



CAMPUS-IZTACALA

Elaboración de un SIGMA (Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental), como base para el Ordenamiento Ecológico y Territorial de Temascalapa, Estado de México y su aplicación con Modelos.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
B I Ó L O G O  
P R E S E N T A  
Miguel Ángel Trinidad Trinidad

Director: Dr. Raymundo Montoya Ayala



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Dedicatoria**

No me alcanzaría la hoja para terminar de dedicar esta tesis a las personas que más quiero, más sin embargo, hay algunas que no solo les dedicaría la tesis...

- ✓ Papá tú me enseñaste el significado de esfuerzo ante alguna labor.
- ✓ Mami tu conseguiste en mi dar toda mi entrega en todo momento y en toda ocasión.
- ✓ Hermanita de ti aprendí el respeto a cualquier ideología.
- ✓ Pequeño Chris... eh adquirido la capacidad de dar apoyo incondicional.
- ✓ Pequeña patty eh reflejado el ímpetu y el corazón con que enfrentas la vida.
- ✓ Mi Alancito, mi hermanito, a ti no te dedico y te doy, más que... mi alma.

Y bueno son muchas las personas especiales a las cuales me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo, confianza y compañía en las diferentes etapas de la carrera y de mi vida, algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón, así que, sin importar en dónde estén o si alguna vez llegan a leer estas palabras, solo quiero decirles...

**¡Por mi raza hablará el espíritu!**



## **Agradecimientos**

*A la vida y a Dios por permitirme terminar y cumplir con éxito la primera parte de mi meta en la vida.*

*A mi Alma Mater UNAM y a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala... Goya...Goya...!!*

*A mi asesor y director de tesis, Dr. Raymundo Montoya Ayala por su apoyo, objetividad, consejos, sencillez y calidez humana.*

*A mis sinodales por haberme brindado un espacio para revisar y dar críticas objetivas a este trabajo:*

- ✓ Dr. Oswaldo Téllez Valdés*
- ✓ Biól. Arnulfo Reyes Mata*
- ✓ M. en C. Deyanira Etain Varona Graniel*
- ✓ Biól. Ángel Morán Silva*

*A mis profesores que me instruyeron en el arte de la biología... y por si fuera poco a la Carrera de Biología, porque sin ella no hubiera conocido los SIG...*

*Y a la administración municipal de Temascalapa por haber apoyado con información para la realización y finalización de esté trabajo.*



# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Ordenamiento Ecológico y Territorial</b>	<b>2</b>
1.1.1	Características del Ordenamiento Ecológico y Territorial	2
1.1.2	Modalidades del Ordenamiento Ecológico y Territorial	3
1.2.1	Definición de los Sistemas de Información Geográfica	7
1.2.2	Modelo Vectorial y Raster	8
1.2.3	Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica	10
<b>2</b>	<b>Antecedentes</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Justificación</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
4.1	General	17
4.2	Particulares	17
<b>5</b>	<b>Metodología</b>	<b>18</b>
5.1	Primera fase	18
5.2	Segunda fase	19
<b>6</b>	<b>Área de estudio</b>	<b>21</b>
6.1	Localización	21
6.2	Topografía	22
6.3	Hidrografía	23
6.5	Geología	24
6.6	Edafología	24
6.7	Uso de Suelo	26
6.8	Tipos de Vegetación	32
6.9	Fauna	37

<b>7 Resultados y Discusión</b>	<b>38</b>
<b>7.1 Factores Climáticos</b>	<b>38</b>
<b>7.2 Factores Biológicos</b>	<b>41</b>
<b>7.3 Factores Físicos</b>	<b>42</b>
<b>7.4 Factores Socio-Económicos</b>	<b>44</b>
<b>8 Aplicación de SIG a Modelos</b>	<b>49</b>
<b>8.1 Determinación de los cambios de uso de suelo</b>	<b>50</b>
8.1.1 Modelo para el análisis de los cambios de uso del suelo	51
<b>8.2 Determinación del riesgo de incendio en el municipio de Temascalapa</b>	<b>56</b>
8.2.1 Modelo del Riesgo de Incendio	57
<b>8.3 Elaboración de un modelo para la propuesta de la mejor localización de un relleno sanitario (vertedero de residuos sólidos urbanos).</b>	<b>71</b>
8.3.1 Modelo para la propuesta de la mejor localización de un relleno sanitario (Vertedero RSU)	73
<b>8.4 Elaboración de un modelo para la propuesta de la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales.</b>	<b>83</b>
8.4.1 Modelo para la propuesta de la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales	84
<b>8.5 Identificar las áreas que por su condición, relevancia ambiental o importancia cultural requieren ser protegidas, conservadas o restauradas.</b>	<b>92</b>
8.5.1 Valoración de la Calidad de la Vegetación	93
8.5.1.1 Modelo de la Calidad de la Vegetación del municipio de Temascalapa	95
8.5.2.1 Modelo de Fragilidad de la Vegetación de Temascalapa	101
8.5.3 Integración de los Modelos de Calidad y Fragilidad de la vegetación	109
<b>9 Conclusiones</b>	<b>113</b>
<b>10 Recomendaciones</b>	<b>117</b>
<b>11 Bibliografía</b>	<b>120</b>
<b>12 Anexo cartográfico</b>	<b>135</b>

## **Índice de Figuras**

<i>Figura 1. Modelo Raster respecto al mundo real</i> .....	9
<i>Figura 2. Localización del área de estudio</i> .....	21
<i>Figura 3. Estaciones meteorológicas del área de estudio.</i> .....	39
<i>Figura 4. Representación del Modelo de Riesgo de Incendio mostrando la integración de los factores considerados</i> .....	62
<i>Figura 5. Modelo para la mejor localización de un Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos para el Municipio de Temascalapa</i> .....	76
<i>Figura 6. Modelo para la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales para el Municipio de Temascalapa</i> .....	87
<i>Figura 7. Modelo para determinar la calidad de la vegetación en el municipio de Temascalapa</i> ....	97
<i>Figura 8. Modelo para determinar la fragilidad de la vegetación en el municipio de Temascalapa</i> .....	104
<i>Figura 9. Clasificación para la Ordenación del Territorio (Clase 1: Máxima Conservación, Clase 5: Máxima Intervención)</i> .....	110

## **Índice de Gráficas**

<i>Gráfica 1. Tipos de Vegetación presentes en el municipio de Temascalapa</i> .....	41
<i>Gráfica 2. Se muestra el porcentaje de PEA por cada sector económico</i> .....	48
<i>Gráfica 3. Cambio de uso de suelo a lo largo de 31 años en el municipio de Temascalapa</i> .....	51
<i>Gráfica 4. Superficie de Temascalapa (%) que presenta Riesgo de Incendio (1<sup>er</sup> Semestre)</i> .....	66
<i>Gráfica 5. Superficie de Temascalapa (%) que presenta Riesgo de Incendio (2<sup>do</sup> Semestre).</i> .....	66
<i>Gráfica 6. Porcentaje de territorio apto y no apto para la mejor ubicación de un vertedero de RSU</i> .....	80
<i>Gráfica 7. Zonas (%) según aptitud para la mejor ubicación del Vertedero de RSU</i> .....	80
<i>Gráfica 8. Se presenta el porcentaje del territorio para las zonas aptas y no aptas para la mejor ubicación de la planta de tratamiento en Temascalapa</i> .....	90
<i>Gráfica 9. Porcentaje del territorio municipal que cuenta con las clases de calidad de la vegetación</i> .....	98
<i>Gráfica 10. Porcentaje del territorio municipal que cuenta con las clases de fragilidad de la vegetación</i> .....	106

<i>Gráfica 11. Porcentaje del territorio municipal que cuenta con las clases de calidad y fragilidad de la vegetación.....</i>	<i>111</i>
--	------------

## **Índice de Tablas**

<i>Tabla 1. Valores de Temperatura en el Municipio de Temascalapa .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 2. Litología presente en el municipio de Temascalapa y su ocupación en Hectáreas.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 3. Se muestran las 13 localidades del municipio de Temascalapa.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4. Se muestra el crecimiento poblacional del año 2000 al año 2010 de cada localidad del municipio.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 5. Se muestra el número de habitantes de cada sector por localidad en el año 2000.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 6. Cambio de uso de suelo del tipo de vegetación Bosque de Encino .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 7. Cambio de uso de suelo de Núcleos Urbanos.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 8. Cambio de uso de suelo de todos los tipos de vegetación y núcleos urbanos.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 9. Cambio de uso de suelo del tipo de vegetación Matorral Crasicaule.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 10. Cambio de uso de suelo del tipo de vegetación Pastizal Inducido .....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 11. Cambio de uso de suelo del tipo de vegetación Área Agrícola.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 12. Clasificación de la Vegetación, a partir de su combustibilidad intrínseca .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 13. Clasificación de la temperatura.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 14. Clasificación de la evapotranspiración.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 15. Clasificación de la precipitación .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 16. Clasificación de la geomorfología en clases fisiográficas.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 17. Estimación de la producción anual de RSU en las localidades del municipio de Temascalapa.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 18. Zonas aptas colocar un Vertedero de RSU en el municipio de Temascalapa .....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 19. Sub-zonas aptas para la colocación de una planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Temascalapa.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 20. Total Áreas Naturales Protegidas de México hasta el 2010.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 21. Representación y distribución de los diferentes tipos de vegetación del municipio de Temascalapa.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 22. Clases para la determinación de la calidad y fragilidad.....</i>	<i>109</i>

## **Resumen**

---

El OET regula el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente, la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales; para ello, necesita de herramientas que ayuden a su fácil comprensión para integrar el territorio, mediante la interacción de las dimensiones ambientales, culturales, económicas y sociales; así pues los SIG, desempeñan una papel fundamental en la representación y análisis de la información geográfica, debido a que proveen los medios necesarios para la captura, organización, manipulación y uso de la información. Tomando lo anterior, la presente tesis tiene por objetivo implementar un SIGMA, que sirva como base para complementar, desarrollar y apoyar el programa municipal de OET del municipio de Temascalapa, Estado de México.

La metodología utilizada para el proyecto fue recopilar información de diferentes fuentes; de los factores bióticos, físicos y socio-demográficos que hasta el momento hay para Temascalapa, creándose una base de datos georeferenciada, así mismo, se aplicó a cinco modelos prácticos.

Los resultados fueron la obtención de 32 mapas temáticos; destacando la existencia de cuatro tipos de vegetación: Bosque de Encino, Matorral Crasicaule, Pastizal Inducido y Agricultura de temporal, siendo la agricultura la que mayor superficie ocupa. El clima predominante es seco BS<sub>1</sub>K y en menor proporción el templado C(W<sub>0</sub>), teniendo temperaturas máximas mensuales 30.7°C y temperaturas mínimas mensuales de -1.2°C, su precipitación media anual es de 50.2 mm y la evapotranspiración 144.6 mm. El municipio cuenta solamente con ríos temporales, el tipo de suelo es Feozem y Cambisol, óptimos para la agricultura. Temascalapa cuenta con 13 localidades y 35,804 habitantes hasta el año 2010, de los cuales el 49.8% son hombres y el 50.2% son mujeres, una densidad de población de 181.56 hab/km<sup>2</sup> y un crecimiento poblacional (2000-2010) de 23.3%. En cuanto a los modelos, el análisis del cambio de uso de suelo, dio como resultado que el bosque es el más afectado, mientras que las zonas urbanas siguen incrementándose. La valoración del riesgo de incendio, muestra que para los semestres del año Enero-Junio y Julio-Diciembre, hay una tendencia de riesgo muy bajo a bajo. Se obtuvo la cartografía de la localización óptima para el establecimiento de un Vertedero RSU y la cartografía de la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales, además de la cartografía de la calidad y fragilidad de la vegetación, donde se muestra que en el municipio predomina la clase de Calidad Baja-Fragilidad Baja, considerándose apta para zonas industriales, no obstante, la Calidad Alta-Fragilidad Alta con menor proporción de territorio, es de saber que necesita restauración y por ende vigilancia y protección especial.

# **1** *Introducción*

---

Los problemas ecológicos en México y el mundo han crecido de una manera notable en los últimos años. Fenómenos como la deforestación y desertificación son graves, en tal magnitud que por sus características y tendencias propician las condiciones necesarias para que parte importante del territorio nacional se pudiera convertir en desierto (Carrillo, 2001).

Además el aumento de la actividad humana ha provocado importantes alteraciones y consecuentes impactos en el medio ambiente, lo que ha llevado al surgimiento de regiones donde los recursos naturales se han convertido en un medio escaso, tanto en lo que se refiere a la cantidad como a la calidad; estos problemas traen consigo conflictos entre los usuarios de los recursos, lo cual ha exigido, al Gobierno Federal, y algunos gobiernos estatales y municipales, a tomar medidas para el control de su uso (Cavalieri *et al.*, 1998). Es por ello que la planificación ambiental ha ganado importancia en décadas recientes, dado el interés en re-direccionarla para considerar no solo los ambientes creados y modificados por los seres humanos, sino también el medio ambiente (Vieira, 2000).

Actualmente, la política ambiental en México se enfoca a mejorar el nivel de vida de la población, así durante el periodo 1995-2000 en el Plan Nacional de Desarrollo (PND), se definieron brevemente las principales líneas de política institucional que debe ejecutar la Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) como parte de la estrategia nacional de desarrollo y, en particular, se exponen las relativas a la ordenación ambiental del territorio (INE-SEMARNAP, 2000). En dicho documento se plasma la necesidad de buscar un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección ambiental y el mejoramiento de la calidad de vida presente y futura de la población; mientras que, en el PND 2007-2012, se establece que, para lograr este equilibrio ambiental es necesario coordinar acciones entre los tres órdenes de gobierno, de modo que se identifique la vocación y el potencial productivo de las distintas regiones que componen el territorio nacional, de esta manera, se orientarán las actividades productivas hacia la sustentabilidad ambiental, y su prioridad se centrará en formular, expedir, ejecutar, evaluar, modificar, desarrollar y publicar los ordenamientos ecológicos del territorio (PEF, 2007).



## **1.1 Ordenamiento Ecológico y Territorial**

Para generar estas acciones integrales destinadas a impulsar el desarrollo de México, es indispensable tomar en cuenta visiones de planeación que presenten las posibilidades y limitaciones ambientales, productivas y socio-económicas de nuestro territorio (SEMARNAT, 2009). En ese contexto, el ordenamiento ecológico es un instrumento de política ambiental diseñado para caracterizar, diagnosticar y proponer formas de utilización del espacio territorial y sus recursos naturales, siempre bajo el enfoque del uso racional y diversificado, y con el consenso de la población (Rosete, 2008).

Así el Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) conjunta los criterios, normas y planes que regulan las actividades y asentamientos sobre el territorio con el fin de conseguir una adecuada relación entre territorio, poblaciones, actividades, servicios e infraestructuras, es decir, integra la planificación socioeconómica con la física, y de esta manera contribuir a la mejora del estilo de vida, la gestión responsable de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y utilización racional del territorio (Gómez, 2002).

Lo anterior parte del entendimiento de que el OET, incorpora tres conceptos: ordenamiento, ecología y territorio. El primero se relaciona con la adecuada distribución geográfica de las actividades productivas. La ecología explora las relaciones sociedad-naturaleza; en síntesis busca dirigir la ubicación y distribución geográfica de las actividades productivas y de las poblaciones humanas, con base en el potencial de uso y permanencia de los recursos naturales en el tiempo. Lo anterior tiene un espacio de expresión, que es el territorio (CUCSUR, 2009).

### **1.1.1 Características del Ordenamiento Ecológico y Territorial**

Para ello se deben distinguir algunos de los principios rectores del ordenamiento ecológico del territorio (INE-SEMARNAP, 2000).

- **Integral.** Caracteriza las dinámicas y estructuras territoriales considerando las dimensiones biofísicas, económicas, socioculturales y político-administrativas que interactúan en el territorio.



- **Articulador.** El proceso de OET establece armonía y coherencia entre las políticas de desarrollo sectorial y ambiental.
- **Participativo.** Aporta legitimidad y viabilidad al proceso, ya que busca atraer la atención de los involucrados en las diferentes fases del mismo y corresponsabilizarlos en las acciones y decisiones.
- **Prospectivo.** Permite identificar las tendencias del uso y ocupación del territorio y el impacto que sobre él tienen las políticas sectoriales y económicas.
- **Distribución y competencia.** Bajo los principios de complementariedad y concurrencia descritos en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, el ordenamiento incorpora los aspectos relacionados con las funciones territoriales y competencias de las entidades territoriales y administrativas.
- **Equilibrio territorial.** La ejecución de políticas de ordenamiento busca reducir los desequilibrios territoriales y mejorar las condiciones de vida de la población a través de la adecuada distribución de actividades y servicios básicos y la mejor organización funcional del territorio.

Estas características hacen del ordenamiento ecológico un cimiento de la política ambiental y un instrumento normativo estratégico, sobre el cual descansan otros instrumentos que no pueden tomar en cuenta impactos o efectos acumulativos.

### 1.1.2 Modalidades del Ordenamiento Ecológico y Territorial

Con el fin de ejercer un ordenamiento adecuado que cumpla con los principios establecidos, se deben conocer las modalidades en las que se pueden presentar los ordenamientos (Azuela *et al.*, 2006), así como el objetivo de cada uno de ellos.

**General:** Será formulado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática y tendrá por objeto determinar:

- La regionalización ecológica del territorio nacional y de las zonas sobre las que la nación ejerce soberanía y jurisdicción, a partir del diagnóstico de las características, disponibilidad y demanda de los recursos naturales, así como de las actividades productivas que en ellas se desarrollen.



- Los lineamientos y estrategias ecológicas para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como para la localización de actividades productivas y de los asentamientos humanos.

**Marinos:** El artículo 20 Bis 6 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) establece que es facultad de la SEMARNAT formular, expedir y ejecutar los OET en coordinación con las dependencias competentes, y tendrán por objeto el establecer los lineamientos y previsiones a que deberá sujetarse la preservación, restauración, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales existentes en áreas o superficies específicas ubicadas en zonas marinas mexicanas.

**Regionales:** Se pueden considerar territorio de una, dos o más entidades federativas, o bien, sólo una parte de su territorio. Los OET regionales pueden ser o no de la misma escala, comúnmente se usan de 1:250 000, 1:100 000 y 1:50 000, según el tamaño de la región. En éstos se determina el área o región a ordenar, describiendo sus atributos físicos, bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales, la determinación de los criterios de regulación ecológica para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, y los lineamientos para su ejecución, evaluación, seguimiento y modificación.

**Locales.** Comprende solo un municipio, las escalas que se usan son de 1: 50,000 y 1: 20,000; son expedidos por autoridades municipales, y en el caso del DF de conformidad con las leyes locales en materia ambiental; está modalidad de ordenamiento tiene por objetivo:

- Determinar las distintas áreas ecológicas que se localicen en la zona o región de que se trate, describiendo sus atributos físicos, bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales.
- Regular, fuera de los centros de población, los usos del suelo con el propósito de proteger al ambiente y preservar, restaurar y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales respectivos, así como establecer los criterios de regulación ecológica para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los mismos, a fin de que sean considerados en los planes o programas de desarrollo urbano correspondientes.



La propuesta metodológica del ordenamiento ecológico que integra estas premisas, se apega a cinco fases: caracterización, diagnóstico, pronóstico y prospectiva, propuesta e instrumentación (INE-SEMARNAP, 2000).

**Caracterización:** Durante esta fase se tiene un enfoque predictivo, suponiendo lo que se tiene y como se tiene, esto, permite contemplar un panorama cuantitativo y cualitativo de los recursos naturales.

**Diagnostico:** Durante esta fase se realiza el análisis y valorización cuantitativa y cualitativa de la problemática ambiental, abordándose desde cada uno de los subsistemas: natural, social y productivo.

**Pronóstico y Prospectiva:** En esta etapa se desarrolla un proceso de valores, intereses, metas de desarrollo regional y capacidades para alcanzar un futuro que se proyecta como deseable. Además se aportan elementos importantes al proceso de planeación y a la toma de decisiones, considerando el análisis retrospectivo que permite identificar los errores, las virtudes y las potencialidades del sistema.

**Propuesta:** Analizados los resultados de las fases anteriores, se establecen las políticas y estrategias a seguir para definir el modelo de usos del suelo que se debe promover en el área de ordenamiento ecológico. También se definen los lineamientos y criterios de regulación para el aprovechamiento de los recursos naturales. Los productos que integran la fase de propuesta son primordialmente los que comprende el modelo de ordenamiento ecológico:

- Políticas ecológicas.
- Usos del suelo.
- Criterios ecológicos.

**Instrumentación:** En esta fase se presenta la versión terminada del Modelo de Ordenamiento Ecológico (MOE), que señala específicamente los usos y aprovechamientos permitidos, prohibidos y condicionados en cada una de las áreas de gestión.

Así el Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial (POET) debe apoyar en la toma de decisiones sobre la gestión del territorio, y para ello se pretende promover y ejercitar nuevas tecnologías geográficas de manejo y gestión territorial, a través de la generación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Ruíz *et al.*, 2003), con el fin de elaborar cartografía temática que apoye en el proceso de preservación, restauración y/o conservación de los recursos naturales y del medio ambiente.

## **1.2 Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

En este contexto los SIG se implementaron, siendo una herramienta para la planificación, usos de suelo, fragilidad, calidad y riesgos que puede tener el territorio, permitiendo a los profesionistas que evalúan el territorio, tener manejo sobre la gran cantidad de datos que nos proporciona un área, y así, tener un instrumento eficaz con gran potencial analítico, facilitando una adecuada evaluación ambiental (González *et al.*, 2006).

Así fue cuando a mediados de los años 60's, Tomlinson, Calkins y Marble desarrollaron el Sistema de Canadá (Canadian Geographical Information System) conocido por sus siglas CGIS, y, que en Gran Bretaña desarrolló la Unidad Experimental de Cartografía, pero no fue hasta 1982 cuando se desarrolló el ArcINFO, bajo la tutela de los ingenieros del Instituto de Investigaciones de Sistemas Ambientales (ESRI) en Red Lands (California) (Díaz & Cadeaux, 1997).

En la década de los ochenta se destaca el desarrollo del SIG "The Map Analysis Package (MAP)" presentado como tesis doctoral por Dana Tomlin en Yale University y lanzando la versión para PC dos años más tarde. Su estructura de modelado cartográfico raster sería la base para el sistema OSU MAP-for-the-PC desarrollado por la Universidad del Estado de Ohio (Buzai, 2000).

La estructura de este sistema sería la base para el desarrollo de sistemas de gran difusión especializados en el procesamiento digital de imágenes satelitales como IDRISI y ERDAS, y su filosofía de "toolbox" (aplicación de comandos como si fuese una caja de herramientas) combinada al desarrollo vectorial de ODYSSEY GIS (Bosque & García, 2000). Esto inspiraría las primeras versiones de ARC INFO (ESRI), sistema que sería la base para ARC VIEW GIS (ESRI), los SIG de mayor difusión con múltiples propósitos en la década de los 90's (Morehouse, 1990).

En México la utilización de los SIG ha sido a partir de la necesidad de tener un manejo adecuado de los recursos como instrumento invaluable para los biólogos, pues hasta hace poco tiempo, en los estudios ecológicos y de planificación física, se tenía un problema de la heterogeneidad espacial y temporal por que se carecía de una serie de herramientas para el manejo de sus datos, así como de los métodos de análisis necesarios para representar el volumen de datos que podían tomar y representar fielmente en los ecosistemas complejos (Johnson, 1990).

### **1.2.1 Definición de los Sistemas de Información Geográfica**

En base a lo anterior, un SIG puede definirse como aquel método o técnica de tratamiento de la información geográfica que nos permite combinar eficazmente información básica para obtener información derivada. Para ello, se debe contar tanto con las fuentes de información como con un conjunto de herramientas informáticas (hardware y software) que facilitarán esta tarea; todo ello enmarcado dentro de un proyecto que habrá sido definido por un conjunto de personas, y controlado, así mismo, por los técnicos responsables de su implantación y desarrollo (Cebrian, 1988). En definitiva, un SIG es una herramienta capaz de combinar información gráfica (mapas) y alfanumérica (estadísticas) para obtener una información derivada sobre el espacio (Domínguez, 2000).

Los SIG están relacionados con el procesamiento de datos georeferenciados; esto es, datos que emplean un sistema de referencia que determina la localización en el espacio de las entidades que ellos representan, una característica importante es que, son accesados en la base de datos por medio de su posición en el espacio (coordenadas), representando entidades del mundo real, denominadas aquí entidades espaciales, las cuales se caracterizan por poseer propiedades y relaciones geométricas y topológicas (Montilva & Granados, 1996). Este concepto simple pero extremadamente potente y versátil ha probado ser invaluable para resolver muchos problemas, desde rastrear vehículos de repartición, hasta registrar detalles de aplicaciones de la planificación territorial (Iñarritu, 2009).

Es así que la información geográfica contiene ya sea una referencia geográfica explícita como la latitud y longitud o una coordenada de un sistema nacional, o una referencia implícita tal como domicilio, código postal, etc. Las referencias implícitas pueden ser derivadas de referencias explícitas



utilizando un proceso automatizado llamado “geocodificación”. Estas referencias geográficas permiten localizar características (tales como bosques o reservas) y eventos (como un incendio, terremoto, inundación) en la superficie de la tierra para el análisis (Iñarritu, 2009).

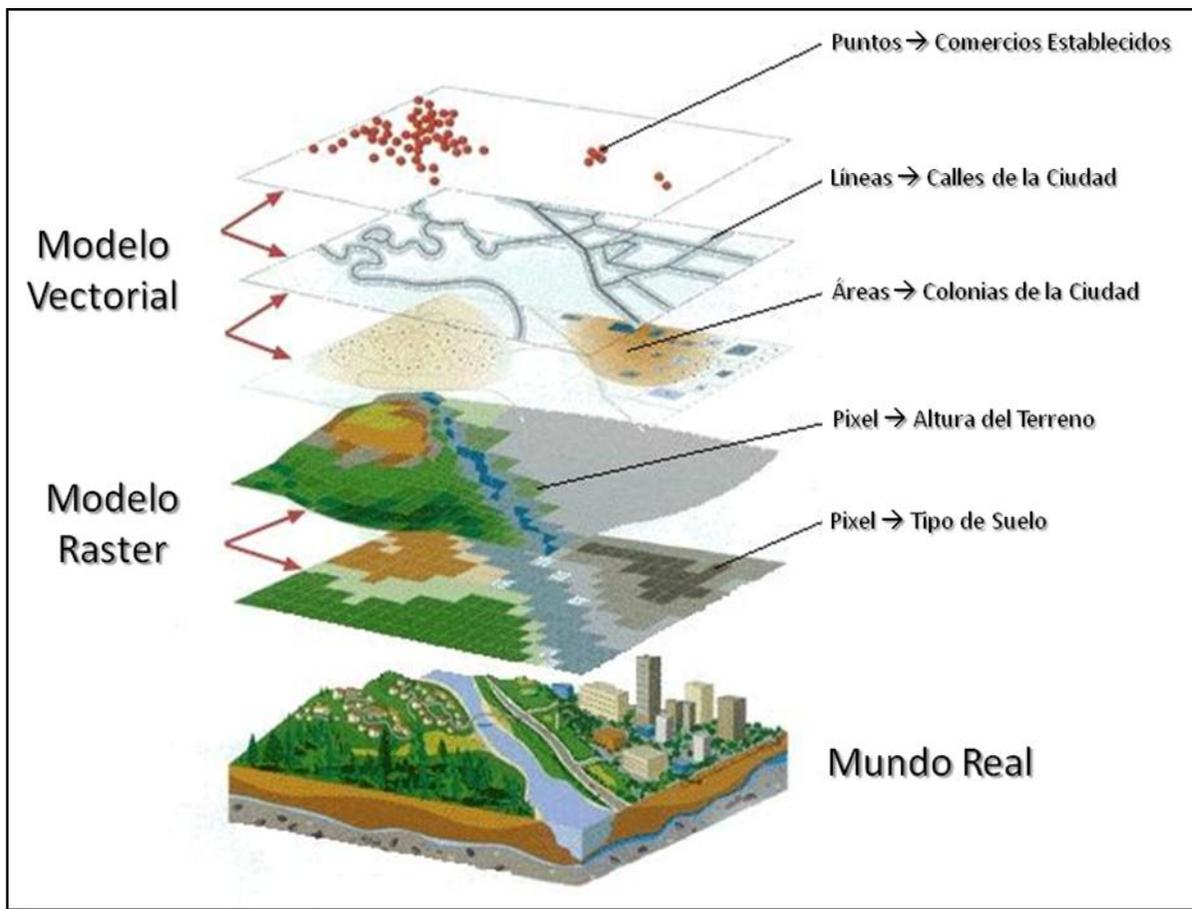
Es así que los SIG funcionan con dos tipos fundamentalmente diferentes de información geográfica: “el modelo raster” y “el modelo vectorial” (Mena *et al.*, 2007).

### 1.2.2 Modelo Vectorial y Raster

En el modelo vector, la información sobre puntos, líneas y polígonos se codifica y almacena como una colección de coordenadas  $x$ ,  $y$ . La ubicación de una característica puntual, tal como una perforación, pueden describirse como un solo punto  $x$ ,  $y$ . Las características lineales, tales como calles y ríos, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas. Las características poligonales, tales como terrenos y cuencas hídricas, pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas. El modelo vector es extremadamente útil para describir características discretas, pero menos útil para describir características de variación continua, tal como tipo de suelo (Mena *et al.*, 2007).

El modelo raster ha evolucionado para modelar tales característica continuas; una imagen raster comprende un conjunto de celdas acomodadas en renglones y columnas (Fig. 1), como un mapa o una figura escaneada. Ambos modelos almacenan datos geográficos y tienen sus ventajas y desventajas únicas, es así que, los SIG modernos pueden manejar ambos tipos (Mena *et al.*, 2007).





**Figura 1.** Modelo Raster respecto al mundo real (Mena et al., 2007).

Dentro del estudio de un SIG, se debe considerar que se manejan objetos reales. Estos objetos tienen características propias que los diferencian, y guardan relaciones espaciales importantes a conservar; por lo tanto, no se puede olvidar en ningún caso que se desarrollará en la computadora un modelo de objetos y relaciones que se encuentran en el mundo real (Álvarez, 2007).

Para garantizar lo anterior se construyen modelos de acuerdo al tipo de estudio, que permitan manipular las variables las cuales aparecen en la realidad, así se convertirán desde fenómenos y objetos reales a imágenes representativas manejadas por el SIG, estas imágenes y datos harán posible analizar a los objetos que representan (Álvarez, 2007).

### 1.2.3 Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica

Dentro de estas aplicaciones de los SIG, Arcillas en el 2002, menciona que en el campo ambiental se pueden diferenciar cuatro modelos globales principales:

- **Inventarios Ambientales:** En este grupo se incluyen aquellos trabajos cuya funcionalidad sea realizar un inventario de los recursos ambientales de un territorio concreto o la realización de la cartografía básica topográfica o temática.
- **Estudios ambientales y de Análisis del Paisaje:** Incluidos aquí aquellos proyectos que tienen como objetivo final conocer y analizar algún aspecto ambiental o paisajístico.
- **Análisis de Riesgos y de Impacto Ambiental:** Trabajos que usan un SIG para conocer, estudiar y predecir los factores de riesgo ambiental en cualquiera de sus formas, incluyendo los estudios de impacto ambiental. En este apartado pueden entrar, entre otros, los análisis de peligrosidad sísmica, predicción de movimiento de tierras, análisis de riesgos de inundación, etc.
- **Planificación y Gestión Ambiental:** En este último apartado estarían incluidos todos los trabajos cuya finalidad sea la planificación y gestión ambiental tanto pública como privada.

## **2** *Antecedentes*

---

A pesar de abundantes trabajos con SIG y OET o alguna aplicación a la planificación territorial, ningún estudio está relacionado con el municipio de Temascalapa, Estado de México; sin embargo, entre los diferentes estudios de SIG con OET ó modelos de riesgos ó predictivos, se pueden mencionar los siguientes:

Chico, en el 2010, realizó un SIGMA con el fin de tomarlo como herramienta base para la caracterización dentro del Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Municipio de Tequixquiac, Edo. de México, de igual manera realizó una fase de análisis en la que hizo tres estudios, que fueron riesgo de incendio, calidad de la vegetación y la evaluación de la localización más optima de un Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos.

Flores & Martínez, en el 2010, se centraron en ubicar e identificar áreas naturales protegidas así como la infraestructura, población y demás actividades sociales de Lima, Perú; esto con apoyo de un SIG, obteniendo datos georeferenciados de las vías de comunicación, infraestructura, ubicación de los centro de población dentro y alrededor de la zona así como su situación hidrológica, geológica y geomorfológica para determinar los cambios de uso de suelo y vegetación que se han presentado. Los mapas resultantes contienen información clave para realizar un inventario general de los recursos naturales con los que cuenta el área natural protegida y funcionan como productos o insumos para la conservación de la misma.

Llactayo, en el 2009, evalúa el cambio de uso de suelo para la comunidad de Chillán, Chile, por medio de SIG. Utilizó como base la interpretación de fotografías aéreas del año 1978 escala 1:30000, fotografías aéreas del año 1998 e imágenes satelitales Ikonos-2 del año 2006, el resultado fue la digitalización de polígonos de uso/cobertura de suelo y el análisis del crecimiento espacial de los núcleos urbanos.

Juárez, en el 2008, realiza un modelo de riesgo de incendio en Michoacán, México. Su metodología se dividió en tres fases: exploratoria, modelización y validación, además integro las variables biofísicas y humanas dentro del modelo de riesgo de incendio. En su estudio consideró cuatro factores principales: 1) Combustibilidad, 2) Ambiente físico, 3) Factores detonantes y 4) Prevención y

supresión. Los productos finales de su estudio fueron el realizar un mapa de riesgo de incendio, además de identificar las áreas de riesgo y permitir recomendaciones para planes de prevención de incendio forestal.

May *et al.*, en el 2008, realizan un estudio para ubicar e identificar las zonas de interés turístico y la infraestructura en la Reserva Ecológica Cascadas de Reforma, Tabasco, México; por medio de un SIG. Obtuvieron datos georeferenciados con Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de las vías de transportación, infraestructura, perímetros del centro turístico y zona arqueológica, obteniendo mapas con información clave para realizar un inventario general de los recursos turísticos con que cuenta la Reserva Ecológica.

Pineda *et al.*, en el 2009, realizan un trabajo que tiene por objetivo describir los cambios en la cobertura y uso de suelo sucedidos en el Estado de México en el periodo 1993-2002, mediante SIG y técnicas de regresión multivariantes. Los resultados revelan que los modelos de regresión lineal múltiple señalan que los factores demográficos a nivel municipal son los que más inciden en la pérdida del bosque. Mediante los SIG, el resultado arrojó que la mayor pérdida ocurre en zonas boscosas más próximas a las zonas agrícolas, asimismo, las zonas con alta fragilidad ecológica son las que presentan mayor susceptibilidad a ser deforestadas.

Chuvieco *et al.*, en el 2007, presentan un trabajo donde estiman el riesgo de incendios forestales, para ello se eligieron cuatro regiones piloto: Aragón, Madrid, Comunidad de Valencia y la Provincia de Huelva. El proyecto incluye diferentes fuentes, que hacen referencia a variables socio-económicas y al estado de los combustibles y características del territorio. Su resultado fue la obtención de cartografía con resolución de 1km<sup>2</sup> integrada a un Sistema de Información Geográfica.

Henríquez & Azócar, en el 2007, realizan un estudio y proponen modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, para la ciudad de Chillán, Chile. El resultado sobre el cambio de uso de suelo, se manifiesta en la pérdida de suelos agrícolas y la alteración de la escorrentía superficial, las cuales son manifestaciones concretas de las nuevas formas y patrones de urbanización. Además de la aparición de condominios privados y “parcelas de agrado” en la periferia urbana, que son ejemplos de una acentuación en la segregación socio espacial.

Tiburcio *et al.*, en el 2007, realizaron un Ordenamiento Ecológico Territorial del municipio de San Andrés Chiautla, Estado de México. La metodología utilizada fue propuesta por el INE-SEMARNAP, la cual emplea la variante de los sistemas complejos asociados a la metodología de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), utilizando variantes del levantamiento fisiográfico realizado a través del SIG para la caracterización de los subsistemas natural y socioeconómico. Se generaron ocho productos como resultado de la etapa de caracterización los cuales son: calidad ecológica de los recursos naturales, la fragilidad natural, los cambios de uso de suelo y vegetación, la presión de la población sobre su entorno natural, la distribución de la población, los niveles de bienestar de la población, la dinámica espacial y temporal de la población y los aspectos socioeconómicos. Después se llevó a cabo la integración del subsistema natural para obtener la estabilidad ambiental y las políticas ambientales. Dando como resultado tablas de uso, políticas y criterios para normalizar la utilización del espacio territorial.

Gaspar & Jiménez, en el 2006, realizan un estudio para implantar una planta depuradora mediante técnicas SIG en el municipio de Gandía, España. En el estudio toma como criterios predominantes; factores geológicos, geográficos, demográficos, científicos y técnicos, con el fin de ubicar la planta depuradora. Obtuvo tres parcelas que cumplen los requisitos técnicos para la implantación de dicha depuradora, de las cuales una de ellas es más óptima por encontrarse más próxima al río, así como de la más alejada del núcleo urbano, y parece ser la zona menos propensa a extenderse urbanísticamente.

Montoya *et al.*, en el 2004 utilizaron un SIG para determinar el impacto ambiental generado por actividades agrícolas, ganaderías e industriales en Valle de Zapotitlán, en la reserva de la biosfera de Tehuacán Cuicatlán; arrojando que las amenazas más importantes se centran en las actividades antrópicas, como el cambio de uso de suelo, de vegetación original a campos de cultivo, áreas para ganado caprino, el incremento de actividades industriales, así como incendios y la erosión asociados a las actividades humanas.

Ramos-Reyes *et al.*, en el 2004, analizaron los cambios de uso del suelo en la zona centro-norte de la Región Chontalpa, Tabasco, durante 1972, 1984 y 2000, además de actualizar la cartografía de las unidades de suelos y su potencialidad para el cacao. La metodología para realizar el análisis se basó en la fotointerpretación y en la comparación histórica de las fotografías aéreas de los años 1972

escala 1:60 000 y 1:75 000; 1984 y 1995, actualizándose este último año el uso del suelo al año 2000, mediante verificaciones de campo. Posteriormente, se utilizó un SIG, con el cual se elaboraron los mapas, mediante la digitalización de los mismos.

Escudero, en el 2002, emplea un modelo de calidad y fragilidad de la vegetación en Vitoria-Gasteiz, España. El objetivo de este trabajo es determinar el valor ecológico de los elementos de la vegetación, cuya base es la información recogida durante la fase de inventario (fotointerpretación y trabajo de campo) del mapa de vegetación 1:10.000 del año 1992. Para la calidad de la vegetación utilizaron parámetros como proximidad al clímax, naturalidad y diversidad de especies y de estratos. Mientras que para la fragilidad de la vegetación se utilizaron parámetros como aproximación al clímax, influencia antrópica, existencia de factores limitantes para el crecimiento de la vegetación y capacidad de regeneración y persistencia de las especies dominantes. Dando como resultado un predominio de la Calidad Baja y Fragilidad Baja en la mayor parte de la comarca de Vitoria-Gasteiz, dado que su ocupación principal es cultivo y de vegetación nitrófila (vegetación formada por plantas que crecen en ambientes ricos en nitrógeno, como son muchas áreas de influencia humana).

Martínez-Alegría *et al.*, en el 2000, realizan un estudio para la ubicación de un vertedero de residuos sólidos urbanos (RSU) en las inmediaciones de Valladolid, España. Este trabajo se realizó con información georreferenciada, mediante un SIG, lo que permitió a través de la superposición de mapas boléanos, obtener posibles zonas de emplazamiento del vertedero.

Aguilar, en 1999, realizó una propuesta de Ordenamiento de Ecológico del Municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo. La cual se realizó en tres fases (descriptiva, diagnóstico y propositiva). Primero se llevó a cabo la caracterización del Municipio, evaluó la situación actual en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales a través de índices (uso de suelo, capacidad agrícola, erosión laminar y calidad de agua), así como el uso potencial agrícola, pecuario y forestal de la zona, reportando que la principal actividad del municipio es la agricultura de temporal y la de baja proporción es la agrícola de riego, que la población en mayor porcentaje es Otomí con alto grado de marginación y emigración, se sostienen económicamente de actividades agropecuarias, industria de construcción, comercio y servicios. Proponiendo así que se realicen estudios en la afección de suelo, realizar rotación de cultivos, reforestar con especies adaptadas al medio y regular las actividades ganaderas.

Bosque *et al.*, en 1999, realizan un trabajo donde plantean un procedimiento para la selección de lugares candidatos donde ubicar instalaciones de tratamiento y eliminación de residuos (relleno sanitario), para ello se eligió la Comunidad de Madrid, que destaca por ser una de las áreas más industrializadas de España. Para este proyecto se utilizó un SIG y técnicas multicriterio, considerando factores económicos y sociales. El resultado fue la ubicación de 11 polígonos, de las cuales 3 se encuentran en torno a ríos de primer orden, mientras que los 7 polígonos restantes se encuentran, casi todas, junto a alguno de los principales ríos que recorren la región.

La Secretaria de Ecología del Gobierno del Estado de México (SEGEM) en 1999, llevo a cabo el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México el cual se realizó en cinco fases la primera de ellas fue la descriptiva en la cual se abarcaron los subsistemas del medio físico, social y económico. La segunda fase fue la de diagnóstico, aquí se evaluó la calidad y estado del aire, suelo, agua, recursos bióticos (flora y fauna), usos de suelo; como ganadería, agricultura, silvicultura e industria. La tercera fase de regionalización, se establecieron niveles de regionalización y tipificación ecológica. La cuarta fase, propositiva, se establecieron zonas de atención prioritaria, factibilidad ambiental, modelo de ordenamiento ecológico del territorio y criterios de regulación ecológica. Y por último la fase de gestión e instrumentación, emplearon instrumentos de control, regulación, fomento, coordinación, económicos y de planeación por municipio.

