y mapache (INAFED, 2015), sin embargo, debido a la acelerada expansión urbana estas especies han disminuido en población según reporta Vázquez (2011).

LA ZMT cuenta con 13 áreas naturales protegidas de carácter Estatal y Federal, de entre las cuales: Ciénegas de Lerma, Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, Nevado de Toluca (Volcán Xinantécatl), Z.P.F.T.C.C. de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, Alameda Poniente San José de la Pila, Tollocan - Calimaya (Zoológico de Zacango), Zempoala - La Bufa (Otomí-Mexica), Sierra Morelos, Santuario del Agua y Forestal Presa Villa Victoria, Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río San Lorenzo, Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río Mayorazgo-Temoaya, Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Arroyo Sila, Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Presa Antonio Álzate (Figura 17).

Figura 17. ANP Estatales y Federales, 2021

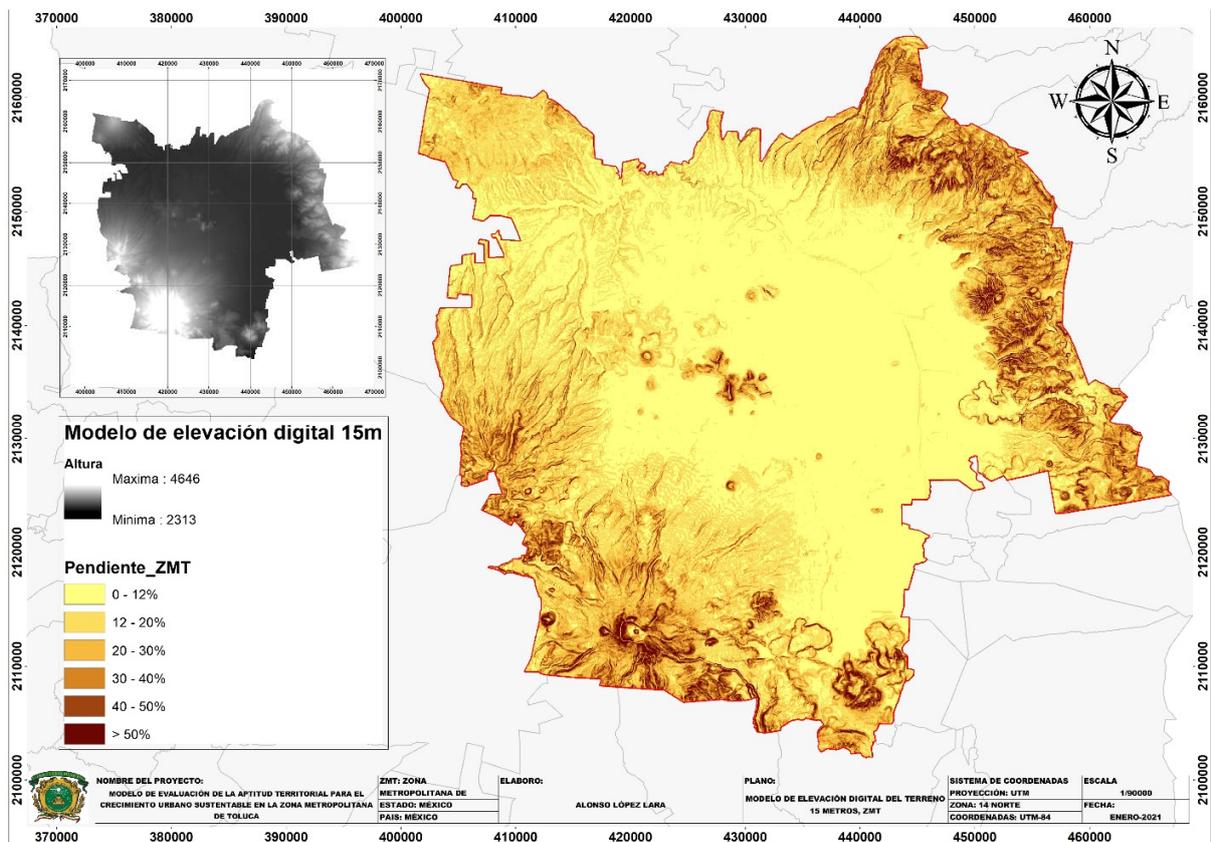


Fuente: Elaboración propia con base en SEMARNAT (2021)

4.3. Características del medio físico

El relieve del territorio de la ZMT tiene un predominio de las pendientes mayores al 50%, equivalente al 44.08% de la superficie total, posteriormente le siguen las áreas en donde las pendientes de 30 a 50% representan el 28.17%, las superficies con pendientes entre 0 a 12%, representan el 17.86% y finalmente se encuentran las áreas en donde prevalecen las pendientes entre 12 a 30% que representan el 9.89% de la superficie total, lo que significa que la ZMT dispone de escasa superficie entre plana a ligeramente inclinada (0 - 12% y 12 - 30%) para el desarrollo de las actividades agropecuarias y para la urbanización. El 72,25% de la superficie, tiene una pendiente mayor al 30%, lo que dificulta e impide el desarrollo de estas actividades. Cabe mencionar que el municipio más alto está a una altura promedio de 2,660 msnm., en cuanto al resto de municipios su altura oscila entre 2550 y 2650 msnm. La Figura 17 muestra el análisis de pendientes de la ZMT.

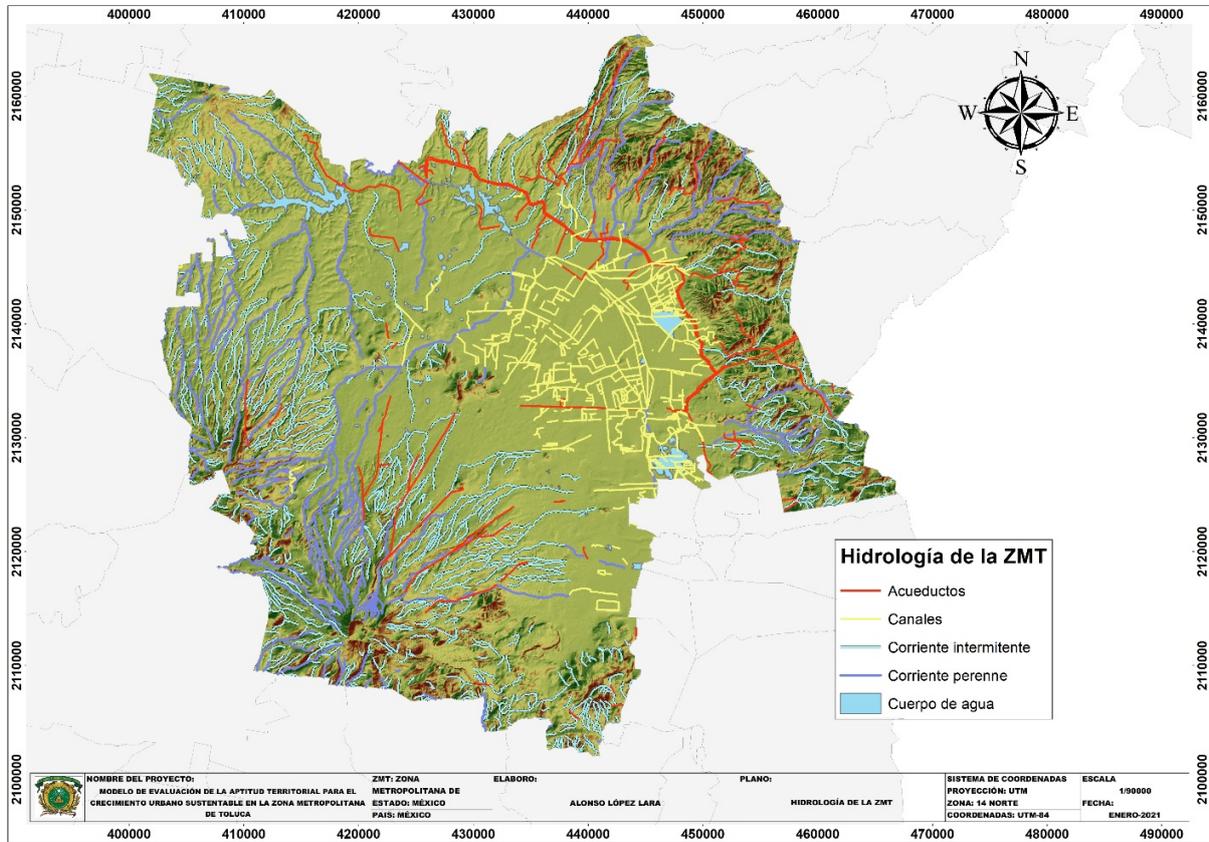
Figura 18. Modelo de elevación 15m, 2013



Fuente: Elaboración propia (2021)

En cuanto a la hidrología, la ZMT, las cuencas hidrológicas que se han generado por las condiciones geológicas del terreno, patrón y densidad de corrientes y ríos que drenan la superficie. Las cuencas están formadas por la topografía del Volcán Nevado de Toluca, Subcuenca Presa Antonio Álzate, Subcuenca Río Mayorazgo Temoaya y Subcuenca Río San Lorenzo. La ZMT se encuentra dentro del sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago; dentro de este sistema se encuentra el Río Lerma, el cual abarca una superficie de 5,395.45 km², lo que equivale al 24% del total estatal, encontrando en la parte sur, el parteaguas entre las regiones hidrológicas que involucra a la cuenca del Río Cutzamala, que comprende a los municipios de Zinacantepec, Toluca y Tenango del Valle.

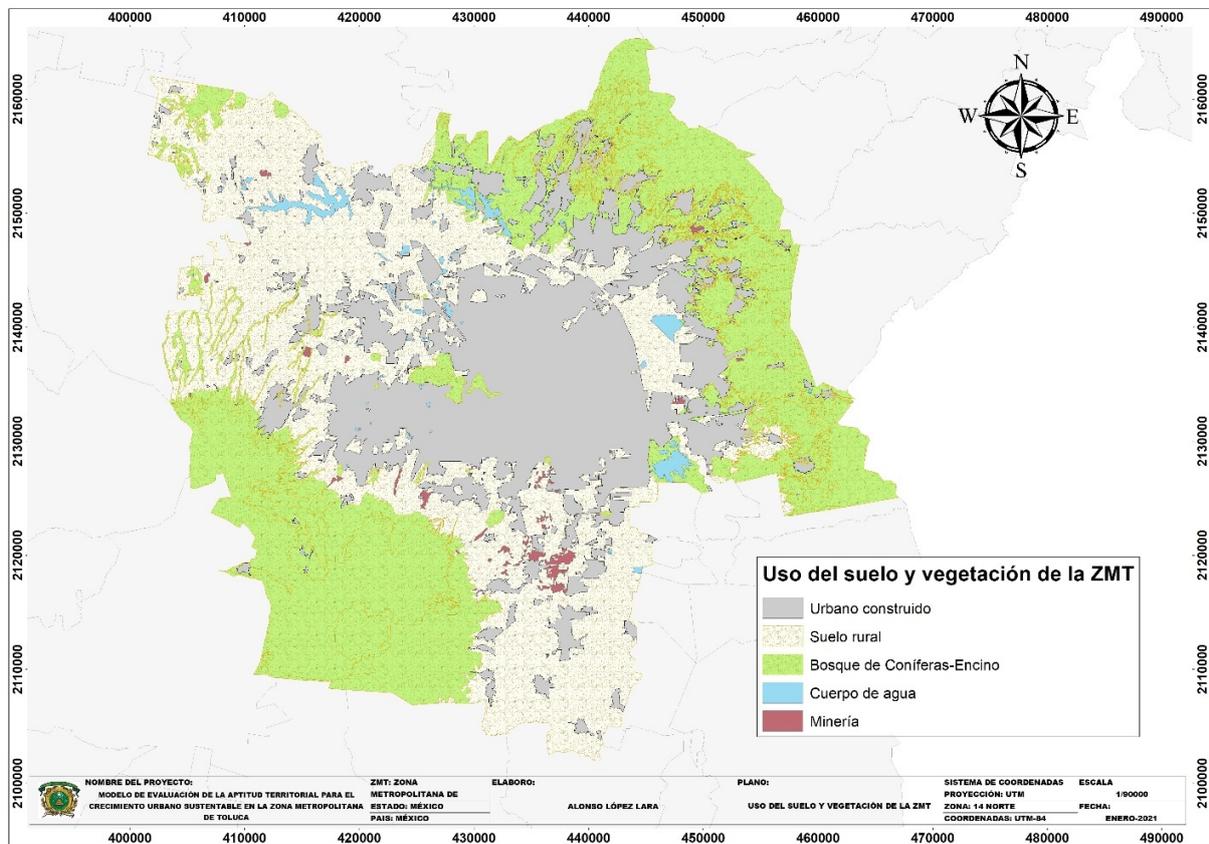
Figura 19. Cuerpos de agua y red hidrológica



Fuente: Elaboración propia (2021)

De acuerdo con la carta de Uso de Suelo y Vegetación de la Serie VI del INEGI (2017) la ZMT cuenta con una superficie territorial de 2,438.14km², de ella 662.57km² es ocupada como suelo urbano construido y 1,775.57km² representa el espacio libre de uso urbano. El municipio de Almoloya de Juárez cuenta con la mayor extensión territorial con 485 km² y el municipio de Chapultepec es el más pequeño con tan solo 12.62 km² (Figura 20).

Figura 20. Uso del suelo y vegetación de la Serie VI, 2017



Fuente: Elaboración propia (2021)

4.4. Población y actividades económicas

De acuerdo con el último censo del INEGI (2020), la ZMT tiene 2,353,924 habitantes registrados, el Estado de México cuenta con 6,992,418 habitantes, siendo la entidad federativa más poblada del país, habitan 8,741,123 mujeres y 8,251,295 hombres, en la entidad el 87% vive en localidades urbanas y el 13% vive en localidades rurales, de entre ellas 4,215 son localidades rurales y 679 urbanas (INEGI, 2020).

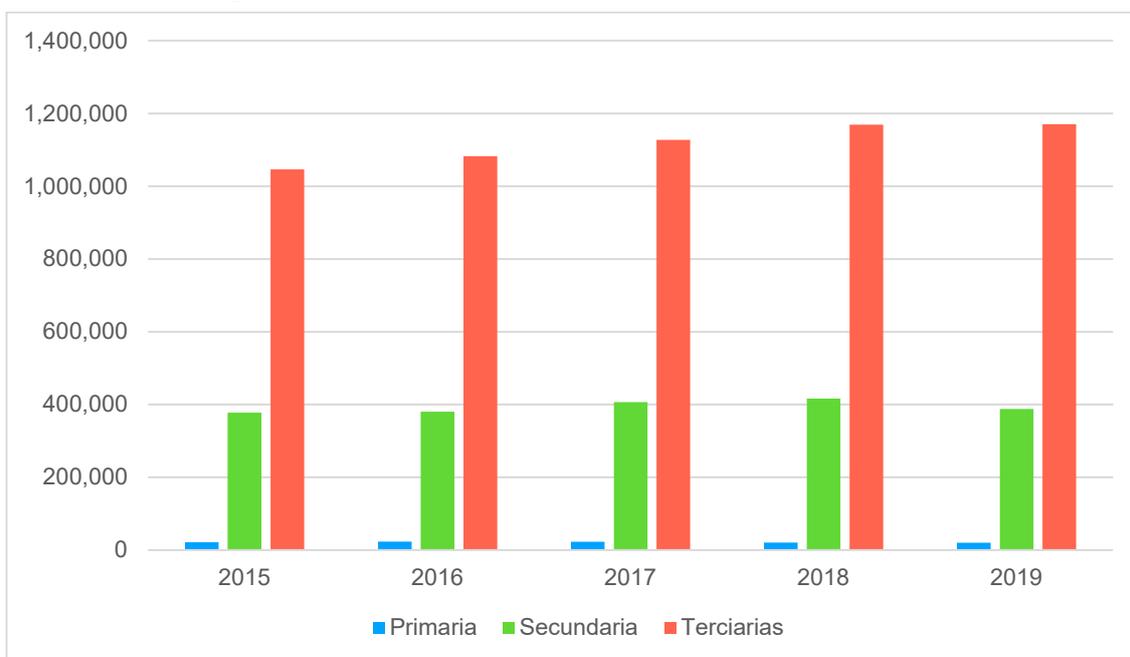
Actualmente la ZMT se organiza a partir de la fortaleza de su centro (municipio de Toluca) y se apoya de la conurbación física (Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio La Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Xonacatlán y Zinacantepec) de forma que Toluca mantiene su primacía y al mismo tiempo es claro el dinamismo en los municipios de relación funcional inmediata (Hoyos, 2005).

De acuerdo con Arteaga (2005) la infraestructura carretera que posee esta Zona Metropolitana permite la accesibilidad y el flujo constante para el envío y recepción de materia prima para el comercio entre Estados vecinos. La disponibilidad carretera permite un rápido acceso a los municipios que conforman esta metrópoli, ofreciendo un traslado promedio entre municipios de veinte minutos. Cabe señalar que, la infraestructura actual ofrece una conectividad carretera eficiente que permite un desplazamiento rápido y seguro para los habitantes.

Por lo anterior devela un proceso de metropolización altamente polarizado, extendiendo sus relaciones funcionales a la periferia cercana. Esta metrópoli ha sido reconocida por ser una metrópoli industrial con una integración funcional y económica principalmente, la infraestructura presente ha permitido un aumento en el desarrollo industrial para la fabricación y producción de bienes y servicios, como: materias primas y manufacturas, materiales naturales, elementos de capital, suministros y servicios a empresas. Por otro lado, la accesibilidad carretera ha permitido entre los municipios de esta Zona Metropolitana enviar y recibir equipo y material para el comercio en el Estado de México y Ciudad de México, así como en las entidades vecinas.

El Cuadro 14, muestra como ha sido el comportamiento de las actividades económicas en la ZMT en una línea cronográfica de los últimos cinco años hasta el último registro económico que se tiene en el Estado de México por el INEGI (2019). Finalmente, el Cuadro 15 desglosa las principales actividades económicas que se llevan a cabo en la ZMT.