Quiñones *et al.*, en 1995, realizan un estudio en el Municipio de Salinas, Puerto Rico, para identificar la ubicación más apropiada para un relleno sanitario regional (RSR). El estudio fue efectuado usando un Sistema de Información Geográfico (SIG), el cual incluyó: localización de fallas geológicas, distancia de aeropuertos, áreas susceptibles a inundación y/o deslizamiento, y localización de humedales. Otros factores utilizados en el análisis incluyeron: pozos de abasto de agua, comunidades, reservas naturales, bosques estatales, especies amenazadas y en peligro de extinción, pendientes del terreno, infraestructuras de derechos de pasos, y cuerpos superficiales de agua. El producto final es un mapa donde podría ubicarse la zona para un relleno sanitario regional y una serie de mapas donde se excluyen todos los lugares donde podrían ocurrir los impactos ambientales.

## **3** *Justificación*

---

El enfoque propuesto por el OET parte de reconocer al territorio como un gran sistema complejo, abierto a perturbaciones naturales, sociales, económicas y políticas (SEDEMA, 2010). De este hecho, surge la necesidad de manejar sustentablemente los recursos naturales, con el fin de establecer un adecuado estilo de vida para la población del municipio de Temascalapa.

Por lo que, en sentido estricto, el propósito de contar con una herramienta que le permita al gobierno municipal tener una perspectiva general de la situación de Temascalapa constituye un proceso dirigido a evaluar y programar el estado, destino y manejo de los recursos naturales en el territorio, a fin de preservar y restaurar el equilibrio ecológico, proteger al ambiente y mejorar el estilo de vida de los habitantes.

Para ello se pretende elaborar una base de datos georeferenciada con la implementación de un SIG, en la cual se pueda generar una serie de análisis que ayuden a iniciar y/o complementar el Programa Municipal de Ordenamiento Ecológico y Territorial, y para ello se plantean los siguientes objetivos para este proyecto.

## 4 Objetivos

---

### 4.1 General

➤ Implementar un Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental (SIGMA) que sirva como base para el desarrollo del Programa Municipal de Ordenamiento Ecológico y Territorial del municipio de Temascalapa, Estado de México.

### 4.2 Particulares

- ✓ Elaborar un mapa base del territorio municipal sujeto al ordenamiento ecológico y territorial.
- ✓ Definir las variables e indicadores de los subsistemas físico-bióticos, socio-económicos y culturales.
- ✓ Elaborar una base de datos en formato digital (SIG Arc View ver. X) de los factores físicos, bióticos y socio-demográficos.
- ✓ Elaboración de un modelo para la determinación de los cambios de uso de suelo.
- ✓ Elaboración del modelo de riesgo de incendio semestral.
- ✓ Elaboración de un modelo para la propuesta de la mejor localización de un relleno sanitario (vertedero de residuos sólidos urbanos).
- ✓ Elaboración de un modelo para la propuesta de la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Identificar las áreas que por su condición, relevancia ambiental o importancia cultural requieren ser protegidas, conservadas o restauradas.

## **5 Metodología**

---

Con el fin de realizar una caracterización del municipio, se elaboró un SIGMA para contar con la información que sirva para la elaboración y/o complementación del Programa Municipal de Ordenamiento Ecológico y Territorial, con los insumos, productos cartográficos y estadísticos necesarios, organizados por subsistemas, que permiten llevar a cabo las etapas subsecuentes y desarrollar una propuesta de ordenamiento con sólido sustento.

### **5.1 Primera fase**

Consistió en la codificación y almacenamiento de la información cartográfica básica, creándose una base de datos que pueda ser fácilmente manejable, ampliable y accesible por cualquier usuario sin necesidad de duplicarla para nuevos requerimientos.

Se recabó información de factores climatológicos, físicos, biológicos y socio-demográficos que existen en el Municipio de Temascalapa, con la cual se creó un Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental (SIGMA), dicha información fue consultada en la SEMARNAT, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y Google Earth.

- SEMARNAT: Guías para la interpretación de cartografía.
- INEGI: Cartas E14B11-E14B21, Vegetación y Uso de Suelo, escala 1:50,000 (1977 y 1998) y Censos de Población y vivienda (2000 y 2010)
- SMN: Normales climatológicas de 1971 – 2000.
- GOOGLE EARTH: Imagen del municipio de Temascalapa (2010).

Posteriormente se creó una base de datos georeferenciada con dicha información, con ayuda del software ArcView GIS Ver. 3.1. Para los factores climatológicos (temperatura, humedad, precipitación, evapotranspiración y clima), a excepción del clima, se realizó una interpolación mediante el método IDW (*Inverse Distance Weighted*), donde cada punto de la muestra ejerce una influencia sobre el punto a determinar y disminuye en función de la distancia, creando así datos continuos (FAO, 2003), esta base de datos se guardó en formato DBASE IV. Para los factores físicos (modelo digital de elevación (MDE), pendiente, orientación, edafología, geología, hidrología) y los factores biológicos (vegetación y uso de suelo) se realizó la cartografía correspondiente. Por último para los factores socio-económicos por localidad se tomo en cuenta; la población total, masculina, femenina, actividades productivas primarias, secundarias, escolaridad y servicios de salud; mediante los censos de población y vivienda 2000 y 2010 de INEGI, los que servirán para dar una perspectiva del estilo de vida de la población municipal.

## 5.2 Segunda fase

Consistió en dotar de instrumentos técnicos y metodológicos por medio de modelos (de riesgo y predictivos), que permitieron ayudar a identificar áreas menos expuestas a los peligros y más aptas para actividades de desarrollo integral. Para el desarrollo de los modelos de SIG fue empleado el software ArcView GIS Ver. 3.1, con la extensión de Análisis Espacial (*Spatial Analyst*).

El primer modelo es un análisis de los cambios de uso del suelo en el municipio, comparando cartografía editada por el INEGI del año 1977 escala 1:50000, del año 1998 escala 1:50000 y una imagen satelital del año 2008 obtenida de Google Earth. Se realizó la digitalización de la cartografía obtenida, se compararon los polígonos obtenidos, para posteriormente obtener datos (en hectáreas) que muestren el cambio de uso de suelo.

Se aplicó un modelo para determinar el riesgo de incendio semestral que podrá servir de base para la implementación de estrategias, recomendaciones y pautas que disminuyan en lo máximo posible la afección de los recursos naturales, este modelo fue modificado por Montoya *et al.* (2008) y tomado de Chico (2010).

Se elaboró y aplicó un modelo para la determinación de la mejor ubicación de un relleno sanitario dentro del municipio de Temascalapa, para ello se tomó la metodología utilizada por Martínez-Alegría *et al.*, 2000.

Así como la elaboración de un modelo para la propuesta de la mejor localización de una planta de tratamiento de aguas residuales, tomando en cuenta la metodología utilizada por Gaspar & Jiménez, 2006.

Y por último se aplicaron modelos de calidad y fragilidad para determinar el estado actual de la vegetación y usos del suelo para identificar las zonas que requieran ser protegidas, conservadas o restauradas, esta metodología fue tomada y modificada por Montoya *et al.*, 2001.

## 6 Área de estudio

### 6.1 Localización

El municipio de Temascalapa se localiza al extremo nororiental del Estado de México y colinda con el estado de Hidalgo. Sus coordenadas UTM son: 513000 X y 219000 Y. Tiene una altura promedio de 2,319 metros sobre el nivel del mar (msnm). Limita al norte con los municipios de Tolcayuca y Villa de Tezontepec, pertenecientes al estado de Hidalgo; al sur con los municipios de San Martín de las Pirámides y San Juan Teotihuacán; al este con el municipio de Axapusco; y al oeste con el de Tizayuca, Hidalgo, y con el municipio de Tecamac, del Estado de México (Fig. 2). La extensión territorial del municipio es de 197.21 km<sup>2</sup>, que representa el 0.68% de la superficie estatal (GMT, 2010).

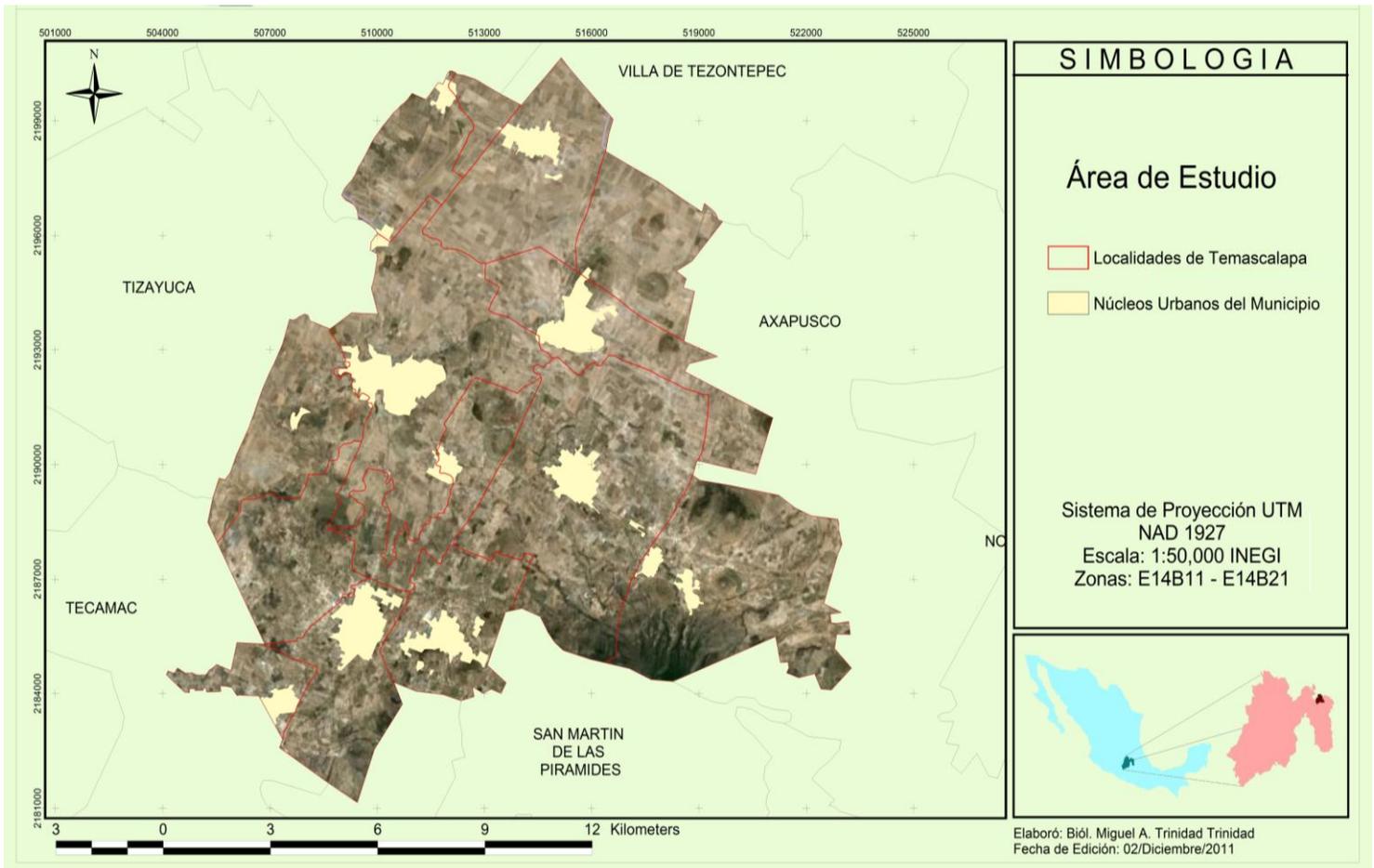


Figura 2. Localización del área de estudio.

## 6.2 Topografía

El territorio municipal está caracterizado por la presencia de una región de valle, que se caracteriza por tener laderas planas, rellanos, aluviales, coluviales y vertientes, las cuales cubren el 86.59% del municipio (MOPT, 1994); mientras que el resto (13.42%) lo conforman cerros como Cerro Gordo, y lomeríos como Tepehuizco, Tepeyahualco, Dolores, Chiapa, La Provincia, Huaquechula, Buenavista, Tezquime, Ahuatepec, La Soledad y el Cerro de Paula entre otros (SEDUVI, 2005).

Localidad de Presa del Rey, vista de la zona de valle de Temascalapa, al fondo se observa Cerro Gordo.



Foto: Miguel A. Trinidad



Localidad de San Cristóbal Colhuacán, carretera con dirección a Cerro Gordo.

Foto: Miguel A. Trinidad

Vista de Maquixco y de la parte noreste del municipio de Temascalapa.

Foto: Miguel A. Trinidad



### 6.3 Hidrografía

Temascalapa carece de recursos acuíferos, no existe un río de cause constante, solamente algunos de temporal, entre los que destacan: El Papalote y Las Avenidas. Así mismo, pueden citarse los pequeños ríos que se forman en las barrancas: Tecuallitolco, Tepuazquiazco, La Lobera y El Capulín, los cuales nacen en el Cerro Gordo y circundan los poblados (Sánchez, 1999).



Río que cruza la cabecera municipal, solo lleva agua en época de lluvia.

Foto: Miguel A. Trinidad

Otra perspectiva del río, donde se aprecia la escasa afluencia de agua.

Foto: Miguel A. Trinidad



#### 6.4 Clima

El municipio goza de un clima seco ( $BS_{1k}$ ) el abarca el 73% del municipio, y clima templado  $C(w_0)$  con el 27% del territorio, además de caracterizarse por tener lluvias en verano. La precipitación media anual es de 500 a 648.3 mm, el rango térmico tiene un valor entre 14 y 18°C (GMT, 2010).

#### 6.5 Geología

El municipio pertenece a la provincia geológica del eje neovolcánico transversal que cubre el total de la superficie, el cual está caracterizado por rocas volcánicas cenozoicas, de los períodos terciario y cuaternario, y por rocas ígneas de composición basáltica, así como por depósitos lacustres y aluviales (Sánchez, 1999). En la parte norte de Temascalapa, correspondiente a las localidades de San Bartolomé Actopan, Presa del Rey e Ixtlahuaca están formados depósitos de material aluvial de acarreo (SEDUVI, 2005).

#### 6.6 Edafología

En el municipio se presentan dos unidades de suelo: Feozem Háplico y Cambisol. Los Feozem Háplico se encuentran en casi todo el territorio municipal (SEDUVI, 2005), se presentan en cualquier tipo de

relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas; se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes, cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal con rendimientos altos, mientras que, en suelos menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería (INEGI, 2004).



Suelo de tipo Feozem, localidad de Temascalapa

Foto: Miguel A. Trinidad

Los Cambisoles se localizan en el sureste y noreste de las localidades de Santa Ana Tlachiahualpa y San Mateo Teopancala (SEDUVI, 2005); son suelos jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en zonas áridas, tienen en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio o fierro, a esta unidad pertenecen algunos suelos muy delgados que están colocados directamente encima de un tepetate (INEGI, 2004). Se caracterizan por ser suelos aptos para el desarrollo de actividades pecuarias y para el desarrollo urbano principalmente (GMT, 2010).



Campos de cultivo de cebada, localidad de Temascalapa.

Foto: Miguel A. Trinidad

## 6.7 Uso de Suelo

El 70.88% del territorio municipal es agrícola, 12.89 % pecuario.



Zonas agrícolas en la localidad de Temascalapa.

Foto: Miguel A. Trinidad



Zonas agrícolas de la localidad de San Bartolomé.

Foto: Miguel A. Trinidad



Terrenos agrícolas delimitados por maguey pulquero.

Foto: Miguel A. Trinidad

Localidad de San Bartolomé, donde se aprecia ganado caprino pastando.



Foto: Miguel A. Trinidad

El 0.87 % de suelo municipal es de uso forestal.



Bosque de Encino, Cerro Gordo, Temascalapa.

Foto: Miguel A. Trinidad

El 7.11 % de suelo municipal es de uso urbano.



Plaza central de la localidad de San Bartolomé Actopan.

**Foto: Ana P. Quezada**



Palacio municipal de Temascalapa, Estado de México.

**Foto: Miguel A. Trinidad**



Iglesia de San Francisco de Asis, localidad de Temascalapa.

**Foto: Ana P. Quezada**



Mercado localizado en la cabecera municipal.

**Foto: Miguel A. Trinidad**

Avenida principal que cruza la cabecera municipal y conecta con las demás localidades.



Foto: Miguel A. Trinidad

El 7.99% de suelo se encuentra erosionado, 0.21% lo conforman cuerpos de agua y 0.05% está destinado a otros usos (Sánchez, 1999).



Suelo erosionado en la localidad de Santa María Maquixco.

Foto: Miguel A. Trinidad



Jagüey artificial, localizado en la localidad de Temascalapa.

Foto: Miguel A. Trinidad

## 6.8 Tipos de Vegetación

Se diferencian 3 tipos de vegetación, herbáceo, arbustivo y arbóreo. El estrato arbóreo está presente principalmente en Cerro Gordo, como se observa en las siguientes fotografías; donde predomina el bosque de encino y el cual aporta la mayor parte de este estrato al municipio; además del pirul, el cual se puede observar en regiones urbanas donde se presenta como un organismo introducido.



Vista de Cerro Gordo, se ilustra el bosque de encino.

Foto: Miguel A. Trinidad



Bosque de Encino, inmediaciones de Cerro Gordo, Temascalapa.

Foto: Ana P. Quezada



Bosque de Encino de Cerro Gordo, al fondo se aprecia el Valle de México.

Foto: Miguel A. Trinidad

El estrato arbustivo está conformado por matorral crasicaule, principalmente nopaleras y magueyeras, y en menor proporción mezquite y huizache

Terreno donde se encuentran nopaleras cultivadas.



Foto: Miguel A. Trinidad



Nopaleras localizadas a la entrada de Temascalapa.

Foto: Miguel A. Trinidad



Cultivo de maguey pulquero, localizado en la localidad de San Bartolomé.

Foto: Miguel A. Trinidad

Por último el estrato herbáceo abarca la mayor parte del territorio municipal, y está conformado en la mayoría por campos de cultivo, campos de pastoreo, terrenos baldíos y maleza que crece en las zonas fragmentadas de Cerro Gordo.



Zonas agrícolas de la localidad de Álvaro Obregón, Temascalapa.

Foto: Miguel A. Trinidad



Zonas agrícolas de la localidad de San Mateo Teopancala.

Foto: Ana P. Quezada



Áreas herbáceas en zonas fragmentadas de Cerro Gordo.

Foto: Ana P. Quezada

Área herbácea, a la orilla de la carretera con dirección a la localidad de San Cristóbal Colhuacán.

Foto: Miguel A. Trinidad



Suelo cubierto de pasto, utilizado para uso pecuario.

Foto: Miguel A. Trinidad

## 6.9 Fauna

La fauna de Temascalapa es característica de la zona neártica, correspondiente a una de las dos zonas biogeográficas (neártica y neotropical), está representada por distintas especies de mamíferos, aves, reptiles, anfibios e insectos; restringidos en áreas no perturbadas de los bosques y matorrales existentes (DGPCCA, 2004), aún así no existe un registro oficial de la diversidad faunística del municipio.

## 7 Resultados y Discusión

El Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental (SIGMA), permite analizar y conocer el medio físico, biológico y socio-demográfico, para así generar modelos que ayuden a identificar el estado de los recursos naturales, su mejor aprovechamiento y conservación, todo esto con la finalidad de gestionar de la mejor manera el territorio y tener un mejor estilo de vida para la población. En base a lo anterior, se creó una base de datos georreferenciada en formato digital de los factores climatológicos, biológicos, físicos y socio-económicos, obteniendo cartografía temática y el mapa base del Municipio de Temascalapa (Mapa 1) (Ver Anexo Cartográfico), y que se ocupó para la generación de modelos.

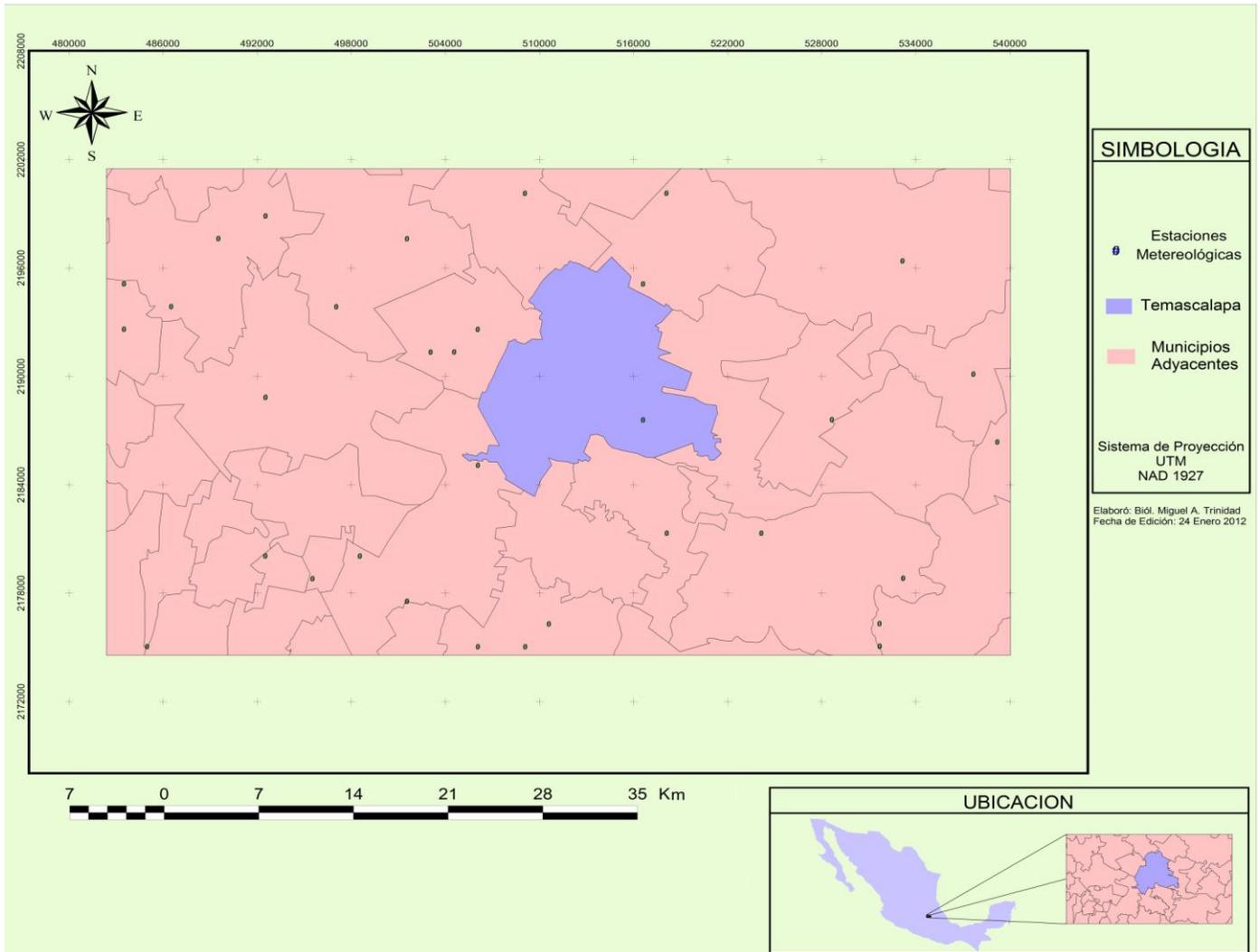
### 7.1 Factores Climáticos

El clima es característico en un área determinada; en definición, es la media de las condiciones meteorológicas individuales, que a través de un número dado de años, se puede establecer qué condiciones climáticas existen en una región. En base a esta definición de clima, se desprende que un estudio climatológico se hace sobre la base de datos meteorológicos de un largo periodo de tiempo, cuyo mínimo es de 10 años, y preferentemente entre 20 y 30 años, conociendo a estos datos como normales climatológicas (INEGI, 2005).

Con base a lo anterior, la caracterización climática del área de estudio se realizó a partir de las normales climatológicas (SMN, 2010) del año 1971 al 2000. Tomando un total de 25 estaciones meteorológicas, ubicadas 1 de ellas en el interior de Temascalapa y 24 en zonas adyacentes (Fig. 3), como resultado se obtuvieron valores mensuales para temperatura (mínima y máxima), tomándose solo los valores obtenidos dentro del municipio:

Temperatura	Mín. °C	Máx. °C
Mínima Anual	1.9	7.0
Máxima Anual	21.1	33.0
Mínima Media Anual	1.2	7.4
Máxima Media Anual	19.8	33.0
Mínima Mensual	-3.7	10.4
Máxima Mensual	19.2	38.8

Tabla 1. Valores de Temperatura dentro del Municipio de Temascalapa.



**Figura 3.** Estaciones meteorológicas del área de estudio.

La temperatura mínima mensual se registró en el mes de Enero con un promedio de  $-3$  a  $1^{\circ}\text{C}$  (Mapa 2) (Ver Anexo Cartográfico), así mismo se calcularon los valores de la temperatura mínima semestral, la cual se registró para el primer semestre del año con un promedio de  $1.2^{\circ}\text{C}$  y la temperatura mínima anual con un promedio de  $1.9^{\circ}\text{C}$ . Con respecto a la temperatura máxima mensual, se tiene que el mes de mayo registró un rango de  $31^{\circ}\text{C}$  a  $33.9^{\circ}\text{C}$  (Mapa 3) (Ver Anexo Cartográfico), la temperatura máxima semestral se presentó para el primer semestre del año con un promedio de  $28.3^{\circ}\text{C}$  y la temperatura máxima anual con un promedio de  $27.1^{\circ}\text{C}$ . Con estos valores de temperatura máxima y mínima, se calculó la temperatura anual con un promedio de  $15.2^{\circ}\text{C}$ .

De igual manera se calculó el valor de precipitación mensual, el cual tuvo un rango de 97.4 mm a 119.9 mm para el mes de julio (Mapa 4) (*Ver Anexo cartográfico*) y 550 mm en promedio anual, en tanto que la evapotranspiración se obtuvo un valor de 191.3 g/cm<sup>3</sup> promedio, durante el mes de abril (Mapa 5) (*Ver Anexo cartográfico*).

Estos valores climatológicos concuerdan con los citados por el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Temascalapa, en el cual registran el promedio de temperatura anual de 16°C, la precipitación se presenta con mayor abundancia en el mes de julio con rango de 110 a 120 mm y la evapotranspiración con un rango de 185 a 195 g/cm<sup>3</sup> para el mes de abril (SEDUVI, 2005). Así mismo, el municipio de Teotihuacán presenta valores similares en cuanto a factores climatológicos, teniendo una temperatura promedio anual de 16.0°C y la precipitación máxima mensual se presentó con mayor valor para el mes de julio con 103 mm (SEDU, 2008). Estos valores pueden deberse a que Temascalapa y Teotihuacán se encuentran ubicados en una zona de transición de clima seco-templado que abarca parte de los municipios del Estado de México e Hidalgo (INEGI, 2010).

Cabe mencionar que las variables de temperatura (máxima y mínima), precipitación y evapotranspiración se realizaron para los doce meses y solo se realizó la cartografía de los más significativos para el modelo de riesgo de incendio.

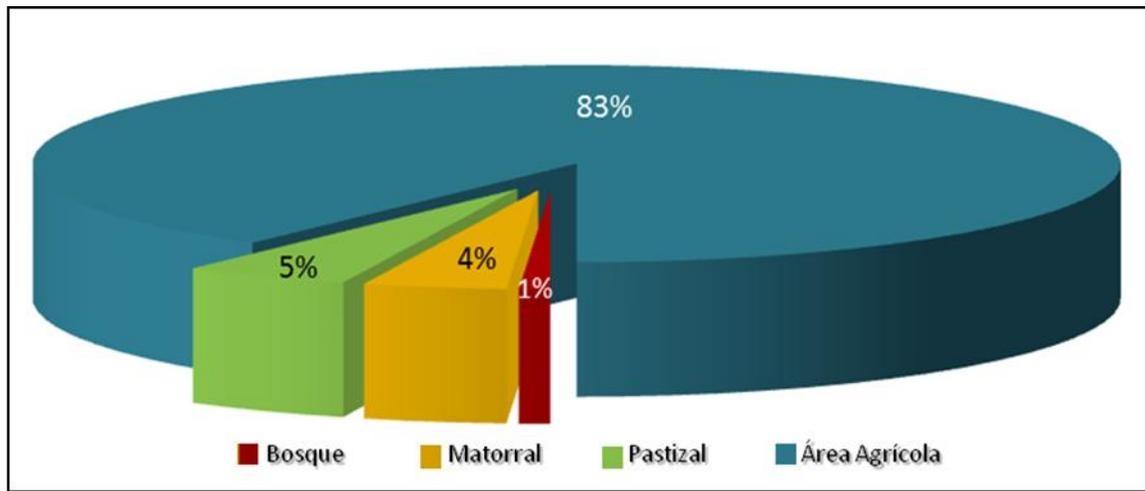
En cuanto al clima (Mapa 6) (*Ver Anexo cartográfico*) y de acuerdo con la clasificación climática de Köppen y modificada por Enriqueta García (INEGI, 2005) para reflejar mejor las características climáticas de México, se obtuvo que en la mayor parte del municipio predomina el clima seco BS<sub>1</sub>K (73.28% de superficie), y en menor parte el clima templado C (w<sub>0</sub>) (26.72% de superficie).

Este último tipo de clima tiene un régimen térmico anual que oscila entre los 15°C, se encuentra asociado a comunidades vegetales tales como bosques de encino, bosques mixtos, y pastizales (INEGI, 2010), presentándose en la parte que comprende Cerro gordo, parte del municipio de Temascalapa, San Martín de las Pirámides y Otumba (DGPCCA, 2004). Mientras que el clima seco, se caracteriza porque la evaporación excede a la precipitación; las comunidades vegetales con que está asociado son los matorrales y los pastizales, la precipitación total anual es de 543.4 mm (INEGI, 2010).

Esto se puede deber a que los factores climatológicos se ven influenciados por la altitud, ya que al decrecer la altitud la temperatura disminuye, mientras que al incrementarse la altitud, la temperatura aumenta (INEGI, 2001).

## 7.2 Factores Biológicos

Los Factores Biológicos constituyen una interacción entre los recursos bióticos y las variables climatológicas, que se manifiesta a través de una serie de sucesos ambientales, que repercuten sobre el uso de suelo (Mataix & López, 2007). En base a estas características se da un tipo de vegetación representativo para Temascalapa (Mapa 7) (*Ver Anexo cartográfico*), el cual se muestra en la gráfica 4.



**Gráfica 1.** Tipos de Vegetación presentes en el municipio de Temascalapa (2008).

El crecimiento de la comunidad de Bosque de Encino en el ambiente es amplia, crece en condiciones climáticas templadas pero también se extiende hacia climas tropicales y secos, la temperatura promedio anual va desde 12 a 20°C, su precipitación va desde los 350 a 2000 mm y altitudinalmente se localiza entre los 1200 y los 3000 msnm (Margarita, 2008). El municipio de Temascalapa cuenta con una región llamada Cerro Gordo, en la cual predomina el clima templado (C(W<sub>0</sub>)) con una altitud de 3046 msnm (hasta su cima), estas condiciones son propicias para el crecimiento de la comunidad de Bosque de Encino; el cual se ha visto perjudicado, reduciendo de 1977 al 2008 más del 70% de su cobertura, esto se debe a que esta madera es uno de los recursos naturales más explotador por el

hombre, debido a su uso comercial (muebles, construcciones, combustible, etc.), perdiendo en promedio 10 Ha por año.

Otro tipo de vegetación presente en el municipio es el matorral crasicaule, el cual es propicio en altitudes que varían entre 1000 y 2500 msnm con un clima seco-templado, se caracteriza por la presencia de arbustos espinosos y de especies suculentas, se desarrolla en suelos poco profundos y escasa pendiente (Margarita, 2008). Con base a lo anterior, Temascalapa cuenta con una altitud promedio de 2300 msnm, un clima seco-templado y suelo de tipo Feozem que es poco profundo, características adecuadas para el crecimiento de matorral crasicaule, así, este tipo de vegetación es el tercero con una superficie de 780 Ha.

El segundo tipo de vegetación con mayor hectáreas es el pastizal inducido (913 Ha), el cual, surge cuando se elimina la vegetación original (bosque, selva, matorral) (INEGI, 1997), también por el pastoreo en áreas agrícolas abandonadas y zonas que se incendian con frecuencia, o a consecuencia de una actividad antrópica (SEMARNAT, 2003). En el municipio de Temascalapa el pastizal inducido surge en mayor proporción por actividades antrópicas, con fines de expansión para terrenos agrícolas y de pastoreo para el ganado (DGPCCA, 2004).

Por último la agricultura (16,456 Ha) tiene la mayor expansión de terreno en el municipio, es de temporal y sus principales productos son: maíz, frijol, trigo, maguey y nopal (GMT, 2010). El suelo tiene alto rendimiento caracterizándose por presentar una capa superficial rica en materia orgánica y nutrientes (SEDUVI, 2005), aunque no ha sido bien explotado por los agricultores del municipio.

### **7.3 Factores Físicos**

En relación con los recursos hídricos (Mapa 6) (*Ver Anexo cartográfico*) en el municipio, son de carácter intermitente, es decir, llevan agua sólo en épocas de lluvias (SEDUVI, 2005). Existen pequeños ríos que nacen en las faldas de Cerro Gordo y descienden por la parte sur en los poblados de Santa María, San Cristóbal y San Luis (GMT, 2010). En épocas de lluvia se forman jagüeyes, que en su mayoría son aprovechados como bebederos para el ganado (GMT, 2010), cabe destacar no todos los jagüeyes del municipio son naturales, ya que algunos son creados por el hombre, debido a la necesidad de este líquido (Sánchez, 1999).

En cuanto al factor edafológico (Mapa 8) (Ver Anexo cartográfico), el municipio de Temascalapa cuenta con suelos de tipo Feozem (14,317 Ha) y Cambisol (5,374 Ha), los cuales favorecen los rendimientos en agricultura, por poseer una capa superficial rica en materia orgánica y nutrientes (SEDUVI, 2005). Su textura está determinada como franco-arcilloso, siendo así que es fundamental en el rendimiento de los cultivos.

La litología (Mapa 9) (Ver Anexo cartográfico) del municipio de Temascalapa, está determinada por distintos tipo de rocas (Tabla 2), las cuales consisten en rocas ígneas o volcánicas de la época Plioceno-Holoceno de la era Cenozoica (SEGEM, 1998).

Tipo	Hectáreas
Aluvial	5325.7
Basalto	886.2
Basalto-Brecha volcánica básica	184.7
Brecha volcánica básica	535.3
Toba básica	8.0
Volcanoclástico	12781.1

**Tabla 2.** Litología presente en el municipio de Temascalapa y su ocupación en Hectáreas.

Por otra parte, la infraestructura vial (Mapa 10) (Ver Anexo cartográfico) del municipio, está conformada por las siguientes carreteras asfaltadas intermunicipales:

- Temascalapa – Tizayuca
- Temascalapa – Santo Domingo
- San Luis – San Martín
- Ixtlahuaca – Tezontepec

En tanto que las carreteras intramunicipales, en las cuales destacan vías asfaltadas y de terracería, abarcan en su totalidad el área municipal, conectando así a todas las localidades.

Por último por medio del MDE (Mapa 11) (*Ver Anexo cartográfico*) se obtuvo la altitud (Mapa 11) (*Ver Anexo cartográfico*) que va de los 2250 a los 3010 msnm, las curvas de nivel (Mapa 12) (*Ver Anexo cartográfico*) con una equidistancia de 10 m, la pendiente (Mapa 13) (*Ver Anexo cartográfico*) con un rango de 0° a 38.993°, la orientación (Mapa 14) (*Ver Anexo cartográfico*) que determina la exposición de la superficie terrestre respecto a los puntos cardinales y la iluminación (Mapa 15) (*Ver Anexo cartográfico*) con un azimut de 315° (ángulo de la dirección en la que se encuentra la fuente de luz partiendo del norte) y una altitud de 45° (pendiente o ángulo de la fuente de luz sobre el horizonte). Estos factores ayudaron en la determinación de los modelos aplicados.

#### 7.4 Factores Socio-Económicos

Los factores socio-económicos, son aquellos que comprenden a la población humana, los cuales nos dan una visión de la calidad de vida, las actividades que realizan, la dinámica poblacional, y que permite determinar cuáles son las necesidades que presenta y los recursos que requieren para satisfacerlas, esto nos da una visión del efecto de estas actividades en el ecosistema y las acciones que se deben proponer para mitigar estos efectos (Chico, 2010).

El municipio de Temascalapa, consta de 13 localidades (Mapa 16) (*Ver Anexo cartográfico*) que se muestran a continuación:

- 1 *Temascalapa (Cabecera Municipal)*
- 2 *Ixtlahuaca de Cuauhtémoc*
- 3 *Las Pintas*
- 4 *Presa del Rey*
- 5 *San Bartolomé Actopan*
- 6 *San Cristóbal Colhuacán*
- 7 *Santa María Maquixco*
- 8 *San Juan Teacalco*
- 9 *San Luis Tecuahutitlán*
- 10 *San Mateo Teopancala*
- 11 *San Miguel Atlamajac*
- 12 *Santa Ana Tlachihualpa*
- 13 *Álvaro Obregón*

**Tabla 3.** Se muestran las 13 localidades del municipio de Temascalapa.

La información sobre el censo de población fue obtenida de INEGI (censo de población y vivienda 2000 y 2010), la cual mostró que el municipio de Temascalapa para el año 2000 contaba con una población de 29,029 hab., mientras que para el 2010 había 35,804 habitantes (Mapa 17) (Ver Anexo cartográfico), lo que representa un incremento del 23.3%, 5 por ciento más de lo que representa el Estado de México con un 18.9% del 2000 al 2010 (COESPO, 2010). Dentro de las localidades de Temascalapa, la cabecera municipal centra el mayor índice de población representando para el año 2010, el 17.7% de la población total del municipio, seguido por Santa Ana Tlachihualpa con 16.2% y San Luis Tecuahutitlán con 16.0%, mientras que las localidades con menos porcentaje de habitantes son; Álvaro Obregón con 1.18%, Presa del Rey con 1.87% y San Cristóbal Colhuacán con 2.11%.

Las localidades con un mayor incremento poblacional (de 2000 a 2010) son; Álvaro Obregón (456.35%), Las Pintas (53.85%), Santa Ana Tlachihualpa (44.85%) y Barrio de Belén (44.74%). Mientras que las localidades con un menor incremento poblacional son; San Miguel Atlamajac (8.41%), Presa del Rey (8.62%) e Ixtlahuaca de Cuauhtémoc (9.85%), y por último la población que tuvo un decremento poblacional fue San Mateo Teopancala (-5.72%), esto puede deberse a la migración que existe en el municipio, ya que, del 3.7% de migración de todo el municipio, esta localidad representa el 1.3%.

<b>LOCALIDADES DEL MUNICIPIO</b>	<b># HAB 2000</b>	<b># HAB 2010</b>	<b>Crecimiento Poblacional</b>
<i>Temascalapa</i>	<b>5212</b>	<b>6455</b>	<b>23.8%</b>
<i>Ixtlahuaca de Cuauhtémoc</i>	<b>3157</b>	<b>3468</b>	<b>9.9%</b>
<i>Las Pintas</i>	<b>663</b>	<b>1020</b>	<b>53.8%</b>
<i>Presa del Rey</i>	<b>615</b>	<b>668</b>	<b>8.6%</b>
<i>San Bartolomé Actopan</i>	<b>3817</b>	<b>4549</b>	<b>19.2%</b>
<i>San Cristóbal Colhuacán</i>	<b>551</b>	<b>754</b>	<b>36.8%</b>
<i>Santa María Maquixco</i>	<b>863</b>	<b>956</b>	<b>10.8%</b>
<i>San Juan Teacalco</i>	<b>2383</b>	<b>2970</b>	<b>24.6%</b>
<i>San Luis Tecuahutitlán</i>	<b>4750</b>	<b>5699</b>	<b>20.0%</b>
<i>San Mateo Teopancala</i>	<b>1032</b>	<b>973</b>	<b>-5.7%</b>
<i>San Miguel Atlamajac</i>	<b>1926</b>	<b>2088</b>	<b>8.4%</b>
<i>Santa Ana Tlachihualpa</i>	<b>3991</b>	<b>5781</b>	<b>44.9%</b>
<i>Álvaro Obregón</i>	<b>69</b>	<b>423</b>	<b>513.0%</b>

**Tabla 4.** Se muestra el crecimiento poblacional del año 2000 al año 2010 de cada localidad del municipio.

La densidad de población del municipio para el año 2000 fue de 148.6 hab/km<sup>2</sup> y para el año 2010 es de 180.4 hab/km<sup>2</sup>. En este contexto, la población masculina del año 2000 fue de 14,490 hab. con una densidad de población de 73.5 hab/km<sup>2</sup>, la cual creció en 10 años un 22.9% y hasta el censo 2010 contaba con 17,815 hab. y una densidad poblacional de 90.3 hab/km<sup>2</sup>. Mientras que la población femenina para el año 2000 fue de 14,539 hab. y su densidad poblacional de 73.7 hab/km<sup>2</sup>, en este sentido la población de mujeres creció un 23.7%, ya que para el censo 2010, los números representan 17,989 hab. con una densidad de población de 91.2 hab/km<sup>2</sup>.

En cuanto a educación se refiere (Mapa 18) (*Ver Anexo cartográfico*), los habitantes de Temascalapa en el censo del año 2000 se encontraban en promedio, en el grado de escolaridad de 6<sup>to</sup> de primaria y 1<sup>ro</sup> de secundaria, mientras que, en el censo del año 2010 el grado de escolaridad aumentó localizándose entre 2<sup>do</sup> de secundaria y 1<sup>ro</sup> de preparatoria. Esto se debe a que se han implementado becas en todos los niveles educativos a los alumnos que por falta de recursos económicos abandonan sus estudios, además de ofrecer becas a estudiantes destacados del municipio, tanto público y privado (GMT, 2010).

En cuanto a servicios de salud (Mapa 19) (*Ver Anexo cartográfico*), el censo del año 2000 muestra que el municipio de Temascalapa contaba con 8,200 habitantes con derecho a servicios de salud, en tanto, que en el censo de 2010 la población aumentó más del 100%, contando con 17,271 habitantes con derecho a servicios de salud, esto se debe al ingreso del seguro popular donde más de la mitad de la población se encuentra registrada.

En cuestiones económicas el municipio de Temascalapa se ha mostrado mediante el censo del año 2000 a 9,260 hab. en el sector económicamente activo (Mapa 20) (*Ver Anexo cartográfico*), mientras que, para el censo del año 2010, hubo un incremento del 43.7%, mostrando a 13,170 hab. económicamente activas. Las localidades con mayor PEA en 2010 son; Temascalapa (19%), San Luis Tecuahutitlán (16.3%), Santa Ana Tlachihualpa (14.8%) y las localidades con menor PEA son; Álvaro Obregón (1.12%), San Cristóbal Colhuacán (1.53%) y Presa del Rey (1.9%). Lo que significa que 53 de cada 100 hab. hombres y 22 de cada 100 hab. mujeres se encuentran en la PEA. La población económicamente inactiva está integrada por estudiantes, amas de casa, jubilados o pensionados, incapacitados para trabajar o por alguna razón diferente (GTM, 2010).

En base a lo anterior la población económicamente activa se puede clasificar teniendo en cuenta varios criterios, como: la rama o sector de actividad, la ocupación, la situación profesional, así pues, el criterio más utilizado y simple, también como indicador del desarrollo de una determinada sociedad, es el que tiene en cuenta el sector de la economía en el que la población activa realiza sus actividades: primarias, secundarias y terciarias (Díaz, 2008). Por lo cual se presentan (Tabla 5) las localidades con el número de habitantes por cada sector de acuerdo al censo de población y vivienda del año 2000 de INEGI.

LOCALIDADES DEL MUNICIPIO	Sector Primario	Sector Secundario	Sector Terciario
<i>Temascalapa</i>	200	719	813
<i>Ixtlahuaca de Cuauhtémoc</i>	124	523	424
<i>Las Pintas</i>	27	100	52
<i>Presa del Rey</i>	21	104	44
<i>San Bartolomé Actopan</i>	152	636	362
<i>San Cristóbal Colhuacán</i>	54	89	33
<i>Santa María Maquixco</i>	78	121	112
<i>San Juan Teacalco</i>	107	307	262
<i>San Luis Tecuahutitlán</i>	177	573	631
<i>San Mateo Teopancala</i>	64	97	73
<i>San Miguel Atlamajac</i>	56	217	260
<i>Santa Ana Tlachihualpa</i>	137	565	624
<i>Álvaro Obregón</i>	5	10	2

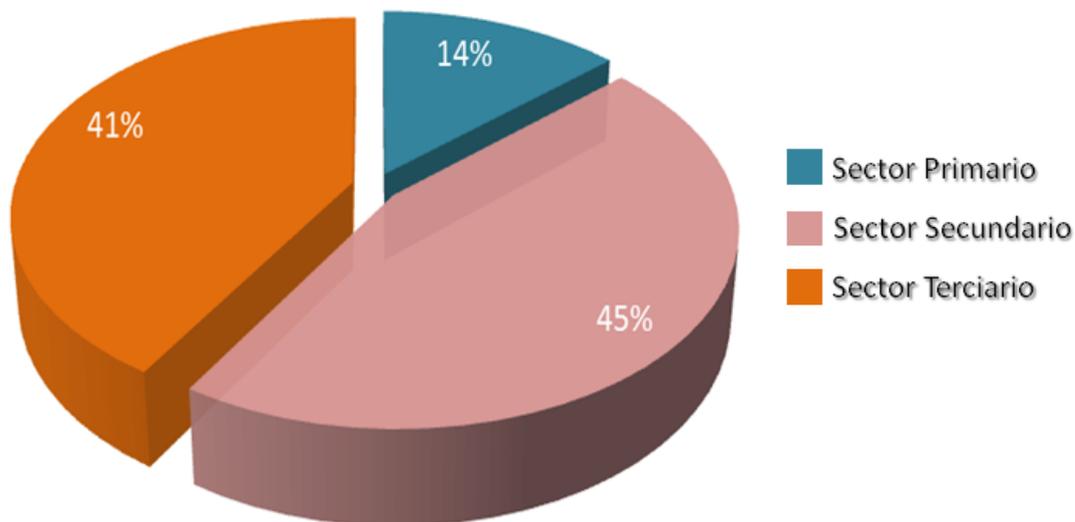
**Tabla 5.** Se muestra el número de habitantes de cada sector por localidad en el año 2000.

Mientras tanto, de acuerdo al censo económico de INEGI (2009), se mostró el número total de unidades económicas por cada sector, que a continuación se describen.

- **Sector primario:** la producción agrícola de temporal para Temascalapa corresponde a: maíz, frijol, haba, cebada, nopal y producción de pulque. Pero esta situación ha ido cambiando paulatinamente en la medida que la agricultura ha dejado de ser un negocio que cubre las necesidades básicas de una familia como son la educación, vestido, vivienda y salud. Hace aproximadamente cuatro décadas las actividades agropecuarias absorbían cerca del 90% de la población económicamente activa (GMT, 2010). Pero en la actualidad el municipio ha ido abandonando su perfil agrícola y poco a poco se ha

convertido en generadora de mano de obra para otros municipios, otros estados e inclusive el extranjero (SEDUVI, 2005).

- **Sector secundario:** en este sector se registró un total de 102 unidades dedicadas a la manufactura con un total de 318 personas laborando, lo que representa el 0.06% del total del estado. En la región III de Ecatepec (DGPCCA, 2004), el asentamiento industrial se concentra básicamente en el municipio de Ecatepec, en donde existen alrededor de 4,698 establecimientos industriales lo que representa 76.9% del total.
- **Sector terciario:** en este sector se concentra la mayor parte de los habitantes del municipio, en la cual, se registran 695 de actividades comerciales y 108 que se dedican al sector de servicios, que en su totalidad ocuparon a 1,384 personas. Es así que resulta insuficiente para el total de la población económicamente activa que está integrada por 13,170 hab.



**Gráfica 2.** Se muestra el porcentaje de PEA por cada sector económico.

Los sectores más importantes de producción en el municipio son la manufactura y el comercio ya que aportan más del 85% de la generación de empleos, lo cual es positivo pero no es compatible con el poco desarrollo comercial, industrial y agrícola que registra Temascalapa, por lo que se deduce que la población se ha ocupado en invertir trabajo en localidades cercanas como Tizayuca, Tecámac o aún más lejanas como Ecatepec, Pachuca o el Distrito Federal.

## 8 Aplicación de SIG a Modelos

---

Los datos anteriormente descritos, sirven de base para la aplicación de modelos basados en SIG; estos modelos son ciertas representaciones de la realidad, mediante las cuales se busca describirla o analizarla (Ramos, 1979), y los cuales han sido ampliamente utilizados en una gran variedad de situaciones; incluyendo estudios ecológicos y geológicos, riesgos (incendio, inundación, erosión), idoneidad de actividades agrícolas, evaluación de impacto ambiental, localización óptima de diferentes infraestructuras y planeamiento regional (Llactayo *et al.*, 2009).

Algunas veces el uso de modelos en el SIG se hace replicando exactamente el estudio con la realidad, a un tamaño que facilite su interpretación y manejo, otras veces se hace una fórmula matemática (Ramos, 1979). Así los SIG disponen de una herramienta muy importante para la toma de decisiones que es la Evaluación Multi-criterio (EMC), la cual se entiende a un conjunto de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, que sirven de soporte a las variables decisorias para describir, seleccionar, evaluar, jerarquizar o rechazar objetos, sobre la base de una evaluación de acuerdo a varios criterios seleccionados en apoyo a la toma de decisiones (Barredo, 1996).

En síntesis, la aplicación de modelos en un SIG utilizando variables ambientales (riesgo de incendio, cambio de uso de suelo, calidad de la vegetación) desarrolla una valoración de las posibles alternativas de selección (vegetación, pendiente, clima) que van a ser considerados como los diversos criterios a evaluar según uno o más objetivos (Abarca & Quiroz, 2005).

## **8.1 Determinación de los cambios de uso de suelo**

En las últimas décadas el cambio del uso del suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global, alterando procesos y ciclos. Lo anterior se vuelve trascendental si se considera que es a través de estos cambios donde se materializa la relación entre el hombre y el medio ambiente, donde los ecosistemas terrestres sufren grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Pineda *et al.*, 2009).

Por ello, es de fundamental importancia buscar elementos que ayuden tanto a cuantificar como a explicar los patrones que se observan en este cambio de uso de suelo. Es decir, es importante generar escenarios futuros de cambio de uso del suelo que puedan resultar muy útil, los cuales complementado con el uso de indicadores de sostenibilidad, puedan ayudar sustantivamente al reto del desarrollo y la gestión ambiental del crecimiento urbano, debido al fuerte despliegue en el espacio experimentado en los últimos años (Henríquez & Azocar, 2007).

En este contexto el uso de modelos predictivos como el cambio de uso del suelo, empleando los SIG, representa una importante oportunidad para anticipar, prevenir y mitigar dinámicas insostenibles de las actuales formas de crecimiento. En particular los modelos de crecimiento urbano espacialmente explícitos de alta resolución espacial, que han emergido fuertemente los últimos quince años (Batty & Xie, 2005), son especialmente ventajosos para la generación de escenarios futuros, ya sea en el contexto de la planificación urbana o en el sistema de evaluación de impacto ambiental que la mayoría de los países latinoamericanos ha adoptado (Henríquez & Azocar, 2007).

### 8.1.1 Modelo para el análisis de los cambios de uso del suelo

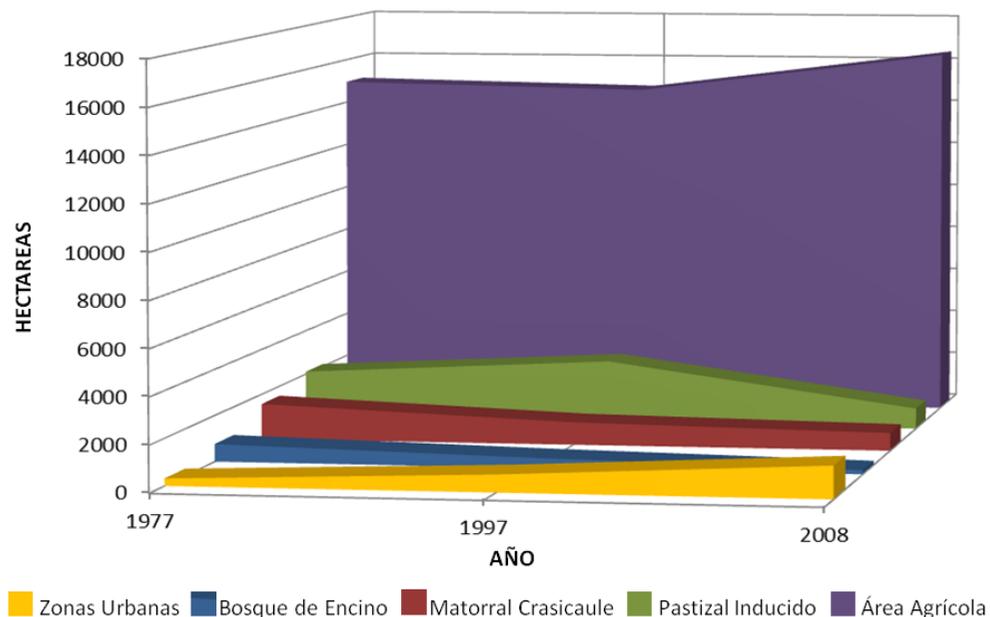
El modelo se hizo con base a la interpretación de:

- Cartografía escala 1:50000 de los años 1977 y 1998, obtenida por INEGI (UTM NAD 27).
- Imagen satelital del año 2008, obtenida de Google Earth (UTM).

Empleando dichas imágenes georeferenciadas, se digitalizaron los polígonos del tipo de vegetación y uso de suelo, mediante el SIG ArcView 3.1, se clasificaron cinco usos principales del suelo:

- Bosque de encino
- Matorral crasicaule
- Pastizal inducido
- Agricultura de temporal
- Núcleos Urbanos

Los mapas se compararon y se obtuvieron resultados donde se muestra que la vegetación y núcleos urbanos han sufrido cambios considerables, a continuación se presenta la distribución espacial de los cambios de vegetación en el periodo de 1977 a 1997 (Mapa 21) (Ver Anexo cartográfico) y de 1977 a 2008 (Mapa 22) (Ver Anexo cartográfico).



**Gráfica 3.** Cambio de uso de suelo a lo largo de 31 años en el municipio de Temascalapa.

En la sobre-posición de las imágenes de 1977 a 2008, se observa que en 31 años el bosque ha perdido o modificado el 78% de terreno, mientras que, el traslape de las imágenes de 1977 y 1997, revelan que el mismo tipo de vegetación ha sufrido un cambio considerable, ya que en 20 años ha perdido el 44% de terreno, mientras que, las estadísticas (Tabla 6) muestran que en 11 años (1997-2008) ha sufrido cambios más significativas con un 60% de cambio de uso de suelo.

Año	Tipo	Ha	Cambio de Suelo en 31 años (%)	Pérdida de Terreno de 1977-1997	Pérdida de Terreno de 1997-2008
1977	Bosque de encino	765	0		
1997	Bosque de encino	432	44% ↓	44% ↓	
2008	Bosque de encino	171	78% ↓		60% ↓

**Tabla 6.** Cambio de uso de suelo del tipo de vegetación Bosque de Encino.

Esto se debe a la tala clandestina que actualmente sufre el bosque en el municipio, tanto así, que se han hecho programas integrales de prevención y combate contra la extracción ilegal y a la tala de bosque (GMT, 2010). Esto pone de manifiesto que en el Estado de México en el 2007 se encontraba dentro de los cinco estados con más deforestación en todo el país (Reyes *et al.*, 2003). Es así que para el año 2018 en Temascalapa se estima que sólo halla 55 Ha de Be; esto con el respaldo de que siga la misma tasa de deforestación (INE, 2010).

Otro punto importante radica en determinar cuáles son los factores socioeconómicos que más inciden en los procesos de deforestación, de los cuales no es sencillo especificarlos, sin embargo, algunos estudios consideran como principal causa los aspectos demográficos (Lambin, 1997), en Temascalapa (Tabla 7) el problema demográfico es importante, en 1970 se contaba con 8,892 habitantes (INEGI, 1970), mientras que para el 2010 se reportaron 35,804 habitantes (INEGI, 2010), esto implica que la población y la administración municipal tengan que aumentar el número de viviendas e infraestructura para las necesidades de los habitantes, por ejemplo, en 1977 había 317 Ha destinadas a zonas urbanas pero en 2008 aumento más del 400% teniendo ahora 1402 Ha. Cabe destacar que aquí está incluida la actividad industrial la cual abarca alrededor de 1% del territorio (GMT, 2010). Entonces, el avance demográfico en el municipio afecta sobre cualquier tipo de vegetación.

Año	Tipo	Ha	Cambio de Suelo (%)	Cambio de Suelo 1977-1997	Cambio de Suelo 1997-2008
1977	Núcleos Urbanos	317	0		
1997	Núcleos Urbanos	757	239% ↑	239% ↑	
2008	Núcleos Urbanos	1405	442% ↑		186% ↑

**Tabla 7.** Cambio de uso de suelo de Núcleos Urbanos.

El municipio presenta un gran problema con el Bosque de Encino pues existen asentamientos habitacionales dentro de esta área determinada como Área Natural Protegida (ANP), esto debido a que la población ha sufrido un incremento poblacional significativo y los predios quedan fuera de norma con respecto a la necesidad de la población (GMT, 2010).

Otros autores como Mahar y Schneider (1994) señalan el avance agrícola como factor principal del fenómeno de deforestación, mientras que Reyes *et al.* (2003) consideran que las políticas gubernamentales y los programas de subsidio al campo son parte del problema. Todas estas problemáticas llevan a que el bosque se fragmente y sufra grandes pérdidas irreparables como: pérdida de biodiversidad, daño a ecosistemas de agua dulce y a los procesos hidrológicos, así como la reducción de servicios ambientales (WWF-México, 2007), problema que está sucediendo en Cerro Gordo.

En 31 años los principales usos de suelo (Tabla 8) del municipio han sufrido cambios considerables, aumentando o disminuyendo su cobertura territorial, varios son los factores que contribuyen a la deforestación y al cambio de uso de suelo, y su importancia relativa depende de la región.

	Bosque de encino (Ha)	Matorral Crasicaule (Ha)	Pastizal Inducido (Ha)	Área Agrícola (Ha)	Zonas Urbanas (Ha)
1977	765	1564	2118	14958	317
1997	432	1000	2824	14708	757
2008	171	780	912	16456	1402

**Tabla 8.** Cambio de uso de suelo de todos los tipos de vegetación y núcleos urbanos.

El matorral (Mc) (Tabla 9) en Temascalapa está caracterizado por nopaleras y magueyes, que son muy utilizados por la población para uso comercial, en 31 años este tipo de vegetación ha cambiado un 83% en su cobertura, en 1977 existían 1564 Ha en las cuales existían arbustos espinosos, nopaleras y magueyeras. En 2008 solo existen 780 Ha y primordialmente se destinan para cultivos de nopal y maguey (Amador, 2008).

Año	Tipo	Ha	Cambio de Suelo (%)	Cambio de Suelo 1977-1997	Cambio de Suelo 1997-2008
1977	Matorral Crasicaule	1564			
1997	Matorral Crasicaule	1000	36% ↓	36% ↓	
2008	Matorral Crasicaule	264	83% ↓		74% ↓

**Tabla 9.** Cambio de uso de suelo del tipo de vegetación Matorral Crasicaule.

El pastizal inducido (Tabla 10) es el tipo de vegetación que más ha variado a lo largo de 31 años, de 1977 a 1997 (20 años) aumentó en cuanto a cobertura de terreno pasando de 2118 Ha a 2824 Ha teniendo un crecimiento del 33%, en tanto que de 1997 a 2008 tuvo un descenso impresionante, ya que de las 2824 Ha en el presente estudio se registraron 912 Ha (68% de pérdida).

Esto se puede deber a la actividad agropecuaria, en los años 70's estas actividades absorbían cerca del 90% de la PEA. Pero a partir de los años 90's la población fue abandonando su perfil agropecuario para convertirse en una generadora de mano de obra para la industria, el comercio y otros servicios ubicados en su mayoría fuera del municipio, de tal forma que una cuarta parte de la PEA se dedicaba a las actividades primarias (SEDUVI, 2005), y actualmente sólo el 21% ha manifestado dedicarse a actividades agropecuarias (GMT, 2010). Este puede ser el motivo del decremento en la cobertura del pastizal inducido, además del avance demográfico que afecta a todos los tipos de vegetación.

Año	Tipo	Ha	Cambio de Suelo (%)	Cambio de Suelo 1977-1997	Cambio de Suelo 1997-2008
1977	Pastizal Inducido	2118			
1997	Pastizal Inducido	2824	33% ↑	33% ↑	
2008	Pastizal Inducido	912	57% ↓		68% ↓

**Tabla 10.** Cambio de uso de suelo del tipo de vegetación Pastizal Inducido.

Por último la agricultura (Tabla 11), a diferencia de los tipos de vegetación antes mencionados, ha aumentado en un 12% su superficie. Esto puede deberse a que Temascalapa es un municipio eminentemente rural y dedicado a la actividad agropecuaria (Sánchez, 1999), teniendo así un avance de tierras agrícolas y ganaderas, las cuales han reemplazado al bosque y a cualquier tipo de vegetación. Por lo regular el aumento en la cobertura de este uso de suelo en algunas localidades se debe a razones de autoconsumo, mientras que en otros se debe a razones comerciales.

Año	Tipo	Ha	Cambio de Suelo (%)	Cambio de Suelo 1977-1997	Cambio de Suelo 1997-2008
1977	Área Agrícola	14958	0		
1997	Área Agrícola	14708	2% ↓	2% ↓	
2008	Área Agrícola	16456	10% ↑		10% ↑

**Tabla 11.** Cambio de uso de suelo del tipo de vegetación Área Agrícola.

Entonces Temascalapa ha tenido repercusiones muy significativas, ya que, en general ha habido cambios, aumentando o disminuyendo la cobertura de los diferentes usos de suelo en más del 70% de la vegetación, de los cuales se ha visto influenciada la biota del municipio; esto debido al aumento de la población, lo que trae consigo, aumento de viviendas e infraestructura para salud y educación; además de aumento en cobertura de tierra para agricultura, el único tipo de vegetación que ha aumentado el número de Ha pero de las cuales no se ha sacado provecho por la población, ya que, aunque el suelo es de rendimiento favorable para la agricultura y sea uno de los principales sectores productivos del municipio, muchos de los agricultores no tienen los recursos necesarios para realizar cosechas adecuadamente.

Todo este proceso de cambio de uso de suelo está íntimamente relacionado con la falta de cultura ambientalista de la población, debido a que se realizan cambios sin ninguna planificación territorial en armonía con el medio ambiente, violando las leyes que rigen a los recursos naturales.

## 8.2 Determinación del riesgo de incendio en el municipio de Temascalapa

Los incendios forestales provocan cada vez mayores daños en los bosques a nivel mundial. Los principales impactos tienen relación con la destrucción de la vegetación y de biomasa, erosión del suelo e importantes emisiones atmosféricas que contribuyen al cambio climático (Chas & Montero, 2009). México y Centroamérica son ricos en biodiversidad y sustentan unas 73 000 000 Ha forestales (Martínez & Rodríguez, 2008), en donde los incendios más recurrentes son especialmente en épocas de sequía y en los años afectados por el fenómeno meteorológico de “El Niño” (Juárez, 2008).

Un incendio es una reacción química la cual necesita calor, oxígeno y combustible para que se inicie y continúe. Cuando un fuego incontrolable inicia en un espacio de vegetación natural se convierte en un incendio forestal. Sin embargo, la probabilidad de que esto suceda depende de las causas de ignición y las condiciones medioambientales entre estas están la calidad y distribución del combustible y el agua (Juárez, 2008), sin embargo, en la actualidad el 90% de los incendios forestales son provocados por actividades antropogénicas (Golicher *et al.*, 2003). La acción humana es el primer factor condicionante del fenómeno de los incendios forestales, ya que las negligencias y los incendios provocados son las principales causas (Vélez, 1986). Este hecho se da por la intervención directa del hombre a través de quemados de pastos, rastrojos, operaciones agrícolas, fuegos mal apagados, pero también lo hace indirectamente mediante actuaciones que afectan a la cubierta vegetal: abandono de campos de cultivo, disminución de los censos ganaderos y colonización por matorral de áreas poco o nada pastadas, repoblaciones masivas con coníferas y escasa extracción de leña (Vicente *et al.*, 2000).

El gran porcentaje de incendios de origen humano pone en evidencia la necesidad de mejorar las políticas de prevención (Chas & Montero, 2009). En México es responsabilidad de las autoridades federales el cuidado de las zonas forestales, éstas a su vez apelan a los ciudadanos y propietarios o poseedores de las mismas para facilitar el combate a las causas de los incendios forestales (Denton, 2008).

En el inicio y posterior desarrollo de un incendio forestal influyen los factores climáticos, topográficos, biogeográficos y antropogénicos que configuran el paisaje, cuyo conocimiento es imprescindible para desarrollar las medidas de prevención oportunas (Álvarez, 2000). En este sentido

los SIG constituyen una herramienta de gran utilidad ya que posibilitan el análisis de variables regionalizadas. La confección de un SIG para un espacio concreto implica tener en cuenta no sólo los datos geográficos en sí, sino también las relaciones espaciales existentes entre ellos (Goodchild *et al.*, 1993). Además de ello, existe un problema en el municipio el cual se deriva en la escasez de equipos, elementos o sistemas de alta tecnología que ayuden a prevenir, detectar, pronosticar el crecimiento y combatir un incendio forestal.

### 8.2.1 Modelo del Riesgo de Incendio

A continuación se plantea un modelo modificado de Montoya *et al.* (2008), el cual se centró en la probabilidad de que inicie el fuego y a la facilidad de que se propague. Para que se inicie y propague un incendio son necesarios tres elementos: el combustible, un comburente y una fuente de calor que inicie el proceso de combustión. A continuación se analizan los distintos factores que influyen en su desarrollo.

#### Vegetación:

Constituye la fuente de combustible de los incendios. Las especies vegetales poseen distinta inflamabilidad, así como distintos mecanismos de adaptación al fuego, lo que se refleja en una mayor o menor resistencia al fuego. Las formaciones vegetales constituidas por dichas especies presentan un valor de combustibilidad que depende básicamente de su estructura y de la cantidad de biomasa disponible. El tamaño del combustible es de particular importancia, ya que la velocidad de reacción de la combustión está directamente relacionada con la superficie de exposición ofrecida por el combustible (González-Calvo *et al.*, 2007).

Teniendo en cuenta las características propias de las especies vegetales existentes que caracterizan su combustibilidad (presencia de gomas, aceites o resinas, follaje inflamable, contenido en humedad de las hojas, persistencia del follaje, grosor de la corteza, capacidad de poda natural) y aquellos aspectos de la estructura de las formaciones vegetales que favorecen el inicio e intensidad del incendio (densidad por unidad de volumen, tasa de superficie vegetal respecto al espacio), se reclasifica el mapa de vegetación y usos del suelo para obtener una cartografía de la combustibilidad

Intrínseca de la vegetación. Se realizó el mapa de Combustibilidad Intrínseca de la Vegetación, a partir de la siguiente clasificación propuesta:

Tipo de Vegetación	Combustibilidad Intrínseca	Valor
Agricultura de temporal (Ag(t)) y Núcleos Urbanos (NU)	Baja	1
Pastizal inducido (Pi)	Media	2
Matorral crasicaule (Mc)	Alta	3
Bosque de encino (Be)	Muy Alta	4

**Tabla 12.** Clasificación de la Vegetación, a partir de su combustibilidad intrínseca, modificada por Montoya et al., 2008.

### Características climatológicas:

Los factores climáticos son determinantes en el desarrollo de un incendio; por una parte condicionan las especies que pueden vivir en un determinado lugar y por tanto determinan el tipo de biomasa combustible, y por otra modifican el contenido en humedad de dicha biomasa y por tanto su inflamabilidad. Cuando se cuenta con la información de una red de estaciones meteorológicas en el territorio estudiado se pueden incluir los distintos factores climáticos que influyen en el desarrollo de un incendio como en este caso que se consideró precipitación, temperatura (máx. y mín.) y evapotranspiración, haciendo promedios de dos semestres por año de Enero-Junio (primer semestre) y Julio-Diciembre (segundo semestre). Se obtuvo el mapa de Componentes meteorológicos a partir de las siguientes reclasificaciones propuestas:

Temperatura °C	Clase
15.1 – 15.3	1
15.3 – 15.6	2
15.6 – 15.8	3
15.8 – 16.1	4
16.1 – 20.0	5

**Tabla 13.** Clasificación de la temperatura, modificada por Montoya et al., 2008.

Evapotranspiración (mm)	Clase
187 – 197	1
177 – 187	2
167 – 177	3
157 – 167	4
140 – 157	5

**Tabla 14.** Clasificación de la evapotranspiración, modificada por Montoya et al., 2008.

Precipitación (mm)	Clase
41 – 43	1
41 – 39	2
39 – 37	3
37 – 35	4
35 – 33	5

**Tabla 15.** Clasificación de la precipitación, modificada por Montoya et al., 2008.

### Características físicas locales: exposición y fisiografía

Los factores ligados al relieve utilizados han sido la exposición y la fisiografía. La exposición condiciona el grado de humedad local. En las zonas más expuestas al sol, hay menos humedad y el calor acumulado genera una brisa desde los valle hacia las cumbres, que favorece la propagación de un posible fuego.

La exposición se clasifica en función del grado de humedad que conlleva. Las exposiciones oeste y norte o noroeste presentan un grado de humedad máximo, mientras que las solanas están afectadas por vientos desecantes del sur.

Se generó un mapa de exposición a partir de la siguiente clasificación propuesta:

Clase 1	Exposiciones N, NO, O
Clase 2	Exposiciones E, NE, T.V.
Clase 3	Exposiciones S, SE, SO

El comportamiento de un incendio está muy influenciado por la diferente configuración del terreno, siendo más agresivo en cañones y vaguadas cuando el viento sigue su dirección; en cumbres muy quebradas por esperarse remolinos a sotavento; en las laderas donde el precalentamiento es más rápido (sobre todo en valles estrechos). El incendio es más débil en cerros donde el cambio de rasante dificulta el avance, o en los llanos donde su avance es más lento. En función de este factor se reclasificó la geomorfología en clases fisiográficas propuestas de la siguiente manera:

Geomorfología	Fisiografía	Valor
Laderas irregulares, aluvial coluvial, coluvial, terrazas, terrazas degradadas, escarpe de terrazas y cono de deyección.	Formas de fondo de valle	1
Laderas planas, pendientes convexas.	Formas de ladera irregular	2
Vertientes, vertientes irregulares, pendiente, rellanos y aluvial.	Formas de ladera plana	3
Planicies culminantes, divisorias, crestas, collados o puertos, cerros residuales y lomas residuales.	Superficies culminantes	4

**Tabla 16.** Clasificación de la geomorfología en clases fisiográficas, modificada de Montoya et al., 2008.

Para obtener el mapa de los focos de incendio se tomaron en cuenta dos factores, la distancia a los usos de riesgo y la distancia a las vías de comunicación:

**Distancia a usos de riesgo:** La práctica de usos de riesgo se ha considerado en función de los usos agrícolas y ganaderos y cualquier otro tipo que represente una actividad antrópica. Se han identificado las zonas donde se concentran estos usos; zonas agrícolas de temporal, los pastizales y núcleos urbanos.

El riesgo se considera a partir de la distancia de este uso al resto del territorio.

Clase 1      Distancia de 0 a 400 m

Clase 0      Distancia > 400 m

**Distancia a vías de comunicación:** La probabilidad de que una fuente de calor inicie un incendio aumentará con la accesibilidad del punto. Dicha accesibilidad se estima en función de la distancia a vías de comunicación, partiendo de la clasificación propuesta por Montoya *et al.*, 2008:

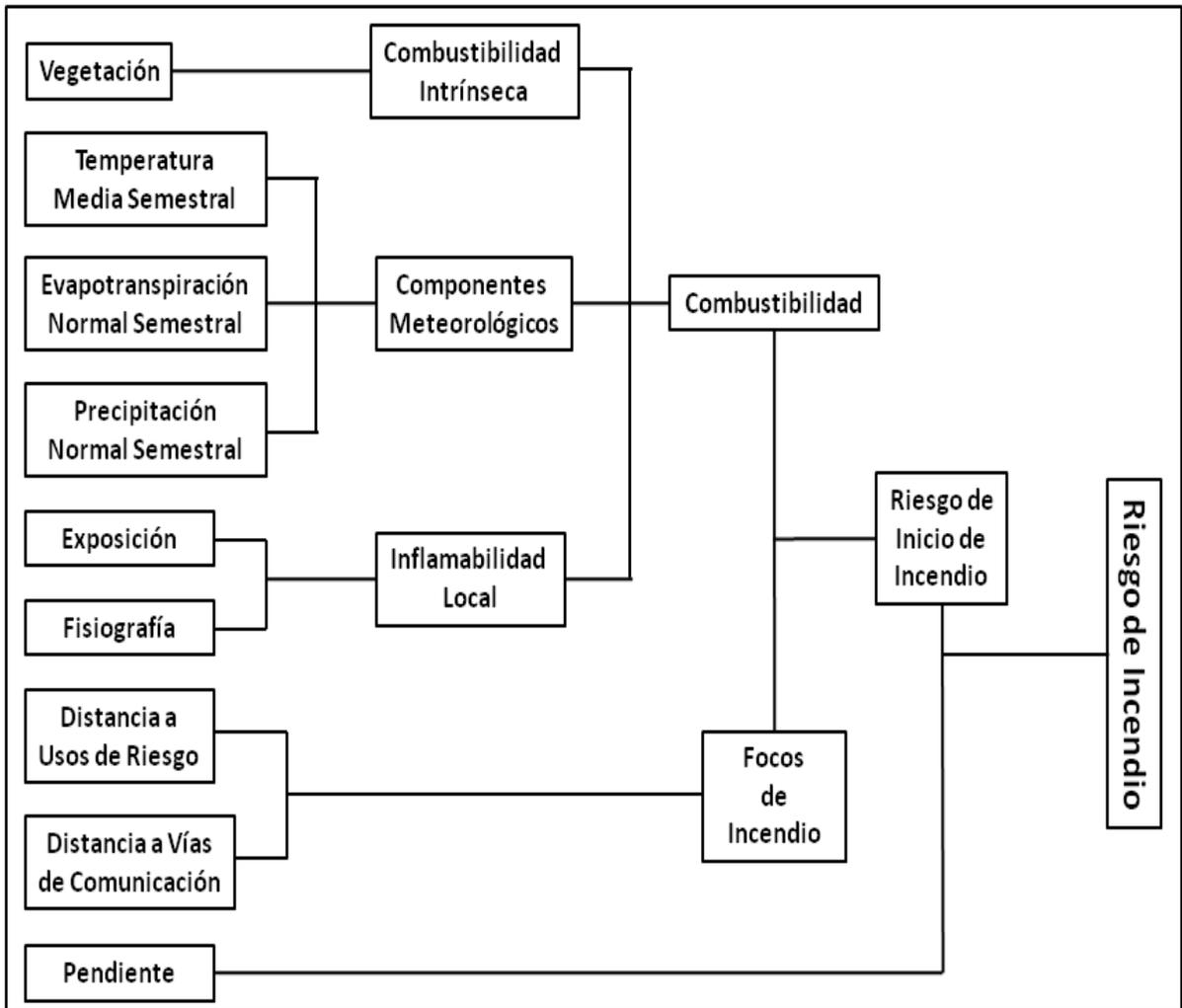
Clase 1      Distancia de 0 a 400 m

Clase 0      Distancia > 400 m

**Pendiente:** Si queremos analizar no sólo la probabilidad de inicio de un fuego si no su facilidad para propagarse, es necesario contemplar otro tipo de factores como: viento local y pendiente. Ante la falta de datos respecto a vientos locales, se estima la velocidad de propagación del incendio a partir de la pendiente. La pendiente del terreno es un factor indicador de la velocidad de propagación del incendio, a mayor pendiente, mayor velocidad de propagación y por tanto mayor riesgo de incendio. Se calculó y reclasifico la pendiente en las siguientes clases, tomando como base el trabajo de Montoya *et al.*, 2008:

Clases	Pendiente (Grados)
1	< 4.5°
2	4.5° - 9°
3	9° - 18°
4	18° - 45°
5	> 45°

A partir de las características y clasificaciones anteriores se propuso un esquema por Montoya *et al.*, (2008) (Figura 3) para el desarrollo del modelo de riesgo de incendio y la integración de estos aspectos del medio.



**Figura 4.** Representación del Modelo de Riesgo de Incendio mostrando la integración de los factores considerados, tomado de Montoya et al., 2008.

Lo primero fue la determinación de la Combustibilidad. La cual se obtuvo a partir de integración de la Combustibilidad Intrínseca de la Vegetación, Inflamabilidad Local y de los Componentes Meteorológicos para cada semestre.

Para iniciar con el modelo, la combinación de la Fisiografía y Exposición nos permitió estimar la Inflamabilidad Local.

		<b>Fisiografía</b>			
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Exposición</b>	<b>1</b>	1	1	2	3
	<b>2</b>	1	2	3	4
	<b>3</b>	2	3	4	4

A este resultado se le integro la combustibilidad Intrínseca de la Vegetación.

		<b>Combustibilidad Intrínseca</b>			
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Inflamabilidad Local</b>	<b>1</b>	1	1	2	3
	<b>2</b>	1	2	3	4
	<b>3</b>	2	3	4	5
	<b>4</b>	3	4	5	5

A continuación se procedió a la integración entre los valores de este resultado y de los Componentes Meteorológicos.

		<b>Coinveg + Inflamabilidad</b>					
		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Componentes Meteorológicos</b>	<b>1</b>	0	1	1	2	2	3
	<b>2</b>	0	1	2	2	3	4
	<b>3</b>	0	2	2	3	4	4
	<b>4</b>	0	2	3	4	4	5
	<b>5</b>	0	3	4	4	5	5

La existencia de Focos de Incendios se ha considerado a partir de los parámetros distancia a usos de riesgo y distancia a vías de comunicación. Se ha considerado como Valor 1 cuando en alguno de estos parámetros presenta la Clase 1. La unión de focos de incendio y combustibilidad, permite determinar el Riesgo de Inicio de Incendio, la cual se realizó mediante la siguiente matriz:

		Combustibilidad					
		0	1	2	3	4	5
Focos de Incendio	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	2	3	4	5

Una vez conocido cual es el riesgo de Inicio de Incendio en el territorio para cada semestre es interesante conocer en qué zona su propagación será más rápida en aras de facilitar la planificación de las labores de prevención y extinción en las campañas de incendio. Para determinar la velocidad de propagación del incendio se utiliza el grado de pendiente del terreno como factor indicador de la misma: a mayor pendiente, mayor velocidad de propagación y por tanto mayor riesgo de incendio.

Finalmente se obtuvo mapa de Riesgo de Incendio del territorio del Municipio de Temascalapa, para los dos semestres (Mapa 23 y 24) (Ver Anexo cartográfico) mediante la combinación entre el Riesgo de Inicio de Incendio y la Pendiente, conforme a la siguiente matriz:

		Riesgo de Inicio de Incendio					
		0	1	2	3	4	5
Pendiente	1	0	1	1	2	3	3
	2	0	1	2	3	3	4
	3	0	2	3	3	4	5
	4	0	3	3	4	5	5

Se calcularon las frecuencias con que aparecen estas clases de Riesgo de Incendio en el municipio.

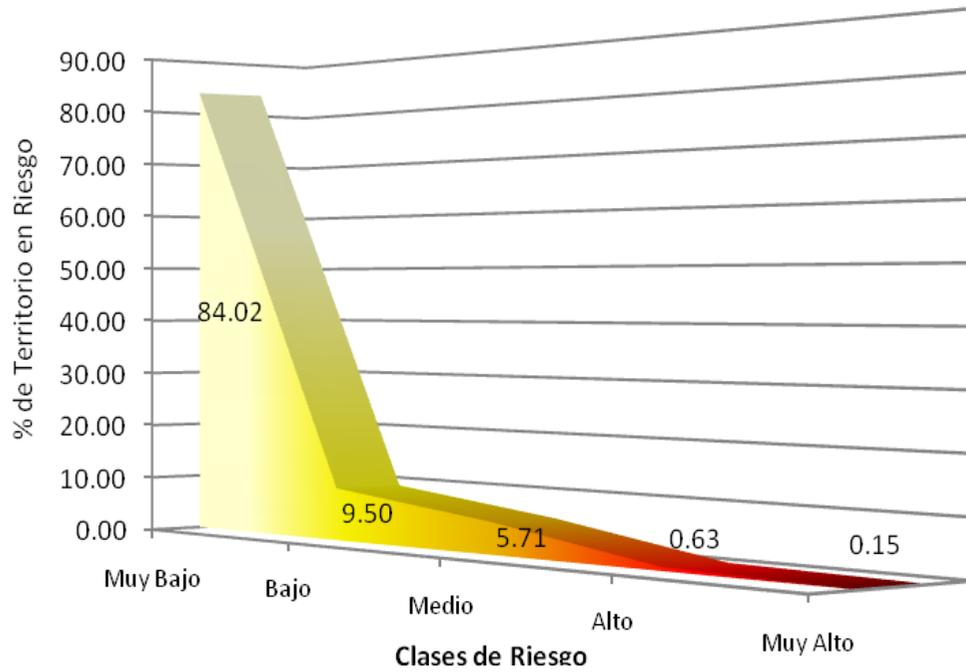
Primer Semestre (Enero – Junio)

Clases	Hectáreas	Cuadrículas
<b>1. Riesgo Muy Bajo</b>	16,570	66280
<b>2. Riesgo Bajo</b>	1,873	7490
<b>3. Riesgo Medio</b>	1,126	4504
<b>4. Riesgo Alto</b>	124	495
<b>5. Riesgo Muy Alto</b>	28	112
<b>Total</b>	<b>19,721</b>	<b>78881</b>

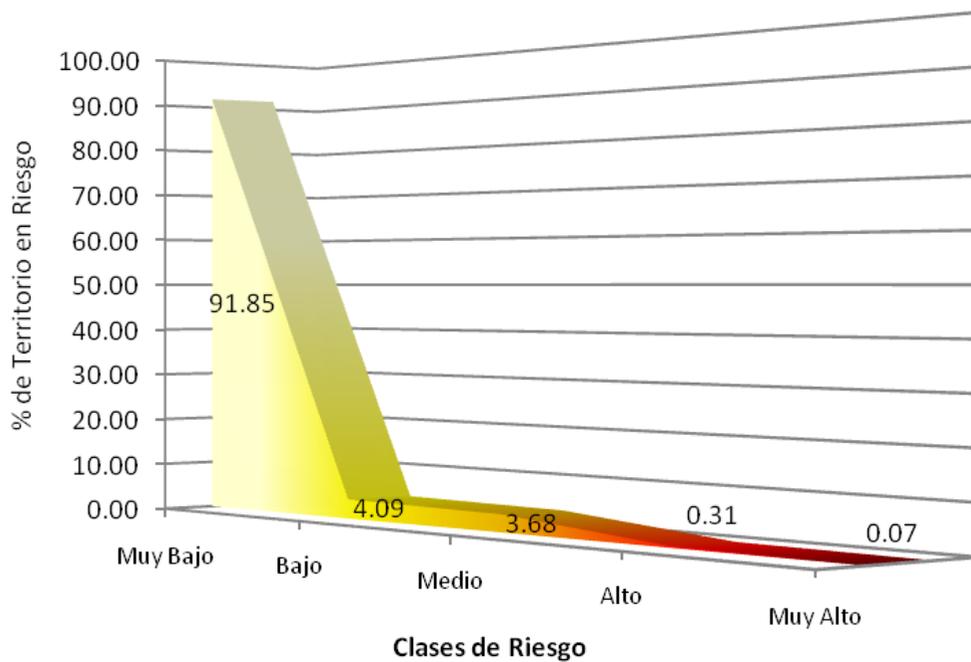
Segundo Semestre (Julio – Diciembre)

Clases	Hectáreas	Cuadrículas
<b>1. Riesgo Muy Bajo</b>	18,115	72458
<b>2. Riesgo Bajo</b>	807	3226
<b>3. Riesgo Medio</b>	725	2901
<b>4. Riesgo Alto</b>	62	247
<b>5. Riesgo Muy Alto</b>	12	49
<b>Total</b>	<b>19,721</b>	<b>78881</b>

A partir de estos cálculos se obtuvo mediante un análisis estadístico el porcentaje de riesgo de cada clase para cada semestre, resultando lo siguiente:



**Gráfica 4.** Superficie de Temascalapa (%) que presenta Riesgo de Incendio (1<sup>er</sup> Semestre).



**Gráfica 5.** Superficie de Temascalapa (%) que presenta Riesgo de Incendio (2<sup>do</sup> Semestre).

Se puede observar que para el primer semestre del año (Mapa 23) (*Ver Anexo cartográfico*) el 84% de superficie del territorio de Temascalapa tiene riesgo de incendio muy bajo y el 9.5% se encuentra en la clase baja, mientras tanto, solo el 0.6% de la superficie del municipio pertenece a la clase muy alta y el 0.1% a la clase alta. Mientras que para el segundo semestre los resultados cambian ligeramente, pues la clase muy baja cuenta con el 91.8% del territorio y el 4% pertenece a la clase de riesgo bajo, y finalmente el 0.3% del total del municipio tiene riesgo muy alto y el 0.07% tiene riesgo alto. Cabe mencionar que las evaluaciones de riesgo de incendio se basan en la relación funcional entre los factores ambientales que los ocasionan, incluyendo las variables meteorológicas, el tipo de vegetación, el estado del material combustible, las características topográficas del terreno (pendiente, exposición y altitud), las carreteras, los poblados y las áreas recreativas (Manzo, 2006).