Cuadro 14. Principales actividades económicas de la ZMT, 2015-2019



Fuente: Elaboración propia con base en el INEGI (2019)

Cuadro 15. Valor agregado bruto del tipo de actividades de la Zona Metropolitana de Toluca

Valor agregado bruto/Millones de pesos	2015	2016	2017	2018	2019
Actividades primarias	21,386	22,805	22,581	20,202	19,984
Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	21,386	22,805	22,581	20,202	19,984
Actividades secundarias	377,592	380,011	406,527	416,582	387,623
Minería	4,486	4,707	4,449	4,342	4,247
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final	22,701	21,924	21,717	22,553	22,001
Construcción	66,320	73,441	85,597	88,249	71,959
Industrias manufactureras	284,085	279,939	294,764	301,438	289,416
Industria alimentaria	85,146	84,560	85,020	87,195	87,396
Industria de las bebidas y del tabaco	9,471	9,660	9,601	9,538	9,287
Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles; Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir	6,181	6,380	6,141	6,132	5,958
Fabricación de prendas de vestir; Curtido y acabado de cuero y piel, y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos	9,370	8,973	8,987	9,232	9,015
Industria de la madera	1,371	1,252	1,233	1,182	1,168
Industria del papel; Impresión e industrias conexas	12,737	13,186	13,368	13,776	13,982
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón; Industria química; Industria del plástico y del hule	49,215	51,795	53,412	53,712	51,850
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	7,811	7,591	8,107	7,992	7,703
Industrias metálicas básicas; Fabricación de productos metálicos	17,045	16,444	16,319	15,840	15,706

continúa

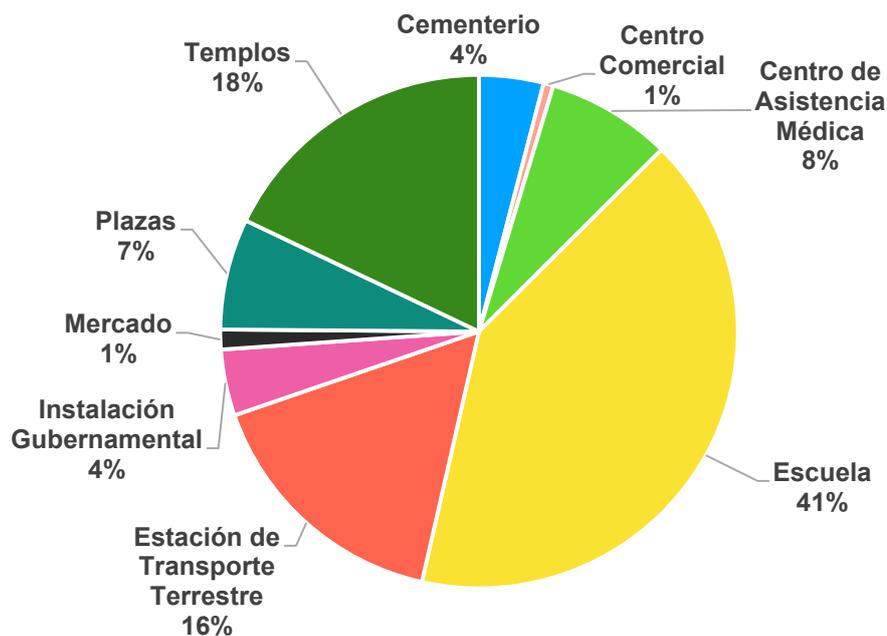
Fabricación de maquinaria y equipo; Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos;	71,771	65,783	78,852	82,695	74,075
Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica; Fabricación de equipo de transporte					
Fabricación de muebles, colchones y persianas	5,499	5,362	4,672	4,996	4,774
Otras industrias manufactureras	8,468	8,954	9,052	9,148	8,500
Actividades terciarias	1,046,205	1,082,652	1,127,818	1,169 431	1,170,728
Comercio al por mayor	157,028	172,456	184,404	191,700	195,051
Comercio al por menor	179,928	175,141	195,695	204,861	195,847
Transportes, correos y almacenamiento	83,401	90,184	95,650	103,713	104,019
Información en medios masivos	10,489	13,017	14,058	15,299	16,848
Servicios financieros y de seguros	44,212	49,253	52,120	55,958	58,329
Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	284,386	287,375	288,490	291,823	293,984
Servicios profesionales, científicos y técnicos	14,423	14,468	15,674	16,784	14,976
Corporativos	968	1,041	1,068	1,082	1,132
Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación	33,931	34,732	39,187	41,145	43,003
Servicios educativos	73,206	75,150	73,699	75 157	75 699
Servicios de salud y de asistencia social	39,525	41,162	38,526	39,425	39,823
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	5,308	5,578	5,656	5,831	5,792
Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	18,241	19,558	20,500	18,986	16,137
Otros servicios excepto actividades gubernamentales	36,482	37.897	38,408	38,047	39,939
Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales	64,677	65,640	64,684	69,620	70,150

Fuente: Elaboración con base en el censo económico del Estado de México del INEGI, (2019)

4.5. Equipamiento e infraestructura

El funcionamiento general de la ZMT se organiza a partir del centro principal, en cuestión de equipamiento e infraestructura los municipios integrados se apoyan mayormente de las instalaciones de Toluca y Metepec. En la ZMT, de acuerdo con el INEGI (2017), el equipamiento con mayor presencia en esta metrópoli es la de educación con 1,682 escuelas que representa el 41%, enseguida, el 18% con instalaciones religiosas (Iglesias) con 732 establecimientos identificados y en tercer lugar son las estaciones de transportes con 662 estaciones equivalentes al 16% de las instalaciones y equipamiento. Por otro lado, en la ZMT, se identifica carencia de centros de asistencia médica en los municipios conurbado de Toluca y Metepec con tan solo 320 centros de salud que representa el 8%. A continuación, se presenta el Cuadro 16 que muestra el porcentaje de equipamiento e infraestructura presente.

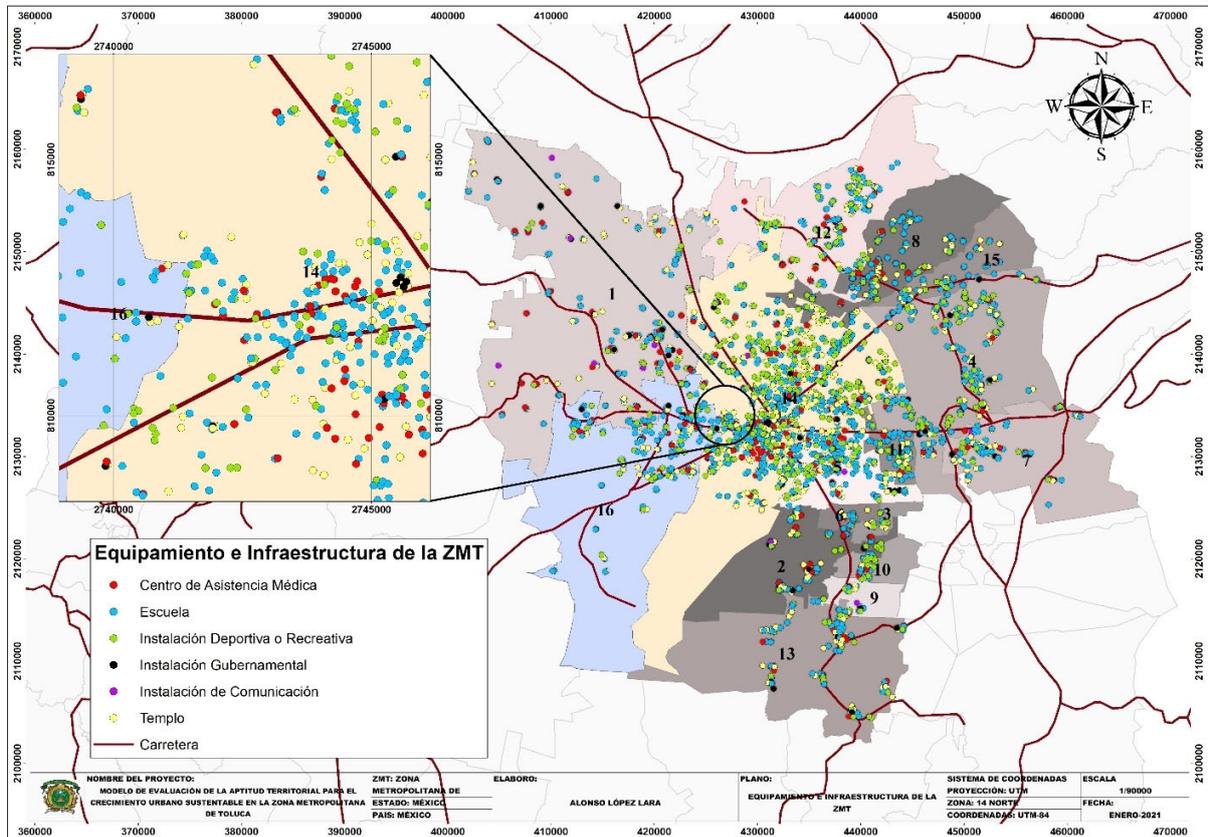
Cuadro 16. Porcentaje de Equipamiento e infraestructura de la Zona Metropolitana de Toluca



Fuente: Elaboración con base en el INEGI (2017)

A continuación, se presenta la Figura 21 que describe el equipamiento e infraestructura de la ZMT.

Figura 21. Equipamiento e infraestructura



Fuente: Elaboración propia con base en la carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie VI del INEGI, (2017)

4.6. Resultados. Validación y resultados y discusión

Enseguida se presentan los resultados de la evaluación de la aptitud del suelo en el territorio y se determina el suelo de expansión urbana para el ordenamiento del territorio, esta propuesta plantea la utilización de la técnica multicriterio superposición ponderada. Al momento de realizar la capacidad de carga en el territorio, se puede determinar la aptitud para el uso urbano, y por consiguiente las alternativas de localización de las zonas de expansión. A, continuación, se describe y discuten los resultados obtenidos de la investigación.

4.6.1. Áreas con valor productivo

Se identificó áreas con valor productivo de agricultura, forestal y cuerpos de agua en de esta metrópoli. De la información relacionada con la aptitud del suelo para los diferentes usos, se distingue las áreas con mayor valor productivo a la agricultura con 54.54%, el uso de suelo forestal con 23.93% y con 17.53% a los cuerpos de agua, viveros e invernaderos y otras actividades económicas en el territorio.

Conociendo las áreas con valor productivo se ha identificado que la dirección del crecimiento urbano ha cambiado de forma. Anteriormente, se podía observar que el desarrollo urbano era radial, la infraestructura vial y de comunicaciones, sin embargo, el crecimiento se dirige en todas direcciones en los municipios, sobre las zonas agrícolas de influencia inmediata. Las actividades socioeconómicas han impulsado rápidos cambios de uso de suelo (Cuadro 15).

El Cuadro 17 se puede identificar la superficie total de unidades utilizada para la producción agrícola, así como, las unidades de producción para la ganadería, forestal y otros.

Cuadro 17. Superficie total áreas con valor productivo

Actividad	Descripción	Aptitud	Área (km ²)
Conformación de unidad de producción	Número y superficie total de unidades de producción según desarrollen o no actividad agropecuaria o forestal	Cultivos	963.73
Agricultura	Unidades de producción con superficie agrícola y su distribución según disponibilidad de agua para riego y área de temporal	Cultivos	1329.76
Vivero e invernadero	Unidades de producción con vivero, superficie ocupada por el vivero y viveros que reportan venta	Cultivos	10.07
	Unidades de producción con problemas para desarrollar la actividad agropecuaria o forestal según problemática principal	Cultivos	499.41
Ganadería	Unidades de producción con ganado bovino según actividad y función zootécnica	Ganadera	97.77
Aprovechamiento forestal	Superficie reforestada y número de árboles plantados de las principales especies utilizadas	Forestal	0.39
	Unidades de producción con bosque o selva y superficie reforestada según especie utilizada	Forestal	0.41
Actividad económica en los terrenos	Unidades de producción con actividad agropecuaria o forestal según actividad principal desarrollada en los terrenos de la unidad	Suelo	582.77
Cuerpos de Agua	Superficie total de cuerpos de agua no utilizados para fines de producción	Agua	297.44
Características de la vivienda del productor	Unidades de producción según disponibilidad de servicios y características de la vivienda del productor	Área Urbana	572.84
Urbano	Suelo construido para la actividad urbana	Área urbana	662.57

Fuente: Elaboración propia (2021)

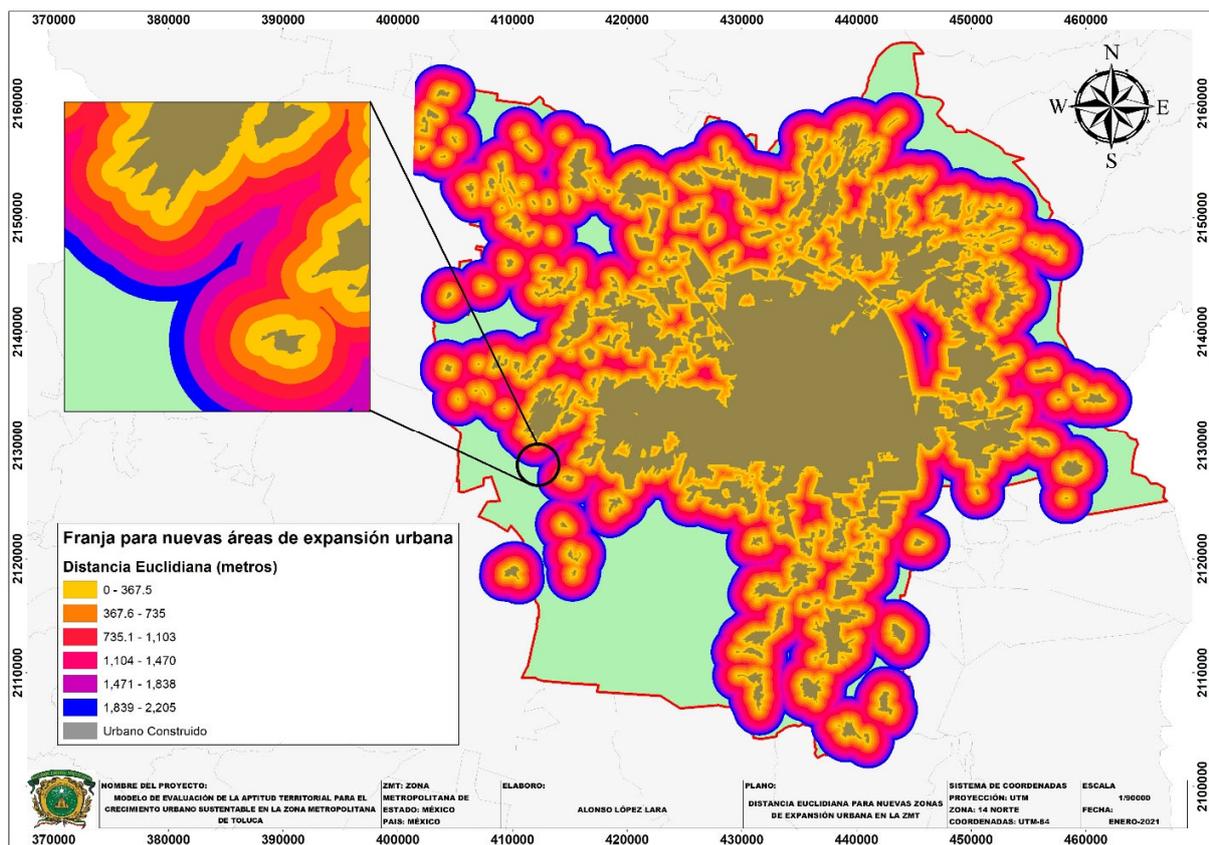
Se ha seleccionado a las áreas con potencial agrícola como las mejores zonas para el uso urbano ya que el crecimiento o expansión urbana se ha ido orientado hacia áreas productivas, así mismo estas zonas se encuentran cerca de la infraestructura urbana y disponen de cierto equipamientos y servicios.

En el cálculo para identificar la aptitud del territorio se ha determinado la distancia euclidiana del suelo urbano construido hacia zonas de interés agropecuario, esto con la intención de construir el criterio de selección que permita cumplir los objetivos de evaluar la aptitud del territorio para

definir nuevas áreas de expansión urbana libres de riesgos socio naturales, áreas con valor ecológico y natural, áreas con valor histórico y cultural y zonas de equipamiento incompatibles.

La Figura 22 muestra la distancia euclidiana de la cobertura con suelo urbano construido a una distancia obligatoria $\geq 2,205$ m desde suelo urbano construido hacia zonas de interés agropecuario teniendo en consideración una distancia adecuada para la dotación de servicios básicos de hasta 100%, tomando como base, a los estándares del Cuadro 9 para un uso adecuado del territorio. El color cambia, de menor distancia hasta la máxima considerada desde el amarillo hasta el azul, progresivamente de acuerdo con la lejanía del entorno urbano, donde no es recomendable urbanizar para evitar un crecimiento urbano disperso, costoso y con falta de infraestructura, equipamiento y servicios.

Figura 22. Distancia euclidiana desde la cobertura de suelo construido



Fuente: Elaboración propia (2021)

4.6.2. Áreas con valor ecológico y ambiental e histórico y cultural

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2021) la ZMT cuenta con un total de 13 áreas con valor ecológico y ambiental, 4 son áreas naturales protegidas federales y 9 estatales. El total de superficie ocupada es de 946.17 km², lo que representa el 38% de la superficie de la ZMT (Cuadro 18).

Cuadro 18. Áreas con valor ecológico y ambiental de la Zona Metropolitana de Toluca

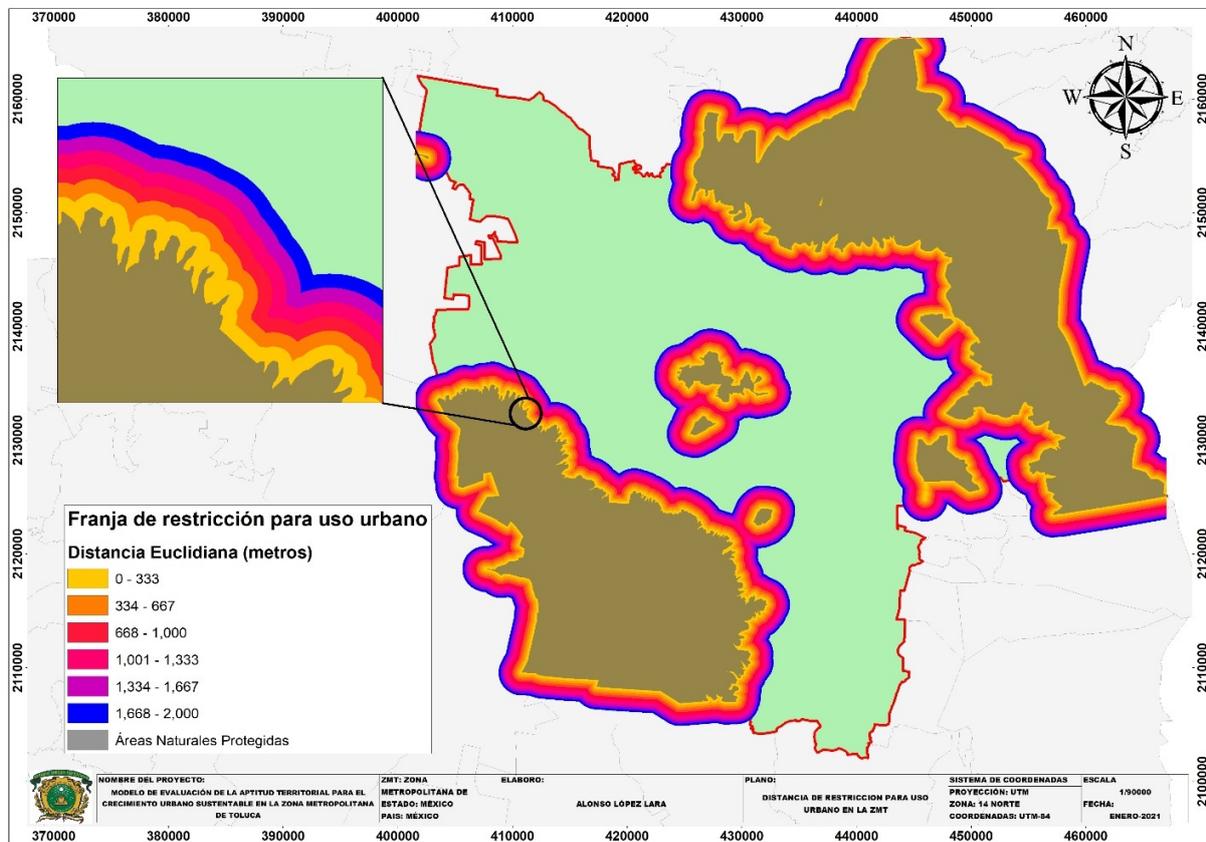
Áreas con valor ecológico y ambiental	Categoría	Área (km ²)
Ciénegas del Lerma	Área de Protección de Flora y Fauna	17.7078
Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla	Parque Nacional	11.5495
Nevado de Toluca	Área de Protección de Flora y Fauna	382.1193
Z.P.F.T.C.C. de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	Área de Protección de Recursos Naturales	2.3340
Alameda Poniente San José de la Pila	Áreas naturales protegidas estatales	1.7759
Tollocan - Calimaya (Zoológico de Zacango)	Áreas naturales protegidas estatales	1.6093
Zempoala - La Bufa "Otomí-Mexica"	Áreas naturales protegidas estatales	74.2799
Sierra Morelos	Áreas naturales protegidas estatales	11.9404
Santuario del Agua y Forestal Presa Villa Victoria	Áreas naturales protegidas estatales	13.816714
Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río San Lorenzo	Áreas naturales protegidas estatales	119.1904
Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río Mayorazgo-Temoaya	Áreas naturales protegidas estatales	229.1377
Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Arroyo Sila	Áreas naturales protegidas estatales	0.3138
Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Presa Antonio Álzate	Áreas naturales protegidas estatales	94.0749
	Total	946.1714

Fuente: Elaboración con base en SEMARNAT, 2021.

Las áreas con valor ecológico y ambiental se ubican principalmente al noreste y suroeste; estas áreas deben estar exentas de desarrollo urbano. Sin embargo, haciendo una superposición de la capa de usos de suelo, se identifica construcciones urbanas, por ello, es aconsejable reducir o frenar dicha expansión para evitar el deterioro de servicios ecosistémicos que brindan.

De la misma manera que se calculó la distancia euclidiana en el inciso “a” en este se calcula una distancia que limita o restringe el uso de suelo para la expansión urbana, partiendo de los límites de la ANP hacia áreas de interés agropecuario, teniendo como base los estándares de sustentabilidad del Cuadro 9 para hacer un uso adecuado del territorio, la distancia es de 2000m.