Estos resultados muestran una disminución del riesgo de incendio en el segundo semestre (Mapa 24) (*Ver Anexo cartográfico*), el cual puede estar provocado por el periodo de lluvias y la época de invierno, ya que el primer semestre está considerado como temporada seca, como lo menciona Juárez (2008). Las estadísticas muestran que Temascalapa tiene una precipitación de 37.8 mm, un rango de evapotranspiración de 163 mm y un promedio de temperatura de 31.1°C, para el primer semestre. En tanto que en el segundo semestre la precipitación aumenta a 62.5 mm (más del 60%), mientras que la temperatura promedio baja a 29.8°C y la evapotranspiración media es de 126.1 mm. Este comportamiento de la precipitación y la temperatura en el segundo semestre trae consigo que la evapotranspiración provee de agua y evite la desecación de la vegetación y por lo tanto la hace menos susceptible al inicio de un incendio; entonces el riesgo de incendio dependerá de la variación de los factores climatológicos a lo largo de un periodo de tiempo (Aramburu y Escribano, 1993).

Otro factor importante para el desarrollo de un incendio es la topografía y la exposición al sol, ya que con pendientes muy fuertes se acelera el proceso de propagación debido a que los combustibles están más cerca de las llamas, además donde existe una alta exposición al sol durante el día, el precalentamiento del combustible es más rápido, y por último, la velocidad del viento aumenta y se desarrolla rápidamente en la columna de convección (Boulandier *et al.*, 2001). Es así que la distribución de áreas quemadas mostraría una tendencia a incrementarse en cierto tipo de elevación, pendiente y orientación del terreno, distribuyéndose principalmente en altitudes medias y pendientes pronunciadas (Juárez, 2008). Esto indica que a mayor pendiente mayor aceleración de la propagación ya que la fase de precalentamiento es más rápida e incrementa la tasa de combustión

(Cortés, 2006). Otro punto importante en cuanto a la aceleración del incendio es el viento y para ello la topografía tiene una función significativa en la velocidad y dirección de éste (Boulandier *et al.*, 2001), puesto que modifica la flama respecto a la orografía del terreno y al contacto con la superficie del combustible (Chico, 2010), lo anterior iniciaría o aceleraría un incendio.

En Temascalapa existen 208 Ha que representan el 1.05% del total del territorio con pendientes mayores a 18° y es aquí donde existe el riesgo de incendio muy alto y alto, pero este factor no es significativo, ya que el municipio se encuentra en una zona con más del 79% del total del territorio con una pendiente menor a 4.5° y fisiográficamente el municipio tiene más del 59% de territorio en zonas de fondo de valle, por tal motivo se puede explicar por qué en Temascalapa predomina el riesgo de incendio muy bajo a bajo.

Según Juárez (2008) el combustible es indispensable para generar un incendio, así mismo, influye notablemente la densidad de la vegetación por unidad de superficie, pues los efectos del calor llegan más rápidamente y menos amortiguados cuanto mayor sea la proximidad de unas plantas a otras (Boulandier *et al.*, 2001); por lo tanto, las características del tipo de vegetación tienen gran influencia en el desarrollo de incendios forestales.

En base a lo anterior, los tipos de vegetación que presentaron riesgo muy alto fueron matorral crasicaule y pastizal inducido, dado que son tipos de combustibles ligeros (DGPC, 2008). El pastizal como se ha descrito anteriormente es un tipo de vegetación que surge a consecuencia del pastoreo intenso, de actividades agrícolas o de algunos incendios, y permanece como tal mientras perdura la actividad humana que lo mantiene (INEGI, 2005). Estas características aunadas a que es un tipo de vegetación que contiene poca cantidad de agua, por presentarse en zonas semiáridas y áridas (Jiménez, 1989), hacen de ella muy propensa a generar un incendio.

Por otra parte, otro tipo de vegetación presente en la clase de riesgo muy alto es matorral crasicaule; el cual existe generalmente donde hay ganadería y se utiliza como forraje una vez que se les han eliminado las espinas, generalmente mediante el fuego (INEGI, 2005). Lo que trae como consecuencia desperdicios de forraje y que al secarse por las altas temperaturas son propensos a incendiarse. Este tipo de vegetación solo es abundante en Temascalapa en zonas donde es utilizado

en cultivos, pero algunas veces son abandonados provocando el desecamiento y con ello el riesgo de incendiarse (GMT, 2010).

El bosque de encino presenta riesgo medio a alto, aunque en probabilidad debería ser el que presentase riesgo muy alto debido a ser vegetación caducifolia que forma combustibles, las cuales son altamente inflamables, al igual que la elevada cantidad de leño, lo que ocasiona un mayor riesgo, sin contar las actividades como la deforestación que están ligadas a los incendios forestales (Chico, 2010).

Retomando la información antes mencionada, las zonas con mayor probabilidad de un incendio para el primer semestre son la parte baja de Cerro Gordo, en donde Santa María Maquixco tiene riesgo medio; la parte suroeste del municipio de Temascalapa, siendo aquí las localidades de Santa Ana Tlachihualpa y San Luis Tecuahutitlán con riesgo bajo, mientras que, Álvaro Obregón tiene riesgo muy alto, debido a que es una localidad que se encuentra rodeada de pastizal, matorral y agricultura, además de tener un rango de pendiente de 17 a 30°, y como se menciona es un factor importante para el desarrollo y propagación de un incendio. Para el segundo semestre, la parte suroeste sigue con predominio de riesgo de incendio, aquí la localidad de Santa Ana Tlachihualpa tiene riesgo bajo, mientras que Álvaro Obregón pasó de riesgo muy alto a alto; aunque el factor pendiente sigue influyendo, tuvo un descenso debido a que la temperatura disminuye y la precipitación aumenta, teniendo húmeda a la vegetación.

A pesar de lo anterior, como se puede observar en los resultados más del 90% del total del territorio tiene una clase de riesgo de incendio de muy baja a baja, esto se debe a que más del 80% del territorio municipal se compone de agricultura, tal como el cultivo de maíz, trigo y frijol, pues todos éstos cultivos son considerados de temporal porque requiere breves periodos con determinado clima para sembrarse, crecer, desarrollarse y cosecharse (Juan, 2007). Por tal motivo este tipo de vegetación presenta riesgo muy bajo debido a que los cultivos están en constante humedad lo que inhibe un posible riesgo de incendio.

Por tal motivo existen pocos registros de incendios localizados en Temascalapa, uno de los más recientes fue en la zona boscosa del Cerro Gordo, ubicado en las inmediaciones de los municipios de Temascalapa, Axapusco, Otumba y San Martín de las Pirámides, el cual fue provocado debido a la

resequedad de la tierra, el intenso calor y la impertinencia del hombre por dejar una fogata encendida, lo que ocasionó un incendio que consumió más de 20 hectáreas de Bosque de encino, además de pastizal y matorral (Milenio, 2008). En síntesis este problema no se presenta con frecuencia debido a los factores anteriormente mencionados, además de que existe cuidado especial en cerro gordo donde se encuentra concentrado el bosque de encino, dado que es un área natural protegida, por lo que el departamento de protección civil del municipio de Temascalapa tiene un programa de vigilancia sobre posibles incendios (GMT, 2010).

Estos datos concuerdan con el Programa de Prevención para evitar Incendios Forestales hecho por Protección Civil del Estado de México, donde describen a Temascalapa dentro de los 29 municipios con baja incidencia de incendios forestales (DGPC, 2008).

### **8.3 Elaboración de un modelo para la propuesta de la mejor localización de un relleno sanitario (vertedero de residuos sólidos urbanos).**

La basura se ha convertido, debido al crecimiento de la población en las ciudades, en una de las principales problemáticas, lo que ocasiona un mayor consumo de productos, generando así desechos orgánicos e inorgánicos (Briec, 1999). Esto provoca la proliferación de insectos, roedores y microorganismos patógenos. Y si a eso le agregamos un mal sistema de gestión de la basura, el resultado viene siendo un deterioro y depreciación del entorno debido a la contaminación del aire, del agua y del suelo (Mora, 2004).

La Zona del Valle de México ha tenido un crecimiento desmedido a partir del siglo XX, en que han cambiado tanto los estilos de vida como los recursos necesarios para mantener a la población. (Álvarez, 2002). Siendo las principales fuentes de basura los desperdicios domiciliarios que representan el 48.13% del volumen total y los comerciales, servicios, especiales y otros participan con el 51.87% (Quezada, 2001).

Actualmente el Estado de México reporta una generación estimada de 15,110 ton/día de residuos sólidos urbanos, la composición de estos residuos son de 38.29% de residuos orgánicos y 61.71% de residuos inorgánicos. Del total de todos los residuos, se estima que el 48.12% son tratables, el 14.03% de los residuos son reciclables, el 24.26% corresponde a los residuos no reciclables y el 13.59% de los residuos se identifican como otros (SMAEM - BMZ, 2007).

Según la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), en su artículo 115, fracción III, inciso C), es responsabilidad de los municipios llevar a cabo las funciones y servicios públicos siguientes: Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en sus artículos 10 y 96, establecen que los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos y el promover la reducción de la generación, valorización y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejos especial. Por último la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), establece en su artículo 137 la autorización de los municipios el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.

Mientras que para el caso de la disposición y ubicación final de los residuos sólidos, la LGPGIR, en su artículo 97 decreta que las normas oficiales mexicanas (NOM's) establecerán los términos a que deberá sujetarse la ubicación de los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, en rellenos sanitarios o en confinamientos controlados. Además de ello, también regularán los usos del suelo de conformidad con los programas de ordenamiento ecológico y desarrollo urbano, en los cuales se considerarán las áreas en las que se establecerán los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

La NOM-083-SEMARNAT-2003 especifica la protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

En Temascalapa existe un Cementerio Nuclear en la localidad de Maquixco, en el cual desde diciembre de 1984 se almacenan aproximadamente 98 toneladas de varilla y restos de cianuro provenientes de Chihuahua. Este Cementerio Nuclear no cuenta con las especificaciones ambientales necesarias, y por lo tanto, se le han atribuido nacimientos de niños con malformaciones físicas (El Universal, 2011). Este depósito radioactivo tiene una superficie de entre 18 y 20 hectáreas, está cercado con lámina y se localiza en el kilómetro 18.5 de la carretera Tizayuca-Otumba entre los pueblos de San Juan Teacalco y Santa María Maquixco a menos de 75 kilómetros de la Ciudad de México (La Jornada, 2010).

Es por ello que el presente estudio se dirige a la determinación de las mejores áreas para la ubicación de un vertedero de RSU en el municipio de Temascalapa, atendiendo a un conjunto de criterios de medio físico, biológico e infraestructuras del municipio, mediante la aplicación del SIG.

### 8.3.1 Modelo para la propuesta de la mejor localización de un relleno sanitario (Vertedero RSU)

La siguiente propuesta fue tomada y modificada por Martínez-Alegría *et al.*, 2000. Su trabajo estudia la posible ubicación de un vertedero de residuos sólidos urbanos (RSU), atendiendo a un conjunto de criterios relacionados con información georreferenciada como son; la vegetación y usos del suelo, pendiente, distancia a vías de comunicación, distancia de ríos primarios y secundarios, distancia a fallas y fracturas y Área de amortiguamiento de los núcleos Urbanos.

**Pendiente:** Las zonas más llanas tienen mayor capacidad para la construcción del vertedero de residuos sólidos urbanos, mientras que las zonas con pendientes superiores a  $15^\circ$  se han excluido al considerar que no tienen capacidad para albergar estas instalaciones. Se han diferenciado y propuesto tres clases, que corresponden a los siguientes intervalos de pendiente:

Clase 0	Pendiente mayor de $15^\circ$	Excluyente
Clase 1	Pendiente entre $9^\circ$ - $15^\circ$	Menor Capacidad
Clase 2	Pendiente menor de $9^\circ$	Mayor Capacidad

**Capacidad Portante:** Las litologías presentes en la zona se han agrupado en dos clases en función de la capacidad portante para la instalación del Vertedero RSU. Las clases propuestas son las siguientes:

Clase 1	Menor Capacidad = aluviales, coluviales y mixtos aluviales-coluviales
Clase 2	Mayor Capacidad = Rocas ígneas, metamórficos (por fracturación) y los restantes terrenos del cuaternario

**Distancias a Vías de Comunicación:** Cuanto menor es la distancia más fácil y económica será el transporte de los residuos y el acceso al posible vertedero. Se ha formulado una clasificación del territorio según la distancia a carreteras principales o secundarias, diferenciando las clases, que se exponen continuación:

Clase 0	No Apto: Más de 2 km de cualquier carretera
Clase 1	Entre 1 y 2 km a carreteras locales (terracería)
Clase 2	Menos de 1 km a carreteras locales (terracería)
Clase 3	Entre 1 y 2 km a carreteras generales o vías rápidas (Asfaltadas)
Clase 4	Menos de 1 km a carreteras generales o vías rápidas (Asfaltadas)

**Distancia a los recursos hidrológicos (ríos y cuerpos de agua):** Se clasifica el territorio planteando dos clases según el caudal de los cuerpos hidrológicos y la distancia a los cursos de agua superficial:

Clase 0	No apto: Una distancia menor a 400 m de un río o cuerpo de agua.
Clase 1	Apto: Una distancia mayor a 400 m de un río o cuerpo de agua.

**Distancia a fallas y fracturas:** Las fracturas son discontinuidades aproximadamente planas que separan bloques de roca con desplazamiento perpendicular al plano de ruptura, pero cuando la roca ha tenido un movimiento relativo a lo largo del plano de la fractura, es llamada falla (García & López, 2003). Por tanto es un factor de restricción para el establecimiento del vertedero de residuos sólidos urbanos (RSU), ya que no se puede establecer en zonas de fallas, por el riesgo de contaminación en los mantos freáticos. En función de lo antes descrito se propone clasificar el territorio en dos clases:

Clase 0	No Apto: Una distancia menor a 1 km de las fallas y fracturas
Clase 1	Apto: Una distancia mayor a 1 km de las fallas y fracturas

**Área de Amortiguamiento de los Núcleos Urbanos:** Dado que este tipo de instalaciones generan ciertas problemáticas sociales por efecto de la producción de gases que trae como consecuencia malos olores, se han propuestos los siguientes criterios de clasificación:

---

Clase 0 No Apto: Una distancia menor a 1 km a los Núcleos Urbanos

---

Clase 1 Apto: Una distancia mayor a 1 km a los Núcleos Urbanos

---

**Vegetación y Usos del Suelo:** Las condicionantes van en cuanto al uso del suelo, de forma que se excluyen las zonas cuya superficie está ocupada de forma mayoritaria por unidades protegidas e importantes ecológicamente, así como las correspondientes a núcleos urbanos. En estas zonas, el uso condiciona en gran medida las posibilidades de instalación ya que, por ejemplo, no es posible instalar un vertedero de residuos sólidos urbanos sin cambiar las actividades actuales. En algunos casos las especificaciones de selección del sitio, el diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial se llevan a cabo por la NOM-083-SEMARNAT-2003. Para este factor se establecieron 4 clases:

---

Clase 0 No Apto: Núcleos Urbanos (NU) Excluyente

---

Clase 1 Menor Aptitud: Bosque de Encino (Be)

---

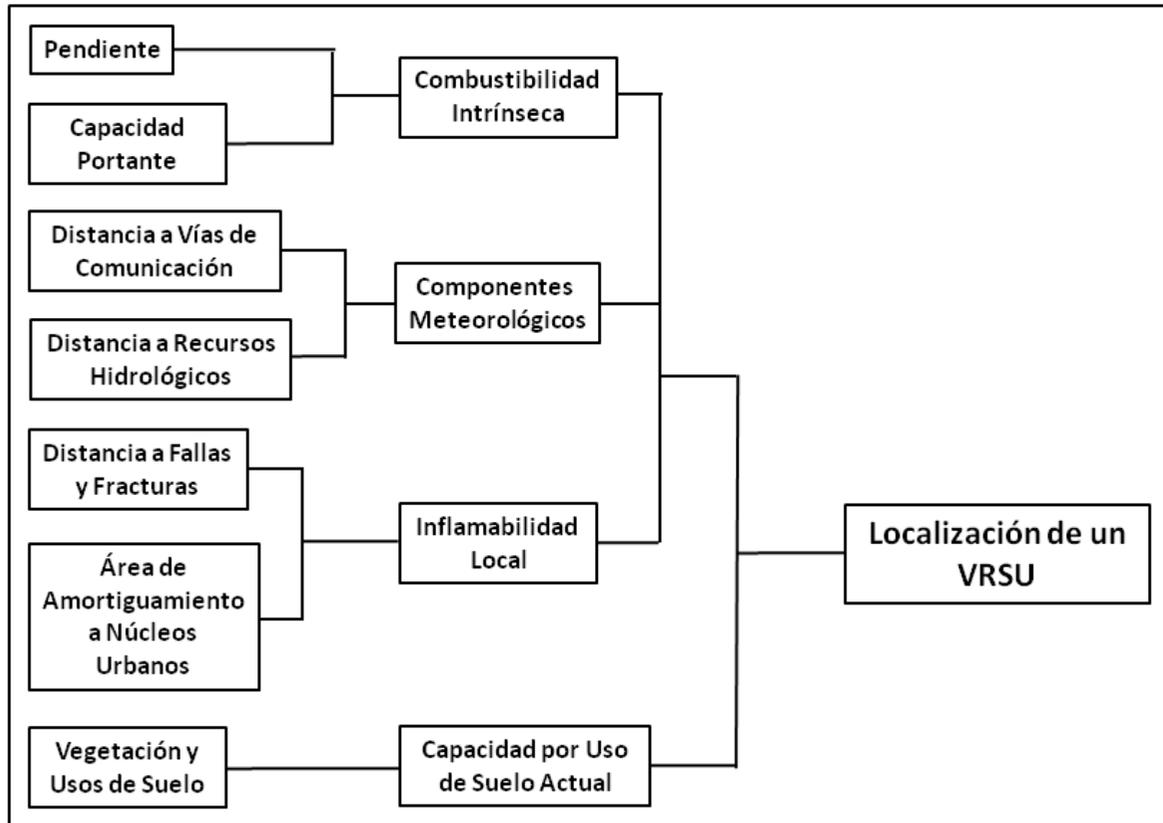
Clase 2 Matorral Crasicaule (Mc)

---

Clase 3 Mayor Aptitud: Agricultura de temporal (At), Pastizal Inducido (Pi)

---

A partir de las características y clasificaciones anteriores se realizó un esquema para el desarrollo del modelo para la mejor localización de un vertedero de RSU, tomando como base la cartografía temática que se muestra en la Figura 4.



**Figura 5.** Modelo para la mejor localización de un Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos para el Municipio de Temascalapa.

En primer lugar se excluyen del modelo aquellas superficies ocupadas de forma mayoritaria por áreas urbanas, áreas cuya vegetación tiene prioridad ambiental y que por su dedicación actual no pueden albergar ninguna actividad de éste tipo.

A continuación, se combinan las clases establecidas para la capacidad portante (litología) y pendiente, para obtener la clase de capacidad geotécnica. De esta integración resultan tres clases, además de unas superficies que quedan excluidas por presentar rangos de pendiente superiores a 15°.

		Pendiente		
		1	2	E
Capacidad Portante	1	1	2	E
	2	2	3	E

E = Excluyente

Por otro lado, se combinan las clases de distancia a las vías de comunicación y de distancia a los recursos hidrológicos, para obtener la clase de capacidad de abastecimiento. Los resultados de esta integración presentan cuatro clases.

		Distancia a Vías de Comunicación				
		0	1	2	3	4
Distancia a los Recursos Hidrológicos	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	2	3	4

Para obtener la capacidad de localización se realiza la unión de la distancia a las fallas y fracturas y el área de amortiguamiento de los núcleos urbanos, aplicando la siguiente matriz.



**Distancia a Fallas y Fracturas**

		<b>0</b>	<b>1</b>
		<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Área de Amortiguamiento a los Núcleos Urbanos</b>	<b>0</b>	0	0
	<b>1</b>	0	1

El siguiente paso para la determinación de la localización del vertedero de residuos sólidos urbanos (RSU) es la integración de los valores obtenidos de la capacidad geotécnica y de capacidad de abastecimiento.

**Capacidad Geotécnica**

		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>E</b>
		<b>0</b>	0	0	0
<b>Capacidad de Abastecimiento</b>	<b>1</b>	1	1	2	E
	<b>2</b>	1	2	3	E
	<b>3</b>	2	3	4	E
	<b>4</b>	3	4	4	E

Posteriormente se procedió a la integración del emplazamiento de la capacidad geotécnica y la capacidad de abastecimiento con la capacidad de localización.

**C. Geotécnica + C. Abastecimiento**

		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
		<b>0</b>	0	0	0	0
<b>Capacidad de Localización</b>	<b>1</b>	0	1	2	3	4

Finalmente se realizó el emplazamiento de esta categoría con la capacidad por uso de suelo actual, resultando cuatro clases, los cuales se representan en la siguiente matriz.

**C. Geotécnica + C. Abastecimiento + C. Localización**

		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
<b>Capacidad por Uso de Suelo Actual</b>	<b>0</b>	0	0	0	0	0
	<b>1</b>	1	1	2	3	0
	<b>2</b>	1	2	3	4	0
	<b>3</b>	2	3	4	4	0

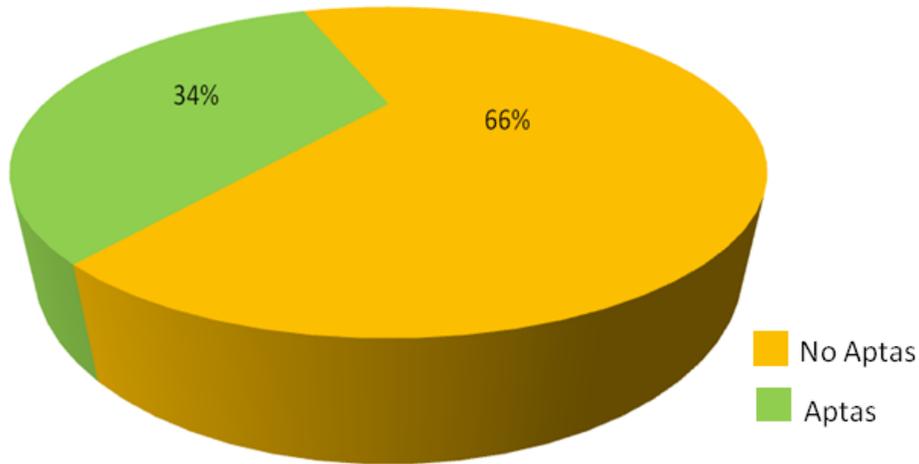
Los valores de frecuencias para las áreas No Aptas y Aptas del Municipio de Temascalapa fueron

<b>Clases</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>Cuadrículas</b>
<b>No Aptas</b>	13,033	52131
<b>Aptas</b>	6,688	26750
<b>Total</b>	19,721	78881

De las cuales se obtuvieron cuatro clases que se clasificaron de menor a mayor aptitud, obteniendo los siguientes valores de frecuencias.

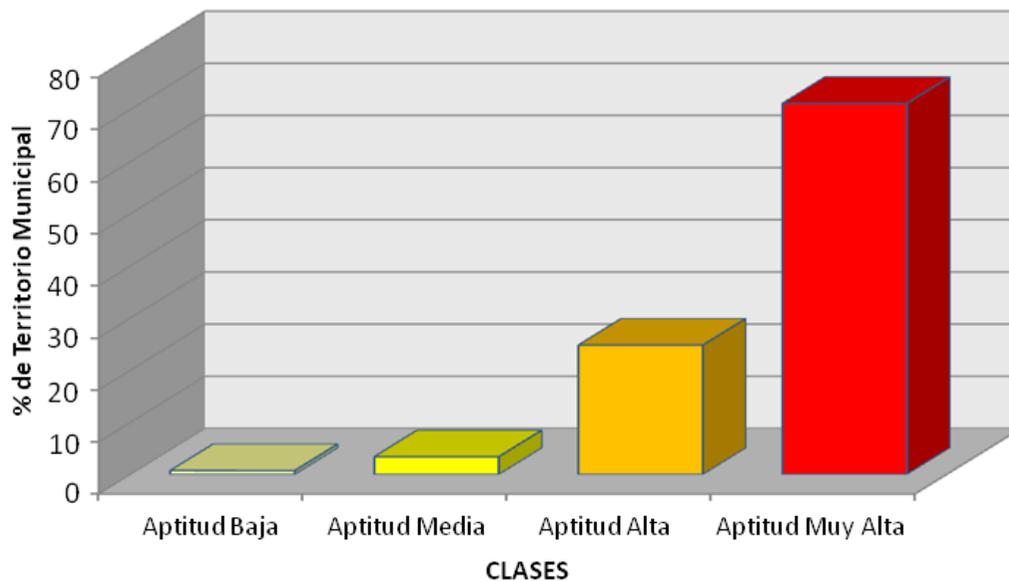
<b>Clases</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>Cuadrículas</b>
<b>Aptitud Baja</b>	48	189
<b>Aptitud Media</b>	226	904
<b>Aptitud Alta</b>	1,657	6628
<b>Aptitud Muy Alta</b>	4,757	19029
<b>Total</b>	6,688	26750

El resultado del modelo fue la obtención de la cartografía correspondiente a la localización óptima de un vertedero de RSU del Municipio de Temascalapa (Mapa 25) (Ver Anexo cartográfico), en este mapa se muestran las zonas consideradas como aptas las cuales abarcan más del 34% (Gráfica 6) del total de territorio municipal.



**Gráfica 6.** Porcentaje de territorio apto y no apto para la mejor ubicación de un vertedero de RSU.

Cabe destacar que del 34% de zonas aptas, el 71% representa la clase muy alta (Mapa 26) (Ver Anexo cartográfico) para la mejor ubicación del vertedero de RSU, esto se debe a que el territorio de Temascalapa tiene un uso de suelo agrícola y pastizal, el cual en cuanto a los valores de vegetación y uso de suelo tienen la clase 4 (máxima aptitud para la mejor ubicación del Vertedero de RSU).



**Gráfica 7.** Zonas (%) según aptitud para la mejor ubicación del Vertedero de RSU.

En base a lo anterior, es preciso determinar la producción de residuos sólidos en el municipio, para ello la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México (SMAEM), registró en el año 2007 al Estado de México con 15,110 ton/día de residuos sólidos urbanos, esto significa que en el municipio se estima que se producen alrededor de 358 kg/hab/año de RSU, así la generación per cápita promedio en el municipio es de 0.99 kg/hab/día de basura.

Con estos datos se puede estimar la producción de RSU por localidad (Tabla 17), los cuales permiten establecer un orden de prioridad en cuanto a las áreas seleccionadas para el vertedero, de esta manera la planificación de dichas instalaciones dentro del proceso de ordenación territorial se realiza de un modo objetivo sobre bases reales de conocimiento del medio ambiente (Martínez-Alegría, *et al.*, 2000).

<b>LOCALIDADES DEL MUNICIPIO</b>	<b>No. Habitantes</b>	<b>RSU (kg/año)</b>
<i>Temascalapa</i>	6455	2,310,890
<i>Ixtlahuaca de Cuauhtémoc</i>	3468	1,241,544
<i>Las Pintas</i>	1020	365,160
<i>Presa del Rey</i>	668	239,144
<i>San Bartolomé Actopan</i>	4549	1,628,542
<i>San Cristóbal Colhuacán</i>	754	269,932
<i>Santa María Maquixco</i>	956	342,248
<i>San Juan Teacalco</i>	2970	1,063,260
<i>San Luis Tecuahutitlán</i>	5699	2,040,242
<i>San Mateo Teopancala</i>	973	348,334
<i>San Miguel Atlamajac</i>	2088	747,504
<i>Santa Ana Tlachihualpa</i>	5781	2,069,598
<i>Álvaro Obregón</i>	423	151,434

**Tabla 17.** Estimación de la producción anual de RSU en las localidades del municipio de Temascalapa.

Como se puede observar hay cinco localidades entre 3 y 6 mil habitantes aproximadamente, además de, San Juan Teacalco que superan el millón de kilogramos anuales en producción de RSU, de estas localidades hay tres con más de 5 mil habitantes que superan los dos millones de kilogramos anuales de RSU, por lo cual, se estima que el vertedero recibirá anualmente 12,817.8 ton/año. Esto significa que entre más población exista más producción de basura se genera. En este contexto, el tiempo que estará en operación el sitio para la disposición de los residuos sólidos está en función del

volumen disponible en el sitio seleccionado, del método de operación del relleno sanitario y del volumen de residuos compactados a disponer.

En base a este criterio, se excluyen superficies que están ocupadas por unidades protegidas o que tienen importancia ecológica, dejando como zonas aptas al pastizal y el área agrícola, además de considerar una superficie mínima de 50 ha, sin embargo, a fin de disponer de un resguardo superficial se considera un umbral de 100 has, para una vida estimada del vertedero de 50 años (Martínez-Graña, *et al.*, 2006). A partir de este análisis, se determinó la aptitud de cuatro superficies (Mapa 27) (*Ver Anexo cartográfico*) (Tabla 18) en base a las hectáreas con las que cuenta y la calidad ambiental que posee.

Área	Superficie (Ha)
1	130.1
2	262.6
3	373.9
4	435.3

**Tabla 18.** Zonas aptas para la ubicación de un Vertedero de RSU en el municipio de Temascalapa.

Por lo tanto el área que cumple con los requerimientos para la mejor ubicación del vertedero de RSU, es la uno; dado que es óptima en cuanto a superficie ya que cuenta con el umbral de 100 Ha, además de que esta área se encuentra ubicada en la parte central del municipio colindando con las localidades de Temascalapa, San Bartolo, San Juan Teacalco y San Mateo Teopancala, de esta manera se ubica a más de 1 km de distancia de estas cuatro localidades, como se planteó en el factor de amortiguamiento a núcleos urbanos. Además, se encuentra ubicada cerca de vías de comunicación que conecta a las cuatro localidades, lo que haría más fácil y económico el transporte de los residuos y el acceso al vertedero. Este proyecto le beneficiaría al municipio desde el punto de vista monetario, social y lo más importante ambiental.

#### **8.4 Elaboración de un modelo para la propuesta de la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales.**

La contaminación causada por la especie humana siempre ha existido, sin embargo, en la actualidad está alcanzando proporciones siniestras. Dentro de la contaminación antrópica; las fuentes de contaminación en su mayoría provienen de tuberías, caños, alcantarillas y cuerpos de agua superficiales, fábricas, automotrices, etc.; por su parte la contaminación indirecta procede, en muchos casos, tanto de la agricultura y de los escurrimientos naturales hacia los mantos de agua subterránea sobre regiones extensas, como de la captación de contaminantes del aire y del suelo que son arrastrados por el viento y la lluvia (Ancona, 2004).

Las grandes ciudades son por supuesto una de las principales fuentes de contaminación de las aguas, a causa de la extremada concentración de personas, por unidad de área, que requieren y disponen de una gran cantidad de este recurso; luego de usarlo, es evacuado en forma de aguas negras, que se mezclan con las corrientes naturales y llegan finalmente a los grandes depósitos marinos (Quezada, 2009). Sin embargo, esta no es la única problemática de las ciudades ya que con el crecimiento excesivo de las mismas, el consumismo aumenta generando con ello infinidad de residuos sólidos, los cuales contribuyen progresivamente al aumento de la contaminación, llegando al punto de encontrarse de manera natural en las aguas negras (Vizcaíno, 1992).

En la actualidad existe alguna alternativa para tratar el agua residual, que es una planta de tratamiento, cuyo objetivo es conseguir, a partir de aguas negras o mezcladas y mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, un agua efluente de mejores características de calidad y cantidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados (García, 2007). Realizar el tratamiento de aguas residuales, reduce el impacto a las aguas receptoras, (lagos, ríos barrancas, lagunas, etc.) maximiza los beneficios de rehusó y minimiza el impacto hacia otros medios receptores (aire y suelo) (García *et al.*, 2002).

Actualmente el uso de las herramientas SIG ofrece un gran potencial al análisis territorial del medio, estas herramientas permitirían resolver necesidades de la administración municipal, es por ello realizar un estudio para determinar la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales situada en el Municipio de Temascalapa.

### 8.4.1 Modelo para la propuesta de la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales

La siguiente propuesta fue tomada de Gaspar & Jiménez (2006), este trabajo pretende realizar un estudio para determinar la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales, utilizando herramientas SIG como; pendiente, vegetación, distancia a ríos, área de amortiguamiento de núcleos urbanos, accesibilidad, vulnerabilidad y deslizamiento, ya que se trata de un análisis territorial y del medio.

**Pendiente:** Para evitar la degradación, la planta de tratamiento debe situarse en una zona de pendiente mínima o incluso inexistente, evitando el desborde de aguas torrenciales o la acumulación de agua en un determinado espacio. Para ello se reclasifico la pendiente en cinco clases de la más apta hasta la que tiene menor aptitud.

<b>Clase 1</b>	Mayor aptitud: 0 – 3°
<b>Clase 2</b>	3° – 10°
<b>Clase 3</b>	10° – 20°
<b>Clase 4</b>	20° - 30°
<b>Clase 5</b>	Menor Aptitud: > 30°

**Vegetación:** Para evitar la contaminación de los mantos acuíferos o de algún tipo de vegetación que se encuentre dentro de un programa de áreas naturales protegidas se excluyen las zonas que por relevancia ambiental o antrópica se encuentren asociadas.

<b>Clase 0</b>	No Apto (Bosque y Núcleos Urbanos)
<b>Clase 1</b>	Apto (Matorral, Pastizal y área Agrícola)

**Distancia a Recursos hidrológicos:** La ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales debe de estar ubicada cerca de un río, ya que el agua pasa por una serie de tratamientos y procesos, para posteriormente devolverla a un cauce receptor (Santos, 2003), pero siempre manteniendo una cierta distancia de seguridad para evitar cualquier tipo de riesgo de inundaciones. En Temascalapa existen ríos de temporal, es por ello que se tomaron en cuenta cada uno de ellos, y las clases fueron las siguientes:

<b>Clase 0</b>	No Apto (0 – 500 m)
<b>Clase 1</b>	Apto (> a 500 m)

**Distancia a Núcleos Urbanos:** Hay que tener en cuenta que dicha planta de tratamiento va a originar olores que pueden causar importantes molestias a los habitantes aledaños a la planta de tratamiento, por ello es de suma importancia que exista una distancia prudente entre la planta de tratamiento y cualquier núcleo urbano, para ello se propone la siguiente clasificación:

<b>Clase 0</b>	No Apto (0 – 2000 m)
<b>Clase 1</b>	Apto (> a 2000 m)

**Accesibilidad:** Es de suma importancia tomar en cuenta que el tratamiento puede suponer más contaminación que descontaminación si no se lleva a cabo el correspondiente estudio de accesibilidad a la planta, por lo que se precisa de una buena accesibilidad a la planta, es decir, que exista proximidad respecto a carreteras asfaltadas y al mismo tiempo que se encuentre alejada del núcleo de población por las razones antes descritas.

<b>Clase 0</b>	No Apto (> a 1000 m)
<b>Clase 1</b>	Más Apto (0 – 500 m)
<b>Clase 2</b>	Menos Apto (500 – 1000 m)

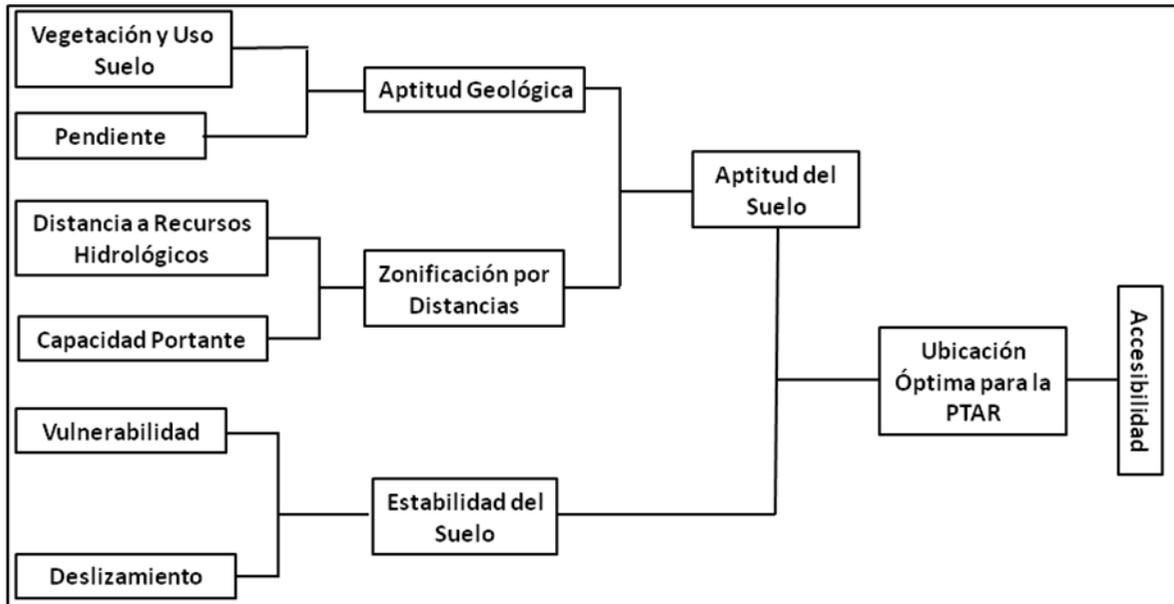
**Vulnerabilidad:** El estudio abarca un análisis de la vulnerabilidad que provocaría dicha implantación sobre espacios naturales protegidos o bien de utilidad pública, con el fin de no perjudicar su entorno ni interferir en él. Para ello se tomaron en cuenta cuatro clases en base al resultado del modelo de calidad y fragilidad de la vegetación en Temascalapa.

<b>Clase 0</b>	Menos Apto: Núcleos Urbanos
<b>Clase 1</b>	Bosque de Encino
<b>Clase 3</b>	Matorral Crasicaule
<b>Clase 4</b>	Pastizal inducido
<b>Clase 5</b>	Más Apto: Área Agrícola

**Deslizamiento:** Por último otra condición importante es que se realice un riesgo de deslizamiento (Pendiente del terreno), ya que es de vital importancia que esta planta de tratamiento no se ubique en sitios propensos a ser arrojados por dichos deslizamientos. Por ello hay que evitar no sólo el peligro de vidas humanas, sino que además una posible contaminación descontrolada, ya que si dicha infraestructura, por ejemplo, fuera obstruida, influiría directamente en el entorno donde esté implantada, perjudicando a los residentes de este municipio.

<b>Clase 0</b>	No Apto (> de 3°)
<b>Clase 1</b>	Apto (0° – 3°)

A partir de las características y clasificaciones anteriores se realizó un esquema para el desarrollo del modelo para la ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales, tomando como base la cartografía temática que se muestra en la Figura 6.



**Figura 6.** Modelo para la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales para el Municipio de Temascalapa.

En primer lugar se excluyen del modelo aquellas superficies ocupadas de forma mayoritaria por áreas urbanas, áreas cuya vegetación tiene prioridad ambiental y que por su dedicación actual no pueden albergar ninguna actividad de éste tipo. Este resultado se combina con la pendiente, en la cual se excluyen las áreas cuya pendiente supere los 10° y se obtiene la categoría de aptitud geológica.

### Vegetación y Usos de Suelos

		0	1	
Pendiente	1	0	1	} Se considera como 0 (cero), por tener pendiente mayor a 10°
	2	0	2	
	3	0	3	
	4	0	4	
	5	0	5	

Mientras tanto, se combinan las clases de núcleos urbanos (capacidad portante) y distancia a los recursos hidrológicos. Los resultados de esta integración esta denominada como zonificación por distancias, la cual presenta una clase.

**Recursos Hidrológicos**

		<b>0</b>	<b>1</b>
<b>Capacidad Portante</b>	<b>0</b>	0	0
	<b>1</b>	0	1

Para garantizar una adecuada protección de áreas naturales y de áreas antrópicas, para tener una ubicación óptima de la planta de tratamiento, se combinan las clases de vulnerabilidad y deslizamiento, dando como resultado cuatro clases y la categoría de estabilidad del uso de suelo.

**Vulnerabilidad**

		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Deslizamiento</b>	<b>0</b>	0	0	0	0	0
	<b>1</b>	0	1	3	4	5

A continuación se integran los resultados de aptitud geológica y zonificación por distancias, para arrojar la clase de aptitud del suelo.

**Aptitud Geológica**

		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Zonificación por Distancias</b>	<b>0</b>	0	0	0
	<b>1</b>	0	1	2

→ Menos Apto

↙ Más Apto

Por último se integra la clase de aptitud del suelo con estabilidad del suelo, este resultado da como final dos clases, las cuales se clasifican en más apto y menos apto.

		<b>Aptitud del Suelo</b>			
		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
<b>Estabilidad del Suelo</b>	<b>0</b>	0	0	0	} Descartado por tener pendiente mayor de 3°
	<b>3</b>	0	3	0	
	<b>4</b>	0	4	0	
	<b>5</b>	0	5	0	

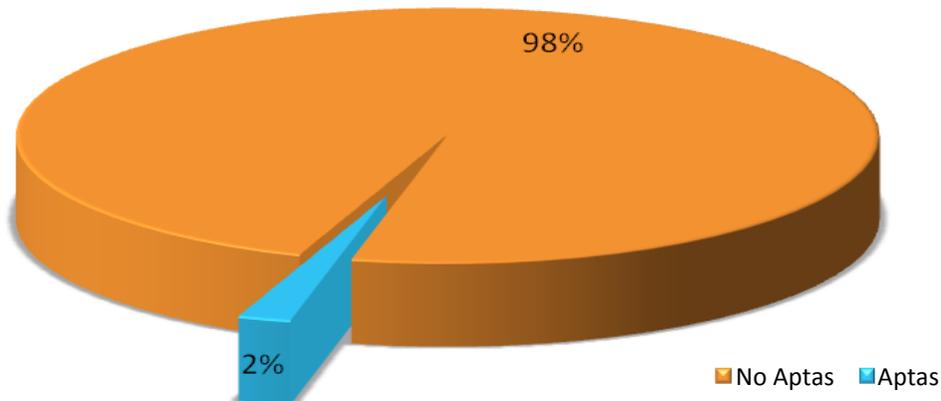
Los valores de frecuencias para las áreas No Aptas y Aptas del Municipio de Temascalapa fueron:

<b>Clases</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>Cuadrículas</b>
<b>No Aptas</b>	19,328	77312
<b>Aptas</b>	392	1569
<b>Total</b>	19,720	78881

De las cuales se obtuvieron dos zonas con aptitudes para colocar la planta de tratamiento de aguas residuales, las cuales se clasificaron de acuerdo a la calidad de la vegetación, obteniendo los siguientes valores de frecuencias.

<b>Clases</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>Cuadrículas</b>
<b>Zona Menos Apta</b>	25	100
<b>Zona Más Apta</b>	367	1469
<b>Total</b>	392	1569

El resultado del modelo fue la obtención de la cartografía correspondiente a la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales para el Municipio de Temascalapa (Mapa 28) (Ver Anexo cartográfico), en este mapa se muestran las zonas consideradas como aptas las cuales abarcan sólo el 2% del total de territorio municipal.



**Gráfica 8.** Se presenta el porcentaje del territorio para las zonas aptas y no aptas para la mejor ubicación de la planta de tratamiento en Temascalapa.

En base a este criterio dentro de la zona apta, se tienen tres zonas (Tabla 19) que cumplen con los requisitos de tamaño en hectáreas, como lo comenta Gaspar & Jiménez (2006) la condición ideal para una planta de tratamiento de aguas residuales es que sea en una zona superior a 25 ha.

Zonas	Ha
0	19,372
1	214
2	71
3	63

**Tabla 19.** Zonas aptas para la colocación de una planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Temascalapa.

Bajo este criterio la mejor ubicación para la planta de tratamiento de aguas residuales es la zona 2, la cual es un lugar de menor impacto ambiental y cumple con los requisitos que una construcción de estas características requiere; estar cerca de un recurso hidrológico, cerca de una carretera principal y localizarse en el tipo de vegetación agrícola el cual por aptitudes ambientales es de calidad baja; está zona 2 se localiza a 3 km al noreste de la cabecera municipal Temascalapa (Mapa 29) (Ver Anexo cartográfico).

Desde el punto de vista urbano las principales alteraciones ambientales están dadas por la inadecuada disposición final de las descargas de aguas residuales, ya que las mismas después de haber sido conducidas por la red de drenaje son dispuestas en terrenos agrícolas sin ningún tratamiento previo, lo que representa un grave problema al provocar infiltraciones y con ello la contaminación del subsuelo (Blanco *et al.*, 2004).

Así entonces, en el municipio, los asentamientos más importantes descargan sus aguas residuales domésticas e industriales a lagunas de oxidación de cielo abierto, localizadas a la orilla de cada localidad; y en algunos casos el vertido es hacia jagüeyes e incluso a zonas de cultivo sin ningún tratamiento, mientras que, las localidades de Presa del Rey y la parte oriente de Ixtlahuaca descargan sus aguas directo al canal El Papalote, esto representa un riesgo sanitario para la población (SEDUVI, 2005).

En la actualidad, la calidad de los ríos municipales de la región III: Ecatepec, está por debajo de los parámetros establecidos por la Comisión Nacional del Agua (CNA) para reúso en la conservación de flora y fauna y sus usos industriales debido a que presenta altos contenidos de zinc, cobre, fierro y plomo (CNA, 2010). Es por ello que una de las medidas fundamentales para disminuir los efectos de este problema es la construcción de plantas tratadoras de agua; esta circunstancia no impide llevar a cabo otras acciones e insistir en tomar todas las medidas necesarias para lograr tener en un futuro próximo recursos hídricos de mejor calidad (GMT, 2010).

La ventaja de construir una planta tratadora de aguas residuales en el municipio de Temascalapa, puede evitar el desarrollo de asentamientos humanos en zonas naturales y de uso agropecuario; asimismo evitar la contaminación de suelo y agua a partir de la construcción del sistema de drenaje, considerando un tratamiento previo de las aguas residuales, para ser reutilizadas como riego (SEDUVI, 2005), ayudando de esta manera a conservar el medio ambiente, y lo que es más importante, satisfacer las necesidades de los residentes del municipio.

### 8.5 Identificar las áreas que por su condición, relevancia ambiental o importancia cultural requieren ser protegidas, conservadas o restauradas.

El término vegetación es muy general, se refiere al conjunto o comunidad de plantas para una región y es parte esencial para que exista la vida en la tierra y, de hecho, recubre la mayor parte de los continentes. La vegetación es un término general que no describe a una forma específica de vida, ni estructura, ni división espacial, ni ninguna otra característica botánica o geográfica, si no que, se refiere exclusivamente a todo tipo de vida vegetal, ya sea salvaje o cultivada y de cualquier lugar y clima de la tierra.

La vegetación es estabilizadora de pendientes, retarda la erosión, influye en la cantidad y calidad de agua, mantiene microclimas locales, filtra la atmósfera, atenúa el ruido, es el hábitat de las especies animales, entre otras (MOPT, 1994). Este equilibrio de la vegetación con el medio ambiente, se pierde cuando las actividades humanas se interponen, debido a la tala inmoderada para extraer madera, generación de mayores extensiones de tierra para la agricultura y ganadería, construcción de más espacios urbanos y rurales e incendios (PREDES, 2005).

En este sentido, existen áreas que por relevancia ambiental requieren ser protegidas, conservadas o restauradas, por ello, en México en 1876 se inicio con un decreto que protege a zonas naturales, siendo la primera en nuestro país la Reserva Nacional “Desierto de los Leones”, donde se incluía la parcialidad de su manejo, que consideraba la existencia y protección del área natural sin gente y sin la participación de las mismas; tenía como principal objetivo el abastecimiento de agua a la ciudad de México, además del esparcimiento para sus habitantes (Yáñez, 2007). Así pues desde el inicio del decreto de áreas naturales protegidas (ANP’s) hasta el 2010, se han contabilizado 161 ANP’s (Tabla 20) (CONANP, 2011).

37	Reservas de la Biosfera
68	Parques Nacionales
4	Monumentos Naturales
6	Áreas de Protección de Recursos Naturales
29	Áreas de Protección de Flora y Fauna
17	Santuarios

**Tabla 20.** Total Áreas Naturales Protegidas de México hasta el 2010.

En este sentido se requiere de una herramienta tecnológica imprescindible que permita visualizar de una forma abstracta y precisa los hechos y fenómenos de la superficie terrestre, a partir de datos espacialmente referenciados (May *et al.*, 2008); para ellos los SIG, son una herramienta cada vez más utilizadas en el ámbito de la toma de decisiones para el manejo de ANP's, los cuales se emplean en la determinación de sitios con amenazas potenciales, detección de áreas claves de conservación, desarrollo de tareas de monitoreo, entre otros (Calderón, 2004).

Es por ello que el objetivo de este modelo es ubicar e identificar zonas que requieran ser protegidas, restauradas y/o conservadas mediante la valoración de la Calidad y Fragilidad de la Vegetación.

### **8.5.1 Valoración de la Calidad de la Vegetación**

Dada la importancia de la vegetación como elemento indicador de las condiciones ambientales del área sobre la que se desarrolla, el análisis de su calidad es en cualquier estudio del medio físico una primera aproximación a la calidad ecológica global del territorio (Escudero, 2002).

Se entiende por calidad de la vegetación su grado de excelencia o mérito para no ser alterada o destruida o, de otra manera, mérito para que su esencia, su estructura actual se conserve (Escudero, 2002).

La calidad de la vegetación se refiere tanto a los aspectos fisionómicos de pura apreciación visual como aquellos que guardan relación con los elementos de medio. La calidad visual se basa en características fisionómicas, tales como el color, la forma, la estacionalidad y estructurales como la disposición horizontal, composición, visibilidad entre otras, mientras tanto la calidad ecológica de la vegetación hace referencia a la relación que existe entre una determinada comunidad y medio en el que vive, aportando información sobre sus características (clima, sustrato, topografía, altitud, exposición), esta relación permite hablar de comunidades indicadoras como aquellas que sólo pueden vivir bajo unas determinadas condiciones del medio (MOPT, 1994).

El concepto de calidad puede estar relacionados con otros conceptos como lo menciona Montoya et al., 2001:

- Valores preceptuales y culturales, que abarcan aquellos valores subjetivos derivados del paisaje: sensaciones de misterios, grandiosidad o respeto, valores de tipo cultural o histórico, testimonios de épocas pasadas.
- Valores relacionados con la productividad.
- Productividad agraria en sentido amplio (agrícola, forestal, ganadera).
- Productividad ecológica, medida en términos de energía fijada por unidad de superficie y tiempo.
- Valor naturalístico, que es el merito de la unidad debido al estado de conservación de los ecosistemas que contiene o la presencia de especies (animales y vegetales) notables.
- También puede incluirse el merito debido a ciertas singularidades naturales: rasgos geológicos, yacimientos paleontológicos, únicos o de interés científico.

Se puede hablar de ciertos parámetros que están ligados a una o varias características de la calidad de la vegetación, en este sentido este análisis va unido al estudio de los atributos o aspectos tales como:

- Rareza
- Reversibilidad
- Estabilidad
- Productividad
- Naturalidad
- Diversidad
- Usos e influencias
- Singularidad
- Proximidad al clímax
- Integridad

En este sentido se considera la calidad de la vegetación únicamente a su valor ecológico; dicha valoración es, por tanto, independiente del valor que pueda tener para otros usos, por ejemplo; industrial.

### 8.5.1.1 Modelo de la Calidad de la Vegetación del municipio de Temascalapa

El modelo propuesto que se empleo para evaluar la calidad de la vegetación de Temascalapa fue modificado por Montoya *et al.*, 2001, en el que se valoraron dos factores la etapa sucesional y la singularidad de la vegetación.

La calidad como se menciona anteriormente es la excelencia o mérito para no ser alterada o destruida, en este caso son las unidades de vegetación presentes en el territorio, para ello se han elegido como criterios definitorios de la calidad de la vegetación la etapa sucesional y singularidad.

#### Factores y criterios de clasificación

**a) Etapa sucesional:** Se refiere a las secuencias naturales, en las cuales un organismo o grupo de organismos reemplaza a otro en un hábitat tendiendo a una etapa hipotética llamada clímax que representa el final del proceso de colonización de un medio con características determinadas. Aquellos medios con mayor acercamiento a su estado climácico poseerán una estructura más compleja, más estable y mejor adaptada a las condiciones ambientales del territorio en el que se asienta.

En este caso, los conceptos de diversidad florística y naturalidad de la estructura entendida tanto como el número de estratos como la adaptación de la estructura natural a las condiciones del terreno, quedan incluidas en este criterio. Así que, cuanto mayor proximidad al clímax, mayor número de especies o estratos presentes en la unidad y entre mayor sea la adaptación de su estructura al terreno, mayor será la calidad ecológica de la vegetación.

**b) Singularidad:** Condición de fuera de lo común, el donde se incluye la presencia de endemismos y de formaciones raras, se considera un endemismo como aquella especie o que está restringido a una ubicación geográfica muy concreta y fuera de esta ubicación no se encuentra en otra parte (Young, 2007). La rareza indica la abundancia relativa de las distintas formaciones vegetales, dentro del área de estudio y a nivel nacional.

## Desarrollo del modelo

Con respecto a la etapa sucesional se asigna a cada tipo de vegetación inventariado un valor entre el 1 y el 4, siendo la clase 4 la de mayor proximidad al clímax y la clase 1 la de menor. Quedando excluidas de esta valoración las Zonas Urbanas (ZU), por carecer de vegetación continua. De esta forma, la clasificación propuesta es:

Clase 0	Excluida por ser Núcleo Urbano
Clase 1	Unidades de vegetación: Agricultura de temporal
Clase 2	Unidades de vegetación: Pastizal Inducido
Clase 3	Unidades de vegetación: Matorral Crasicaule
Clase 4	Unidades de vegetación: Bosque de Encino

La calidad de la vegetación será mayor si hay presencia de singularidad, en base a este criterio, se ha asignado a cada tipo de vegetación inventariado dos valores, siendo la clase 2 de mayor calidad.

Clase 1	Unidades de vegetación: Agricultura de temporal, Pastizal Inducido
Clase 2	Unidades de vegetación: Matorral Crasicaule, Bosques de Encino

## Integración

Para la determinación de la calidad de la vegetación se han integrado los aspectos de singularidad y de nivel de sucesión, tomado en cuenta la cartografía de Vegetación y Usos de suelo incluida en el SIG como se muestra en la Figura 6.

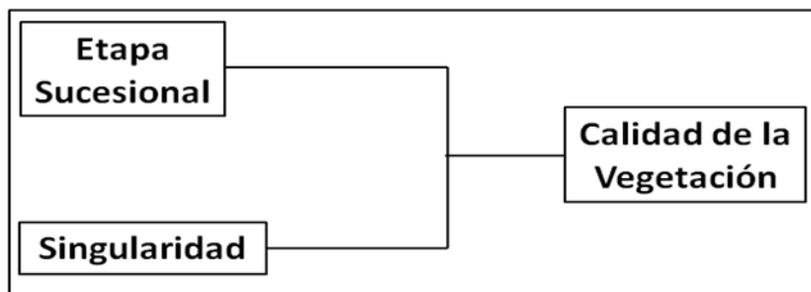


Figura 7. Modelo para determinar la calidad de la vegetación en el municipio de Temascalapa

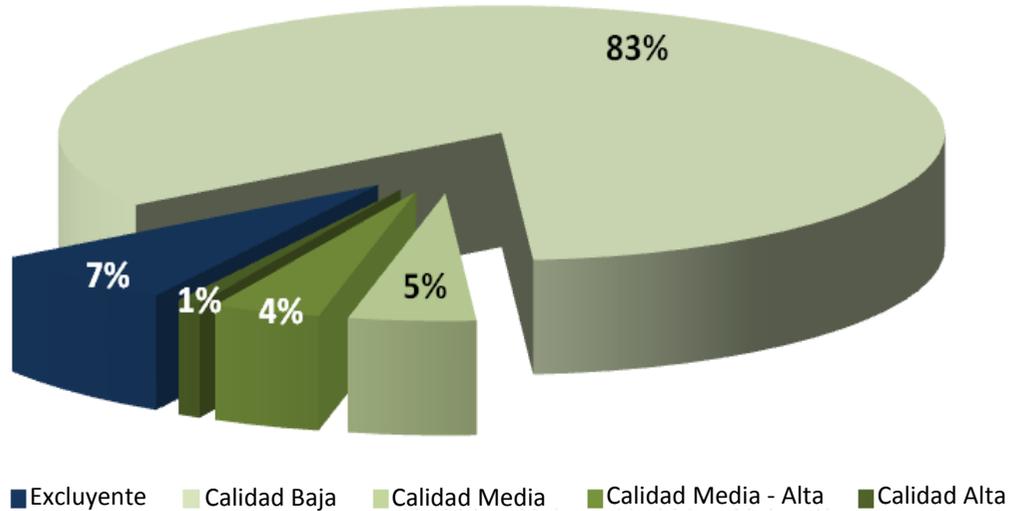
La integración de las valoraciones parciales de estos elementos en un valor final representativo de la calidad de la vegetación se ha efectuado mediante una matriz. El criterio seguido ha sido que la singularidad actúa como modificador al aumentar el valor de calidad respecto al nivel de sucesión. La matriz resultante es:

		Nivel de Sucesión				
		0	1	2	3	4
Singularidad	1	0	1	2	3	4
	2	0	2	3	4	5

En la clasificación definitiva la calidad de la vegetación queda agrupada en cuatro clases, siendo la clase 4 la de mayor calidad y la clase 1 la de menor calidad. Entonces, los valores de las frecuencias para cada una de las clases de calidad de la vegetación son los siguientes:

Clases	Hectáreas	Cuadrículas
Excluyente	1,405	5621
Calidad Baja	16,453	65813
Calidad Media	910	3640
Calidad Media-Alta	778	3111
Calidad Alta	175	697
<b>Total</b>	<b>19,721</b>	<b>78881</b>

Los resultados sobre Calidad de la Vegetación (Mapa 30) (Ver Anexo cartográfico) indican que en el municipio de Temascalapa domina la clase de Calidad Baja ocupando más del 80%, mientras las clases Media, Media-Alta y Alta en conjunto alcanzan el 10%.



**Gráfica 9.** Porcentaje del territorio municipal con las clases de calidad de la vegetación.

El tipo de vegetación que presento la Clase Baja fue agricultura de temporal, cabe destacar que más del 80% del territorio tiene este tipo de vegetación, entonces se podría decir, que esta vegetación no tiene singularidad, ya que la mayoría de los cultivos se enfatizan en especies comerciales, de autoconsumo y culturales (medicinales), siendo así que ninguna especie se encuentre dentro de la clase endémica o rara; mientras que a nivel de sucesión se puede decir que debido a que la agricultura no se considera una formación vegetal valiosa, no tiene cambios sucesionales, y no existe una modificación progresiva en la estructura y composición de este tipo de vegetación, mas bien, los cambios ocurren cíclicamente, ya que se dan en el mismo lugar en intervalos de tiempo (Mazzeo, 2008). Ahora, si estas situaciones sufren secundariamente alteraciones debido a causas naturales o artificiales que supongan su destrucción o sustitución por otras especies, a este conjunto de procesos se le denomina sucesión secundaria (MOPT, 1994).

La Clase Media y la Clase Media-Alta, correspondió al pastizal inducido con el 5% y al matorral crasicaule con el 4% respectivamente; estos tipos vegetales no presentan una singularidad alta ya que su composición florística se representa por gramíneas y arbustos de baja altura, en este tipo de vegetación la sucesión aumenta su nivel ya que estas especies pueden ser reemplazadas por otras y

así alcanzar mejores condiciones del clímax; por lo contrario, si la vegetación no sufre cambios los componentes vegetales acumularan durante las etapas de la sucesión la energía necesaria para llegar a la explotación la cual Margalef (Walker 2005), refiere como la transferencia de energía a través de las etapas de sucesión, inclusive implementado actividades de quema inducida o la propagación de un incendio natural, solo y cuando se dispongan de condiciones apropiadas para esto. Cabe destacar que el proceso de incendio es favorable para la sucesión ecológica por la remoción de nutrientes y aumento de la energía disponible en el ecosistema (Chico, 2010).

Aunque estos dos tipos de vegetación no tienen alta singularidad, el matorral crasicaule tiene mayor sucesión, debido a que es iniciador de una colonización de especies arbóreas; mientras que el pastizal inducido algunas veces corresponde a una fase de la sucesión normal de comunidades vegetales, cuyo clímax es por lo común un bosque o un matorral, o bien, a consecuencia del pastoreo intenso o de los fuegos periódicos o bien de ambos factores juntos, se detiene a menudo el proceso de la sucesión y el pastizal inducido permanece como tal mientras perdura la actividad humana que lo mantiene (INE, 2000).

Por último la Clase Alta está representada por el bosque de encino, aunque posee solo el 1% del total del territorio municipal, está considerado como el clímax, por ser la última etapa de la sucesión y desarrollarse en paralelo con la evolución y aparición de una serie ordenada de comunidades vegetales (herbáceo, arbustivo y arbóreo), lo cual, debe suponer que no hay limitaciones de tiempo ni modificaciones trascendentes de las condiciones climáticas (Serrada, 2008). Además de ello, porque tiene mayor singularidad ya que presentan especies propias del sistema y con una gran importancia ecológica (Walker, 2005).

Según Gandullo (1985) no existe estabilidad climática debido a tres factores; estabilidad, recurrencia de perturbaciones y predominio en la sucesión de un factor ecológico diferente al clima. En Temascalapa el bosque de encino se ve afectado por perturbaciones humanas, las cuales han alterado de manera importante a esta comunidad, por la tala inmoderada de árboles, extensión de zonas urbanas y por incendios.

### **8.5.2 Valoración de la Fragilidad de la Vegetación**

Se entiende por fragilidad de la vegetación al grado de susceptibilidad al deterioro ante la incidencia de determinadas actuaciones, o de otra forma, el inverso de la capacidad de absorción de posibles actuaciones sin pérdida de calidad (Escudero, 2002). La fragilidad es una cualidad intrínseca del territorio, propia de cada formación vegetal, en función de las características de ésta (diversidad, estabilidad entre otras); y en función del tipo de acción que se lleve a cabo sobre ella, que puede expresarse en impactos más o menos graves antes las distintas actividades (Montoya et al., 2001).

El estudio de la fragilidad de la vegetación ha surgido y tomado importancia ante problemas concretos como la extracción de recursos mineros, nuevas urbanizaciones, plantas de energía, actividades agrícolas, forestales e industriales entre otros (Montoya et al., 1997).

A través del concepto de vulnerabilidad se trata de valorar los valores intrínsecos propios de cada formación vegetal en determinada área de estudio que hace que ésta sea más o menos susceptible a una alteración, se tiene en cuenta especialmente la reversibilidad de las distintas formaciones, es decir el grado de dificultad que tendrían para recuperarse de los efectos de una alteración natural o artificial. Cuanto más lento sea el proceso de recuperación, más vulnerable será la formación, para valorar la fragilidad de las formaciones vegetales se consideran los siguientes factores según Montoya et al., 2001:

- Aproximación al clímax, atribuyendo una mayor fragilidad a las unidades vegetales más cercanas a este estado.
- Complejidad espacial, considerando que un alto índice de complejidad conlleva una alta fragilidad.
- Influencia antrópica, puesto que las formaciones menos naturales son las menos frágiles.
- Existencia de factores limitantes para el crecimiento de la vegetación, las formaciones que se desarrollan bajo condiciones limitantes poseen una mayor fragilidad.
- Capacidad de regeneración y persistencia de las especies dominantes de la formación, de forma que cuanto más alto sean, menor será la fragilidad de la unidad vegetal.

### 8.5.2.1 Modelo de Fragilidad de la Vegetación de Temascalapa

El siguiente modelo fue el modificado por Montoya *et al.*, 2001, el cual atiende a la fragilidad y la vulnerabilidad, mediante la consideración de los factores antes mencionados. Es importante aclarar que no se ha considerado la valoración en las zonas urbanas, así pues, los factores utilizados para determinar la fragilidad de la vegetación son la representación y distribución, la accesibilidad y la capacidad de absorción de las actividades compatibles.

**Representación y distribución:** El tamaño y su reparto induce a establecer una mayor fragilidad a medida que el tipo de vegetación es más raro, se estiman más vulnerables las formaciones vegetales menos representadas pero distribuidas (en menor número de unidades separadas).

**Accesibilidad:** Las formaciones situadas en lugares fácilmente accesibles, se consideran más vulnerables que las situadas en zonas más alejadas. Para la valoración de este factor se ha tenido en cuenta la proximidad a núcleos urbanos y/o carreteras.

**Capacidad de absorción de actividades compatibles:** Para la valoración de este factor se han tenido en cuenta aspectos como:

- Diversidad (riqueza en especies de la unidad).
- Estado natural de la unidad, que depende del nivel de degradación y del carácter actual de la sucesión y permite situar a las unidades de vegetación más próximas a la vegetación potencial entre las más frágiles.
- Reversibilidad, cuando ésta es más factible y más corta en el tiempo, su fragilidad es menor.

#### Desarrollo del modelo

En cuanto a la Representación y Distribución, para su evaluación se tiene en cuenta el número de unidades de la misma agrupación vegetal presentes, así como la superficie que éstas ocupan (referida a número de cuadrículas). También se estudia la distribución espacial relativa de las unidades.

Unidad de Vegetación	Superficie Ocupada (Cuadrículas)	Número de Localizaciones
Bosque de Encino	678	5
Matorral Crasicaule	3126	23
Pastizal Inducido	3664	14
Cultivo Agrícola	65816	1

**Tabla 21.** Representación y distribución de los diferentes tipos de vegetación del municipio de Temascalapa.

En base a los valores obtenidos se ha realizado una clasificación de los valores de superficie ocupada y del número de localizaciones en las que aparecen.

#### Superficie ocupada

<b>Clase 1</b>	Superficie ocupada entre 0 y 1000 cuadrículas
<b>Clase 2</b>	Superficie ocupada entre 1000 y 2500 cuadrículas
<b>Clase 3</b>	Superficie ocupada entre 2500 y 7500 cuadrículas
<b>Clase 4</b>	Superficie ocupada mayor a 7500 cuadrículas

#### Localizaciones

<b>Clase 1</b>	1 Localización
<b>Clase 2</b>	2 y 3 Localizaciones
<b>Clase 3</b>	4 y 5 Localizaciones
<b>Clase 4</b>	Más de 6 Localizaciones

## Accesibilidad

Para determinar los valores de accesibilidad se ha tenido en cuenta la proximidad a núcleos urbanos y/o carreteras.

<b>Clase 1</b>	Puntos situados a menos de 400m de núcleos urbanos y/o carreteras
<b>Clase 2</b>	Puntos situados entre 400 y 1000m de núcleos urbanos y/o carreteras
<b>Clase 3</b>	Puntos situados a más de 1000m de núcleos urbanos y/o carreteras

## Capacidad de absorción de actividades compatibles

Para la valoración de la capacidad de absorción, se ha tenido en cuenta aspectos como la diversidad, el estado natural y la reversibilidad. En función de éstos aspectos se han agrupado los diferentes tipos de vegetación y usos de suelo en 4 clases a la cual se denominó capacidad de respuesta.

Clase 1. Menor Capacidad de Respuesta	Área Agrícola
Clase 2	Pastizal Inducido
Clase 3	Matorral Crasicaule
Clase 4. Mayor Capacidad de Respuesta	Bosque de Encino

A continuación se muestra el esquema (Figura 7) seguido en la integración de los aspectos anteriormente expuestos para la determinación de la Fragilidad de la Vegetación.

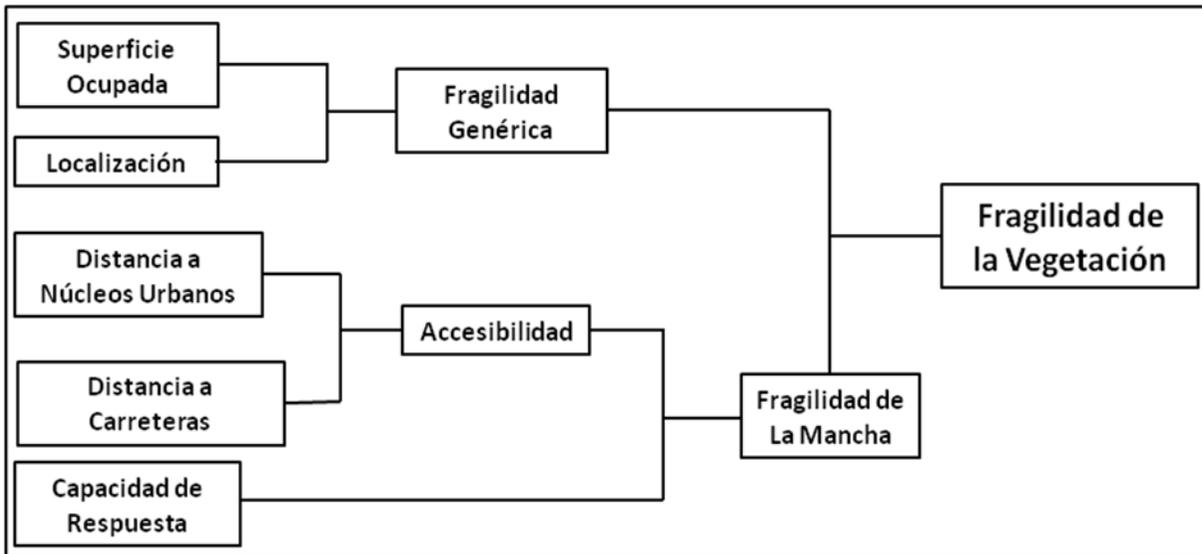


Figura 8. Modelo para determinar la fragilidad de la vegetación en el municipio de Temascalapa.

La integración de los factores anteriores se realiza considerando por un lado la fragilidad dentro de la mancha, que vendría definida por la accesibilidad y la capacidad de absorción (capacidad de respuesta), y la fragilidad genérica, definida por la representación y distribución.

Los valores de la superficie ocupada y del número de localizaciones diferentes se ha combinado con el fin de obtener un valor de la fragilidad genérica en función de la distribución y representación. La matriz utilizada para realizar esta combinación es la siguiente:

		Superficie Ocupada				
		0	1	3	4	
Localizaciones	0	0	0	0	0	→ Valor de 0 (cero) por ser Núcleos Urbanos
	1	0	3	3	2	
	3	0	3	2	1	
	4	0	2	1	1	

↓  
Valor de 0 (cero) por ser Núcleos Urbanos

Por otro lado se determina el valor de la fragilidad dentro de la mancha, que viene dado por la accesibilidad y la capacidad de absorción de actividades compatibles. La combinación entre estos dos aspectos se realiza mediante la matriz que se expone a continuación.

		<b>Capacidad de Respuesta</b>				
		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Accesibilidad</b>	<b>1</b>	0	1	1	2	2
	<b>2</b>	0	1	2	2	3
	<b>3</b>	0	2	2	3	3

↓  
Valor de 0 (cero) por ser Núcleos Urbanos

Posteriormente la fragilidad de la mancha se cruza a su vez con la fragilidad genérica, definida en este caso por la distribución y representación de las unidades de vegetación, para obtener el valor de la Fragilidad de la vegetación.

		<b>Fragilidad de la Mancha</b>			
		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Fragilidad Genérica</b>	<b>0</b>	0	0	0	0
	<b>1</b>	0	1	1	2
	<b>2</b>	0	1	2	3
	<b>3</b>	0	2	3	3

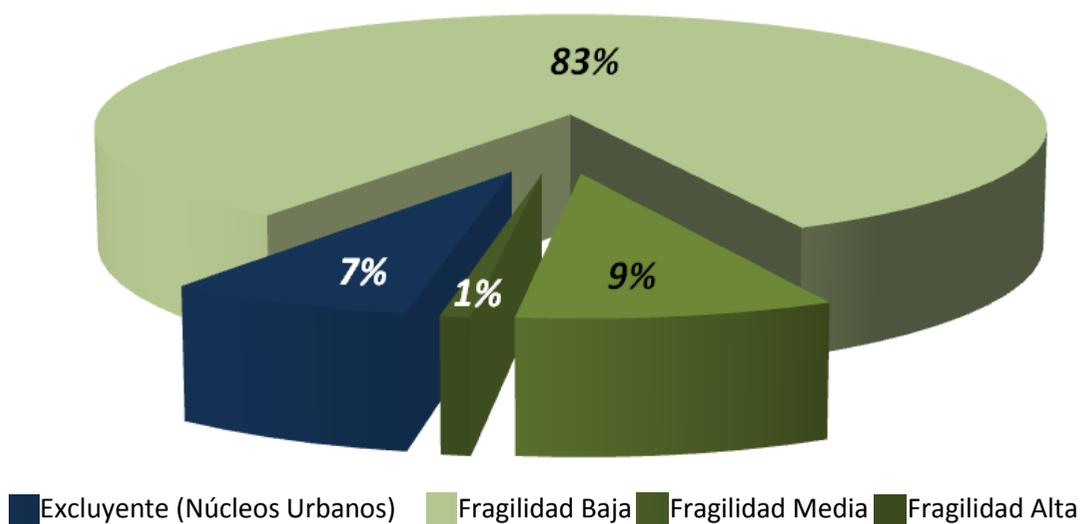
↓  
Valor de 0 (cero) por ser Núcleos Urbanos

→ Valor de 0 (cero) por ser Núcleos Urbanos

Tras la aplicación de este modelo para la determinación de la Fragilidad de la Vegetación, se obtienen los siguientes datos de frecuencia para cada una de las clases.

Clases	Hectáreas	Cuadrículas
<b>Excluyente (Núcleos Urbanos)</b>	1,399	5597
<b>Fragilidad Baja</b>	16,362	65459
<b>Fragilidad Media</b>	1,789	7147
<b>Fragilidad Alta</b>	170	678
<b>Total</b>	19,720	78881

Los resultados sobre Fragilidad de la Vegetación (Mapa 31) (Ver Anexo cartográfico) indican que en el municipio de Temascalapa domina la clase de Fragilidad Baja ocupando más del 80%, mientras las clases Media y Alta en conjunto alcanzan el 10%.



**Gráfica 10.** Porcentaje del territorio municipal con las clases de fragilidad de la vegetación.

El tipo de vegetación que presento la Clase de Fragilidad Baja fue agricultura de temporal y el pastizal inducido, como se menciona anteriormente, más del 80% del territorio de Temascalapa cuenta con este tipo de vegetación. Entonces para discutir la Clase de Fragilidad Baja, podría deberse a que por su condición, la agricultura es de autoconsumo y puede continuar por un periodo indefinido sin modificaciones (Gama, 2006). Además son zonas muy accesibles y perturbadas por el ser humano, por lo que la demás vegetación es nula. Otro punto importante es que a pendientes bajas, será menor la capacidad de absorción (MOPT, 1994).

La única manera en la cual la agricultura sería afecta y podría derivarse una clase de fragilidad media o alta, es debido al cambio climático, si bien en la mayor parte del territorio municipal se siembra maíz, aún en la actualidad en la minoría de esas áreas dedicadas a este cultivo no se obtienen rendimientos superiores a dos ton/ha, además de ello, se puede afirmar además que esa producción, en buena parte, está dedicada al autoconsumo y que difícilmente habría una relación beneficio costo de 3:1, aún en las zonas más aptas. Así es que el cambio climático impactaría con dureza a las regiones en las cuales prácticamente no se invierte en dicho cultivo y se depende plenamente de las condiciones climáticas, esto ocasionaría que el grado de vulnerabilidad se vea afectado (Martínez, 2010).

De aquí en adelante la fragilidad de la vegetación comienza a sufrir vulnerabilidades, debido a que pudieran estar en constante cambio por la influencia el hombre. En el caso de la Clase de Fragilidad Media que representa el 9% del total del territorio municipal; se encuentra localizados parte de pastizal y matorral crasicaule, este último puede deberse a que no ha sido alterada por el hombre, por ende, existe mayor diversidad atribuida a las plantaciones y formaciones arbustivas, presenta una mayor densidad de la cubierta vegetal lo que indica que a mayor densidad de la vegetación, expresada por el porcentaje de suelo cubierto por la proyección horizontal de las especies leñosas, menor fragilidad intrínseca presentara (INE-SEMARNAT, 2006).

Mientras que para el caso del pastizal inducido, como es un tipo de vegetal que se origina a partir de perturbaciones a la vegetación original, su fragilidad está dada por dos factores; el primero es la textural del suelo, topografía y cobertura vegetal, mientras que el segundo es un factor entrópico, tales como densidad de población y pastoreo ganadero (INTA, 2008).

Por último la Clase de Fragilidad Alta está dada por el bosque de encino con el 1% del total del territorio municipal, esta clase tiene es el resultado entre la causa-efecto del Bosque de Encino y las actividades antrópicas, como la deforestación (Rebolledo, 2009); siendo así que, la fragilidad actual la constituye el cambio de uso de suelo que provoca la pérdida de regiones forestales por el avance de la agricultura, el pastoreo y el cambio de suelo urbanizable. Esto se traduce en procesos como la fragmentación, pérdida en la capacidad de regeneración, dispersión, pérdida de especies clave, cambio en la abundancia de las especies, introducción de plantas invasoras, susceptibilidad a las plagas, y un detrimento en los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas (INE, 2011). Además de considerar adicionalmente que las condiciones de menor humedad del suelo aumentarán, el riesgo de pérdida de bosque por cambio climático e incendios forestales se incrementa (INE-SEMARNAT, 2006).

Cabe destacar que la Clase de Fragilidad Alta está presente en Cerro Gordo, parte montañosa del municipio, lejos de actividades humanas, por lo que la accesibilidad a estas zonas es difícil, la extensión de esta clase engloba principalmente las masas arbóreas que están próximas al clímax, por lo tanto, a mayor acercamiento a su estadio climácico poseerán una estructura más compleja, más estable y mejor adaptada a las condiciones ambientales del territorio en el que se asientan, se admite entonces que a mayor acercamiento al clímax menor será la fragilidad (MOPT, 1994).

### 8.5.3 Integración de los Modelos de Calidad y Fragilidad de la vegetación

En los estudios del medio físico aplicados a la planificación territorial, puede ser necesaria la elaboración de un modelo que resulte de integrar la calidad y fragilidad de la vegetación en cada punto del territorio.

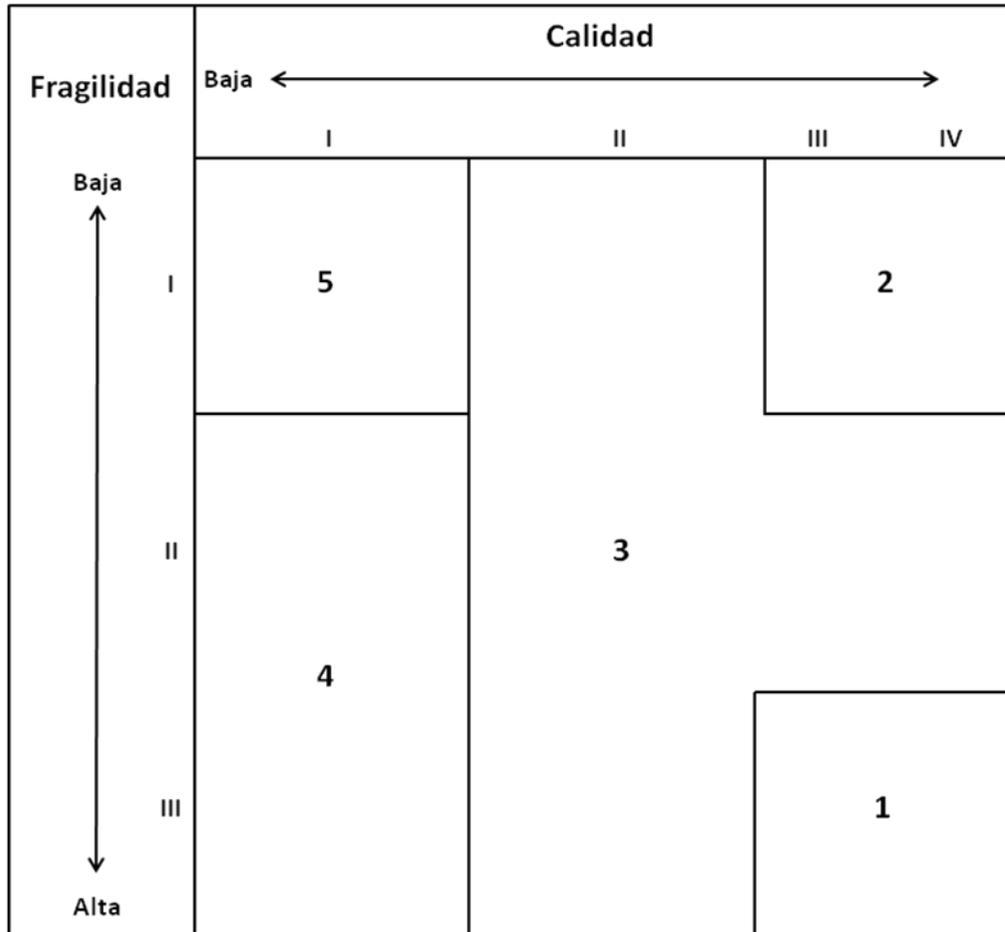
Las combinaciones calidad-fragilidad pueden ser útiles, en efecto, cuando se desee tener en cuenta los valores de la vegetación a la hora de tomar decisiones para conservar un área específica o promover acciones dentro de ella; las posibles combinaciones calidad-fragilidad pueden agruparse según las características particulares del territorio estudiado, así para el modelo realizado al municipio de Temascalapa Estado de México se adoptó la siguiente clasificación:

Clase 1	Zonas de alta calidad y alta fragilidad, cuya conservación resulta prioritaria.
Clase 2	Zonas de alta calidad y baja fragilidad, aptas en principio para la promoción de actividades que requieran calidad de la vegetación y causen impactos de poca entidad en la vegetación.
Clase 3	Zonas de calidad media o alta y fragilidad variable, que puedan incorporarse a las anteriores cuando las circunstancias lo aconsejen.
Clase 4	Zonas de calidad baja y de fragilidad media o alta, que puedan incorporarse a la Clase 5 cuando sea preciso, en esta clase los impactos causados por las actividades son más fuertes.
Clase 5	Zonas de calidad baja y fragilidad baja, aptas desde el punto de vista paisajístico para la localización de actividades poco gratas o que causen impactos muy fuertes.