Figura 23. Franjas de restricción de las ANP para el desarrollo urbano



Fuente: Elaboración propia (2021)

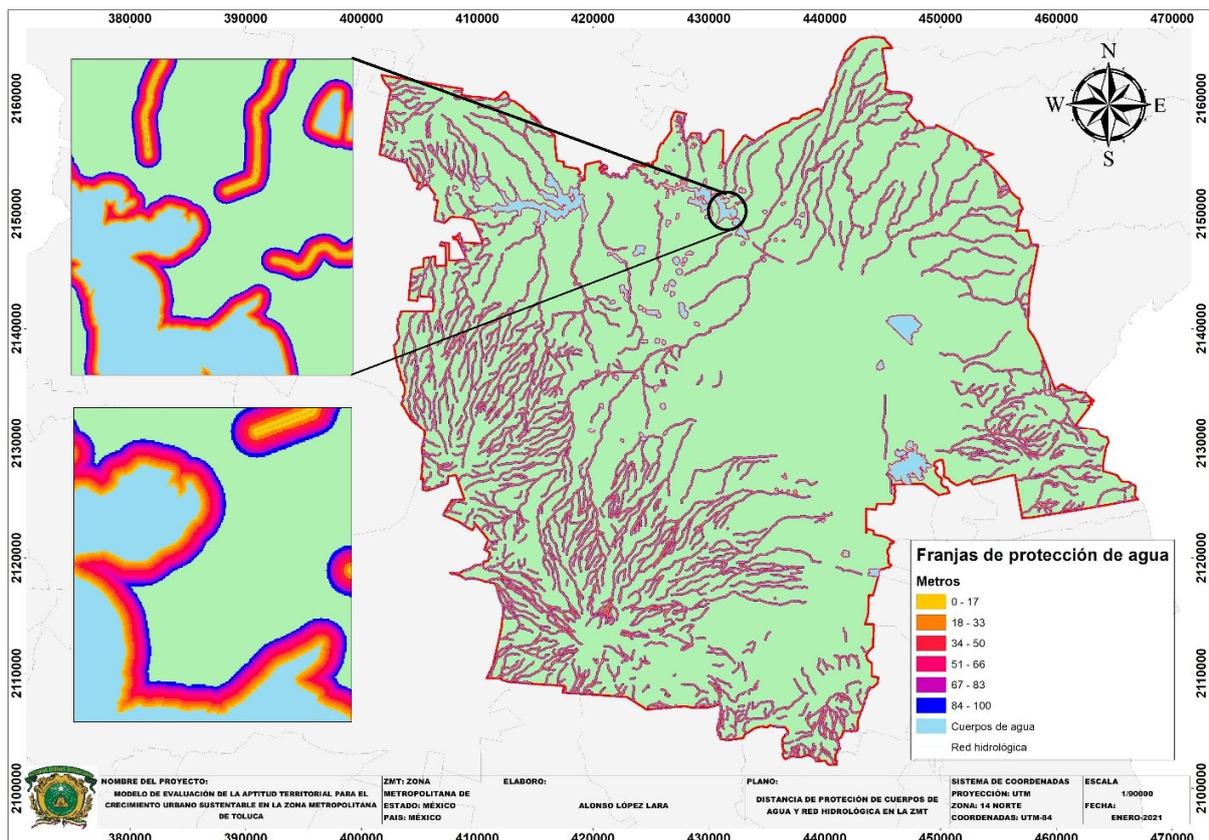
4.6.3. Protección de cuerpos de agua y red hidrológica

La cartografía del sistema hidrológico de la ZMT, se ha obtenido del Instituto Nacional de Geografía (2010) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2008)- Al representar el comportamiento de los meses con mayor precipitación, se

ha identificado los canales en donde fluye el agua y pueda provocar riesgos socio naturales para las edificaciones urbanas que se encuentran a las orillas

Con la información vectorial que se tiene de las instituciones anteriormente mencionadas se ha podido calcular la longitud, así como la superficie ocupada de los cuerpos de agua. En cuanto a la corriente de agua que fluye en respuesta a la precipitación o al flujo de una fuente intermitente, la longitud de estas corrientes intermitentes es de 1377.67 km, y la extensión de ríos o arroyos perenne que fluyen de manera constante en algunas partes de este territorio durante todo el año es de 706.89 km. La superficie de cuerpos de agua cuenta con una superficie total de 29.74 km². Para la investigación se ha establecido un margen de protección de estos recursos hídricos y cuerpos de agua con una distancia obligatoria de 100m tomando como base al Cuadro 9 de estándares de sustentabilidad, para poder reducir el desarrollo y los impactos en estos y otorgar un tiempo de recuperación de los recursos del agua (Figura 24).

Figura 24. Franja de restricción de cuerpos de agua y red hidrológica

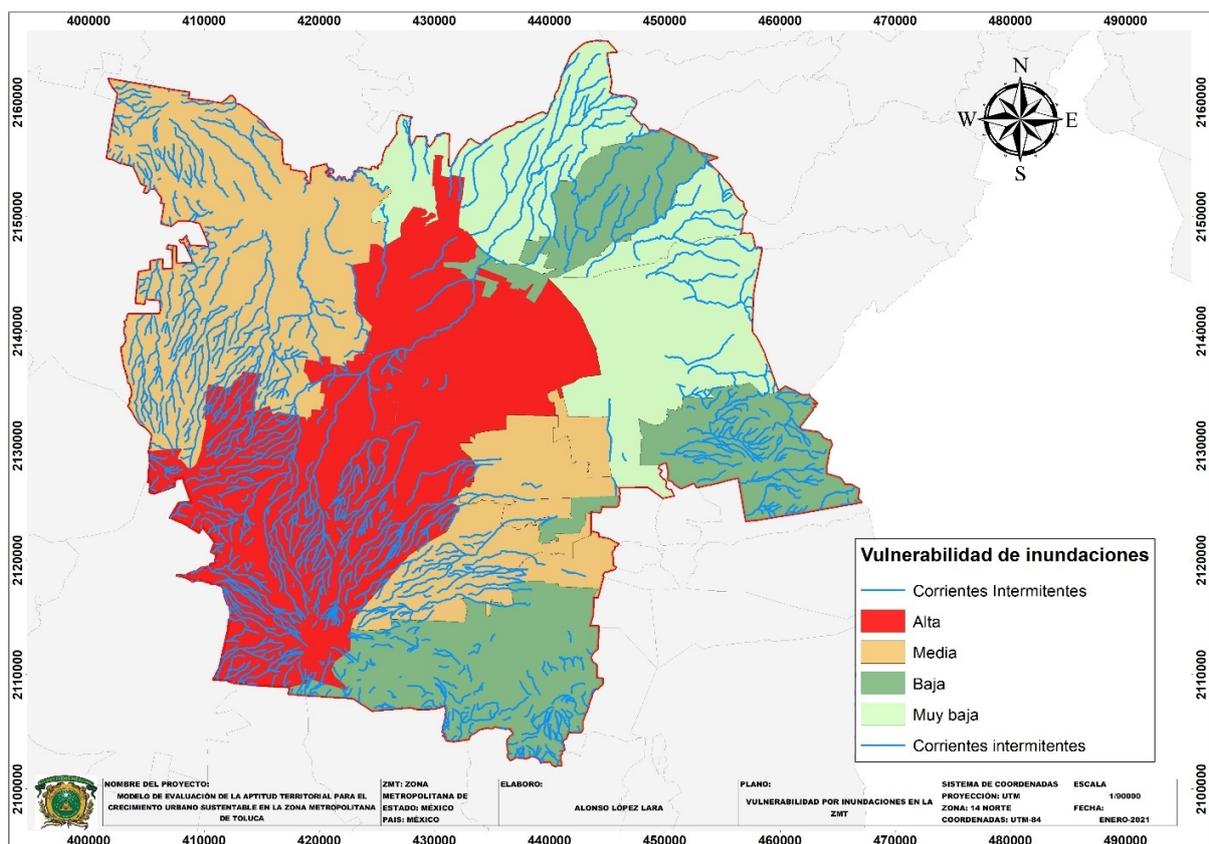


Fuente: Elaboración propia (2021)

4.6.4. Zonas de riesgo por inundación

De Con información de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), el Consejo Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC), representadas y consideradas en el Atlas de Riesgo, se cuenta con información sobre vulnerabilidad por inundaciones. Se ha analizado la relación que existe de las fuertes precipitaciones en verano con un promedio de 269 mm y las corrientes intermitentes que recorren algunos municipios de la ZMT para identificar la vulnerabilidad de inundaciones y restringir áreas de expansión urbana que puedan resultar en riesgos socio naturales. La Figura 25 muestra a los municipios y su vulnerabilidad ante inundaciones y la red hidrológica de corrientes intermitentes, para poder identificar zonas con mayor vulnerabilidad a inundaciones y deslizamientos.

Figura 25. Vulnerabilidad de inundaciones (corrientes intermitentes)



Fuente: Elaboración propia (2021)

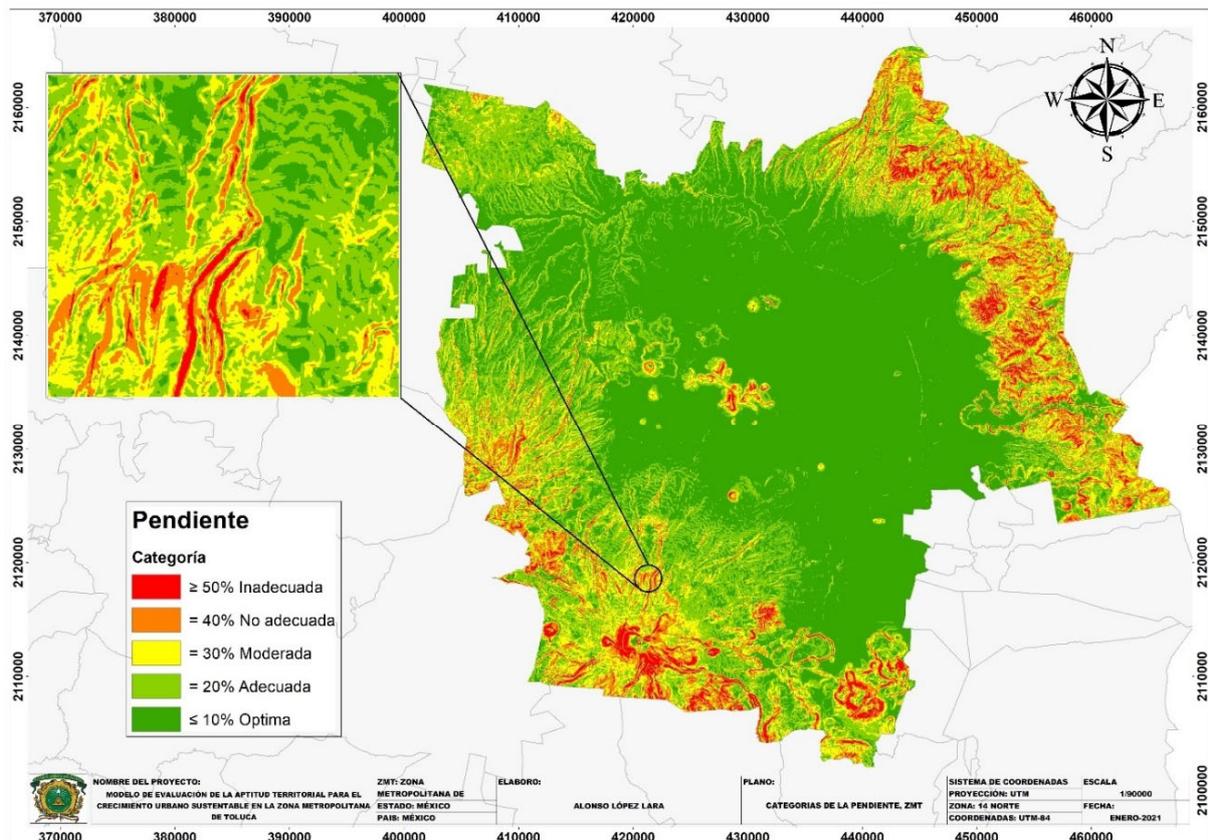
En la ZMT, los municipios de Toluca y Zinacantepec presentan 30.21% de riesgo alto, con alta presencia de redes hidrológicas y con gran longitud de estos, posteriormente, Almoloya de Juárez,

Calimaya, Chapultepec, Metepec, Mexicaltzingo representan 27.6% de riesgo medio al observar que la red hidrológica es menos extensa y disminuye las corrientes de agua, y el resto de los municipios, de acuerdo con las corrientes intermitentes no presentan vulnerabilidad significativa y representa el 42.19%. Cabe señalar que las zonas con alto riesgo corresponden a zonas con capas geológicas de suelos de poca resistencia, geomorfología muy irregular, y con precipitaciones elevadas.

4.6.5. Zonas de riesgo por el grado de pendiente

El relieve en la ZMT cuenta con altos rangos de pendiente, estas pendientes representan una importante variable para el cálculo de la aptitud del territorio, ya que se pueden estimar zonas susceptibles a deslizamientos o derrumbes y, fallas y fracturas geológicas. La Figura 26, presenta el modelo de elevación digital a 15m y reclasificación de pendientes para identificar el grado de inclinación y representarlo en porcentaje, para finalmente categorizar desde una situación óptima hasta una inadecuada.

Figura 26. Rango de pendientes

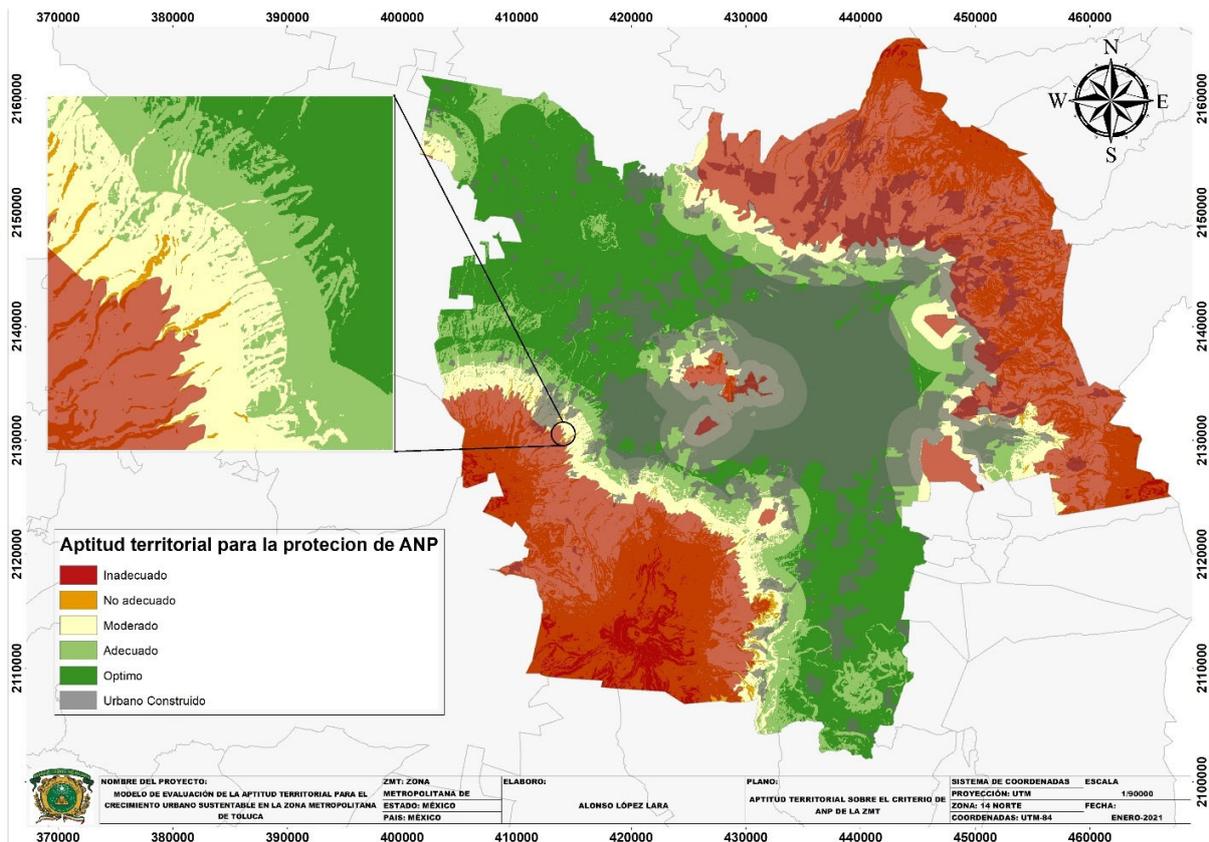


Fuente: Elaboración propia (2021)

4.6.6. Evaluación de la aptitud territorial sobre el criterio de las ANP

La Figura 27 muestra las zonas inadecuadas para el uso urbano en el territorio, tomando como base el criterio de protección de las ANP, elaborado con base en la técnica multicriterio superposición ponderada, explicada en el capítulo anterior.

Figura 27. Aptitud territorial bajo el criterio de protección de ANP



Fuente: elaboración propia (2021)

El mapa de la Figura 27, es el resultado de la reclasificación de la capa urbano construido, en la que se le otorgo una categoría de 1 a 5, en la que, <2000m partiendo de los límites urbanos son las zonas óptimas para el crecimiento urbano, de 2000 a 3000m es adecuada, sin embargo, a partir de 3000m se considera la distancia, por lo que a mayor distancia menor es el equipamiento e infraestructura y se ha considerado inadecuado definir zonas de expansión urbana >5000m debido a los costos para dotar de servicios, se asignó un valor de importancia del 30% para el cálculo de la superposición ponderada.

El mapa muestra la delimitación de un margen para una probable protección y restricción, así como para definir zonas adecuadas para el aprovechamiento del territorio. Visualmente se puede observar un cambio de color progresivo que indica desde zonas óptimas hasta inadecuadas. Permitiendo facilitar la toma de decisiones en políticas de ordenamientos territorial y ambiental.

En la ZMT, se observa que el tejido urbano construido invade zonas con valor ecológico y natural reconocidas como ANP de carácter Federal (SEMARNAT 2021):

- Las zonas presentadas en color rojo. principalmente al noroeste, en los municipios de Lerma, Oztolotepec, Temoaya y Xonacatlán, En estas localizaciones, la expansión urbana requiere control para disminuir la velocidad de afectación, quizá corresponda reorientar la dirección del crecimiento hacia los municipios de Almoloya de Juárez, Metepec y Toluca para evitar pérdida de riquezas o sobre explotación natural.
- Para evitar y/o disminuir el crecimiento de la expansión urbana se delimita un margen de protección con un color amarillo de acuerdo con la distancia de las ANP. Estas zonas en color amarillo no son ideales para el crecimiento urbano debido a la importancia de delimitar zonas de recuperación para ciertos servicios ecosistémicos.
- Las zonas de color verde, son las zonas más adecuadas para el crecimiento urbano, cabe mencionar que en estas zonas no se está considerando pendientes y red hidrológica, sin embargo, se considera el uso del suelo en el criterio de áreas con valor productivo (agricultura, ganaderías, etc.) como las zonas con mayor potencial para el crecimiento urbano, pero, para poder hacer uso de estas áreas es fundamental tomar en consideración la distancia de la infraestructura y equipamiento ya presente que ofrece el entorno urbano para evitar generar gastos innecesarios para la dotación de servicios e infraestructura y evitar el crecimiento urbano disperso.

Este mapa no solo muestra los espacios disponibles para la expansión urbana, sino que también muestra espacios con potencial para la actividad agrícola, cabe señalar que el objetivo no es identificar espacios con potencial agrícola, sin embargo, la manipulación de las variables ofrece diferentes resultados que pueden beneficiar a ciertos estudios.