**Tabla 22.** Clases para la determinación de la calidad y fragilidad, tomado del MOPT (1994).

### Integración de los Modelos

El modelo que utilizo para la integración de ambos modelos fue el propuesto por el MOPT (1994), el cual une los dos modelos en base a la clasificación mencionada anteriormente:

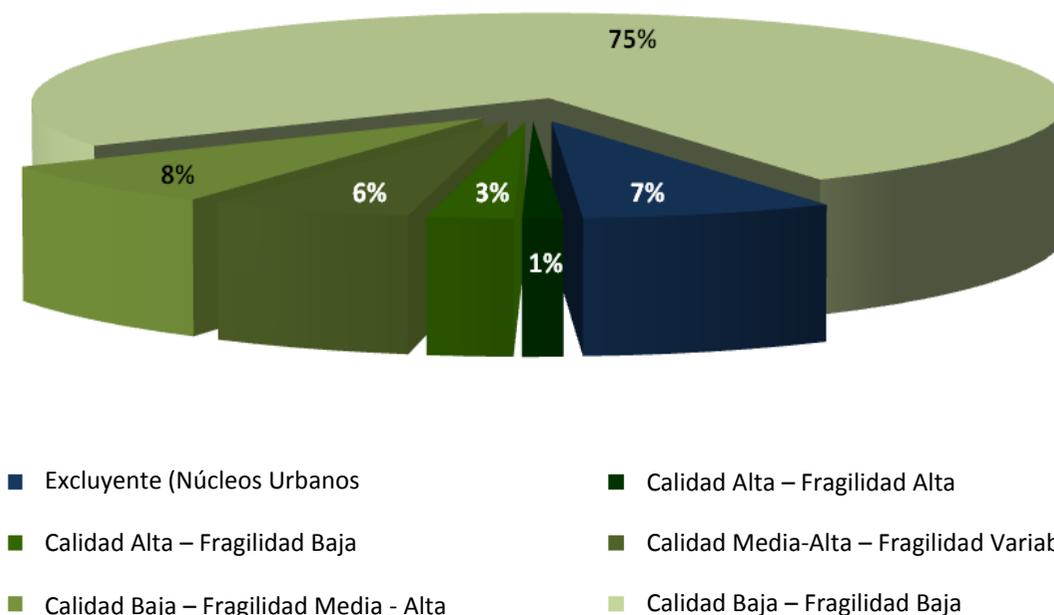


**Figura 9.** Clasificación para la Ordenación del Territorio (Clase 1: Máxima Conservación, Clase 5: Máxima Intervención).

Los valores de frecuencias para cada una de las clases de Calidad-Fragilidad son las siguientes:

Clases	Hectáreas	Cuadrículas
<b>Excluyente (Núcleos Urbanos)</b>	1,470	5879
<b>Clase 1. Alta Calidad – Alta Fragilidad</b>	238	951
<b>Clase 2. Alta Calidad – Baja Fragilidad</b>	498	1991
<b>Clase 3. Calidad Media-Alta y Fragilidad Variable</b>	1,118	4723
<b>Clase 4. Calidad Baja y Fragilidad Media-Alta</b>	1,485	5938
<b>Clase 5. Calidad Baja y Fragilidad Baja</b>	14,850	59399
<b>Total</b>	<b>19,720</b>	<b>78881</b>

Los resultados sobre Calidad-Fragilidad de la Vegetación (Mapa 32) (*Ver Anexo cartográfico*) indican que en el municipio de Temascalapa domina la clase de Calidad Baja y Fragilidad Baja ocupando el 75%, mientras la clase de Calidad Alta y Fragilidad Alta alcanza el 1%.



**Gráfica 11.** Porcentaje del territorio municipal con las clases de calidad y fragilidad de la vegetación.

Finalmente con la integración de estos dos modelos y como se ha venido presentando, la clase de Calidad Baja y Fragilidad Baja, pertenece al área agrícola y parte de pastizal inducido, lo que significa que en este tipo de zonas pueden localizarse actividades como, por ejemplo; relleno sanitario, planta de tratamiento de aguas residuales, núcleos urbanos o una zona industrial. Mientras que la clase de Calidad Alta y Fragilidad Alta, serán candidatos destacados a la protección y promoción de actividades en las cuales la vegetación constituya un factor de atracción, por ejemplo; el eco-turismo.

Entonces, tanto la calidad como la fragilidad incorporan la posibilidad de la presencia de las actividades urbanísticas y condicionan ámbitos selectivos sometidos a restricciones, es por ello que estas variables son aspectos a considerar en la planificación de usos y actividades a implantar en un territorio determinado (Solari, 2008).

En estudios del medio físico interesa conocer todos los constituyentes del paisaje vegetal, es decir tanto la vegetación natural o espontánea, como la artificial o introducida por el hombre (Moreno *et al.*, 2001), es por ello que el modelo de calidad y fragilidad se acerca a una realidad sobre lo que se debe hacer en cuanto a los recursos naturales y el ambiente. Es por esta razón que, la protección de áreas naturales tiene una gran importancia porque nos provee de innumerables beneficios a partir de los bienes económicos y servicios ambientales concretos.

## 9 Conclusiones

---

Con base a la recopilación de la información (biótica, física y socio-demográfica) que existe hasta el momento en Temascalapa, su incorporación al Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental y de acuerdo a los objetivos planteados, se puede concluir que:

- Se elaboró el Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental (SIGMA) con los factores climatológicos, biológicos, físicos y socio-demográficos, para el municipio de Temascalapa, Estado de México, el cual se pondrá a disposición de la Administración Municipal, con el fin de sentar bases para iniciar y/o complementar el Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial.
- Se elaboró el mapa base con los insumos cartográficos a escala 1:50000 del municipio de Temascalapa.
- Se elaboró la base de datos en formato digital de las variables físico-biológicas, y socio-demográficas, lo cual podrá sustentar cualquier trabajo realizado en un futuro sobre la planificación territorial en el municipio.
- La temperatura máxima mensual registro su valor más alto en el mes de Mayo con 30.8°C.
- La temperatura mínima mensual tuvo su valor más bajo en el mes de Enero con -1.2°C.
- La precipitación registro su valor máximo en el mes de Julio con 118.7 mm, mientras que, su valor mínimo se registro en el mes de Diciembre con 6.8 mm de agua.
- Los registros de evapotranspiración tuvieron su registro máximo en el mes de Abril con 191.3 mm, mientras que, su valor mínimo se registró en el mes de Diciembre con 112.5 mm.
- El clima predominante es seco BS<sub>1</sub>K con el 73.3% y en menor proporción el clima templado C(W<sub>0</sub>) con el 26.7%
- Se presentan 4 principales tipos de vegetación dentro del municipio; Bosque de encino, Matorral crasicaule, Pastizal inducido y Agricultura.

- La agricultura tiene más del 80% de territorio municipal, mientras que, el bosque de encino solo cuenta con el 1%.
- El municipio de Temascalapa cuenta solamente con ríos temporales, los cuales solo llevan agua en época de lluvias.
- El tipo de suelo Feozem, es el que predomina en Temascalapa con más del 70% de la superficie del municipio.
- En Temascalapa predomina el tipo de roca volcanoclástico con 12,781 Ha.
- El terreno municipal presenta una pendiente de 0 a 38.993° y una altitud que va de 2319 a 3046 msnm.
- Temascalapa cuenta con 13 localidades, de las cuales, las más pobladas son la cabecera municipal Temascalapa, Santa Ana Tlachihualpa y San Luis Tecuahutitlán.
- La población de Temascalapa para el año 2010 es de 35804 habitantes de los cuales el 49.8% son hombre y el 50.2% son mujeres y una densidad de población de 181.56 hab/km<sup>2</sup>.
- El crecimiento poblacional de Temascalapa del 2000 al 2010 fue del 23.3%.
- La escolaridad promedio en el año 2010 para el municipio es va de 2<sup>do</sup> de secundaria a 1<sup>ro</sup> de preparatoria.
- En cuanto a derechos de salud del año 2000 al 2010, los servicios aumentaron un 111%.
- El municipio de Temascalapa ha mostrado un aumento en la PEA, de 2000 a 2010, se incrementó en un 43.7%.
- La agricultura a pesar de ser una actividad muy productiva para el municipio, la población no tiene los medios adecuados para cosechar, reflejando el 14% de la población dentro de este sector.
- El censo económico 2009, solo el 14% de la población se encuentra dentro del sector primario.

- El 45% de la población está dentro del sector secundario, lo que muestra que la mitad de la PEA se encuentra en el sector industrial.
- En cuanto al análisis del cambio de uso de suelo, la vegetación en general ha sufrido perturbaciones y cambios considerables, mientras que las zonas urbanas siguen incrementándose.
- El Bosque de encino y el matorral crasicaule son los tipos de vegetación que se han visto con mayor afectación pues de 1977 a 2008 han perdido o modificado su entorno en más del 80%.
- La agricultura en 31 años ha cambiado su cobertura, aumentando 10% sobre el área total.
- La valoración del riesgo de incendio para Temascalapa, muestra que para los semestres del año Enero-Junio y Julio-Diciembre, tiene una tendencia de riesgo muy bajo a bajo, que abarca más del 70% de territorio municipal.
- La vegetación es un factor determinante en el riesgo de incendio, ya que es agricultura y por lo regular siempre se encuentra en estado de humedad.
- El 1.05% del total del territorio representa el riesgo de incendio Muy Alto-Alto, el territorio se encuentra entre 18 y 45° de pendiente y los tipos de vegetación son pastizal y matorral y bosque de encino.
- Se obtuvo la cartografía de la localización óptima para el establecimiento de un Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos.
- El 39% del total del territorio de Temascalapa es apto para la colocación de un Vertedero de RSU.
- La zona 1 es óptima, de las 4 zonas establecidas para la localización del VRSU y se localiza en la parte central del municipio.
- Se estima que el VRSU tenga una vida media de 50 años, recibiendo anualmente más de 10,000 ton/año de basura.

- Se obtuvo la cartografía de la mejor ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- Solo el 2% del territorio es apto para la mejor ubicación de la planta de tratamiento.
- La zona 2 cuenta con 71 Ha, siendo el área de menor impacto ambiental para la mejor ubicación de la planta de tratamiento, se localiza a 3 km de la cabecera municipal.
- La máxima calidad de la vegetación la presenta el Bosque de Encino con el 1%, con la clase alta, además está considerado como el clímax.
- La calidad baja está representada por la agricultura con más del 80% del territorio municipal, no cuenta con singularidad y no tiene cambios sucesionales.
- La fragilidad alta está dada por el bosque de encino con el 1% del total del territorio municipal.
- La fragilidad del bosque la constituye el cambio de uso de suelo y la deforestación que provoca la pérdida de regiones forestales.
- La agricultura y el pastizal inducido, aluden a la fragilidad baja, con más del 80% del total del municipio.
- La fragilidad baja de la agricultura y del pastizal, es debido a que son zonas muy accesibles y perturbadas por actividades antrópicas.
- Se obtuvo la cartografía de la calidad y fragilidad de la vegetación, donde se muestra que en el municipio predomina la clase de Calidad Baja-Fragilidad Baja, con más del 70% del total del territorio.
- La Calidad Alta-Fragilidad Alta solo tiene el 2% del área municipal, por ello, es de suma importancia conservar estas áreas.

## 10 Recomendaciones

---

La información utilizada para el análisis del SIGMA en el municipio de Temascalapa, puede dar algunos planteamientos que ayuden con el Plan de Ordenamiento Ecológico y Territorial, una vez realizadas las primeras tres fases Diagnóstico, Prospectiva e Inventario.

### **Subsistema Biótico:**

- Se requiere de un inventario faunístico y florístico, con el fin de conocer la distribución de especies en Temascalapa, para realizar un adecuado programa de protección.
- Es necesario contar con un programa que promueva la reforestación de especies vegetales naturales con las que cuenta el municipio, con el objetivo de mejorar la calidad ambiental.
- Es trascendental realizar estudios a mayor detalle que ayuden a describir y explicar el grado de deterioro o recuperación de cada una de las unidades vegetales.
- Evitar la contaminación de los mantos acuíferos, suelos y aire, con productos químicos usados en la agricultura o demás actividades rurales.
- En las zonas de calidad baja-fragilidad baja, se puede reforestar con vegetación natural que se adapte a las condiciones del medio para mejorar la calidad del paisaje; o bien, se pueden desarrollar planes para fomentar la industria manufacturera y/o actividades comerciales.
- En las zonas de calidad alta-fragilidad alta, desarrollar actividades de preservación, conservación y restauración, ayudaría a regular el clima, proteger recursos hídricos y de captación de agua, generara un hábitat adecuado para las especies de flora y fauna y sobre todo el mantenimiento de la biodiversidad en el municipio.
- En base al modelo de cambio de uso de suelo, tomar medidas preventivas en las zonas que han sufrido cambios en su entorno, para poder establecer estrategias necesarias para el desarrollo sustentable del municipio.

### **Subsistema Físico:**

- La autoridad municipal requiere planes para lo protección de los recursos hídricos y de los mantos acuíferos.
- Debido al tipo de suelo (Feozem) con el que cuenta Temascalapa y el más predominante, se sugiere elaborar programas donde se capacite a los agricultores a optimizar de una manera sustentable el uso de suelo para las actividades agropecuarias.
- El modelo de riesgo de incendio puede ser utilizado para realizar programas de prevención y control en la planificación de medidas de vigilancia y educación ambiental.
- Para el vertedero de RSU y la planta de tratamiento de aguas residuales, se debe implementar la infraestructura necesaria, lo cual ayude a realizar una inversión adecuada, desde el punto de vista monetario, territorial y ambiental.
- Establecer programas en las escuelas y en la población en general, sobre la separación de residuos sólidos con el fin de crear una conciencia ambiental en los habitantes del municipio.
- Restringir actividades de confinamiento de residuos peligrosos e industriales al Vertedero de RSU.
- Elaboración de programas de concientización sobre el uso y aprovechamiento racional del agua y la difusión sobre los servicios y beneficios de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar estudios sobre riesgo de erosión e inundación los cuales den una visión más amplia sobre el manejo adecuado de los recursos.

**Subsistema Socio-Demográfico:**

- Promover programas sobre planificación familiar y salud reproductiva, con el fin de disminuir el crecimiento excesivo de la población.
- Instrumentar campañas de salud y nutrición, con el objetivo de mejorar el hábito de la población de Temascalapa.
- Incrementar la eficiencia terminal en todos los niveles educativos con el otorgamiento de becas a alumnos destacados y con bajos recursos económicos.
- Impulsar las actividades que comprenden al sector primario, con el fin de promover el desarrollo económico, que eleve y conserve el nivel de ingresos y aumentar la calidad de vida de la población.

# 11 Bibliografía

---

- Abarca & Quiroz. 2005. Modelado Cartográfico de Riesgo de Incendios en el Parque Nacional Henri Pittier. Estudio de Caso: Vertiente Sur, área colindante con la Ciudad de Maracay. Universidad Central de Venezuela. Revista de Agronomía Tropical. 55(01):35-62.
- Aguilar, O. M. C. 1999. Propuesta de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. ENEP. Iztacala. UNAM. México. Pp.131.
- Álvarez, R. Y. 2000. Aplicación de tecnología SIG al estudio del riesgo y prevención de incendios forestales en el área de Sierra Espuña – Gebas (Región Murcia). Universidad de Murcia. Departamento de Geografía Física, Humana y Análisis Regional. Pp 295.
- Álvarez, P. A. E. 2002. La basura en la Ciudad de México. En: <http://www.gaia.org.mx/articles.php>
- Álvarez, A. M. 2007. Modelos de datos en un SIG. Departamento LDIIIS. Facultad de Informática. Universidad Politécnica de Madrid.
- Amador, M. L. 2008. Pulque y maguey, en peligro de extinción. Revista Contra-línea. Hidalgo. México.
- Ancona, P. I. de J., Mena, A. E. y Zapata. V. G. 2004. "Ecología". Ed. McGraw Hill. México.
- Aramburu, M.P., y Escribano. R. 1993. Golf: A conflicting recreational activity in the Madrid Autonomous Area (Spain). Landscape and Urban Planning. 23:209-220.
- Arcillas, G. M. 2002. Técnicas de Desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica. Ciencias Ambientales- Área de Análisis Geográfico Regional. U.C.A. España.
- Azuela, A., Contreras, C., y Cancino, M. A. 2006. El Ordenamiento Ecológico del Territorio en México: Génesis y Perspectivas. SEMARNAT. México.

- Blanco, S. H., Báez, Y., Santomo, J., Rivas, M., Cantor, A., 2004. Sistemas de Información Geográfica como apoyo para el manejo de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería.
- Barredo, J. 1996. Sistemas de Información Geográfica y evaluación multi-criterio en la evaluación del territorio. RA-MA. Madrid. España.
- Batty, M. y Xie, Y. 2005. Urban Growth Using Cellular Automata Models. GIS, Spatial Analysis and Modeling. Redlands, California. ESRI Press. Pp. 172.
- Bosque, S. J., Gómez, D. M., Rodríguez, E. V., Díaz, M. M. A., Rodríguez, D. A. E. y Vela, G. A. 1999. Localización de Centros de Tratamiento de Residuos: Una propuesta metodológica basada en un SIG. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. España.
- Bosque, S. J., y García, R. C. 2000. El Uso de los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación Territorial. Publicado en: *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 20:49-67.
- Boulandier, H. J. J., Fernández, F. E., Gurruchagui, J. G., González, O. C. O., Aldecoa, P. A. 2001. Manual de Extinción de Incendio. Bomberos de Navarra. Pamplona. España. Pp. 290.
- Buzai, D. G. 2000. La Exploración Digital: Sistemas de Información Geográfica. Ed. Lugar Editorial. Buenos Aires. Argentina. Pp. 51- 63.
- Brieuç, M. O. 1999. Los Mexicanos y la Contaminación. Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercado y Opinión Pública (AMAI).
- Calderón, R. N. C. 2004. Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en el manejo de las áreas naturales protegidas. CIATEC A.C. Guanajuato. México.
- Carrillo, L. E. 2001. Ecosistema: Avanza la desertificación en México. Gaceta Universitaria. Universidad de Guadalajara. México. Pp. 7 – 9.
- Cavalieri, A. Margatho, S. M. F., Hamada, E., Rocha, J. V., Medeiros, G. A., Maciel, C. y Rocha, A. C. 1998. Caracterización de los cuerpos físicos y evaluación de las zonas de riesgo potencial a la

contaminación del agua debido al arrastre de sedimentos en las cuencas de Mogi, Brown y Grande Mediano. Informe Técnico. Pinhalense. Fundación para la Educación. Pp. 102 – 113.

- Cebrian, J. 1988. Sistemas de Información Geográfica. Ed. Aplicaciones de la Informática a la Geografía y las Ciencias Sociales. Madrid.
- Centro Meteorológico Nacional. 2005. Apoyo Meteorológico al Combate de Incendios forestales. Servicio Meteorológico Nacional. Argentina.
- Centro Universitario para la Prevención de Desastres Regionales (CRUPEDER). 2000. Tipo de Vegetación y Uso de Suelo'. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pp. 227-247.
- Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR). 2009. Recursos Naturales y Desarrollo Social: Ordenamiento Ecológico. Universidad de Guadalajara. Jalisco. México.
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES). 2005. Deforestación y Reforestación en Perú. Lima. Perú.
- Consejo Estatal de Población (COESPO). 2010. Estadísticas de la población mexiquense en el marco del Centenario de la Revolución Mexicana.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM). Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada DOF 14-07-2011.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2010. Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Pp. 59 – 74.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2011. Mapa de las Áreas Naturales Protegidas de México. Coordinación de Geomática. Michoacán. México.
- Cortés, A. M. 2006. El SIG como herramienta de análisis. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONAE).
- Chas, A. M. L. y Montero, T. 2009. Análisis clúster de las causas de los incendios intencionados en Galicia, España. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires. Argentina.

- Chico, A. M. 2010. Elaboración de un Sistema de Información Geográfica Medio Ambiental (SIGMA) como herramienta base para el Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Municipio de Tequixquiac, Edo. de México. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Martín, M. P., Vilar, L., Martínez, J., Padrón, D., Martín, S. y Salas., J. 2007. Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. España.
- Crosara, A. 2006. Textura de Suelo. Facultad de Ciencias. Universidad de la Republica. Uruguay.
- Denton, N. T. 2008. Los Incendios forestales en México. Departamento de Derecho. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Díaz, G. A. 2008. El impacto de la emigración internacional y el envío de remesas en San Juan Unión, Municipio de Taxco, Guerrero. Tesis de Doctorado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Díaz, C. L. R. y Candeaux, D. R. 1997. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG): Definición, Características, Estado Actual y Tendencias de Desarrollo. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. GEO Campus.
- Dirección General de Protección Civil. 2008. Programa de Prevención para evitar Incendios Forestales. Gobierno del Estado de México.
- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica (DGPCCA). 2004. Diagnostico Ambiental de la Región III: Ecatepec. Secretaria de Ecología. Estado de México.
- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica (DGPCCA). 2008. Diagnóstico Ambiental de las 16 Regiones del Estado de México. Secretaria de Medio Ambiente. Estado de México.

- Domínguez, J. 2000. Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid. España. Pp. 38.
- El Universal. 2011. Datos sobre el cementerio nuclear en Edomex. En: <http://www.eluniversaledomex.mx/home/nota14367.html>
- Escudero, A. J. C. 2002. Descripción de la Metodología para el Análisis de la Calidad y Fragilidad de la Vegetación. Centro de Estudios Ambientales (CEA). Vitoria-Gasteiz. España.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2003. Manual Curso Análisis Espacial Arc View 8.2. Santiago. Chile. Pp. 37.
- Fernández, P. 2007. Sucesión Ecológica. Ponencia Módulo 2. Máster en Ingeniería del Agua Potable. Universidad de Sevilla. España.
- Flores, R. V. G. y Martínez, G. M. 2010. Aplicación de los SIG en la determinación de áreas naturales protegidas en el Estado de Guanajuato. Departamento de Ingeniería en Geomática e Hidráulica. Universidad de Guanajuato.
- Gama, L., Galindo, A. A., Cortés, S. E., Zequeira, L. C., Hernández, M. A., Rullán. S. C., Moguel. O. E. y Macía. V. M. E. 2006. El Cambio Climático Global y su monitoreo sobre los posibles cambios en los servicios ambientales de cuencas de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Gandullo, J. M. 1985. Ecología Vegetal. Fundación Conde Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. Pp. 206.
- Gaspar, S. J. M., Jiménez, V. J. 2006. Implantación de una planta depuradora mediante técnicas SIG en el municipio de Gandia. ETSI Geodésica, Cartografía y Topografía. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- García, J. A. D., Nuñez, N. C. A. y Zapata, G. E. I. 2002. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Residencial. Proyecto Industrial. Jalisco.
- García, E. G. y López, H. A. 2003. Modelos digitales de elevación del terreno: uso en la geología estructural. INEGI. México. Pp. 77 – 87.

- García, L. J. 2007. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Tlalnepantla de Baz, México. Revista Digital Iberoamericana Municipal. 17:1-8.
- Gobierno Municipal de Temascalapa (GMT). 2010. Plan de Desarrollo Municipal de Temascalapa. Estado de México. México.
- Goodchild, M. F., Parks, B. O. y Steyaert, L. T. 1993. Environmental Modeling with GIS. Oxford University Press. New York. Pp. 488.
- Golicher, D. y Ramírez, M. N., 2003. Causas ecológicas de los incendios forestales.
- Gómez, O. D. 2002. Ordenación Territorial. Ed. Agrícola Española. Madrid. Pp. 29-49.
- González, C. A., Hernández, L. P. A., Arbelo, M., Barreto, A. y Arvelo, V. L. 2007. Evaluación del riesgo de incendios forestales en las islas Canarias usando datos AVHRR y MODIS. Departamento de Física. Universidad de La Laguna. España. Pp. 27 – 33.
- González, A., Gilmer, A., Foley, J., Sweeney, J. y Fry, J. 2006. Aplicación de los sistemas de Información Geográfica en la Evaluación Ambiental Estratégica y su Contribución a la Toma de Decisiones. Programa de Capacitación sobre Evaluación Ambiental y Social con Enfoque Estratégico. Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA).
- Henríquez, R. C. & Azócar, G. G. 2007. Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. IX Coloquio Internacional de Geocrítica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2000. Vegetación y Uso de Suelo.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2010. Indicadores para la Caracterización del Territorio: Tasa de Cambio en Vegetación y Uso del Suelo. Pp. 40.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2011. Vulnerabilidad de los Bosques.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1970. Población total, por sexo y número de localidades, por entidad federativa y municipio. Censo General de Población 1970. En: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/default.aspx?c=16763&s=est>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2000. Localidades por municipio, y su distribución según tamaño de la localidad. Censo General de Población y Vivienda 2000. En: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=16852&s=est>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Localidades por municipio, y su distribución según tamaño de la localidad. Censo General de Población y Vivienda 2010. En: [http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta\\_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est](http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1997. Base de Datos Geográficos. Diccionario de Datos de Uso del Suelo y Vegetación (Vectorial), escala 1:250000.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2001. Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. Aguascalientes. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2004. Guía para la Interpretación de Cartografía: Edafología.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2005. Guía para la Interpretación de Cartografía: Uso del Suelo y Vegetación.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2005. Guía para la interpretación de Cartografía: Climatología.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Censos Económicos 2009. En: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/default.asp?s=est&c=14220>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Mapas de Climas. En: <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/edomex/clim.cfm?c=444&e=15>
- INE-SEMARNAP. 2000. El Ordenamiento Ecológico del Territorio: Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. México.
- INE-SEMARNAT. 2006. México: Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Pp. 209.

- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2008. Recursos Naturales y Gestión Ambiental. Argentina.
- Inzunza, J. C. 2005. Clasificación de los climas de Köpen. Departamento de Geofísica. Universidad de Concepción. Chile.
- Iñarritu, J. 2009. Sistemas de Información Geográfica: Introducción a los Conceptos. Maestría en Diseño Urbano. Universidad de Costa Rica. Pp. 1 – 6.
- Jiménez, C. B. E. 2001. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C. Instituto de Ingeniería. UNAM. Pp- 926.
- Jiménez, M. A. 1989. La Producción de Forrajes en México. Universidad Autónoma de Chapingo – Banco de México. Chapingo. México. Pp 100.
- Johnson, L. B. 1990. Analyze Spatial and Temporal Phenomena Using Geographic Information Systems. Landscape Ecology. 4:31-43.
- Juan, P. J. I. 2007. Manejo del ambiente y riesgos ambientales en la región fresera del Estado de México. Edición electrónica gratuita. Texto completo en: [www.eumed.net/libros/2007a/235/](http://www.eumed.net/libros/2007a/235/)
- Juárez, O. S. M. 2008. Un modelo de riesgo de incendio en Michoacán, México. Tesis de Maestría. Facultad de filosofía y Letras. UNAM. México.
- La Jornada, 2010. En complicidad con autoridades se enjuicia a defensores del ambiente. En: <http://www.jornada.unam.mx/2010/01/02/sociedad/026n1soc>
- Lambin, E. F. 1997. Modeling deforestation processes: a review tropical ecosystem environment observation by satellites. European Commission Joint Research Centre- Institute for Remote Sensing Applications. European Space Agency. Luxembourg.

- Llactayo, L. W. 2009. Aplicación del SIG en la evaluación de los cambios de uso del suelo. Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo. Universidad Nacional Federico Villareal. Lima. Perú.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada DOF 28-01-2011.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada DOF 19-06-2007.
- Lima, L. C. R. 1994. Metodología de la Planificación Participativa (MPP) aplicada al desarrollo social y económico con la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas del medio ambiente. Informe Técnico. Noticias del Proyecto Fronteras de las Cooperativas. Ministerio de Agricultura, Abastecimiento y Reforma Agraria. Brasilia. Brasil.
- Mahar, D. y Scheneider R. (1994). Incentives for tropical deforestation: some examples from Latin America". University College London Press. London. Pp. 56-78.
- Manzo, D. L. L. Método para evaluación del riesgo local de incendio forestal, en base a técnicas de percepción remota. Tesis de Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Pp. 131.
- Margarita, G. 2008. México: Ecosistemas. En: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones>
- Martínez, F. J. 2010. Efectos del Cambio Climático en México. Coordinadora del Programa de Cambio Climático. INE – SEMARNAT. México.
- Martínez-Alegría, R., Taboada, J., Ordóñez, C., Lanaja, J. M. 2000. Análisis multicriterio para la selección de emplazamientos de vertederos de residuos sólidos en el entorno de Valladolid. Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medioambiente. Delegación del Gobierno de Castilla y León. Valladolid. España.
- Martínez-Graña, A., Goy, J. L., Zazo, C., Picón, I. y Bustamante, I. 2006. Cartografía geoambiental aplicada a la gestión de residuos del Espacio Natural Protegido "Las Batuecas - Sierra de Francia", Salamanca, España. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. Pp. 311-314.

- Martínez, D. R. y Rodríguez, T. D. A. 2008. Los Incendios Forestales en México y América Central. II Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección contra Incendios Forestales.
- Mataix, G. C. y López, J. C. 2007. Factores Ambientales: Funciones y Uso de la Vegetación en la Estabilización de Laderas. Jornadas Técnicas sobre Estabilidad de Laderas en Embalses. ALBA Ingenieros Consultores, S. L. Madrid. España.
- May, L. J., Zequeira, L. C. y Gama, C. L. Aplicación de un SIG para ubicar e identificar las zonas de interés turístico y la infraestructura en la reserva ecológica cascadas de reforma, Balancán, Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. México. Pp. 178.
- Mazzeo, B. N., García, F., Meerhoff, M., Clemente, J. 2008. Sucesión Vegetal. Departamento de Ecología. Universidad de la República Oriental del Uruguay.
- Mena, F. C., Ormazábal, R. Y., Morales, H. Y. y Gajardo, V. J. 2007. Exactitud espacial en la creación de bases de datos SIG modelos raster y vectorial. Universidad de Talca. Revista Chilena de Ingeniería. 13(001):159-168.
- Milenio. 2008. Consume incendio forestal más de 20 hectáreas en Cerro Gordo. En: <http://impreso.milenio.com/node/7021000>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). 1994. Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico. Monografías de la Secretaría del Estado para las Políticas del Agua y del Medio Ambiente. Madrid. España.
- Montilva, J. y Granados, G. 1996. Modelado y manipulación de redes de servicios usando grafos espaciales en C<sup>++</sup>. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Venezuela.
- Montoya, A. R., Aramburu. M. M. P. y Escribano, B. R. 1997. La fragilidad del paisaje de los Tuxtlas, Veracruz, México. Primera Reunión de Usuarios de IDRISI. Alcalá de Henares.
- Montoya, A. R., Bernal, N. N., Godínez, C. y Parado, G. E. 2001. Planificación física con base ecológica para el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. México. CONACYT / UNAM-FESI / I30002-B.

- Montoya, A. R., García, P. J. C. y Padilla, R. J. 2004. Utilización de un SIG para la Determinación del Impacto Ambiental Generado por Actividades Agrícolas, Ganaderas e Industriales: El Caso del Valle de Zapotitlán en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán Cuicatlán. México. FES Iztacala. UNAM. Pp. 115-129.
- Montoya, A. R., Benavides, G. L. y De la Cruz, R. L. I. 2008. Valoración de Riesgo de Incendio e Inundación en el Estado de México, por medio de un Sistema de Información Geográfica. XVIII Congreso Nacional de Geografía. Zacatecas. México. Pp. 16.
- Mora, R. J. A. 2004. El Problema de la Basura en México. Fundación de Estadíos Urbanos y Metropolitanos. Pp. 82.
- Morehouse, S. 1990. The Architecture of Arc/INFO. Environmental Systems Research Institute. California. USA. Pp. 266 – 277.
- Moreno, C. E. y González, A. E. 2001. Caracterización del paisaje y su posible impacto ambiental a partir de la clasificación de usos de suelo corine land cover y la utilización de Sistemas de Información Geográfica. Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva. España. Pp. 11-20.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-083-SEMARNAT-2003). Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación. Miércoles 20 de Octubre de 2004. Pp. 2.
- Palacio, P. J. L., Sánchez, S. M. T., Casado, I. J. M., Propin, F. E., Delgado, C. J., Velázquez, M. A., Chias, B. L., Ortiz, A. M. I., González, S. J., Negrete, F. G., Gabriel, M. J., Márquez, H. R., Niedo, M. T., Jiménez, R. R., Muñoz, L. E., Ocaña, N. D., Juárez, A. E., Anzaldo, G. C., Hernández, E. J. C., Valderrama, C. K., Rodríguez, C. J., Campos, C. J. M., Vera, L. C. H. y Camacho, R. C. G. 2004. Indicadores para la Caracterización y el Ordenamiento Territorial. SEDESOL – SEMARNAT – INE – UNAM. México. Pp. 21 – 38.
- Pineda, J. N. B., Bosque, S. J., Gómez, D. M. y Plata, R. W. 2009. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas

- multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 69(09):33-52.
- Poder Ejecutivo Federal (PEF). 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012. Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. México. Pp. 257.
  - Quezada, A. S. 2001. Almanaque Mexicano. Editorial Grijalbo. Pp. 11.
  - Quezada, L. A. P. 2009. Contaminación generada por residuos sólidos urbanos y aguas negras en el “Gran Canal”, Colonia Luis Donaldo, Colosio, Ecatepec, Estado de México. FES-Iztacala. UNAM.
  - Quiñones, F. y Beale, C., 1995. Utilización de un Sistema de Información Geográfica para la ubicación de un relleno sanitario regional en Puerto Rico. CSA Architects and Engineers.
  - Ramos, F. A. 1979. Planificación física y ecológica, modelos y métodos. Madrid, España. Ed. Magisterio Español. pp. 25-53.
  - Ramos-Reyes, R., Palma-López, D. J., Ortiz-Solorio, C. A., Ortiz-García, C. F. y Díaz-Padilla, G. 2004. Cambios de uso de suelo mediante técnicas de Sistemas de Información Geográfica en una Región Cacaotera. Universidad Autónoma de Chapingo. Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. 22(3)267-278.
  - Rebolledo, R. 2009. Vulnerabilidad de los Bosques en Venezuela ante el cambio climático. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección.
  - Reyes, H. H., Cortina, S., Perales, H., Kauffer, E. y Pat-Fernández, J. M. 2003. Efecto de los subsidios agropecuarios y apoyos gubernamentales sobre la deforestación durante el periodo 1990-2000 en la región de Calakmul, Campeche, México. Investigaciones Geográficas. Boletín núm. 51. Instituto de Geografía. UNAM. México. Pp. 88-106.
  - Rodríguez, P. A. 1993. Proposición de una Definición Profunda de SIG. En Actas del II Congreso de la Asociación de la Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica (A. E. S. I. G.). Madrid. Pp. 127-142.
  - Rosete, V. F. 2008. Antecedentes del Ordenamiento Ecológico del Territorio. Dirección General de Investigación en Ordenamiento Ecológico y Conservación de los Ecosistemas. INE. México.

- Ruíz, L. A., Berlanga, R. A. y Acosta, V. J. 2003. Bases para el Ordenamiento Ecológico de la zona costera del norte de Nayarit, México. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental. Mazatlán, Sinaloa. México.
- Russell, J. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Ed. Aguilar. 4ª Edición. Madrid. España. Pp. 87.
- Sánchez, P. M. 1999. Temascalapa: Monografía Municipal. Instituto Mexiquense de la Cultura. Estado de México. México.
- Santos, J. A. 2003. ¿Qué es una Estación Depuradora de Aguas Residuales? En: [www.geocites.com/rainforest/canopy/1285](http://www.geocites.com/rainforest/canopy/1285)
- Secretaría de Desarrollo Urbano (SEDU). 2008. Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Teotihuacán. Gobierno del Estado de México. México.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI). 2005. Plan de Desarrollo Urbano Municipal de Temascalapa. Gobierno del Estado de México. México.
- Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de México (SEGEM). 1998. Diagnóstico ambiental del municipio de Ecatepec. Pp. 43.
- Secretaria de Ecología, Gobierno del Estado de México (SEGEM). 1999. Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México. Toluca Estado de México. Pp.162.
- Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México (SMAEM) – Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). 2007. Diagnóstico básico de residuos de la construcción del Estado de México. Estado de México. México. Pp. 123.
- Secretaria de Medio Ambiente (SEDEMA). 2010. Ordenamiento Ecológico como Instrumento del Desarrollo Sustentable. Gobierno de Veracruz. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2003. Aplicación de los criterios e indicadores para el manejo forestal sustentable.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Guía de Ordenamiento Ecológico del Territorio para autoridades municipales. México.
- Serrada, R. 2008. Apuntes de Selvicultura: Sucesión Vegetal. EUIT Forestal. Madrid. España. Pp. 55-82.
- Silva, J. T., Estrada, F., Rodríguez, R., Ochoa S., Villalpando, F. y Cruz, G. 2009. Vulnerabilidad acuífera como herramienta de política ambiental para la protección de manantiales en Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 26(1):5-16.
- Solari, F. y Carzola, L. 2008. Valoración de la Calidad y Fragilidad Visual del Paisaje. Centro de investigaciones del Paisaje. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad de Buenos Aires. *Vista: Revista de Estudios del Paisaje*.
- Tagle, C. A. G. 2001. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica y Fotomosaicos Secuenciales del Lago de Pátzcuaro. Un estudio retrospectivo de morfometría lacustre. Tesis de Licenciatura. UNAM. FESI. México. Pp. 56.
- Tiburcio, R. J., Vargas, P. E., Terrazas, D. S. y Aguilar, S. G. 2007. Ordenamiento Ecológico Territorial Utilizando la Evaluación Multicriterio, para el Municipio de San Andrés Chiautla, Estado de México. Universidad Autónoma de Chapingo. *Revista Chapingo: Series Forestales y del Ambiente*. 13(002):91-108.
- Vélez, R. 1986. Incendios forestales y su relación con el medio rural. *Revista de Estudios Agro-Sociales*. 136:195-224.
- Vieira, R. J., 2000. El sistema de Informaciones Geográficas (SIG) en los contextos de planificación del medio físico y de las cuencas hidrográficas. Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Universidad Estatal de Campinas. Pp. 102 – 113.
- Vicente, S. S. M., Lasanta, M. T. y Cuadrat, P. J. M. 2000. Influencia de la ganadería en la evolución del riesgo de incendio en función de la vegetación en un área de montaña: el ejemplo del Valle de Borau, Pirineo, Aragón. *Geographicalia*. 38:31-54.