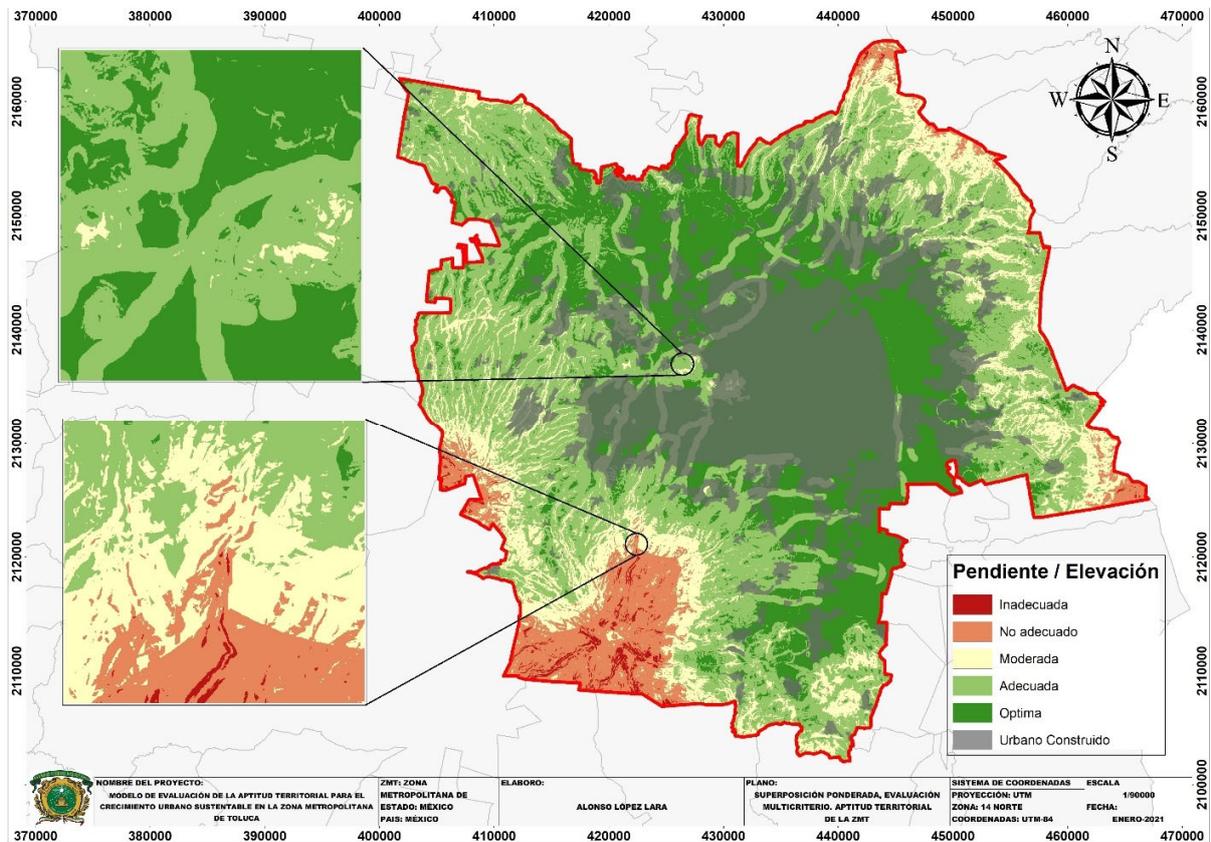
4.6.7. Evaluación de la aptitud territorial sobre el criterio de hidrología

Para poder conocer las zonas óptimas para el crecimiento urbano y evitar localización en zonas susceptibles a deslizamientos o derrumbes debido a los rangos de la pendiente y a la relación de las intensas lluvias de verano, la Figura 28 se elabora para evitar uso urbano en lugares en la que las pendientes son mayores a 50%, al mismo tiempo se ha delimitado un margen de protección para los cuerpos de agua y la red hidrológica. El mapa de la Figura 28 se desarrolló con la técnica Superposición Ponderada y la cartografía que se utilizó es la reclasificación de pendientes, hidrología y urbano construido.

Para ello se establece una categoría 5 rangos distintos de acuerdo con el grado de pendiente para identificar zonas inaceptables hasta zonas óptimas, considerando a esta última como las mejores zonas para el desarrollo urbano. Los rangos de pendiente son: pendientes con inclinación <7% son las zonas óptimas para el desarrollo urbano, del 7 al 19% son adecuadas, del 19 al 34 son moderadas y, pendientes > 50% son inadecuadas con un valor de importancia del 30%.

En cuanto a la red hidrológica también se establecen 5 rangos en función a la distancia de la hidrología, considerando que las zonas a una distancia <100m a cualquier río serán zonas inadecuadas por el riesgo de deslizamientos o la sobre explotación de este recurso, de 100 a 300m moderadas, 300 a 500m adecuadas, y >1000m son las zonas óptimas para el uso urbano, con un valor de importancia de 25%, finalmente se utiliza la reclasificación de los urbano construido de la Figura 28 con un valor de 45%.

Figura 28. Aptitud territorial bajo el criterio de hidrología y pendientes



Fuente: Elaboración propia (2021)

De igual manera el siguiente mapa muestra un margen de protección y restricción, así como zonas adecuadas para el aprovechamiento del territorio sobre el criterio de hidrología y pendiente para evitar un crecimiento urbano en zonas susceptible a inundaciones y deslizamientos, y se ha generado un margen de protección para disminuir el aprovechamiento y los usos inadecuados de la red hidrológica y cuerpos de agua.

La Figura 28 muestra como la pendiente y red hidrológica es influenciada por la altura del ANP Nevado de Toluca con una altura de 4,660 m.s.n.m. Esto facilita calcular las corrientes de agua que fluyen en respuesta a la precipitación o al flujo de una fuente intermitente con una longitud de 1377.67 km de red hidrológica en la ZMT.

Se ha identificado que del lado suroeste de los municipios de, Toluca, Calimaya y Tenango del Valle existe una alta inclinación de las pendientes y no es aconsejable definir zonas de expansión urbana a una distancia cercana, debido al riesgo de movimientos de tierra, principalmente a deslizamientos, para ello, es importante conocer el tipo de subsuelo que existe y relacionarlo con las corrientes de agua o de su escorrentía para evitar inundaciones.

Se observa que existen municipios que se encuentra por encima de ciertas redes hidrológicas como son el municipio de Calimaya, Ocoyoacac, Oztolotepec, Lerma, San Mateo Atenco, Temoaya y Toluca. Estos municipios han sido mencionados en el estudio de Vázquez y Méndez (2011) como municipios vulnerables a inundaciones por las escorrentías de las lluvias. Para estos municipios es aconsejable realizar un estudio geotécnico para conocer las características del subsuelo e identificar a que profundidad se encuentran los distintos estratos y el estrato resistente para apoyar edificaciones urbanas.

En este mapa, según los aspectos observados, el área óptima es reducida, debido a que la red hidrológica y pendientes tienen presencia en la ZMT. Para estas dos variables es importante definir un margen de protección y restricción de uso para facilitar e identificar nuevas zonas de expansión urbana.

4.6.8. Aptitud territorial para nuevas zonas de expansión urbana

A partir de los factores considerados se ha construido el mapa resultante de aptitud territorial para el crecimiento urbano, es el procedimiento de sumar el cálculo de las variables de uso de suelo, urbano construido, red hidrológica, pendientes y áreas con valor ecológico y ambiental.

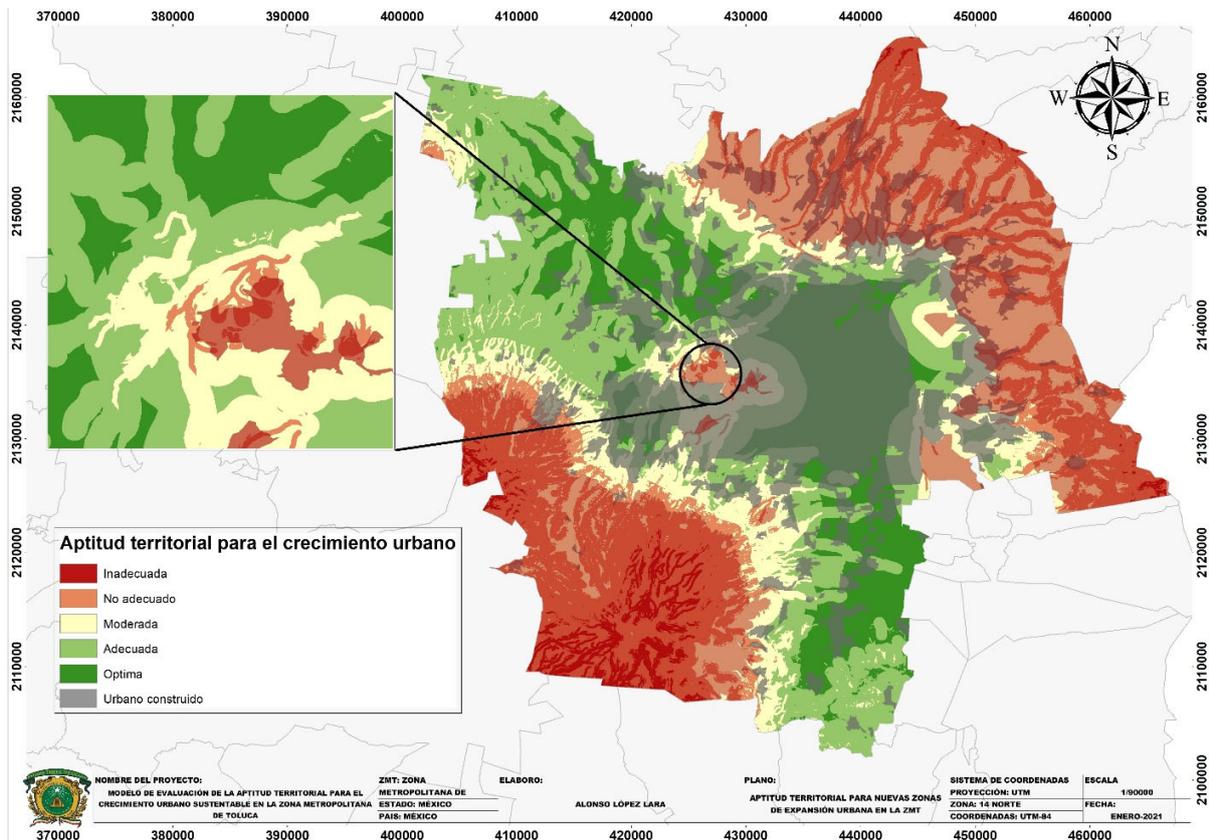
El valor de importancia que se le dio a los criterios anteriormente mencionados para la elaboración de este mapa se describe de la siguiente manera:

Red hidrológica 15%, pendientes 15%, áreas con valor ecológico y ambiental. 30%, uso de suelo 15% y urbano construido 25%.

Cabe señalar que para la elaboración de la Figura 29 se utiliza, en primer lugar, la reclasificación de las variables anteriormente mencionadas para poder identificar inicialmente las áreas disponibles para el crecimiento urbano y cuál es la dirección en la que se está orientado la expansión urbana, en segundo lugar, los espacios que deben ser restringidos para el uso urbano, en tercero las

pendientes y red hidrológica y cuerpos de agua que deben tener un margen de protección y de riesgo por deslizamientos o fallas geológicas y finalmente el uso de suelo para identificar las zonas agrícolas que se encuentren a una distancia ≤ 2000 m de los límites urbanos para poder determinar nuevas zonas de expansión urbano como categoría para del desarrollo sustentable en la ZMT.

Figura 29. ZMT. Aptitud territorial para el crecimiento urbano sustentable



Fuente: Elaboración propia (2021)

El mapa final muestra las áreas disponibles y la tendencia de crecimiento que puede orientarse para las nuevas zonas de expansión urbana, resulta del filtro de las diferentes variables para identificar espacios adecuados en el territorio, exentas de riesgos y de no afectación de áreas con valor ecológico y natural.

Se identificó que la tendencia de crecimiento actual se encuentra al noreste y suroeste en dirección a las ANP de la ZMT, la evaluación del territorio muestra que se requiere una reorientación al noroeste y sureste, tomando como punto de partida a la cabecera metropolitana (Toluca). Los municipios que presentan zonas o áreas más adecuadas para nuevas zonas de expansión urbana

son: Almoloya de Juárez, Chapultepec, Metepec, Mexicaltzingo, San Antonio la Isla, Rayón, Tenango del Valle y Toluca.

La actual ocupación urbana se encuentra por encima de ciertas redes hidrológicas, principalmente en los municipios de Calimaya, Ocoyoacac, Oztolotepec, Lerma, San Mateo Atenco, Temoaya y Toluca. Para estos municipios es aconsejable realizar un estudio geotécnico para conocer las características del subsuelo e identificar a que profundidad se encuentran los distintos estratos y el estrato resistente para apoyar edificaciones urbanas.

Analizando la relación de la capa de servicios básicos y equipamiento, los municipios de Almoloya de Juárez, Chapultepec, Metepec, Mexicaltzingo, San Antonio la Isla, Rayón, Tenango del Valle y Toluca cuentan con infraestructura y servicios para las nuevas zonas de expansión que se encuentren a una distancia $\leq 2\ 205$ m. Estos municipios cuentan con hasta 100% de infraestructura.

Cabe señalar que el calcular y evaluar la aptitud territorial permite definir políticas de crecimiento organizado y planificado, avanzar en el crecimiento urbano sustentable.

Es fundamental buscar una integración del Ordenamiento Ecológico (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente) y el Ordenamiento Urbano (Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano), de tal manera que se garantice la conservación y sostenibilidad del territorio rural, así también asegurar porciones del territorio que presente aptitud para nuevas zonas de expansión urbana que cumplan los requerimientos indispensables para el proceso de la urbanización y que puedan integrarse a las áreas mediante una programación determinada en un plan de ordenamiento urbano y del territorio, en función a las necesidades del suelo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Principales hallazgos

El objetivo de la investigación tuvo éxito y se construyó una propuesta metodológica que utilice variables que condicione a la urbanización y evalúe la aptitud del suelo para determinar nuevas áreas para la expansión urbana; también, se acepta la hipótesis ya que la evaluación de la aptitud del territorio determina nuevas áreas para la expansión urbana, al tiempo que sirve como un instrumento para un desarrollo sostenible. Haciendo un análisis en el territorio se observó que el crecimiento de las ciudades ejerce una fuerte presión hacia el territorio rural, las dinámicas de la urbanización, no consideran criterios de sostenibilidad, ya que la necesidad de suelo para la expansión es incontrolada. La principal causa es el crecimiento demográfico, lo que genera la necesidad de espacio físico para albergar a la población, la especulación del costo del suelo, cambios en la renta de inmuebles, demanda del suelo para el uso agrícola, minero, parques, reservas naturales, turismo e infraestructura, bajo este contexto se vuelve fundamental orientar y la planificar el crecimiento de las ciudades, reconociendo las potenciales áreas rurales que podrían ser usadas para la expansión urbana y las que presenten limitaciones por razones de protección, seguridad o aptitud agropecuaria y minera; es importante que estas zonas incluyan una reserva suficiente para asegurar la operación de un mercado amplio de la tierra.

Los rápidos y acelerados cambios de uso de suelo se encuentran generando conflictos entre la aptitud que tiene el suelo y su destino, produciendo una fuerte presión en el territorio rural, más aún cuando se trata de suelo que requieren las ciudades para su expansión, por lo tanto, es necesaria una adecuada política que prevea y oriente estos cambios a fin de mantener un equilibrio entre las necesidades de suelo para la expansión urbana y la conservación de los recursos naturales. En este sentido la planeación de los usos de suelo, es una herramienta que resulta eficiente para cumplir con este propósito.

A pesar de que, existen instrumentos de planeación urbana tales como los Planes de Desarrollo Municipal, Ordenamiento Ecológico y Urbano la organización actual no ha sido acorde al uso potencial y adecuado del suelo, esto ha ocasionado que la mancha urbana continúe extendiéndose a las periféricas de los municipios de conglomerada esta metrópoli. No obstante, aunque las decisiones en el uso del suelo se hicieran teniendo en cuenta los criterios económicos, ecológicos y sociales, es necesario que para la utilización del territorio se planee, especialmente para zonas de expansión, al tiempo que se dé especial atención a la conservación de los recursos naturales y los potenciales riesgos existentes.

Los rápidos y acelerados cambios de uso de suelo se encuentran generando conflictos entre la aptitud que tiene el suelo y su destino, produciendo una fuerte presión en el territorio rural, más aún cuando se trata de suelo que requieren las ciudades para su expansión, por lo tanto, es necesario que se regule las políticas de planeación urbana, a fin de mantener un equilibrio entre las necesidades de suelo para la expansión urbana y la conservación de los recursos naturales. En este sentido la planeación de los usos de suelo.

De los modelos de planeación que permite una adecuación de los intereses conceptuales que persigue el planteamiento de esta metodología para determinar nuevas áreas para la expansión urbana, es la determinación de la capacidad de carga o valoración de la aptitud del suelo, que se resume en un proceso que mide el grado de idoneidad que presenta el territorio para una actividad, considerando los requisitos necesarios que pueden impulsar el desarrollo urbano y los efectos que pueden ocasionar en el medio para poder estimar su impacto.

Las técnicas evaluación multicriterio, se han vuelto una importante herramienta para la determinación de la capacidad de carga pues en este método el modelo de evaluación de la aptitud del suelo no se construye sobre un proceso cerrado, cuyo inicio es la formulación del objeto de la valoración y su fin no es la obtención de una propuesta única, sino a través de posibles alternativas y según diversos escenarios. Los sistemas de información geográfica, en gran medida apoyan al proceso de evaluación multicriterio, mediante el análisis espacial de las variables y factores, de esta manera el método adquiere la máxima aplicabilidad posible, ya que las múltiples alternativas son evaluadas otorgándoles un peso y proporcionalidad adecuadas en cada fase de la toma de decisiones.

El conocimiento que se ha generado de los efectos que trae consigo la expansión de las ciudades en el territorio, ha demostrado que es necesario controlar su crecimiento, mediante políticas que propicien la sustentabilidad de los sistemas urbanos, pero es aún más importante orientar este crecimiento de manera planificada para que este proceso natural y necesario, no cause un deterioro del medio rural y el agotamiento de los recursos no renovables, la determinación de zonas de expansión urbana como categoría para un desarrollo sustentable, visto desde las ciencias ambientales para la planeación urbana, es factible y necesaria, ya que permitiría sacar el mejor provecho posible del territorio y coadyuvar a que el sistema territorial mantenga un equilibrio ecológico.

Es importante considerar en el ordenamiento del territorio, al territorio rural donde se tenga áreas de reserva agrícola, de protección ambiental, de conservación y recuperación paisajista y de preservación del patrimonio histórico, cultural y arquitectónico, y desde el ámbito urbano

(ordenamiento urbano), las zonas provistas de servicios básicos e infraestructura o aquellos sectores donde sea viable la provisión de estos servicios, al igual que su localización alejada de zonas altamente contaminantes o que puedan generar riesgos a la salud e integridad de la población.

De las diversas metodologías para la evaluación de la tierra, las cuales se abordaron en el Capítulo 1., la elección para la determinación de las zonas de expansión urbana y que mejor se adecue a los objetivos de la investigación, fueron las técnicas de evaluación multicriterio y análisis espacial, mismas que integradas dan paso al proceso denominado evaluación espacial multicriterio; y que se vuelve una herramienta aplicable en la determinación de la capacidad de carga del territorio para diversas actividades. La ventaja de este método es que permite construir un modelo que se adecue al estudio del suelo para identificar las mejores zonas para un uso óptimo, sobre un proceso abierto y que permita posibles alternativas para diversos escenarios.

La sumatoria lineal ponderada es un método fácil y comprensible, permite desarrollar el análisis de la capacidad de carga para nuestro estudio, considera la adecuación de las variables previo al cálculo de la aptitud del suelo para un adecuado uso urbano, normalizando mediante operaciones aritméticas básicas, y ponderando las variables de tal manera que al momento de evaluar las alternativas de estas, puedan reflejar la importancia que cada una de ellas representa en la determinación de la aptitud del suelo, para posteriormente definir el grado de adecuación e impacto de cada alternativa.

En este sentido los sistemas de información geográfica, apoyan en el proceso mediante la caracterización de la zona de estudio mediante las variables que condicionan con los criterios, factores y las reglas de decisión, para posteriormente realizar una interpretación de los datos a través de la técnica multicriterio super posición ponderada, esta técnica proporcionara múltiples alternativas que pueden ser evaluadas, otorgándoles un peso y proporcionalidad adecuadas para la toma de decisiones respecto a las variables que influyen en la determinación de la aptitud del suelo en territorio para el uso urbano.

La evaluación espacial multicriterio, es considerado para esta investigación como un procedimiento que combina y transforma las variables que se establecen para la evaluación del territorio sobre un conjunto de alternativas posibles que serían las áreas destinadas para la expansión urbana, para que con un juicio de valor, fundamentado en la experiencia del investigador, y de los objetivos de los planes metropolitanos y municipales, se tomen decisiones respecto a la determinación del suelo de expansión urbana para un desarrollo urbano más orientado y con las perspectiva de un crecimiento sustentable.

Para la aplicabilidad de esta propuesta metodológica, se desarrolló en la ZMT, para lo cual se procedió a verificar la disponibilidad de la información, siendo que para este caso se contó con la información necesaria para el análisis, siendo este un factor que permitió evaluar y obtener resultados satisfactorios en la determinación de nuevas áreas para expansión urbana. Cabe señalar que el análisis se decidió realizar en el sistema de información geográfica denominado ArcGIS, mismo que también se utilizó para la caracterización de la zona de estudio, así como para el desarrollo de la cartografía a través de la interpretación de los datos.

La aplicación de este método se fue orientado de acuerdo con el Cuadro 9. Estándares deseados, a la hora de determinar la aptitud del suelo, por lo que se recomienda la utilización de los pesos asignados mediante este proceso científico para el análisis del territorio.

El método planteado da cumplimiento de los objetivos que se proponen para esta investigación, ya que no es necesario disponer de toda la información relacionada con las variables que influyen en la determinación de la aptitud del suelo para el uso urbano, para obtener resultados satisfactorios.

Con estas consideraciones se puede concluir que la propuesta metodológica para evaluar la aptitud del territorio para el crecimiento urbano sustentable es plenamente válida y aplicable para orientar el crecimiento urbano y que pueda apoyar a los actuales programas de desarrollo municipal y metropolitano, así como al ordenamiento del territorio. Siempre que se disponga de la información relacionada con las variables que influyen en la determinación de la capacidad de carga para evaluar la aptitud del suelo en el territorio.

5.2. Recomendaciones.

Después del análisis expuesto en el presente trabajo, y con fundamento tanto del marco teórico conceptual que ha sido el soporte del sustento técnico y científico a la propuesta metodológica, como en la validación de esta mediante la aplicación a un caso concreto, concluyéndose que, por propuesta planteada, es pertinente a la hora de evaluar la aptitud del suelo en el territorio recomendar lo siguiente:

- Es fundamental buscar una integración del Ordenamiento Ecológico (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente) y el Ordenamiento Urbano (Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano), de tal manera que se garantice la conservación y sostenibilidad del territorio rural, así también asegurar porciones del territorio que presente aptitud para nuevas zonas de expansión urbana que cumplan los requerimiento indispensables para el proceso de la urbanización

y que puedan integrarse a las áreas mediante una programación determinada en un plan de ordenamiento urbano y del territorio, en función a las necesidades del suelo.

- Si bien la propuesta metodológica plantea determinar zonas para la expansión de las ciudades, es imprescindible que desde los planes de Ordenamiento Ecológico y Urbano fomenten modelos de ciudad que coadyuven a la sostenibilidad ambiental y al aprovechamiento de los recursos, es decir del suelo con dotación de servicios públicos e infraestructura vial, así como políticas de movilidad alternativas, es decir se afiance el modelo de la ciudad compacta y diversa. Estas consideraciones podrían determinarse en la normativa reguladora del uso y ocupación del suelo que deberá construirse en los planes de ordenamiento.
- Para esta metodología es indispensable la disponibilidad de la cartografía tanto en formato vector como ráster, para una mayor precisión de los resultados se recomienda trabajar con cartografía a la misma escala y de preferencia a 1:100.000. el Cuadro 13., muestra un inventario detallado de información aplicable en la metodología, sin perjuicio de poder utilizar otras referencias cartográficas disponibles.
- Para poder evaluar la aptitud del suelo en el territorio, es indispensable contar con la información cartográfica del Cuadro 12., sin embargo, solo se puede conseguir el 80% de la información, se considera oportuno trabajar con un porcentaje superior al 90%, lo que permitirá precisar con mayor detalle la aptitud del territorio.
- Para poder validar la metodología es indispensable contar con un sistema de información geográfica y dominar las herramientas principales de ellas, ya que es necesario manipular la información vectorial, para poder proyectarlas en las coordenadas y el Datum adecuado, así mismo es necesario saber hacer proceso de conversión de formato a ráster para identificar y trabajar con pendientes, distancias, reclasificación de los datos y superposiciones.

Referencias

- Amin, Ash y Thrift, Nigel (2002). *Cities: Reimagining the Urban*, Polity, Londres.
- Altur Grau, Vicent Jesús; Aguilar Maldonado, Jesús-Antonio; Sebastiá Frascuet, Maria Teresa Y Miralles I Garcia, José Luis (2019). *Adaptation Of Urban Uses Of Environmental Characteristics:A Case Study Of La Safor, Valencia, Spain*. En *Sustainable City 2020* 187-198, Rome, Italy: WIT Transactions on Ecology and the Environment.
- Aranda, José María (2000). *Conformación de la Zona Metropolitana de Toluca, 1960-1990*, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca Estado de México UAEMéx.
- Arteaga Botello, Nelson y Alfaro, Carlos (2001). *Disparidades regionales en la zona metropolitana del valle de Toluca*. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca Estado de México UAEMéx.
- Arteaga Botello, Nelson (2005). *Los estudios sobre la zona metropolitana del valle de Toluca. Aproximaciones estructurales y centradas en los actores*. En *Región y Sociedad Vol XVII* Nº. 33 72-104: Centro de Estudios Sociales de El Colegio Mexiquense, Colegio de Sonora.
- Aspeslaugh, W. (1994). *Carrying Capacity and Its Application to the Portland Metropolitan Area; Metro Future Vision Commission: Portland, OR, USA*.
- Ayres, R.U. and Kneese, A.V. (1969). *Production, Consumption & Externalities*. *American Economic Review*, 59, 282-296.
- Banai kashani, R. (1989). *A new method for site suitability analysis: the analytical hierarchy process*, *Environmental management*, 13, 685-693.
- Banai kashani, R. (1993). *Fuzziness in geographical information systems: contributions from the analytic hierarchy process*, *International Journal Geographical Information Systems*, 7(4), 315-329.
- Barredo (1996). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ra-Ma Editorial. 1a edición.
- Barredo, J. y Bosque, J. (1995). *Integración de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio y la asignación de usos del suelo*. *Actas del IV Congreso Español de Sistemas de Información Geográfica*, Barcelona, AESIG. 191-200.
- Bazant Sánchez, Jan (2010). *Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana en Revista Espacio Abierto*, 475-503 Venezuela, Universidad del Zulia Maracaibo.
- Beguería, S. y Lorente, A. (2003). *Landslide hazard mapping by multivariate statistics: comparison of methods and case study in the Spanish Pyrenees*. Madrid, Contract No EVG1 - CT-1999-00007, Instituto Pirenaico de Ecología.

- Bobińska, Klara Autora (1972). <https://es.scribd.com/document/373543569/Estructura-agraria-de-Mexico-despues-de-la-realizacion-de-la-reforma-agraria-Klara-Bobinska>
- Bosque Sendra, Joaquín y Moreno Jiménez, Antonio (2012). *Sistemas de Información Geográfica y Localización Óptima de Instalaciones y Equipamiento*. México: Alfa Omega Editores (Segunda Edición).
- Brenner, Neil (2013). Tesis sobre la urbanización planetaria, en *Revista Nueva Sociedad*, Núm. 243, enero-febrero, 38-66.
- Castells, Manuel (1974). *La Cuestión Urbana*, México DF: Siglo XXI Editores (cuarta edición).
- Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, Hábitat (1986). *Segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre los asentamientos Humanos (Hábitat II)* (1996: Estambul, Turkyá) 906195, <https://digitallibrary.un.org/record/221889?ln=es>
- Centro Mario Molina (2014). *Información Estratégica para la Adaptación al Cambio Climático*. Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C., México.
- Centro Mario Molina (2015). *Perfil metropolitano. Capacidad de carga metropolitana*. Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C., México.
- Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas, Nueva York, septiembre de 2000, *Objetivos de Desarrollo del Milenio*, disponible en: <https://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-de-desarrollo-del-milenio/>
- Collins, M.G.; Steiner, F.R. y Rushman, M. (2001). Land-use suitability analysis in the United States: Historical development and promising technological achievements. En revista *Environmental Management*, 28, 611-621.
- de la Rosa, D.; Mayol, F.; Díaz-Pereira, E.; Fernández, M. y de la Rosa Jr, D. (2004). A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection with especial reference to the Mediterranean región. En revista, *Environmental modelling & Software*, 19, 929-942.
- Dematteis, Giuseppe (1998). *Suburbanización y periurbanización. Ciudades anglosajonas y ciudades latinas* en F. J. Monclús (Ed.) *La ciudad dispersa*, Barcelona: Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona.
- Downs, J.A.; Gates, R.J.; Murray, A.T. (2008). Estimating Carrying Capacity for Sandhill Cranes Using Habitat Suitability and Spatial Optimization Models. *Ecol. Model.*, 214, 284-292.
- Eastman, J.R., Kyem, P.A., Toledano, J. y Jin, W. (1993). *Gis and Decision Making*. United Nations institute for Training and Research, Ginebra.

- Ferras, Carlos (2007). El enigma de la contraurbanización. Fenómeno empírico y concepto caótico en EURE, mayo, vol. XXXIII, número 098. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO) (1976). A Framework for land evaluation. Soil resources development and conservation service land and water development division ISBN 92-5-100111-1. Rome.
- Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO) (1993). Guidelines for land-use planning. FAO Development Series 1, ISSN 1020-0819. Rome.
- Galacho Jiménez, Federico Benjamín y Arrebola Castaño, Juan Antonio (2008). El modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio. Aspectos conceptuales y técnicas relacionadas. En Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia, 30, 21-39. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, Málaga, España.
- Galacho Jiménez, Federico Benjamín y Arrebola Castaño, Juan Antonio (2013). Modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio con SIG y técnicas de decisión multicriterio respecto a la implantación de edificaciones en espacios rurales. En revista Investigaciones Geográficas 69-85, Malaga, España: Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante.
- Gasparatos, A. (2018). Defining the Urban. Interdisciplinary and Professional Perspectives. London and New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- Geyer Hermanus, S. y Kontuly, Thomas (1993). A theoretical foundation for the concept of differential urbanization International Regional Science Review 15(12), 157-77.
- Gómez Delgado, M. y Barredo, J.I. (2005). Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Paracuellos de Jarama, RA-MA Editorial.
- Gómez Orea, Domingo (2007). Ordenación territorial, Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Hernández Gómez Alicia; Rojas Robles, Rosario y Sánchez Calderón, Fabio Vladimir (2013). Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana y la planeación en el corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá, Colombia. En revista Colombiana de Geografía 257-271, Bogotá, Colombia: Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia.
- Hoppe, A.; Lang, S.; Lerch, C. y Marinoni, O. (2006). Geology and a spatial decision support system for the surroundings of urban areas: An example from southern Hesse (Germany), En revista de la Sociedad Alemana de Geociencias, 157, 135–146.
- Hoyos, G. (2005). Marco empírico histórico de la dimensión física del proceso de urbanización de las ciudades de México y Toluca. Revista Quivera, año/vol. 7, número 002. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México, pp. 42-74.

- Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making. En revista *Geographical Information Systems*, 9, 251-273.
- Joardar, S. D. (1998). Carrying Capacities and Standards as Bases towards Urban Infrastructure Planning en India: A Case of Urban Water Supply and Sanitation. *Habitat. Int.*, 22, 327-337.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59. doi:10.1162/jie.2007.1107.
- Lamelas Gracia, María Teresa (2009). Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: Aplicación a la localización de suelo industrial, *GeoFocus (Artículos)*, n° 9, p. 28-66. ISSN: 1578-5157.
- Lara Romero, Ernesto Salomón (2005). Modelo de evaluación de la capacidad de acogida territorial de los usos urbanísticos potenciales en la ciudad interior de Toluca, Toluca, Estado de México: Tesis de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática Facultad de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México UAEMéx.
- Lee, Y. J. (2006). Sustainable Development Indicators for Taipei. In *Proceedings of 12th Annual International Sustainable Development Research Conference*, Hong Kong Convention & Exhibition Centre, Hong Kong, 6-8.
- Ley de Aguas Nacionales, *Diario Oficial de la Federación* (1 de diciembre de 1992).
- Ley de General de Cambio Climático, *Diario Oficial de la Federación* (6 de junio de 2012).
- Ley de General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, *Diario Oficial de la Federación* (28 de noviembre de 2016).
- Ley de General de Cambio Climático, *Diario Oficial de la Federación* (6 de junio de 2012).
- Ley de General de Población, *Diario Oficial de la Federación* (7 de enero de 1974).
- Ley de Vivienda, *Diario Oficial de la Federación* (27 de junio de 2006).
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, *Diario Oficial de la Federación* (5 de junio de 2018).
- Ley General Protección Civil, *Diario Oficial de la Federación* (6 de junio de 2012).
- Lezama, José Luis (1990). La teoría social urbana y el debate actual. en *Revista Estudios Demográficos y Urbanos*, Vol. 35 103-126, México DF: El Colegio de México, A.C.
- Liu, H.M. (2012). Comprehensive Carrying Capacity of the Urban Agglomeration in the Yangtze River Delta, China. *Habitat Int.*, 36, 462-470.
- Malczewski, J., Moreno-Sánchez, R., Bojorquez-Tapia, L.A. y Ongay-Delhumeau, E. (1997). Environmental conflict analysis in the Cape Region, Mexico. En revista *Journal of Environmental Planning and Management*, 40 (3), 349-374.

- Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. En revista *Progress in Planning*, 62, 3-65.
- Malo, Claudio; Gómez Orea, Domingo y Gómez Villarino, Alejandro (2012). Ordenamiento Territorial. en *Revista Universidad-Verdad* 9-88, Cuenca Ecuador: Universidad Azuayu.
- Marinoni, O. (2004). Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. En revista *Computers and Geosciences*, 30, 637-646.
- Marinoni, O. (2005). A stochastic spatial decision support system based on PROMETHEE. En revista *Geographical Information Science*, 19(1), 51-68.
- Mendoza Pardo, Guillermo (2016). <https://es.scribd.com/document/323261229/Proceso-de-La-Metropolizacion-de-Toluca>.
- Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (HABITAT) (2016). Reporte de ciudades del mundo 2016. Nairobi, Kenia.
- Newell, J. P., & Cousins, J. J. (2014). The boundaries of urban metabolism. En revista *Progress in Human Geography*, 39(6), 702-728. doi:10.1177/0309132514558442.
- Oh, K.; Jeong, Y.; Lee, D.K.; Lee, W.; Choi, J. (2005). Determining Development Density Using the Urban Carrying Capacity Assessment System. *Landsc. Urban Plan.*, 73, 1-15.
- Onishi, T. A. (1994). Capacity Approach for Sustainable Urban Development: An Empirical Study. *Reg. Stud.*, 28, 39-51.
- Pacione, Michael (2005). *Urban Geography. A Global Perspective*, Routledge, New York (Segunda edición).
- Pastor Cantizano, Rafael (2013). <https://sites.google.com/site/tesinacampdeturia/home>
- Pereira, J.M.C. y Duckstein, L. (1993). A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. En revista *Geographical Information Systems*, 7, 407-424.
- Pineda Jaimés, Noel Bonfilio; Bosque Sendra, Joaquín; Gómez Delgado, Montserrat; Plata Rocha, Wenceslao (2008). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivalentes. Una aproximación a los procesos de deforestación” en *Revista de Estudios Sociales* 33-52, Toluca, Estado de México: Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México UAEMéx.
- Rees, W; Wackernagel, M. (2001). *Nuestra huella ecológica*. Santiago, Chile, LOM. 207p.
- Ríos Gallego, Sandra Yanneth (2014). Determinación de la capacidad de acogida del territorio a usos complementarios y compatibles con la protección en la zona de influencia directa de los embalses, Caso de estudio Embalses Porce II y Porce III, Medellín, Colombia: Tesis Magister

en Estudios Urbano Regionales, Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia.

Sanabria Artunduaga, Tadeo Humberto (2010). Cuatro precisiones metodológicas para identificar la aptitud territorial. En revista Bitácora Urbano Territorial 79-88, Bogota, Universidad Nacional de Colombia.

Santé Riveira, Inés (2005). Diseño de una metodología y un Sistema de Ayuda a la Decisión Espacial para la planificación de los usos del suelo rural. Aplicación a la comarca de Terra Chá, Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela España.

Santé Riveira, Inés y Crecente Maseda, Rafael (2006). A review of rural land use planning methods. En revista, Environment and Planning B Planning and Design 165-183. DOI: 10.1068/b31073.

Santé Riveira, Inés y Crecente Maseda, Rafael (2005). Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales. En revista, GeoFocus nº 5, 40-68. ISSN: 1578-5157.

Sánchez González, Diego (2012). Aproximaciones a los conflictos sociales y propuestas sostenibles de urbanismo y ordenación del territorio en México. en Revista de Estudios sociales 40-56, Bogota, Colombia: Universidad de los Andes.

Sánchez Salazar, María Teresa; Casado Izquierdo, José María y Bocco Verdinelli, Gerardo (2013). La política de ordenamiento territorial en México: de la teoría a la práctica. Reflexiones sobre sus avances y retos a futuro. En revista, La política de ordenamiento territorial en México 19-44, México, Instituto de Geografía y Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM.

Sánchez Nájera, Rosa María; Adame Martínez, Salvador; Hoyos Castillo, Guadalupe; Rozga Luter, Ryszard (2015). Impactos ambientales y socioeconómicos por el proceso de expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca, Toluca, Estado de México: Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Planeación Territorial.

Sandoval López, Martín y Abellán, Manuela Andres (2000). Estudio de la capacidad de acogida y planificación de las áreas recreativas de Calasparra (Murcia)” en Revista Cuadernos de Turismo 103-121, España: Universidad de Murcia.

Sarma, A.K.; Mahanta, C.; Bhattacharya, R.; Dutta, S.; Kartha, S.; Kumar, B.; Sreeja, P. (2012). Urban Carrying Capacity: Concept and Calculation; Centre of Excellence: Assam, India.

Saveriades, A. (2000). Establishing the Social Tourism Carrying Capacity for the Tourist Resorts of the East Coast of the Republic of Cyprus. Tour. Manag., 21, 147–156.

Sayre, NF. (2008). The genesis, history, and limits of carrying capacity. Annals of the Association of American Geographers 98(1) 120-134.

- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), el Consejo Nacional de Población (CONAPO) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) SEDATU-CONAPO-INEGI (2018). Delimitación de las zonas metropolitana de México 2015. AsCs México: SEDATU-CONAPO-SEDESOL.
- Schneider, D.M.; Godschalk, D.R.; Axler, N. (1978). The Carrying Capacity Concept as a Planning Tool. In Planning Advisory Service Report 338; American Planning Association: Chicago, IL, USA.
- Seoul Development Institute (1999). A Study on the Environmental Capacity Assessment of Seoul (I); Seoul Development Institute: Seoul, Korea.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO (2019). Agua, Megaciudades y Cambio Climático.: Programa Hidrológico Internacional.
- UNEP (2000). The urban environment: facts and figures. *UNEP Industry and Environment*, 23, 2, 4-11.
- Vázquez Sánchez, Martín y Méndez Ramírez, José Juan (2011). La vulnerabilidad de los asentamientos en espacios no urbanizables en el municipio de San Mateo Atenco, Estado de México. En revista *Quivera* 244-268, Toluca, Estado de México: Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Nacional Autónoma del Estado de México UAEMéx.
- Van Lier, H.N. (1998a). Sustainable land use planning. An editorial commentary. *Landsc. Urban Plann.* 41, 79-82.
- Van Lier, H.N. (1998b). The role of land use planning in sustainable rural systems. *Landsc. Urban Plann.* 41, 83-91.
- Voogd, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London, Pion Limited.
- Wei, Y.G.; Huang, C.; Lam, P.T.I.; Yuan, Z.Y. (2015a). Using Urban Carrying Capacity as a Benchmark for Sustainable Urban Development: An Empirical Study of Beijing. *Sustainability* 7, 3244-3268; doi: 10.3390/su7033244.
- Wei, Y.G.; Huang, C.; Lam, P.T.I.; Yuan, Z.Y. (2015b). Sustainable Urban Development: A Review on Urban Carrying Capacity Assessment. *Habitat Int.* 46, 64-71.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses- A guide to conservation*. Washington, D.C.
- Zhang, X.L.; Wu, Y.Z.; Shen, L.Y. (2011). An evaluation framework for the sustainability of urban land use: A study of capital cities and municipalities in China. *Habitat Int.*, 35, 141-149.
- Zhang, Yan (2013). Urban metabolism: A review of research methodologies. En revista *ELSEVIER. Environmental Pollution*, 178, 463-473.