- Vizcaíno, M. F. 1992. La Contaminación en México. Ed. Fondo de Cultura Económica. México.
- Walker, L. R. Margalef y la sucesión ecológica. Department of Biological Sciences, University of Nevada, Las Vegas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente 14(1): 66-78.
- WWF-México. 2007. Bosques Mexicanos: Deforestación en México. México. Pp. 84.
- Yáñez, M. C. F. 2007. Las Áreas Naturales Protegidas en México, criterios para su determinación. Caso estudio: Sierra Tarahumara, Estado de Chihuahua. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional. Pp. 65.
- Young, B. 2007. Distribución de las especies endémicas en la vertiente oriental de los Andes en Perú y Bolivia. NatureServer. Arlington. Virginia. EEUU. Pp. 5-6.
- <http://www.smn.cna.gob.mx> – Normales climatológicas. Consultada: 22-Septiembre-2010
- <http://inegi.gob.mx> – Censos de Población y Vivienda. Consultada: 25-Febrero-2011
- [http://200.23.34.25/03\\_peot.htm](http://200.23.34.25/03_peot.htm) Consultada: 08-Agosto-2010
- <http://www.estadodemexico.com.mx/temascalapa>. - Descripción de Temascalapa. Consultada: 13-Marzo-2010

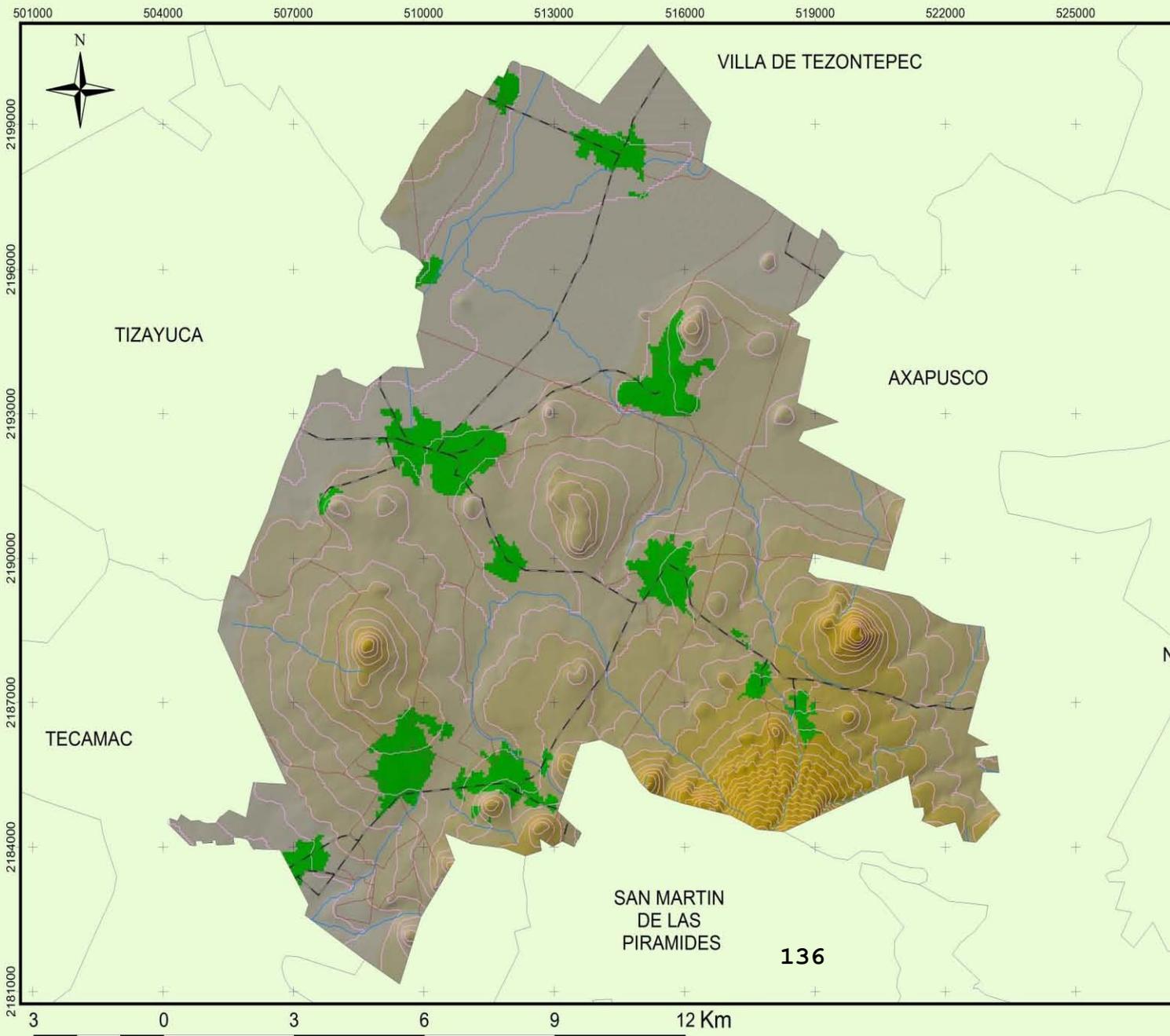
## 12 Anexo cartográfico

---

1. Mapa base del municipio de Temascalapa
2. Temperatura mínima mensual
3. Temperatura máxima mensual
4. Precipitación mensual
5. Evapotranspiración mensual
6. Clima e Hidrología Superficial
7. Vegetación y Uso de Suelo
8. Edafología
9. Litología
10. Infraestructura Vial
11. Modelo Digital de Elevación
12. Curvas de Nivel
13. Pendiente
14. Exposición
15. Iluminación
16. Localidades de Temascalapa
17. Población Total 2000 - 2010
18. Educación 2000 - 2010
19. Servicios de salud 2000 - 2010
20. Población Económicamente Activa (PEA) 2000
21. Cambio de uso de suelo en el periodo de 1977 a 1997
22. Cambio de uso de suelo en el periodo de 1977 a 2008
23. Riesgo de incendio: Primer Semestre
24. Riesgo de incendio: Segundo Semestre
25. Localización óptima de un Vertedero de RSU: Zonas aptas y no aptas
26. Localización óptima de un Vertedero de RSU: Aptitud Territorial
27. Localización óptima de un Vertedero de RSU: Zonas aptas por superficie
28. Mejor ubicación de una PTAR: Zonas aptas y no aptas
29. Mejor ubicación de una PTAR: Zonas aptas por superficie
30. Calidad de la Vegetación
31. Fragilidad de la Vegetación
32. Calidad y Fragilidad de la Vegetación



# 01 Mapa Base

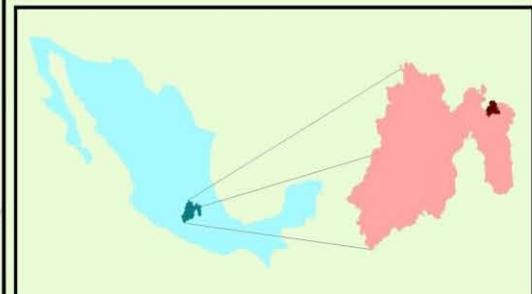


## SIMBOLOGIA

### Mapa Base

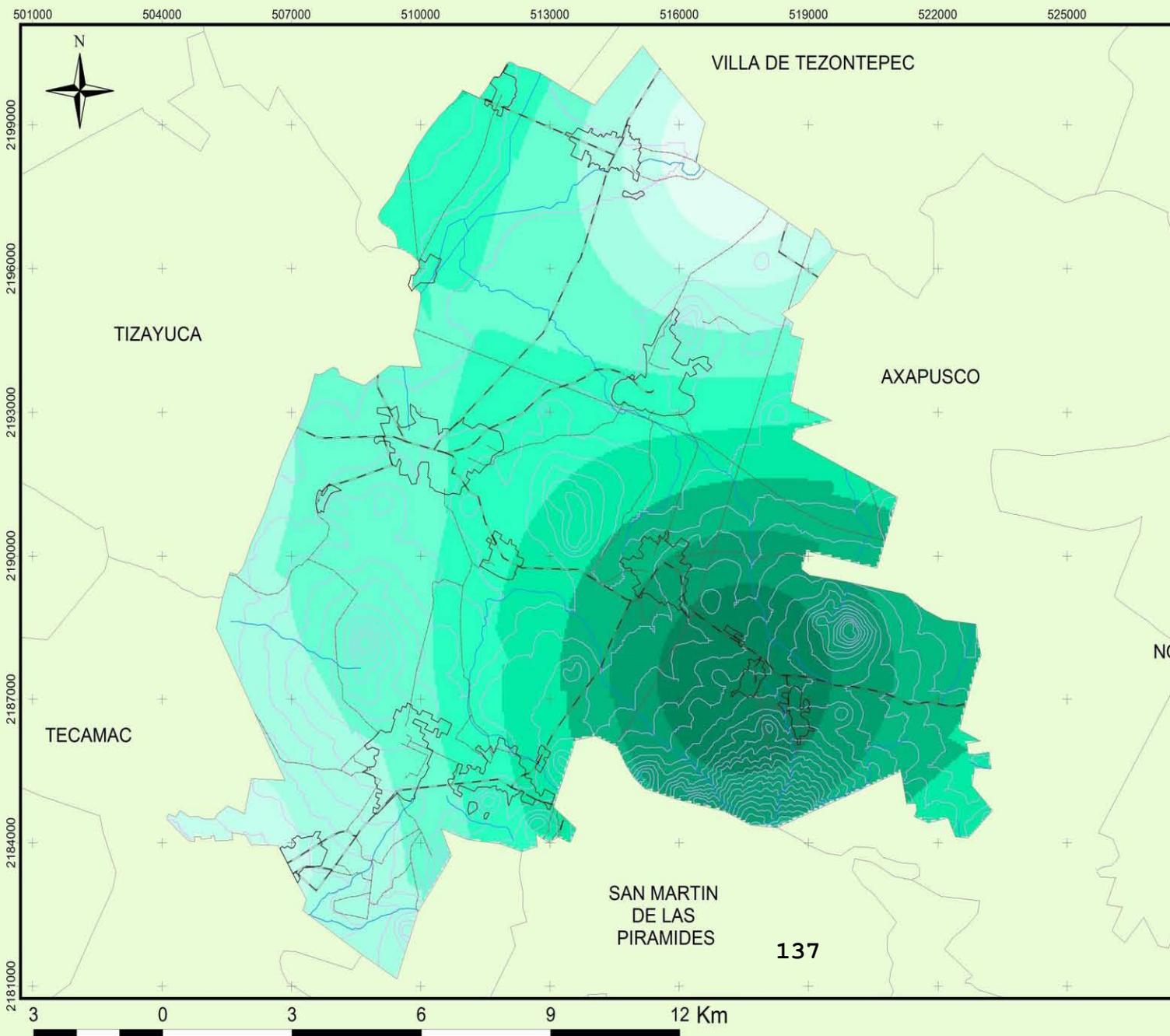
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





# 02 Temperatura Mínima Mensual



## SIMBOLOGIA

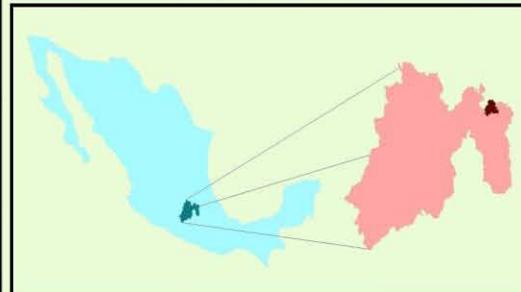
Enero (°C)

Lightest Blue	-3.11 - -2.65
Light Blue	-2.65 - -2.19
Medium Light Blue	-2.19 - -1.74
Medium Blue	-1.74 - -1.28
Dark Blue	-1.28 - -0.83
Teal	-0.82 - -0.37
Green-Teal	-0.37 - 0.09
Green	0.09 - 0.54
Dark Green	0.54 - 1.00

- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

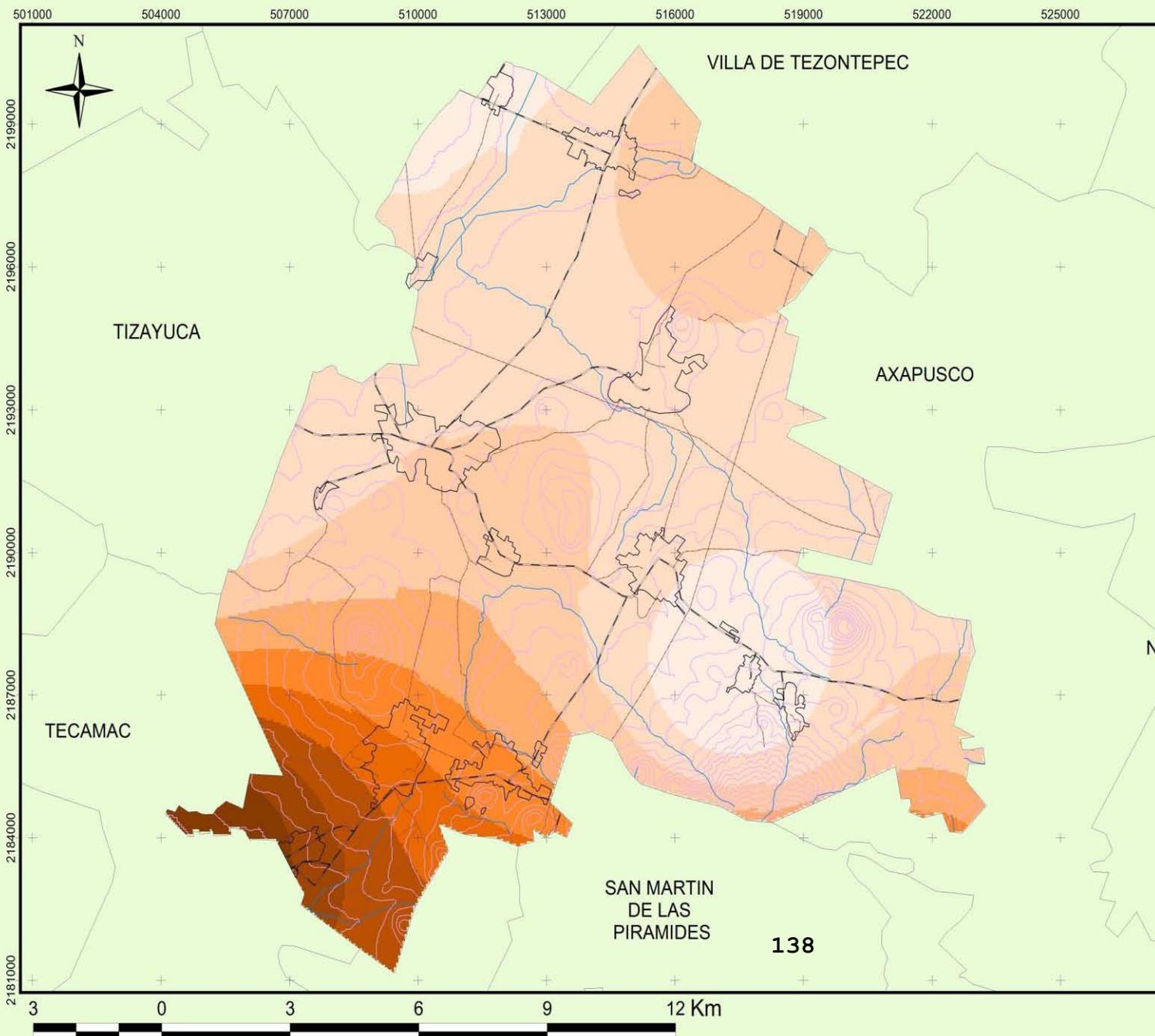
Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927

Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





# 03 Temperatura Máxima Mensual



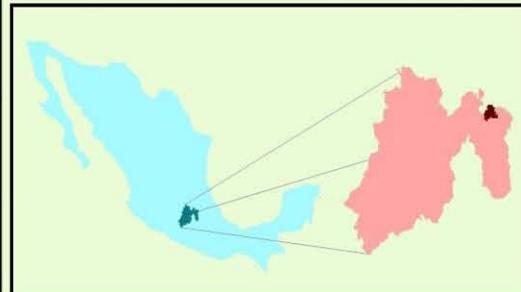
## SIMBOLOGIA

Mayo (°C)

- 31.00 - 31.32
- 31.32 - 31.64
- 31.64 - 31.96
- 31.96 - 32.29
- 32.29 - 32.59
- 32.59 - 32.92
- 32.92 - 33.28
- 33.28 - 33.56
- 33.56 - 33.88

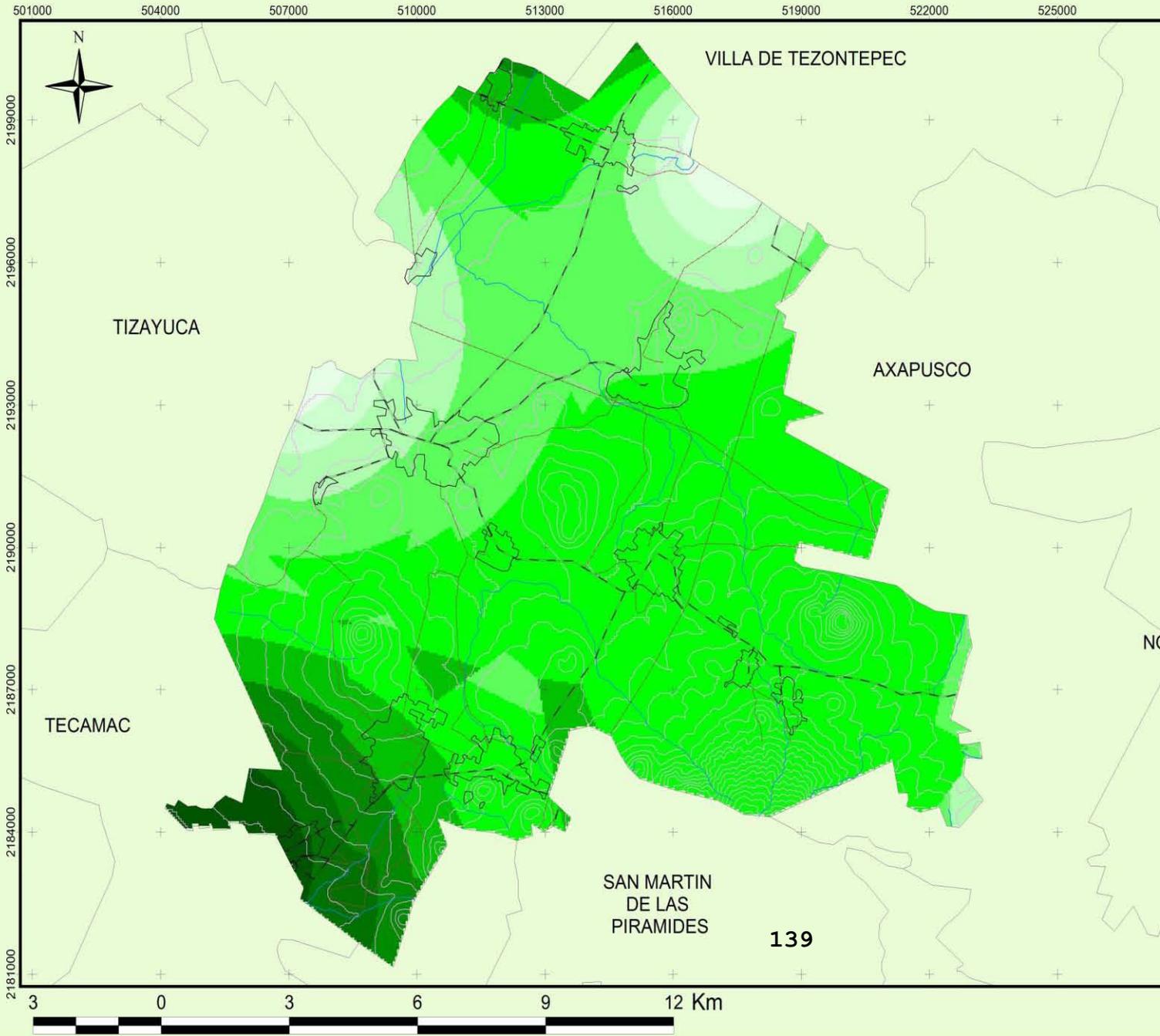
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





# 04 Precipitación Mensual



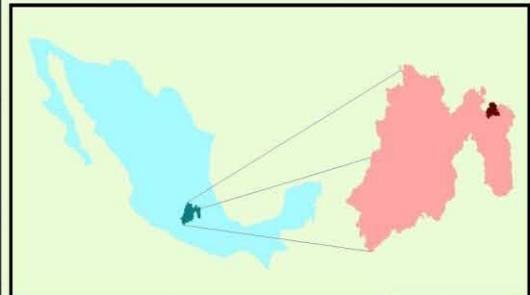
## SIMBOLOGIA

### Julio (mm)

- 97.44 - 99.94
- 99.94 - 102.44
- 102.44 - 104.95
- 104.95 - 107.45
- 107.45 - 109.96
- 109.96 - 112.46
- 112.46 - 114.96
- 114.96 - 117.47
- 117.47 - 119.97

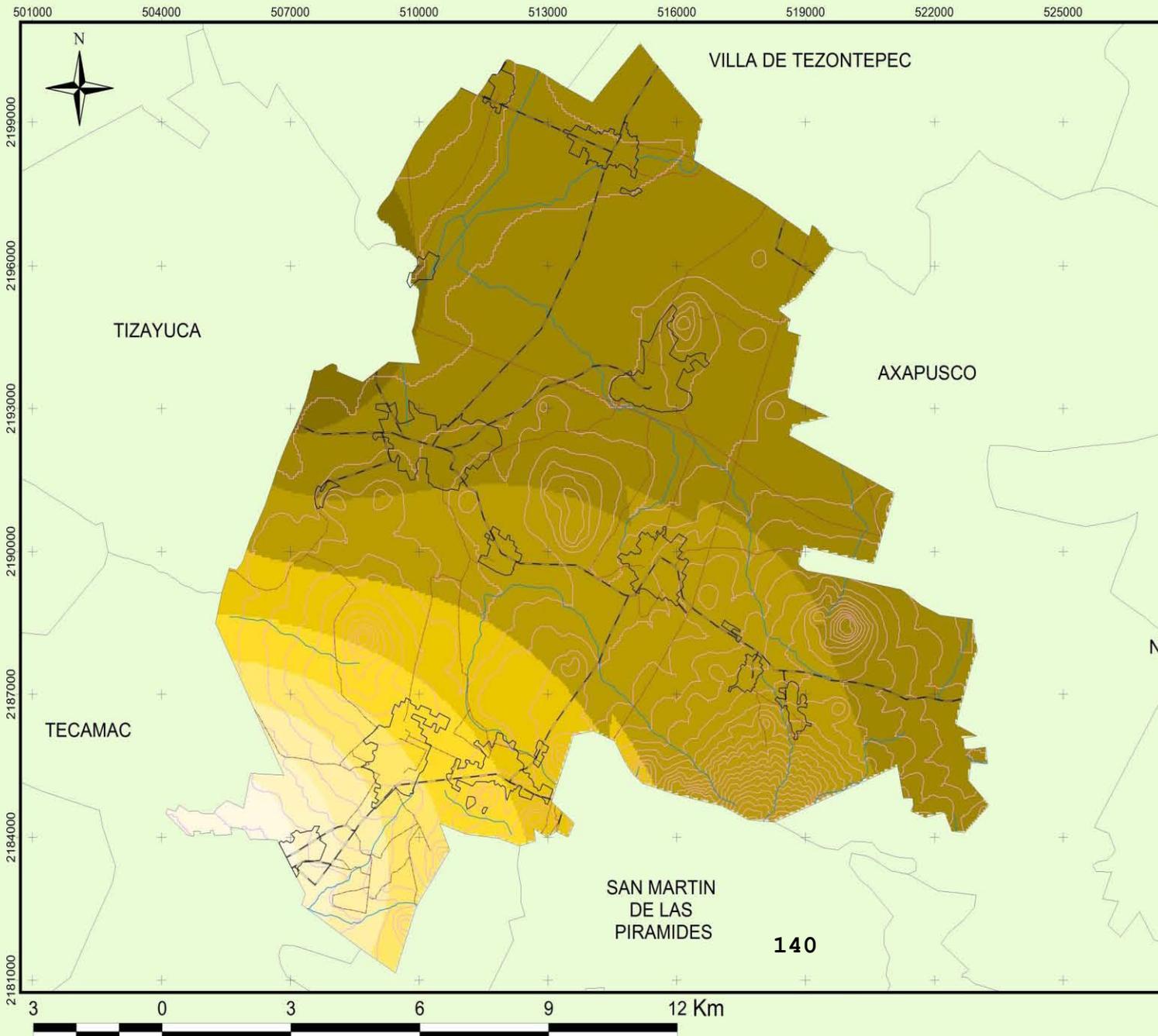
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21



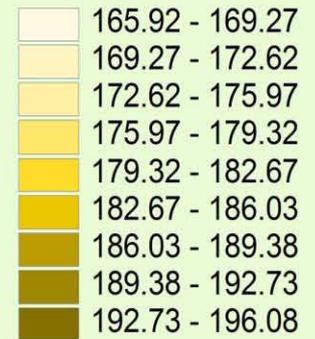


# 05 Evapotranspiración Mensual



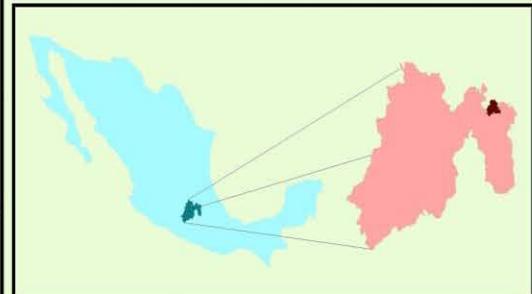
## SIMBOLOGIA

### Abril (mm)



- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

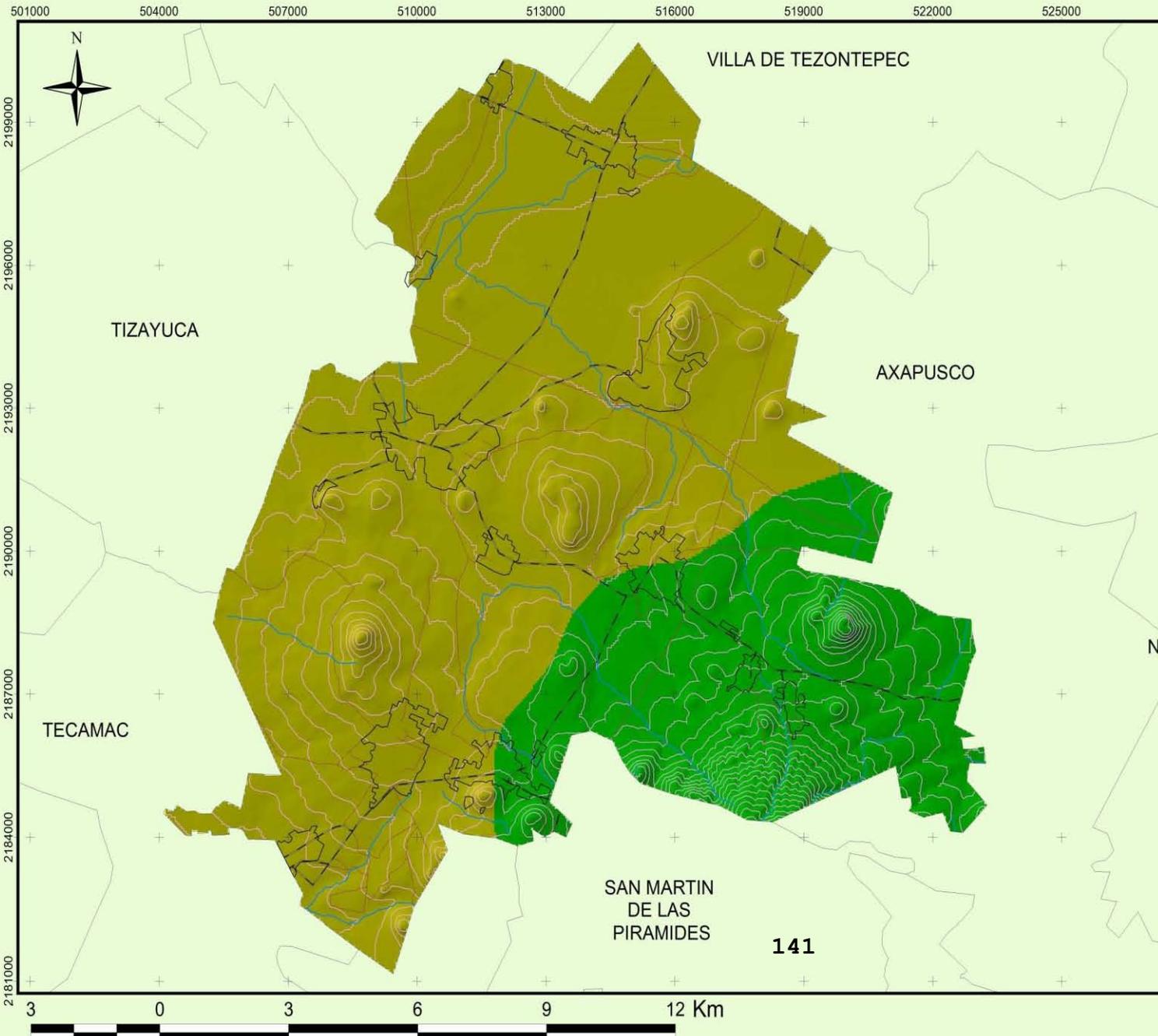
Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





Elaboración de un SIGMA como base para el POUM del Municipio de Tezontepec, Estado de México y su aplicación con modelos

# 06 Clima e Hidrología Superficial



## SIMBOLOGIA

Clima

Seco

Templado

Hidrografía superficial

Núcleos Urbanos

Carreteras Asfaltadas

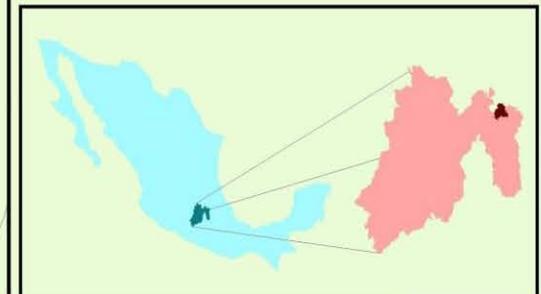
Terracerias

Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927

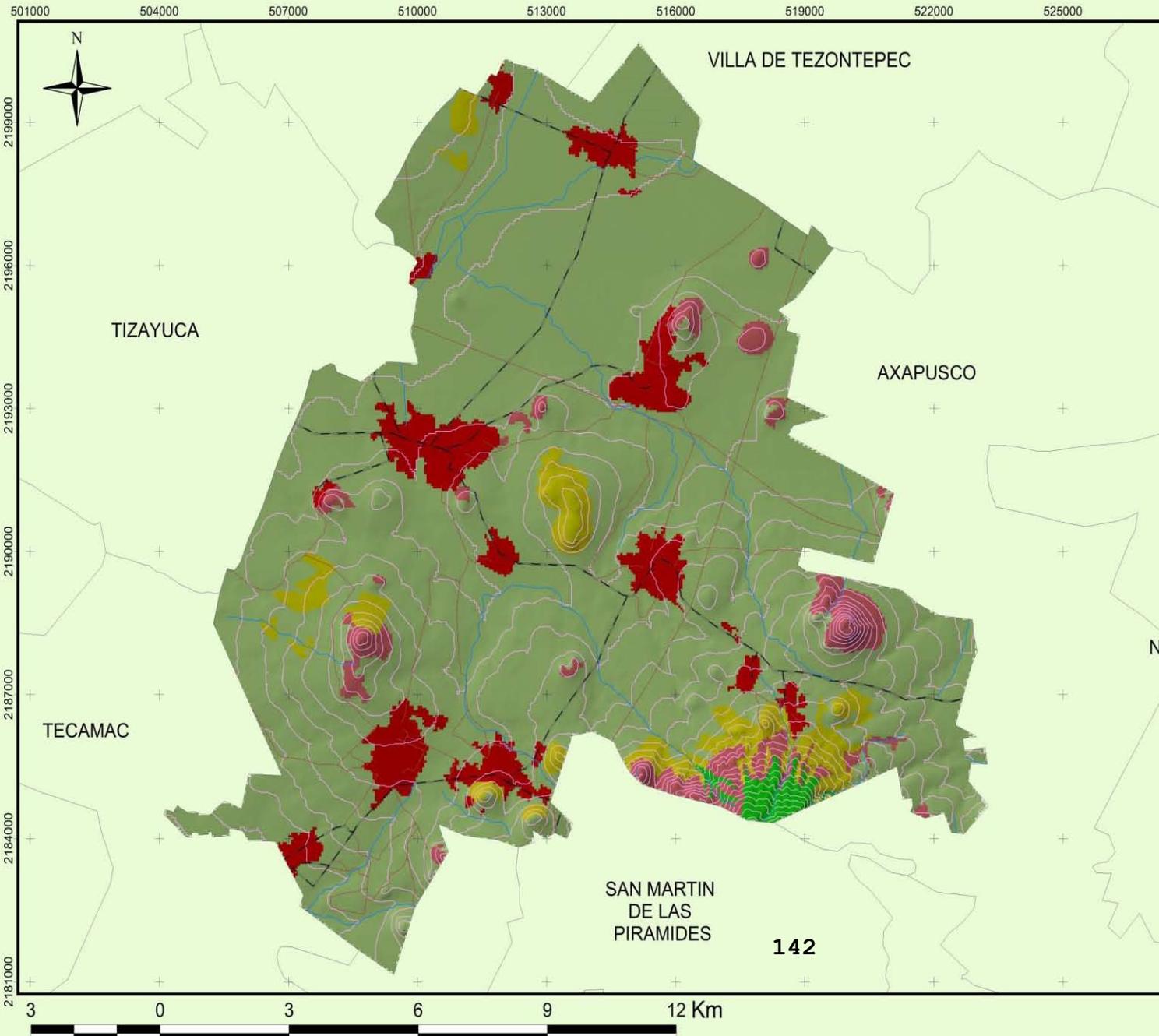
Escala 1:50,000 INEGI

Cartas E14B11-E14B21





# 07 Vegetación y Uso de Suelo



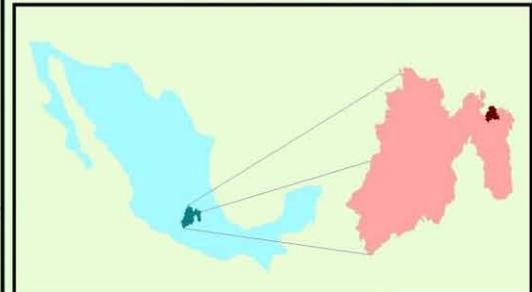
## SIMBOLOGIA

### Vegetación y Uso de Suelo

- Bosque de encino (Be)
- Cultivo riego/temporal (At)
- Matorral Crasicaule (Mc)
- Pastizal Inducido (Pi)
- Núcleos Urbanos (NU)

- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





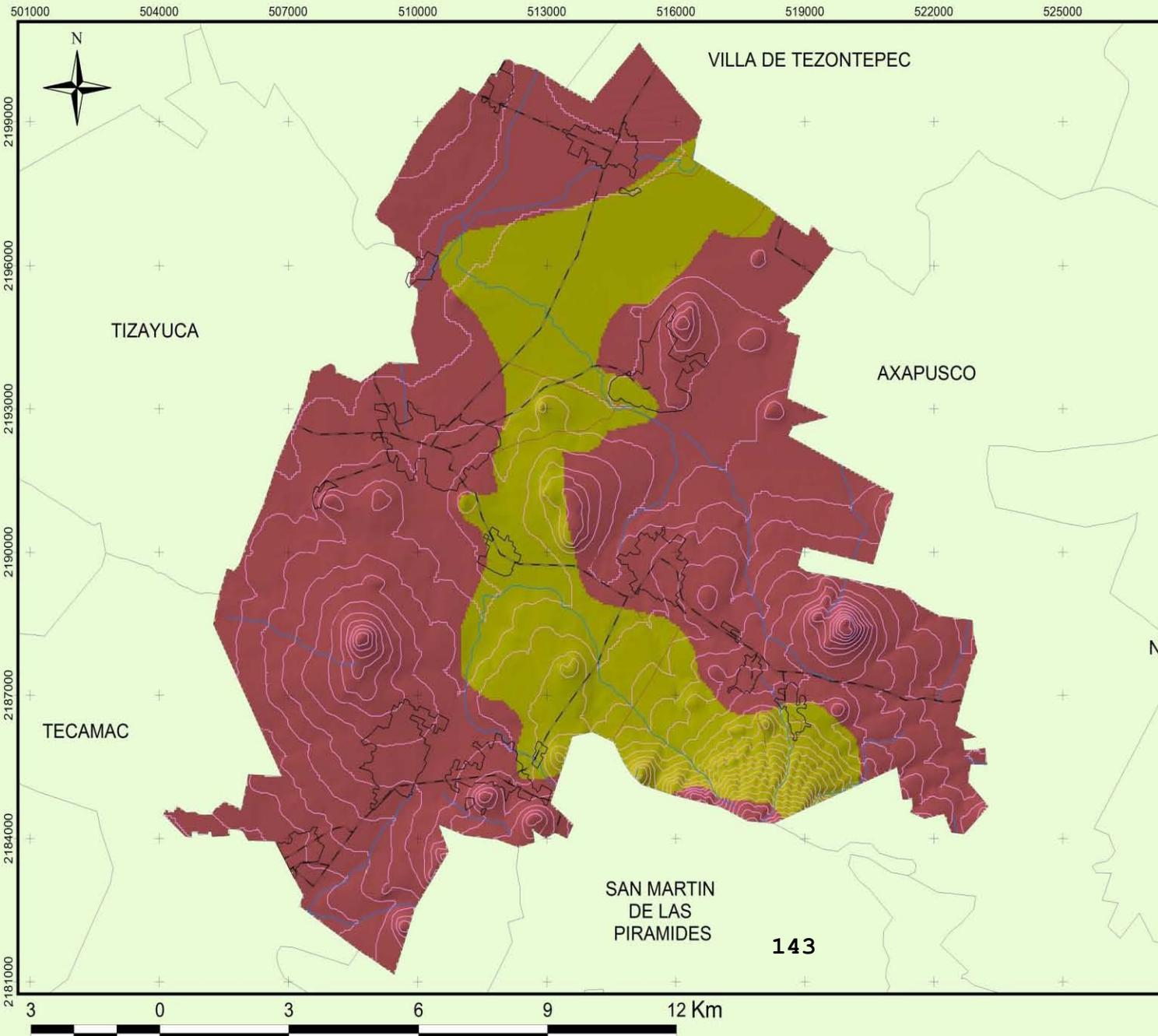
Elaboración de un SIGMA como base para el POUM del municipio de Tlaxiaco, Estado de México y su aplicación con modelos

# Sistema de Información Geográfico Medio Ambiental

## Mapa Temático

Miguel Ángel Trinidad Trinidad

# 08 Edafología



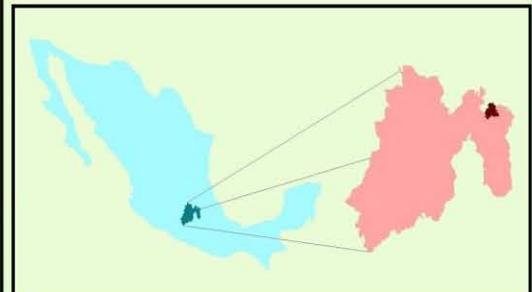
## SIMBOLOGIA

### Edafología

- Cambisol
- Feozem

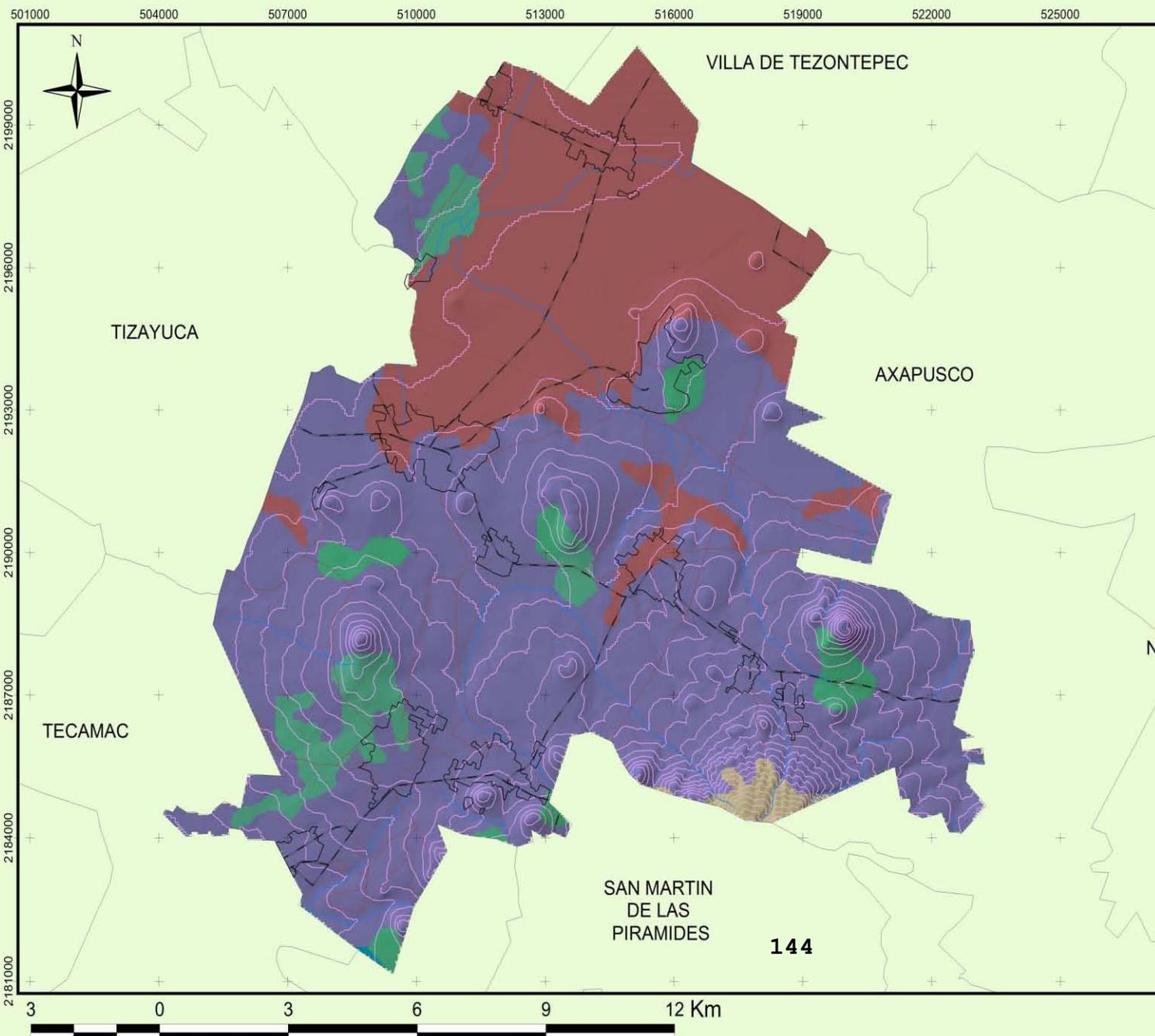
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