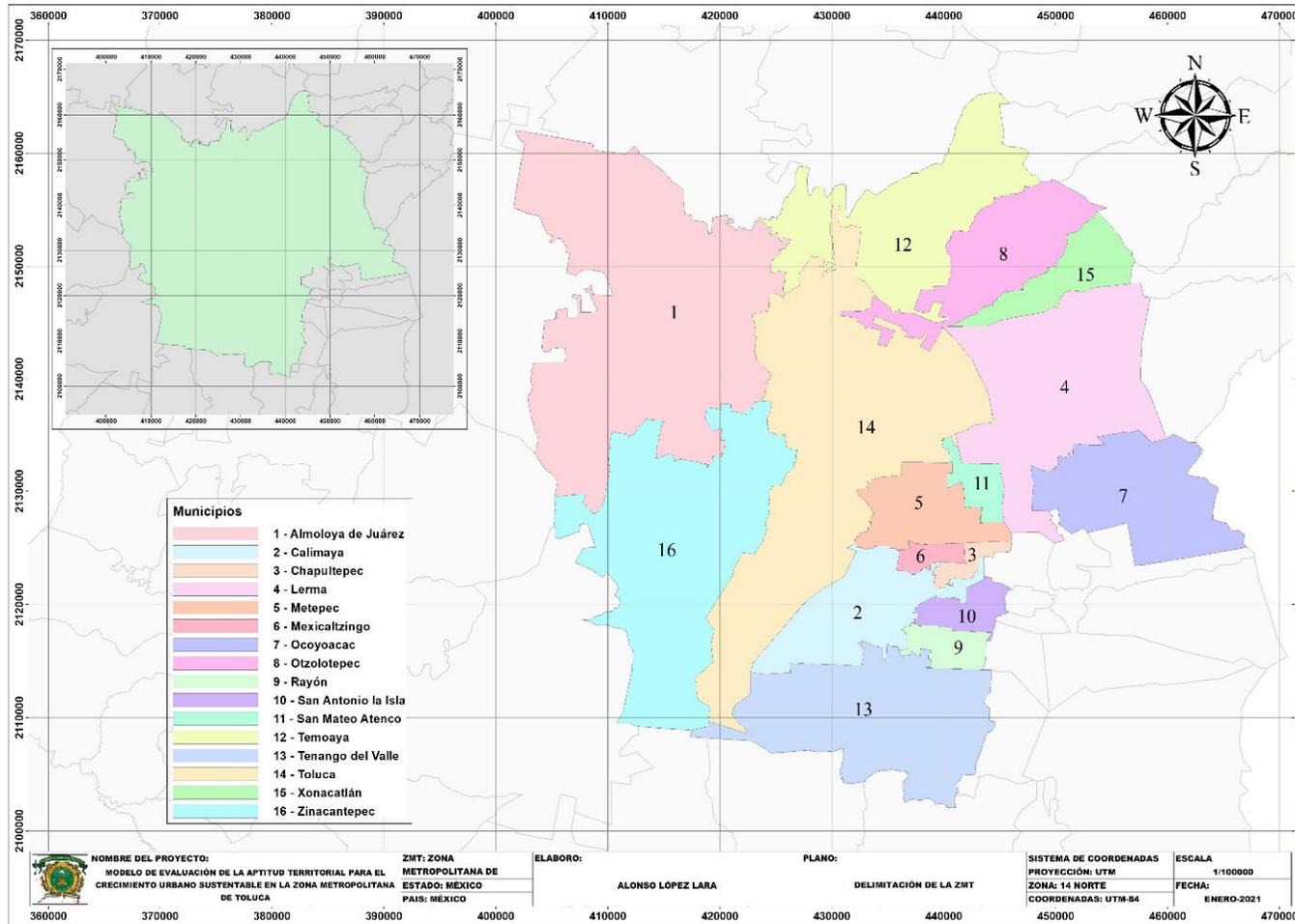
Zárate Antonio, Manuel Martín (2012). Geografía urbana. Dinámicas locales, procesos globales. Madrid: Universitaria Ramón Areces-UNED.

Zavala Cruz, Joel; Morales Garduza, Marcos A.; Vargas Villamil, Luis M.; Palma López, David J. Y Ortiz Solorio, Carlos A., (2016). Capacidad de uso del suelo urbano en planicies fluviales costeras: el caso de Villa Hermosa, Tabasco. En revista Interciencia 296-304, Caracas, Venezuela

Anexos

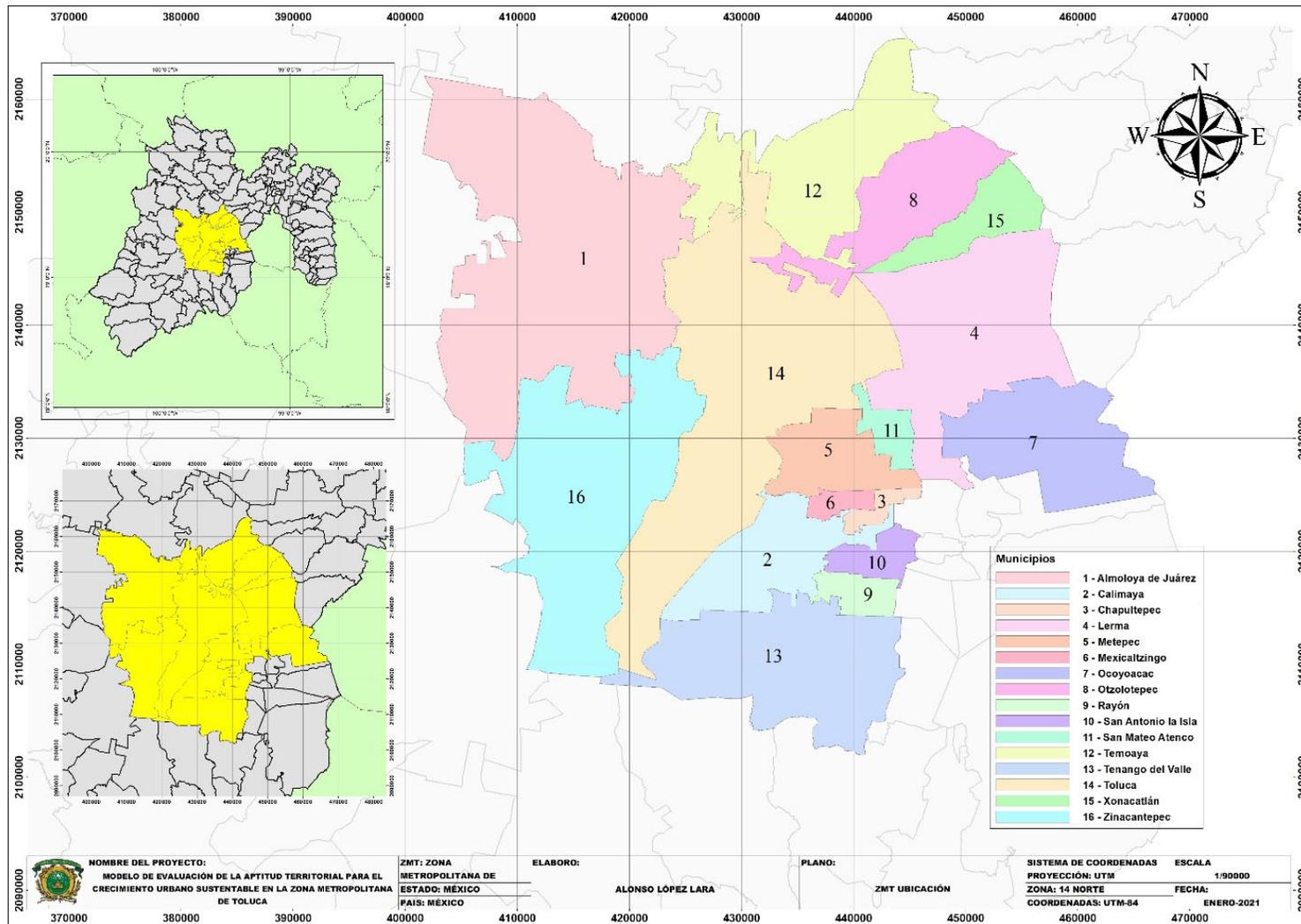
Caracterización de la zona de estudio y distancia euclidiana y reclasificación.

Figura 1. Delimitación de la Zona Metropolitana de Toluca, clasificación Federal



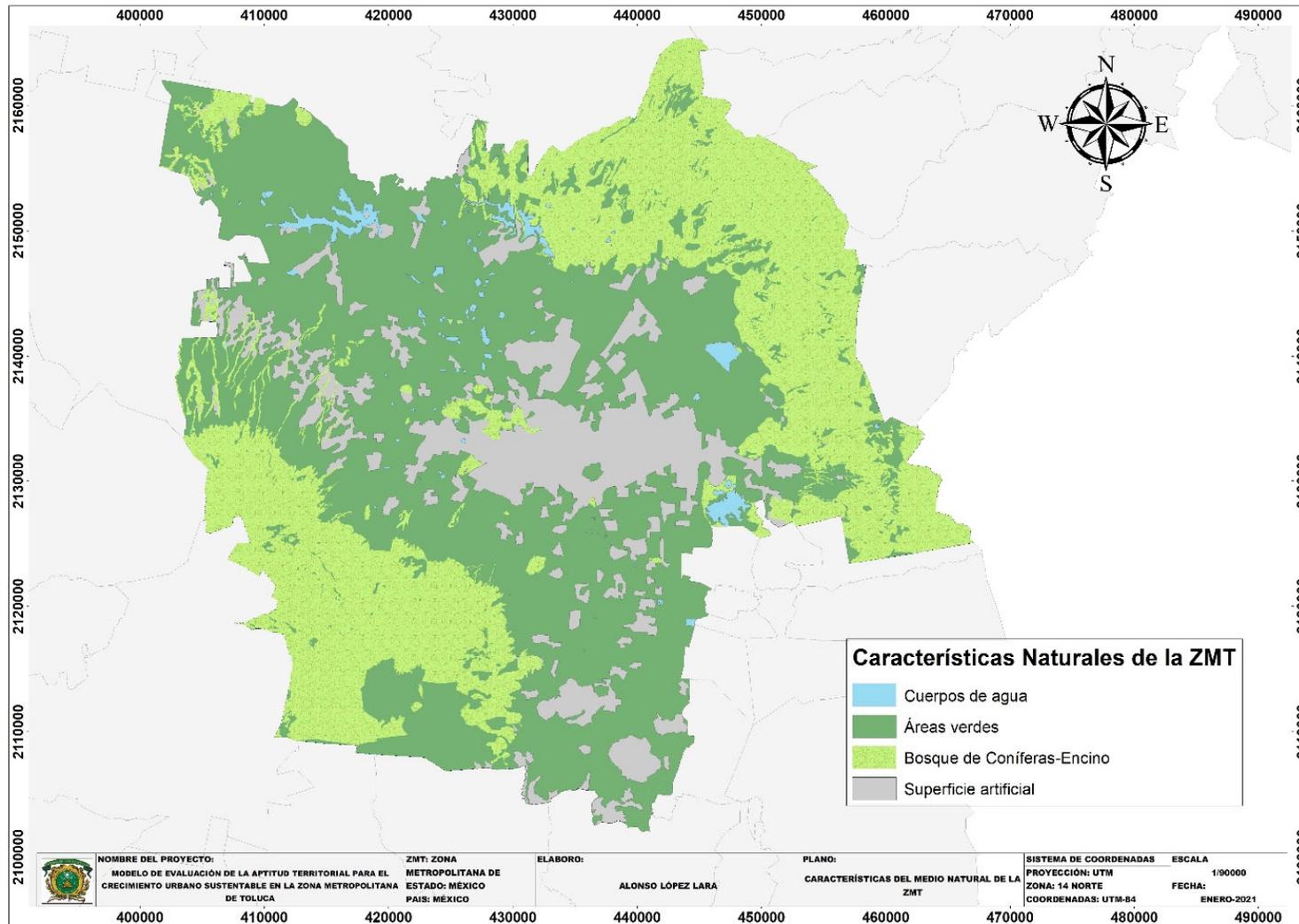
Fuente: Elaboración con base en SEDATU CONAPO e INEGI (2018)

Figura 2. Ubicación de la Zona Metropolitana de Toluca



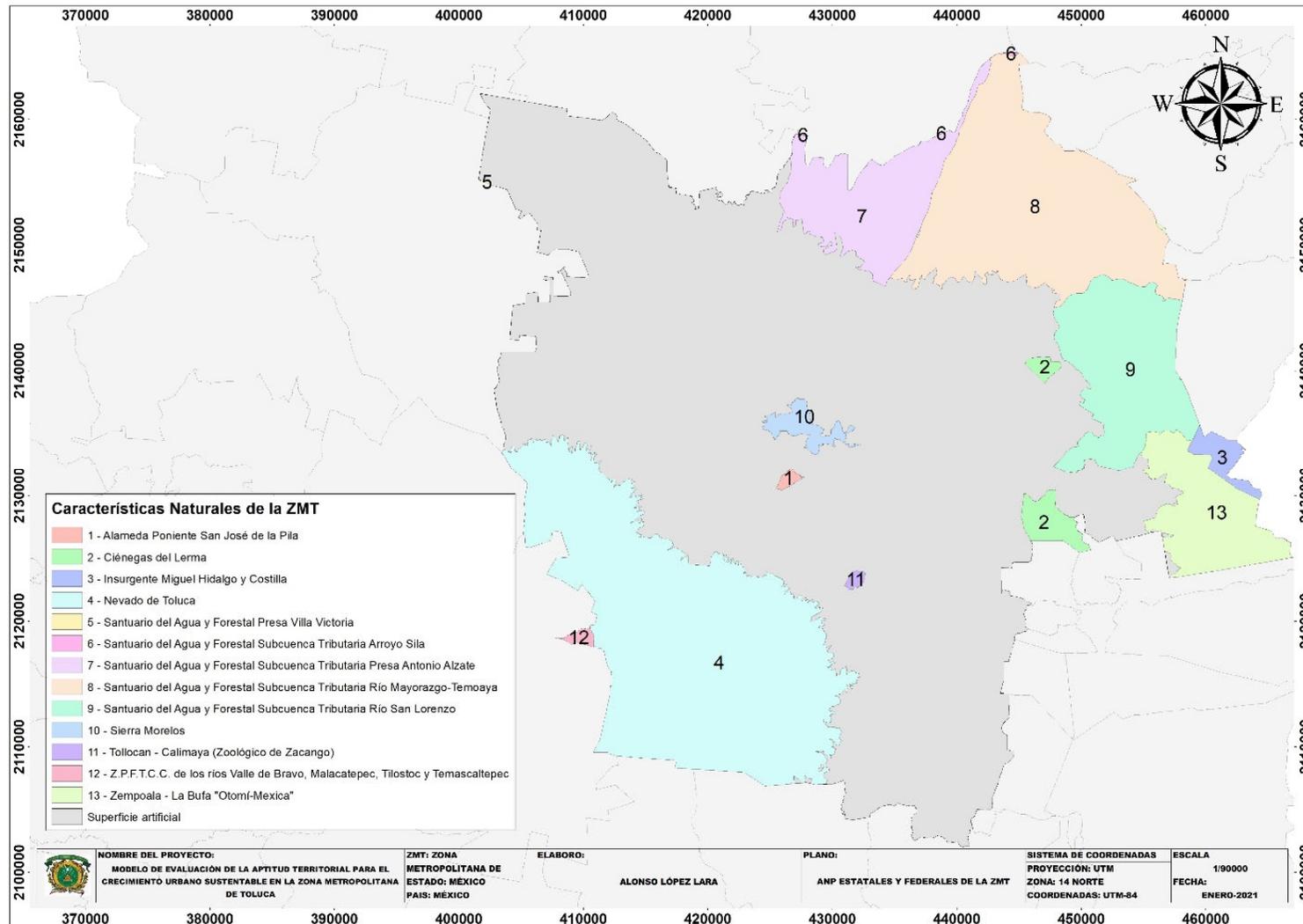
Fuente: Elaboración con base en SEDATU CONAPO e INEGI (2018)

Figura 3. Características del medio natural, 2018



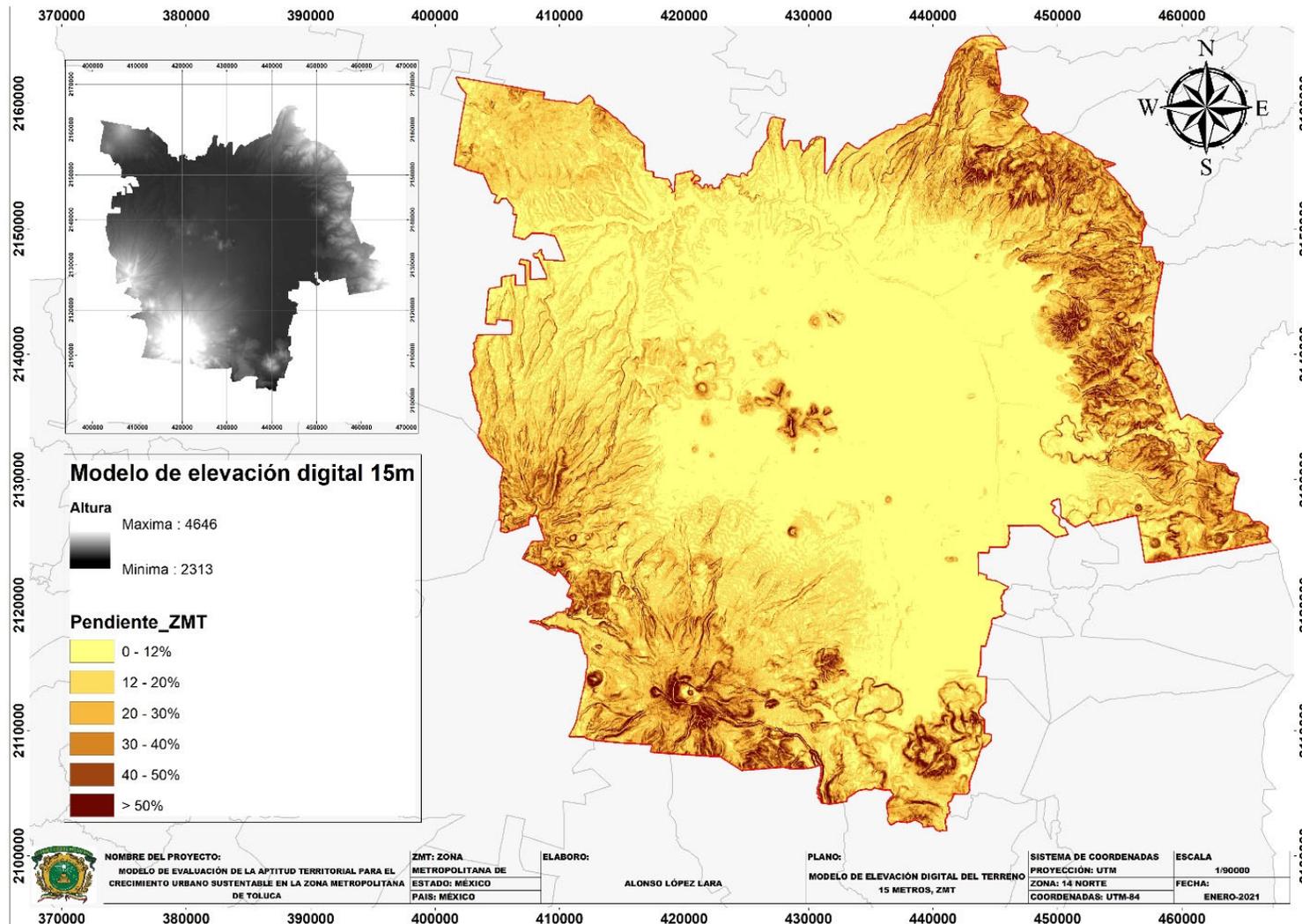
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 4. ANP Estatales y Federales, 2021



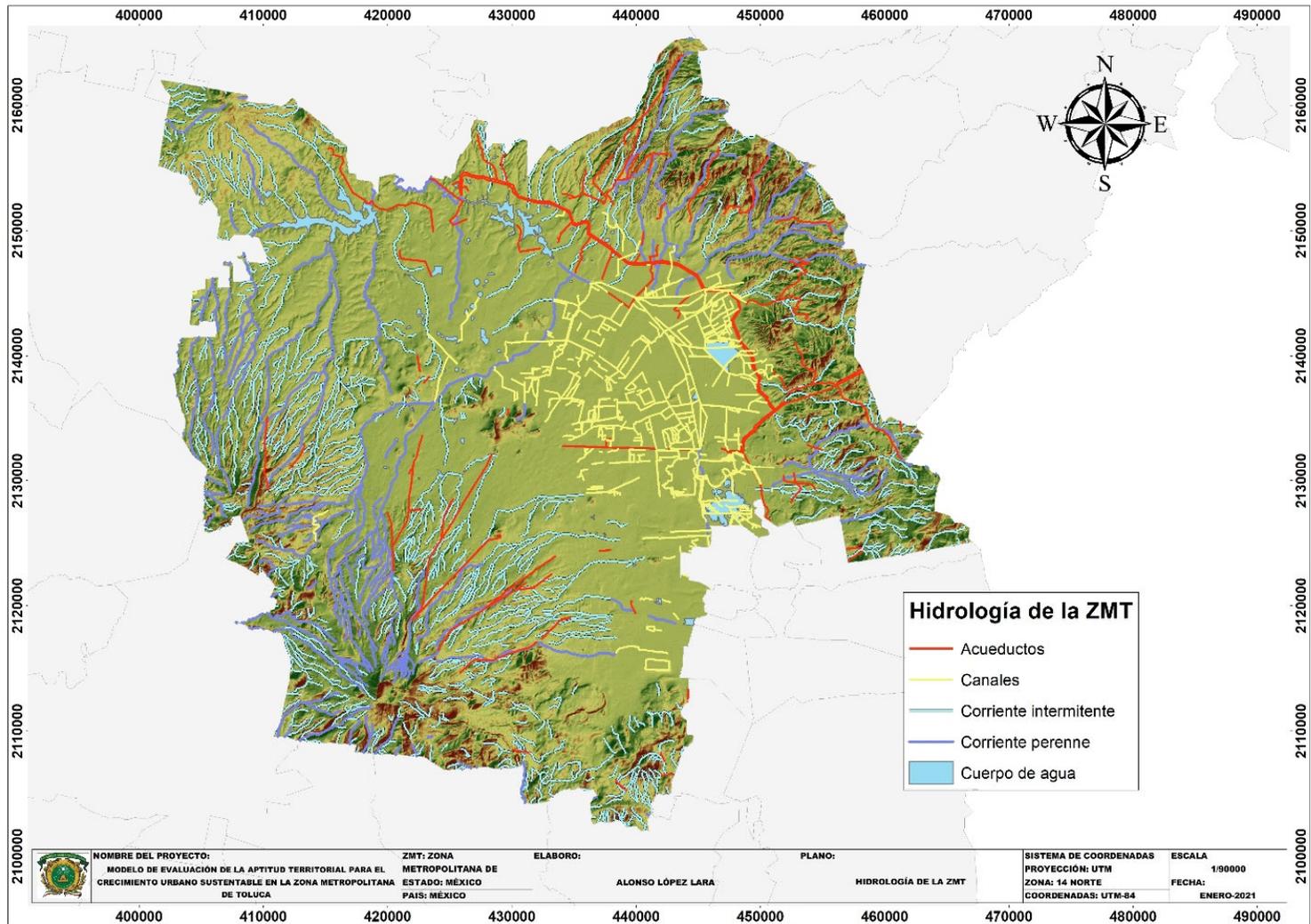
Fuente: Elaboración con base en SEMARNAT (2021)

Figura 5. Modelo de elevación 15m, 2013



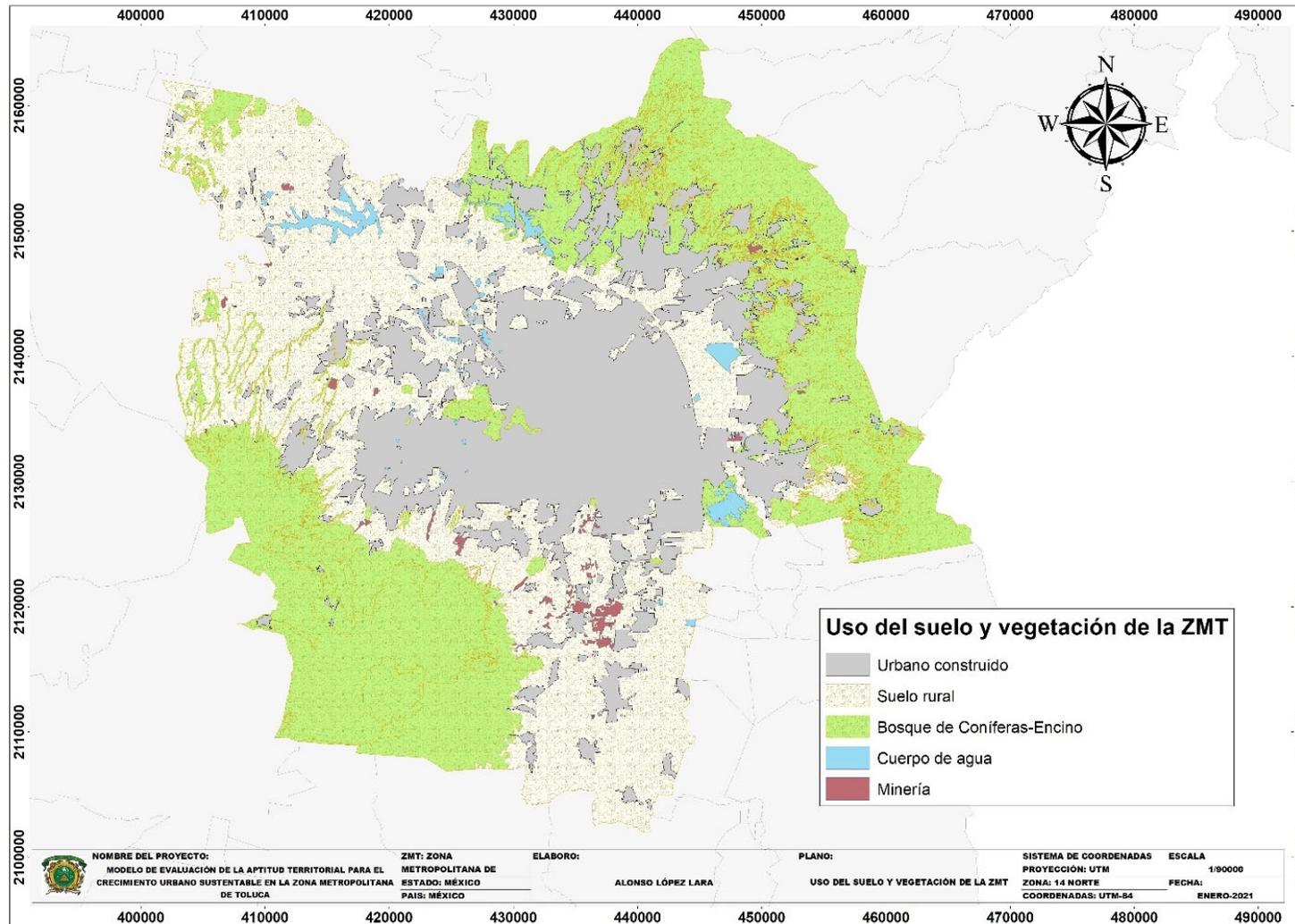
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 6. Cuerpos de agua y red hidrológica



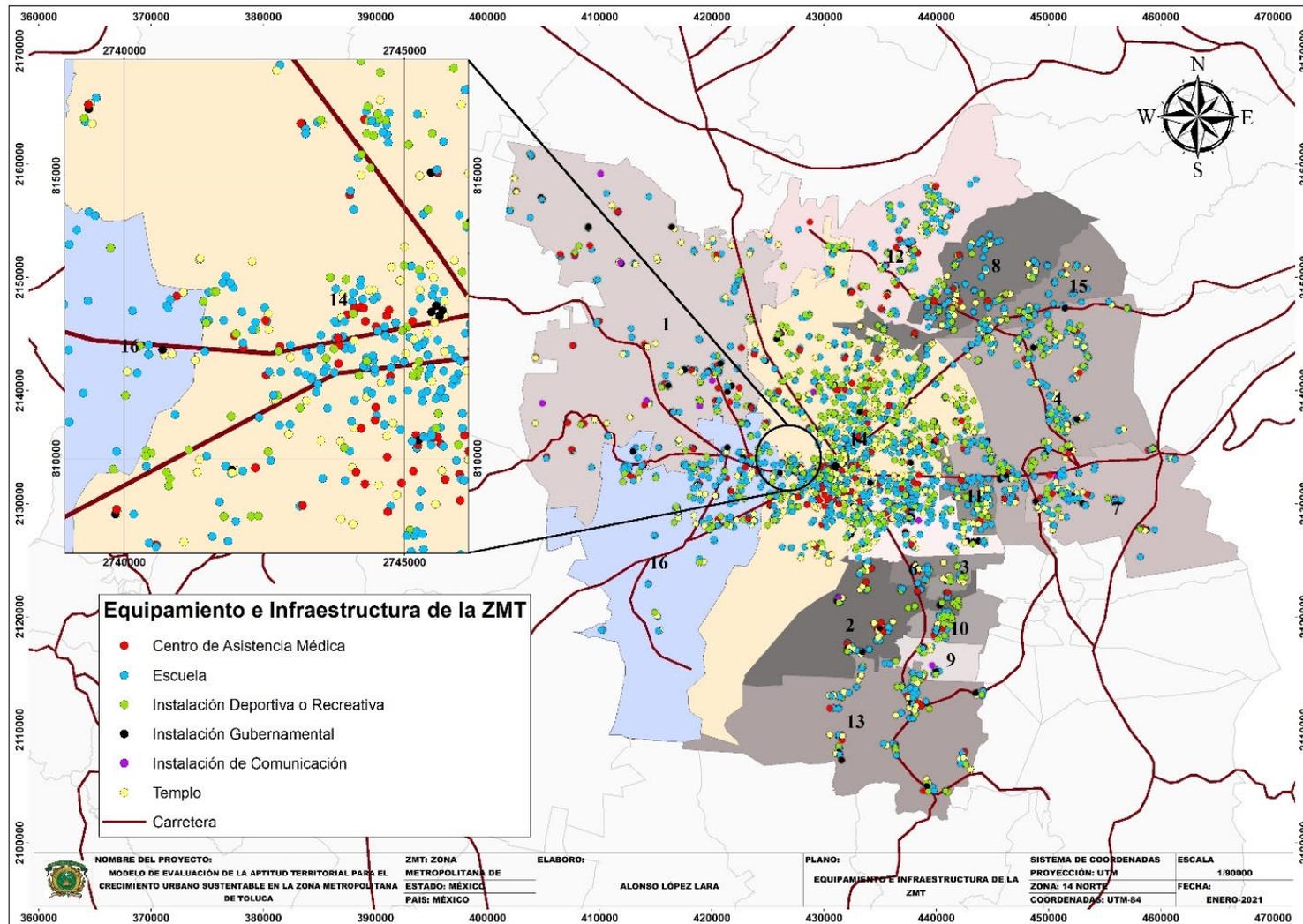
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 7. Uso del suelo y vegetación de la Serie VI, 2017



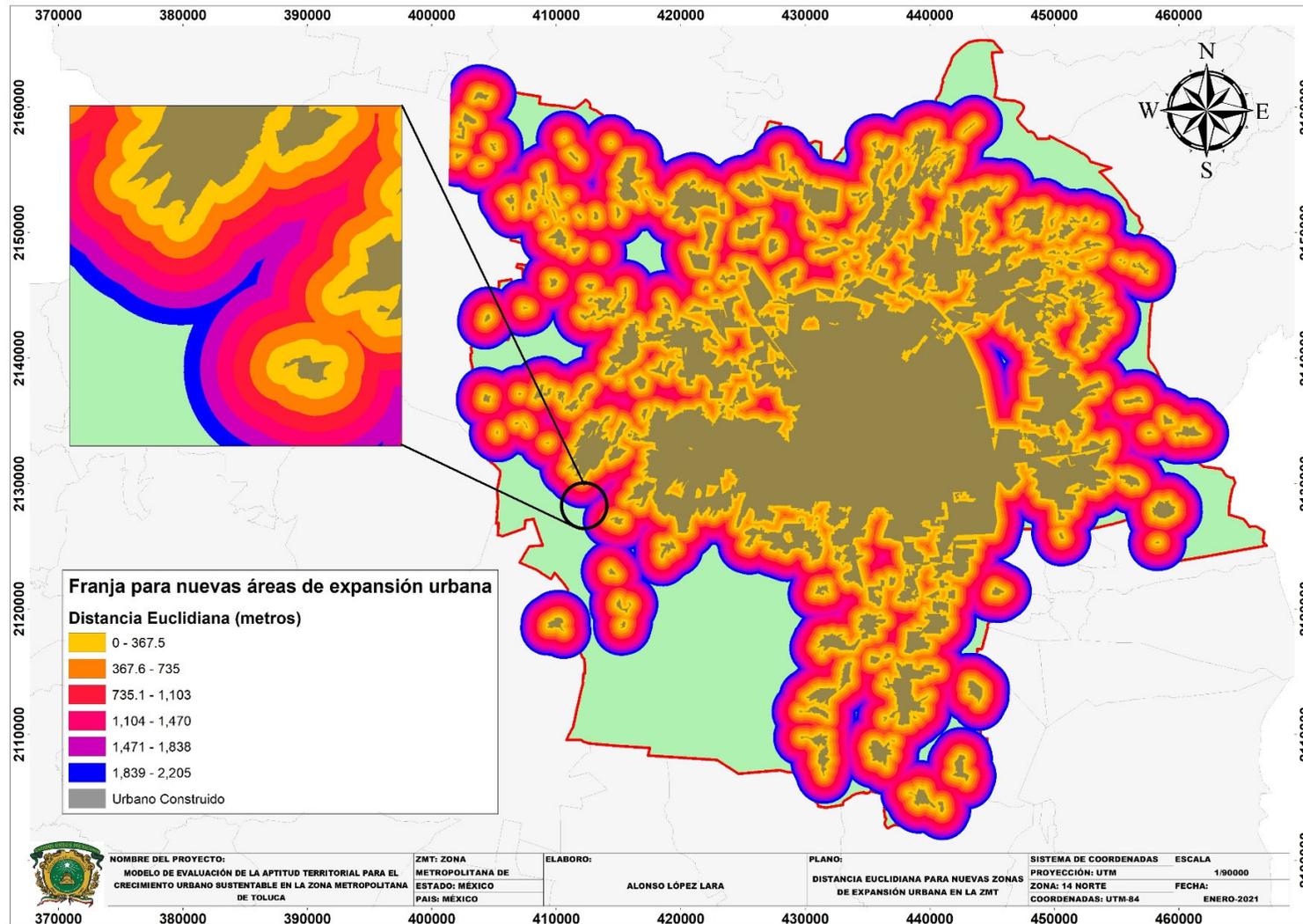
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 8. Equipamiento e infraestructura



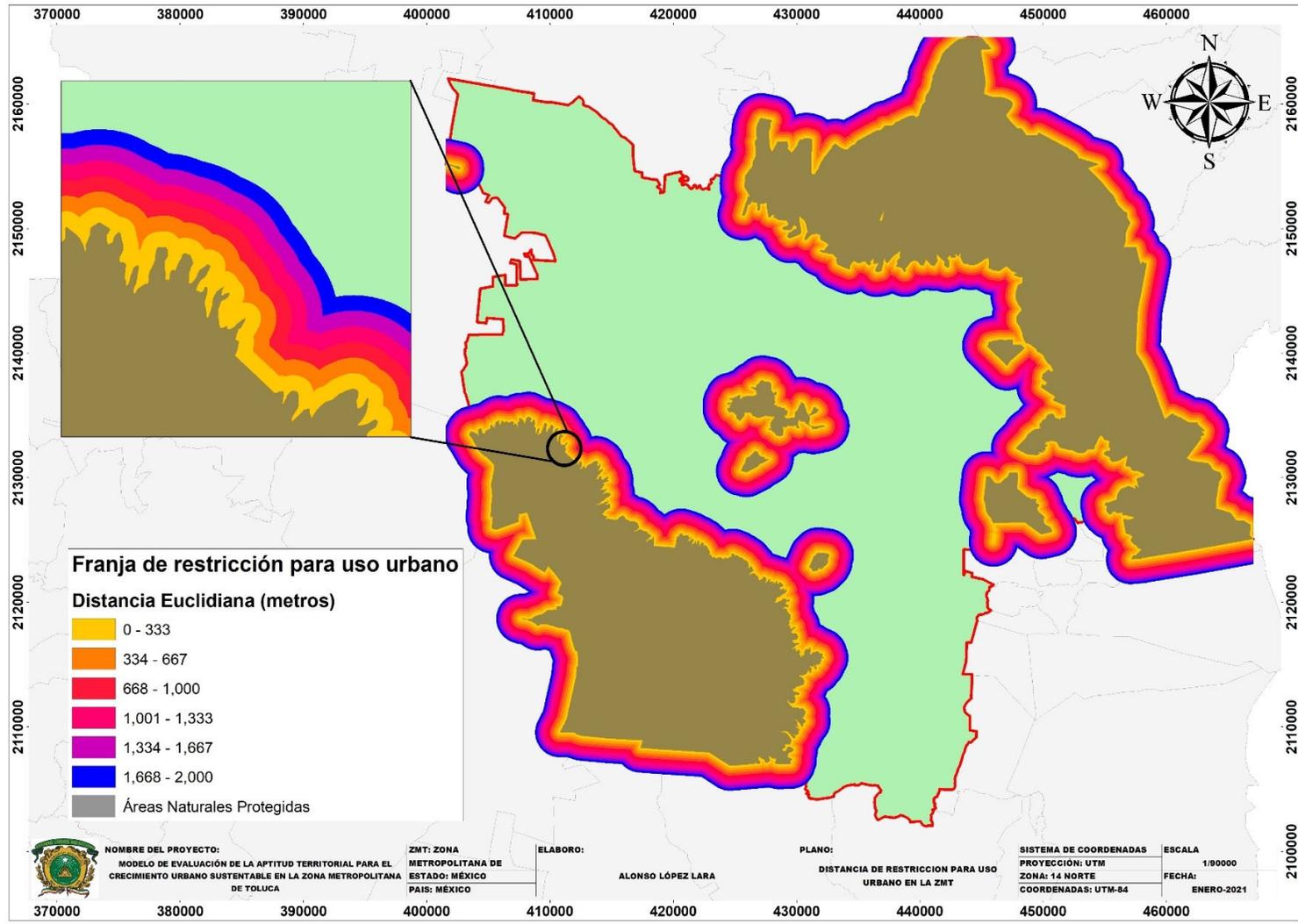
Fuente: Elaboración con base la carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie VI del INEGI (2017)

Figura 9. Distancia euclidiana desde la cobertura de suelo construido



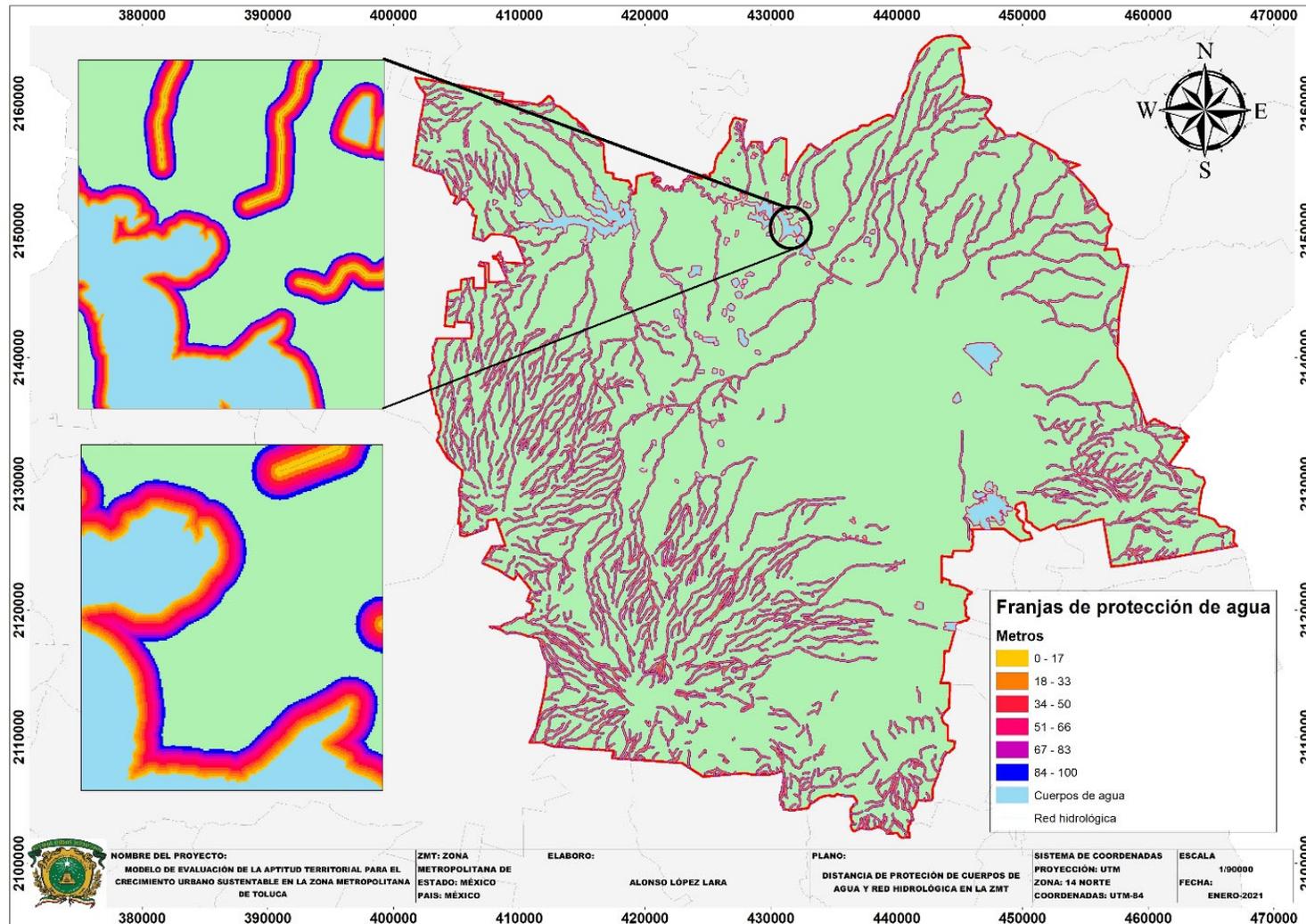
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 10. Franjas de restricción de las ANP para el desarrollo urbano



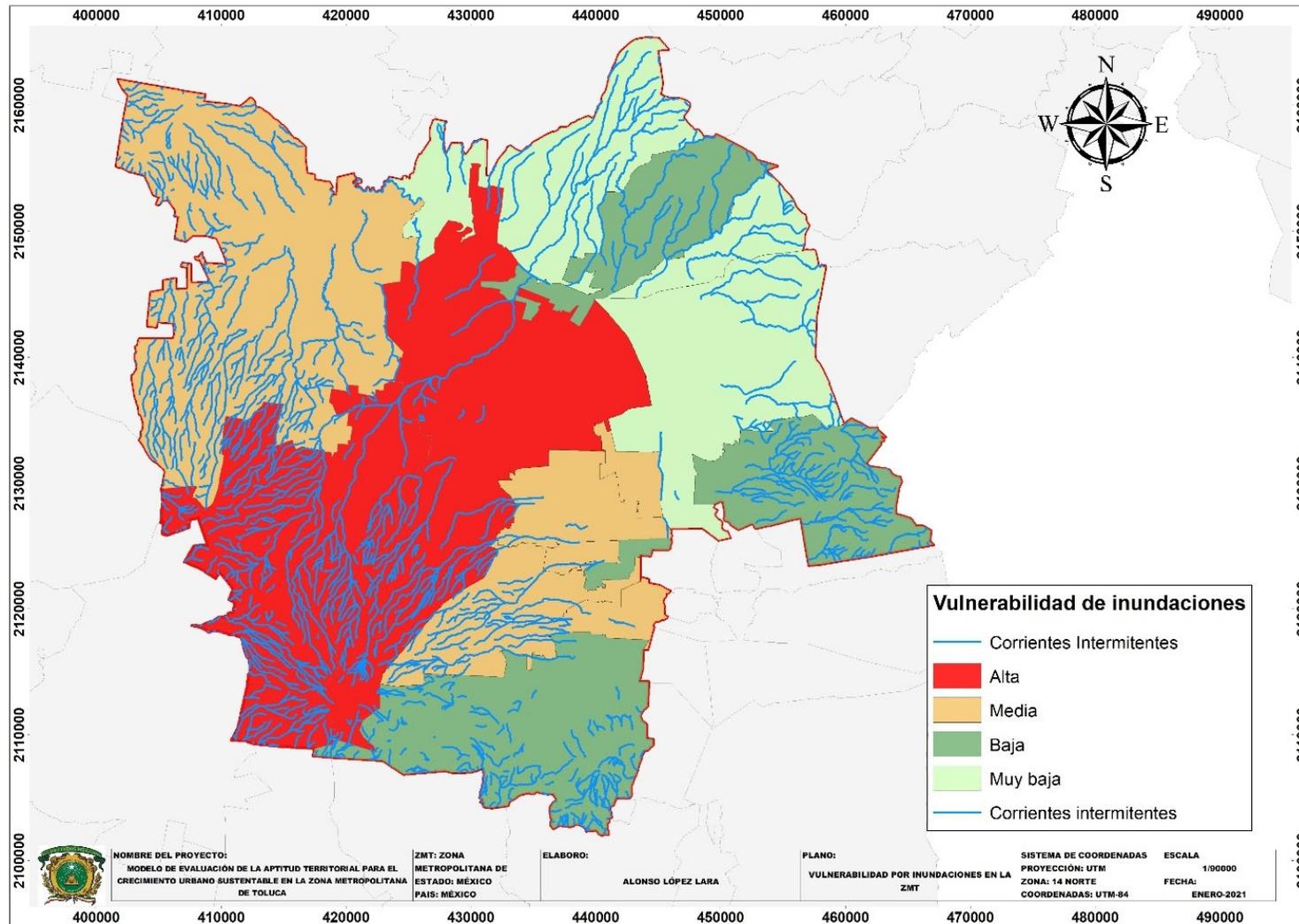
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 11. Franja de restricción de cuerpos de agua y red hidrológica



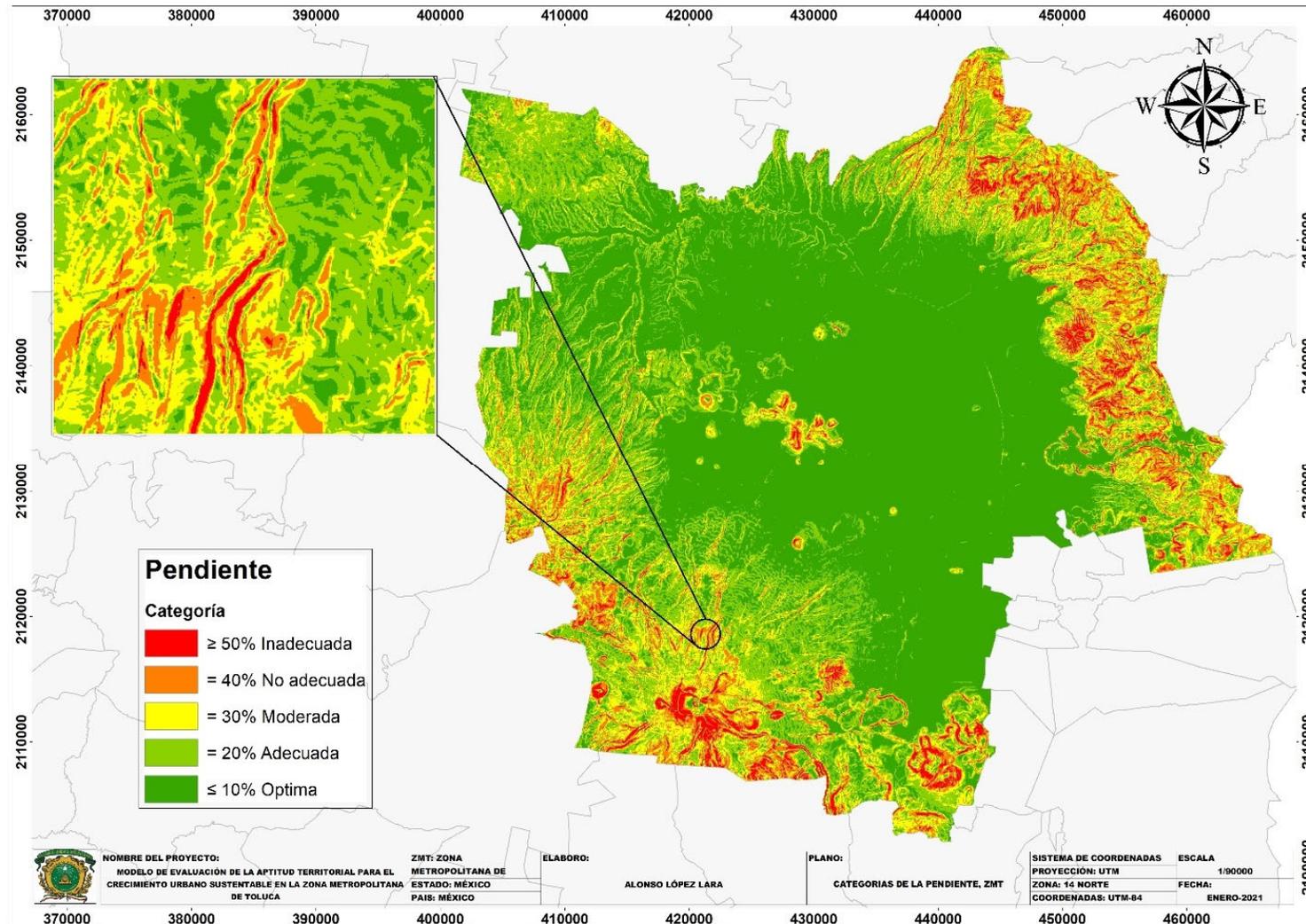
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 12. Vulnerabilidad de inundaciones (corrientes intermitentes)



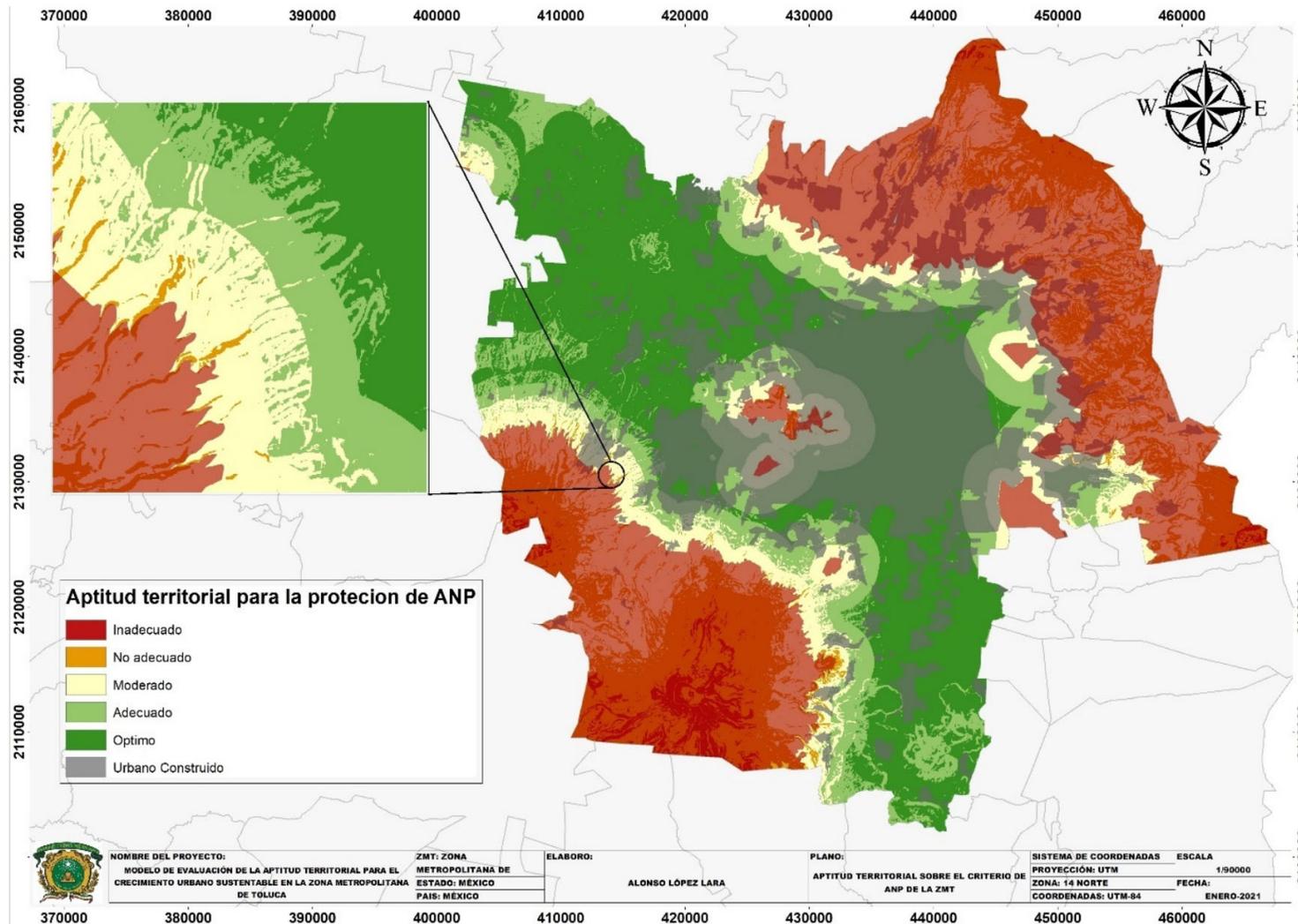
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 13. Rango de pendiente



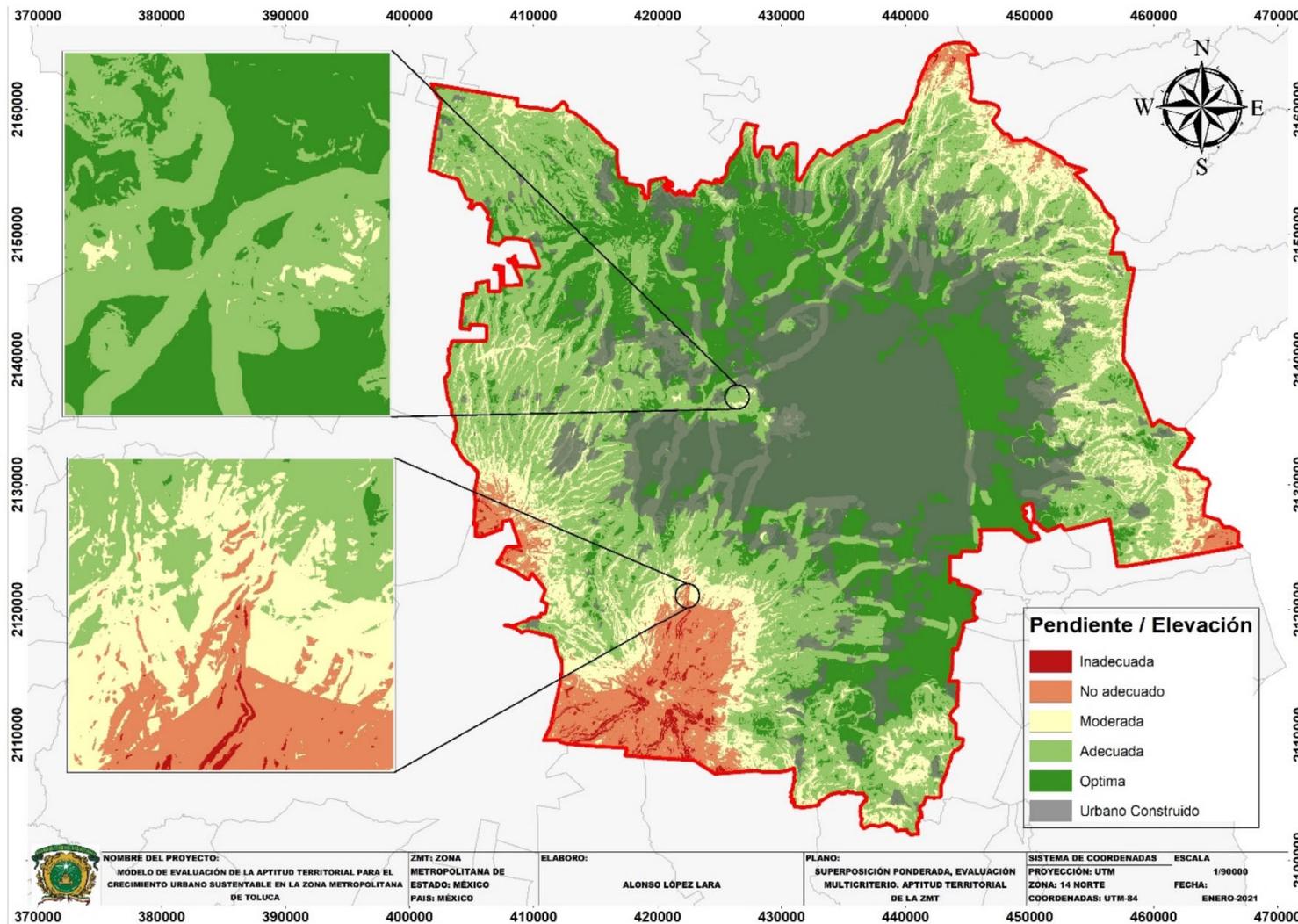
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 14. Aptitud territorial bajo el criterio de protección de ANP



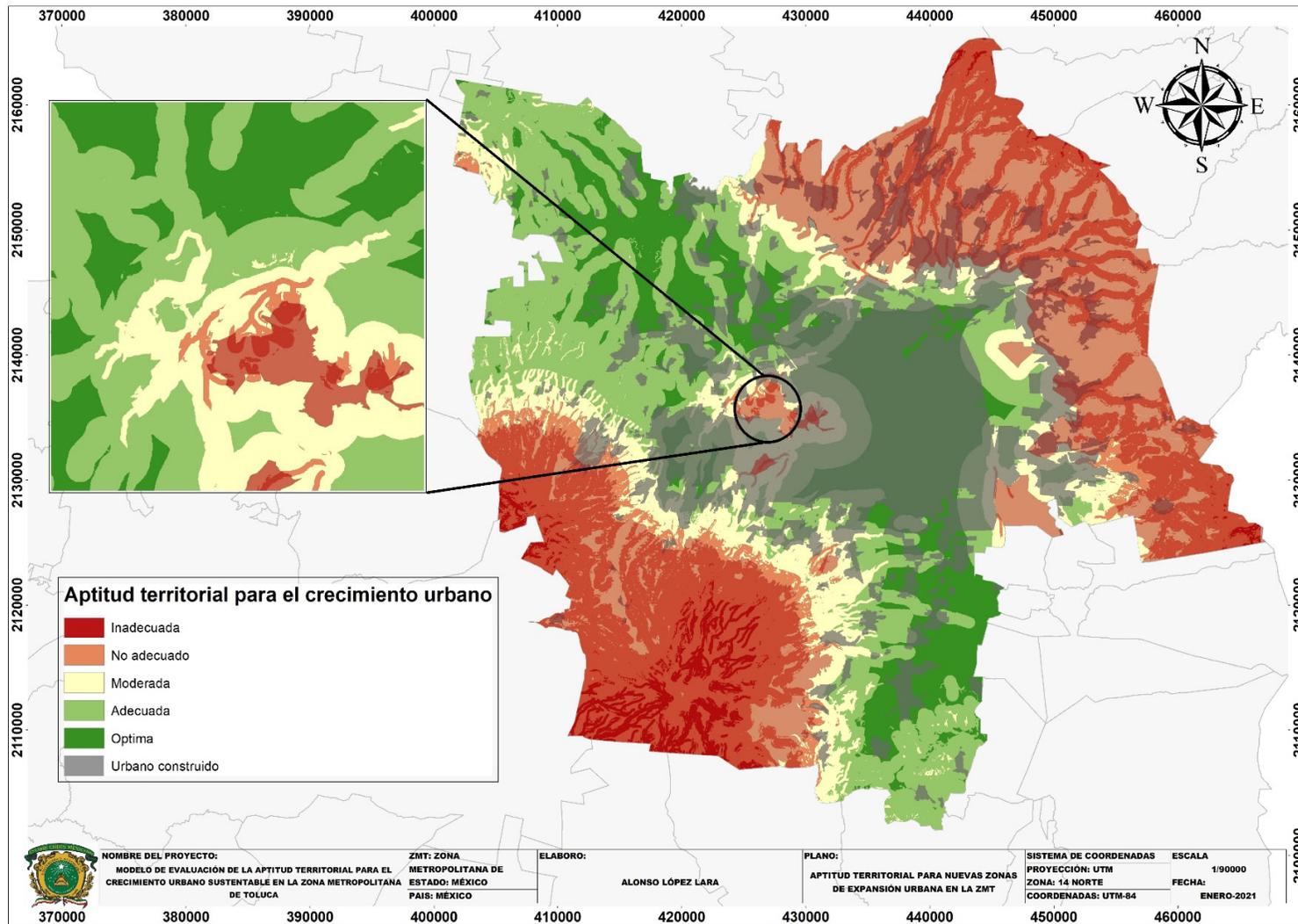
Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 15. Aptitud territorial bajo el criterio de hidrología y pendientes



Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 16. ZMT. Aptitud territorial para el crecimiento urbano sustentable



Fuente: Elaboración propia (2021)