# 09 Litología



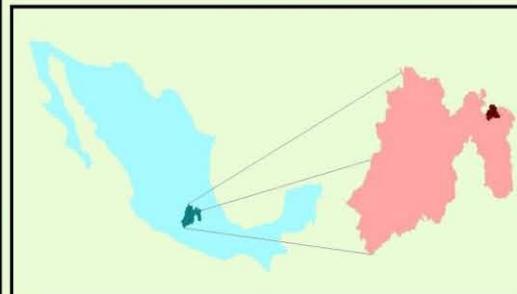
## SIMBOLOGIA

### Litología

- Aluvial
- Basalto
- Basalto-Brecha volcánica básica
- Brecha volcánica básica
- Toba básica
- Volcanoclástico

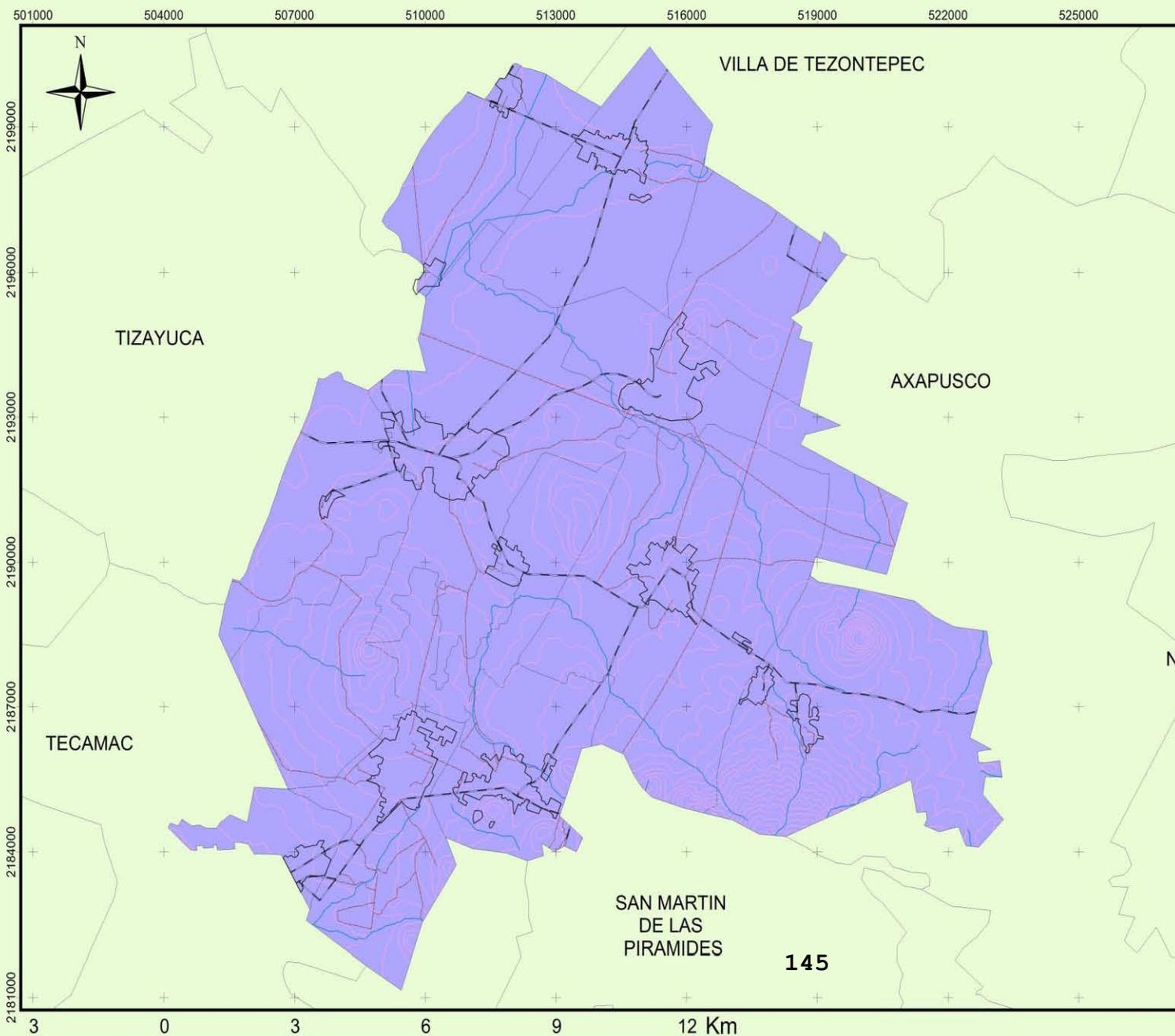
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografía superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





# Mapa Temático 10 Infraestructura Vial



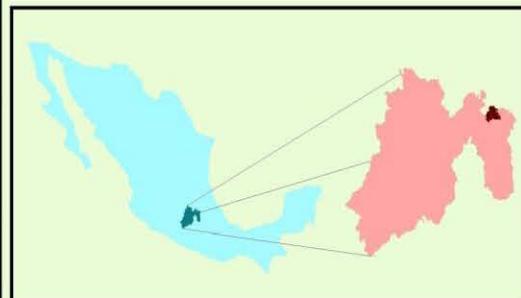
## SIMBOLOGIA

### Vías de Comunicación

- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias

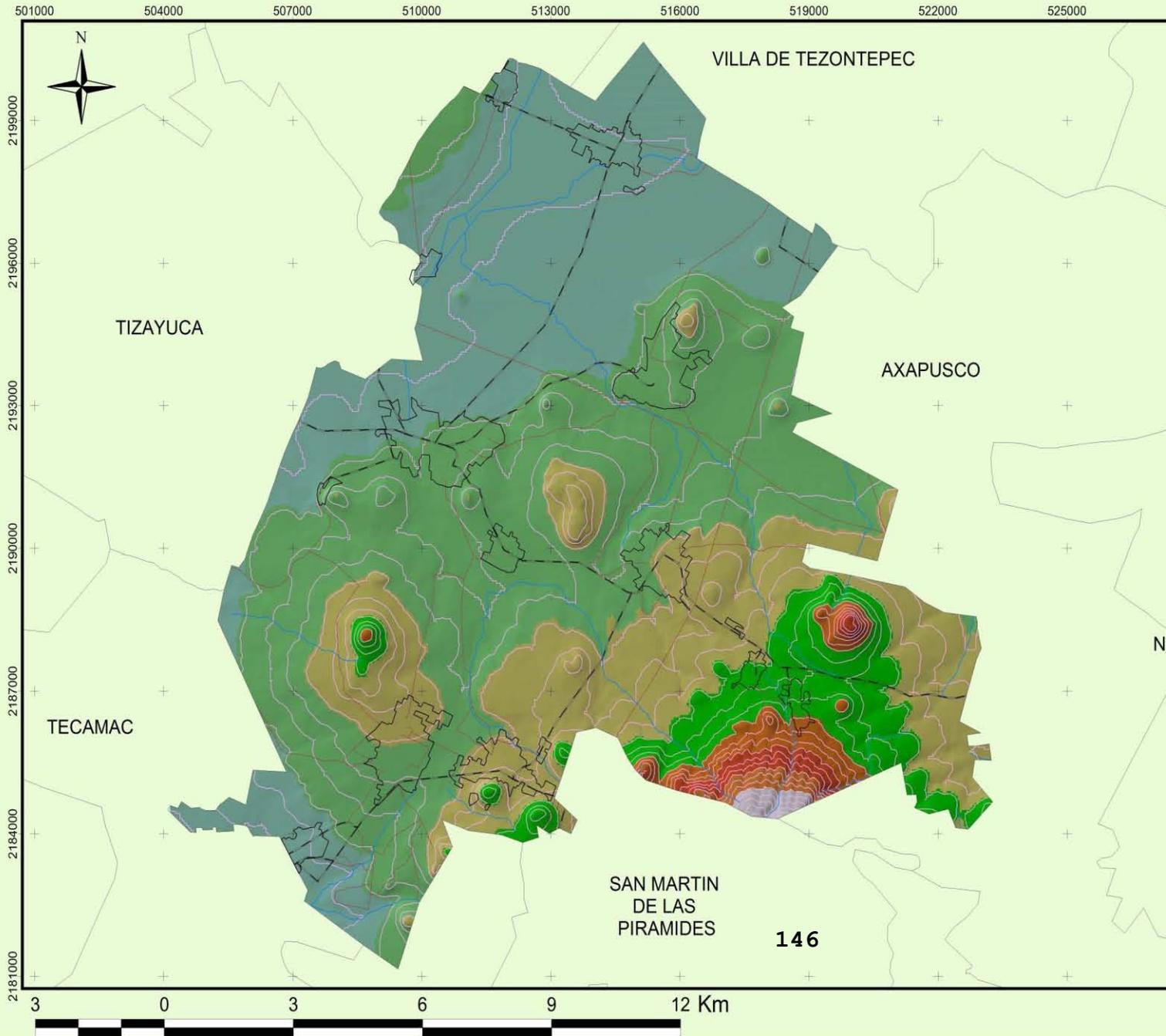
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





# 11 Modelo Digital de Elevación



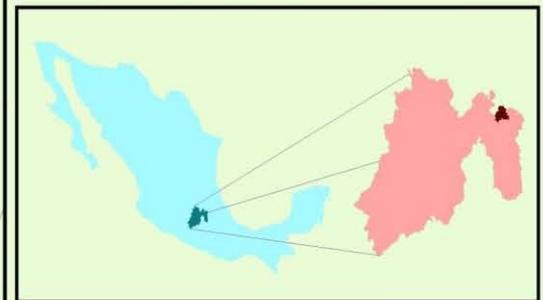
## SIMBOLOGIA

### Altitud (msnm)

- 2245 - 2335
- 2336 - 2426
- 2427 - 2516
- 2517 - 2607
- 2608 - 2697
- 2698 - 2788
- 2789 - 2878
- 2879 - 2969
- 2970 - 3060

- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

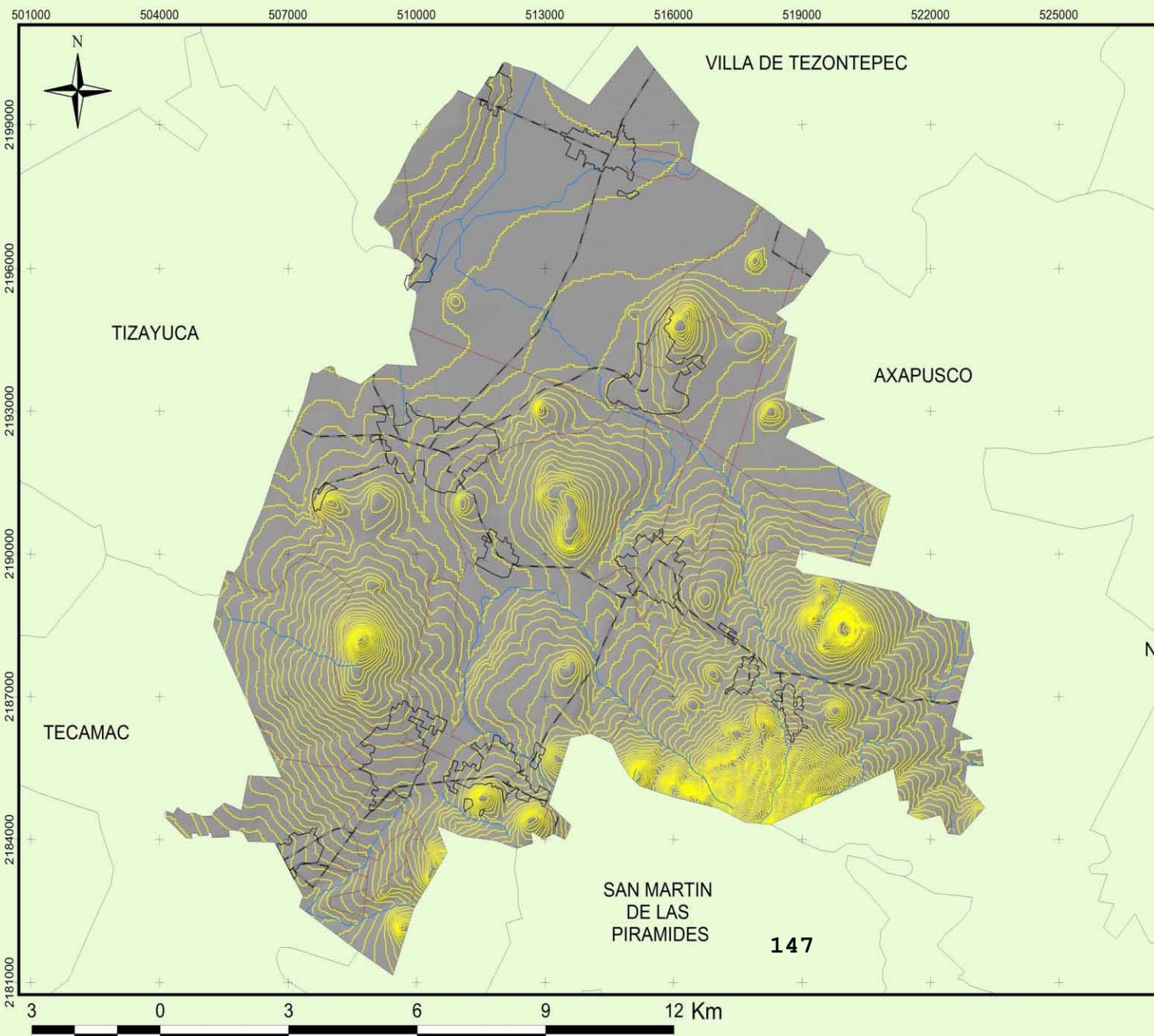
Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





Elaboración de un SIGMA como base para el POA del Municipio de Tezontepec, Estado de México y su aplicación con modelos

# 12 Curvas de nivel



## SIMBOLOGIA

### Curvas de Nivel

 Equidistancia 10 m

 Núcleos Urbanos

 Carreteras Asfaltadas

 Terracerias

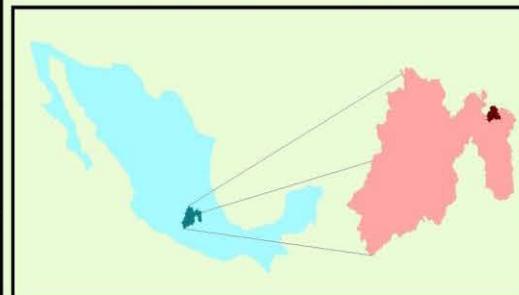
 Hidrografia superficial

Sistema de Proyección UTM

NAD 1927

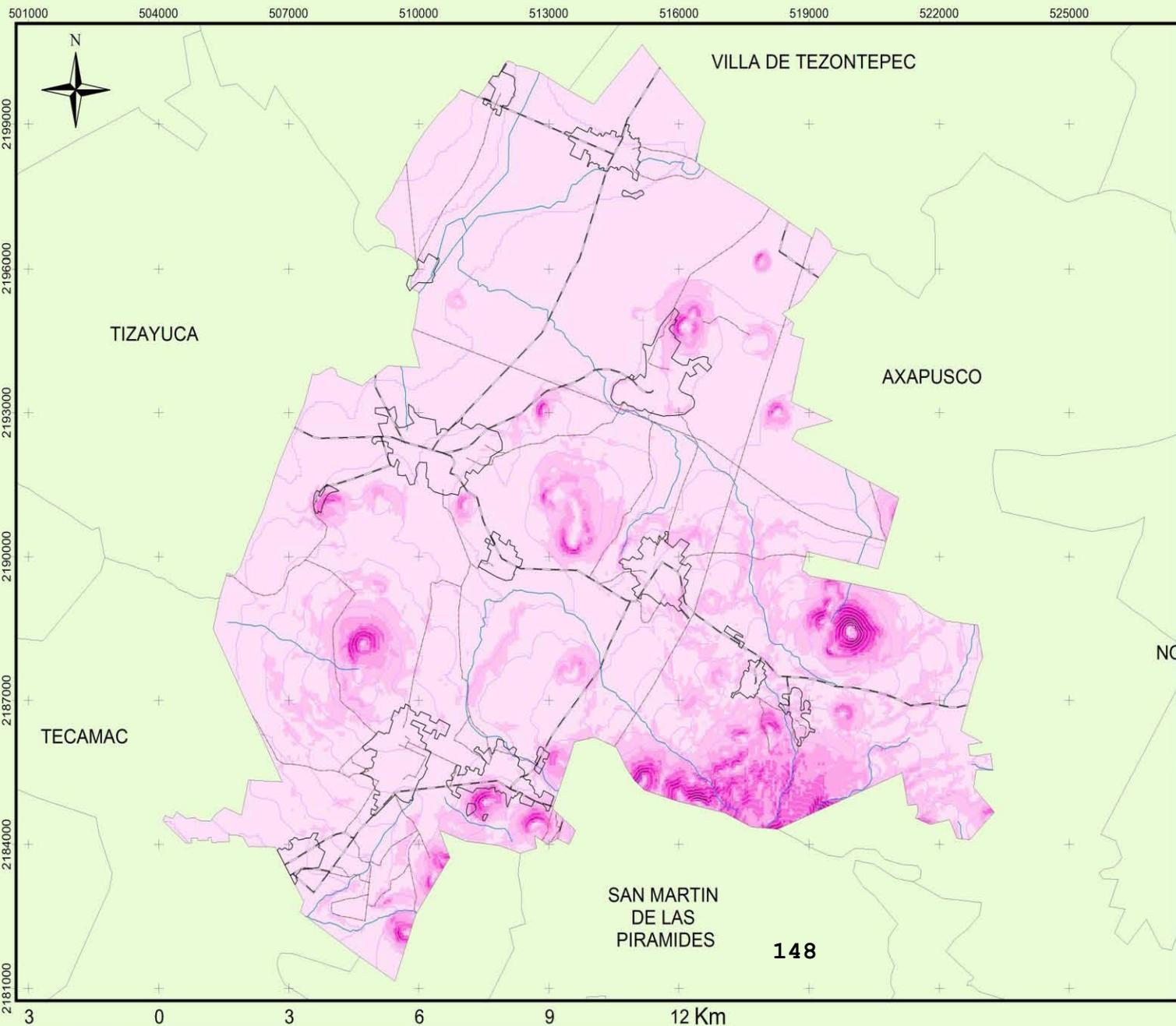
Escala 1:50,000 INEGI

Cartas E14B11-E14B21





# Mapa Temático 13 Pendiente



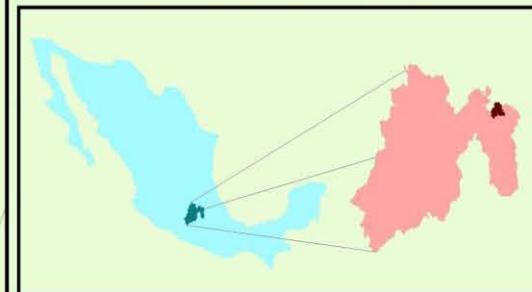
## SIMBOLOGIA

### Pendiente °

- 0 - 4.333
- 4.333 - 8.665
- 8.665 - 12.998
- 12.998 - 17.33
- 17.33 - 21.663
- 21.663 - 25.995
- 25.995 - 30.328
- 30.328 - 34.66
- 34.66 - 38.993

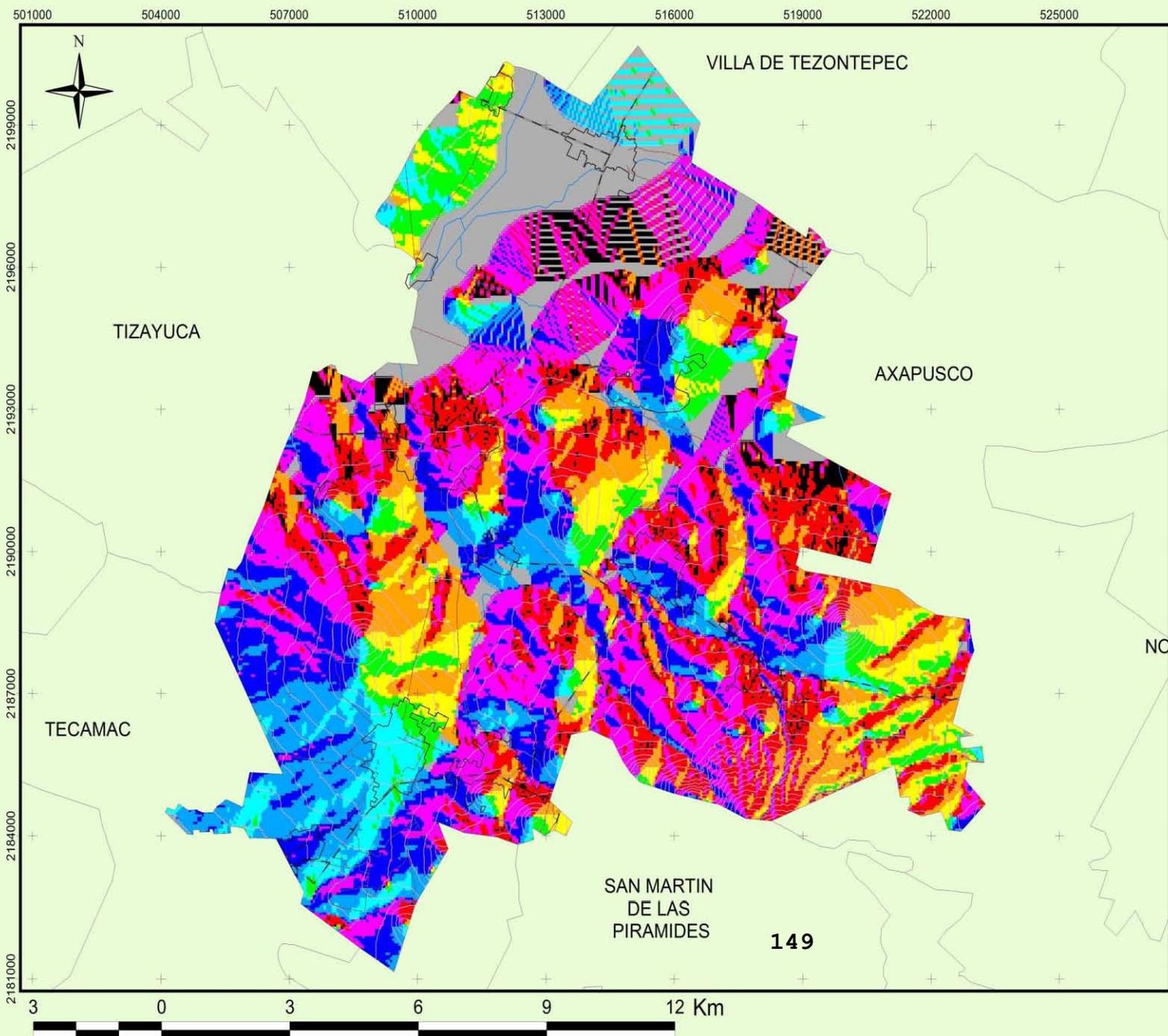
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





# Mapa Temático 14 Exposición



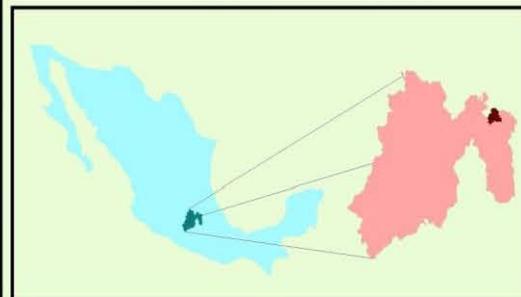
## SIMBOLOGIA

### Exposición

- Plano (-1)
- Norte (0-22.5, 337.5-360)
- Noreste (22.5-67.5)
- Este (67.5-112.5)
- Sureste (112.5-157.5)
- Sur (157.5-202.5)
- Suroeste (202.5-247.5)
- Oeste (247.5-292.5)
- Noroeste (292.5-337.5)

- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografía superficial
- Curvas de nivel

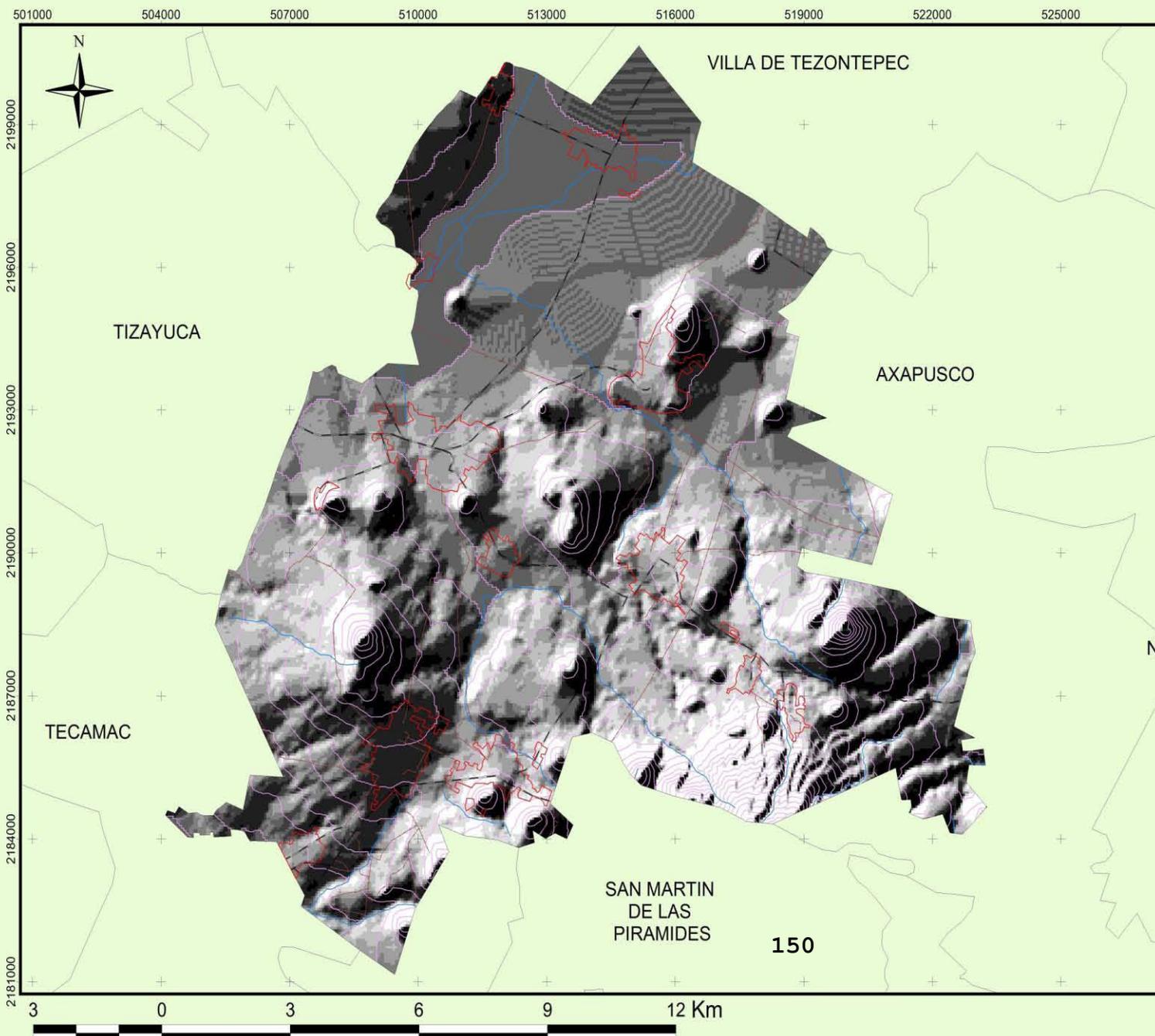
Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





Elaboración de un SIGMA como base para el POA del Municipio de Tezontepec, Estado de México y su aplicación con modelos

# 15 Iluminación



## SIMBOLOGIA

### Iluminación

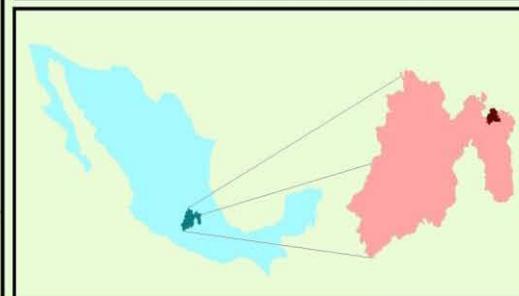
Altitud 45°, Azimutal 315°

Rangos

	55 - 171
	172 - 177
	178 - 179
	180
	181 - 182
	183 - 185
	186 - 188
	189 - 193
	194 - 246

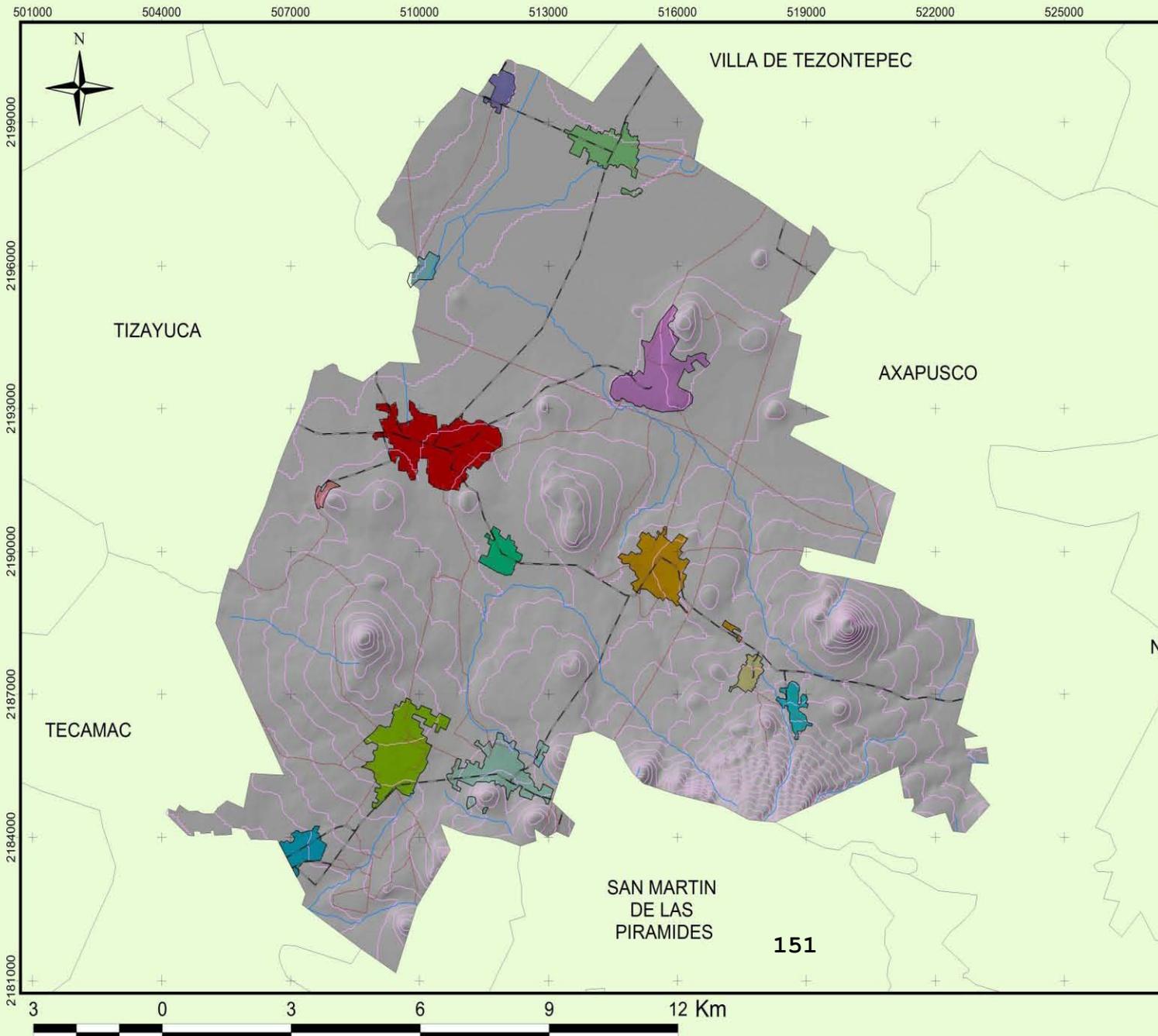
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





# 16 Localidades de Temascalapa



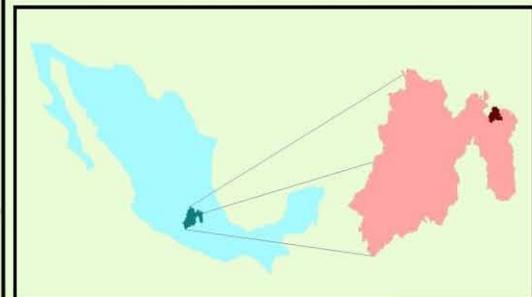
## SIMBOLOGIA

### Localidades

- Alvaro Obregon
- Ixtlahuaca de Cuauhtemoc
- Las Pintas
- Presa del Rey
- San Bartolo
- San Cristobal Colhuacan
- San Juan Teacalco
- San Luis Tecuahutitlan
- San Mateo Teopanala
- San Miguel Atlamajac
- Santa Ana Tlachihualpa
- Santa Maria Maquixco
- Temascalapa

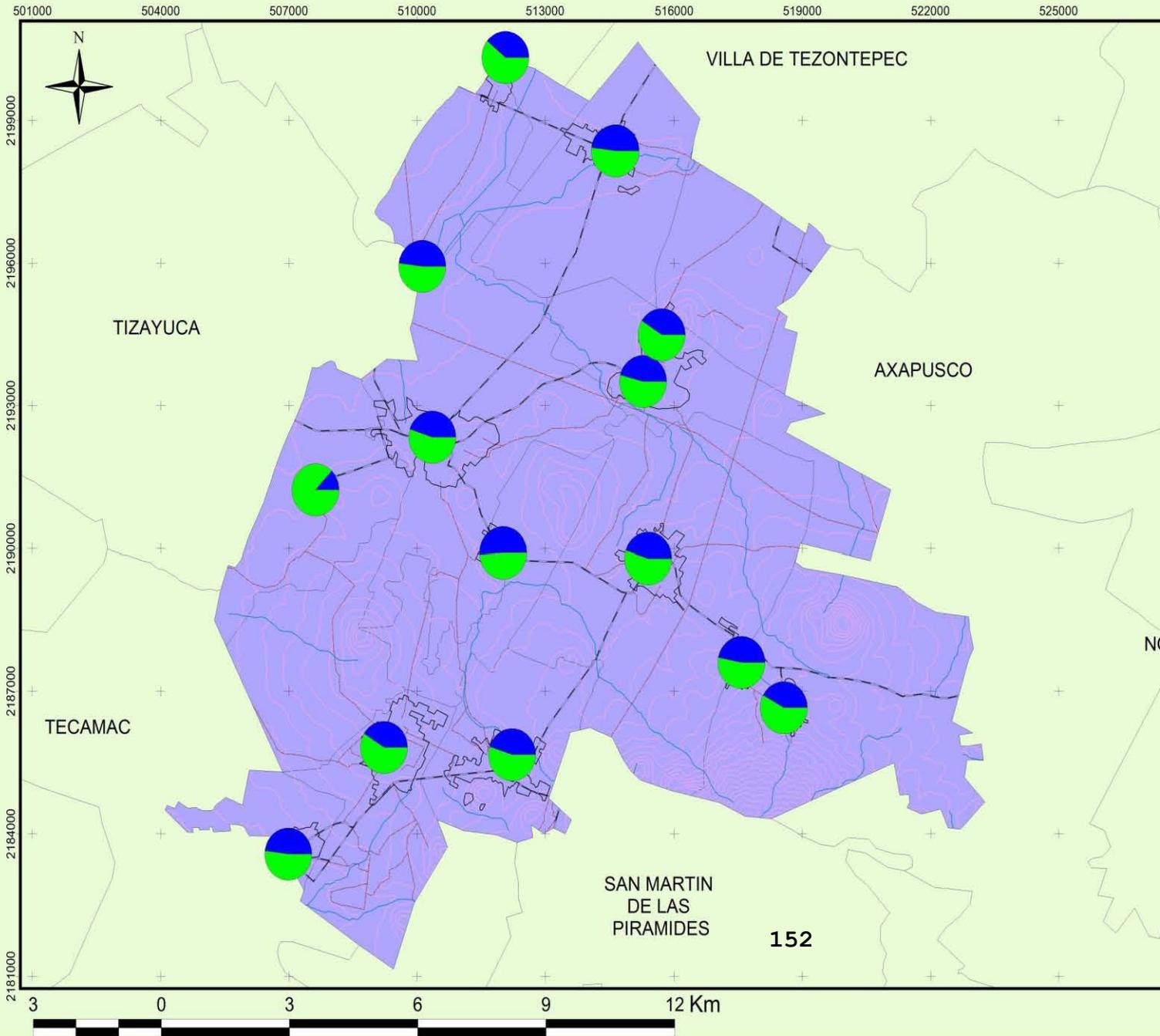
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





# 17 Población Total



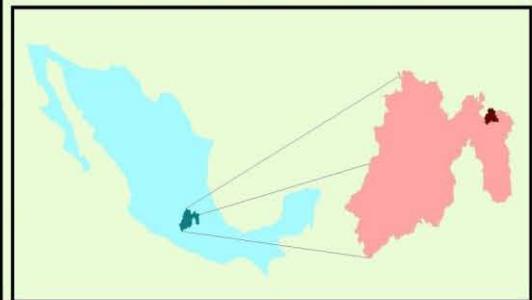
## SIMBOLOGIA

### Censo de Población

- Población Total 2000
- Población Total 2010

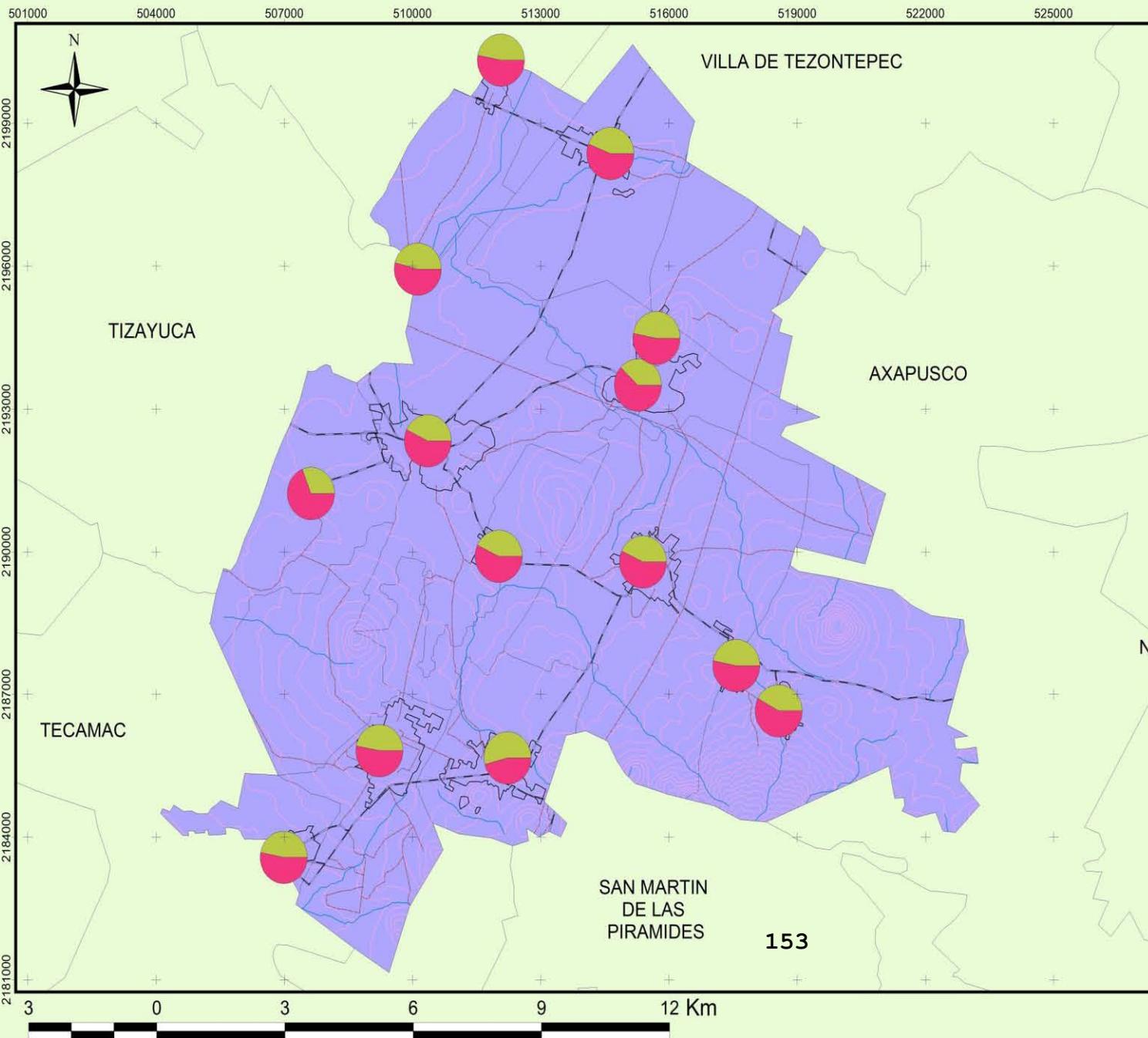
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





# 18 Escolaridad



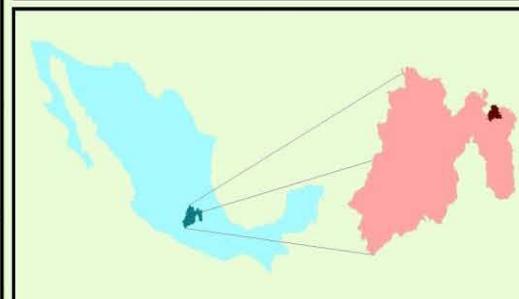
## SIMBOLOGIA

Censo de Escolaridad Total por Localidad



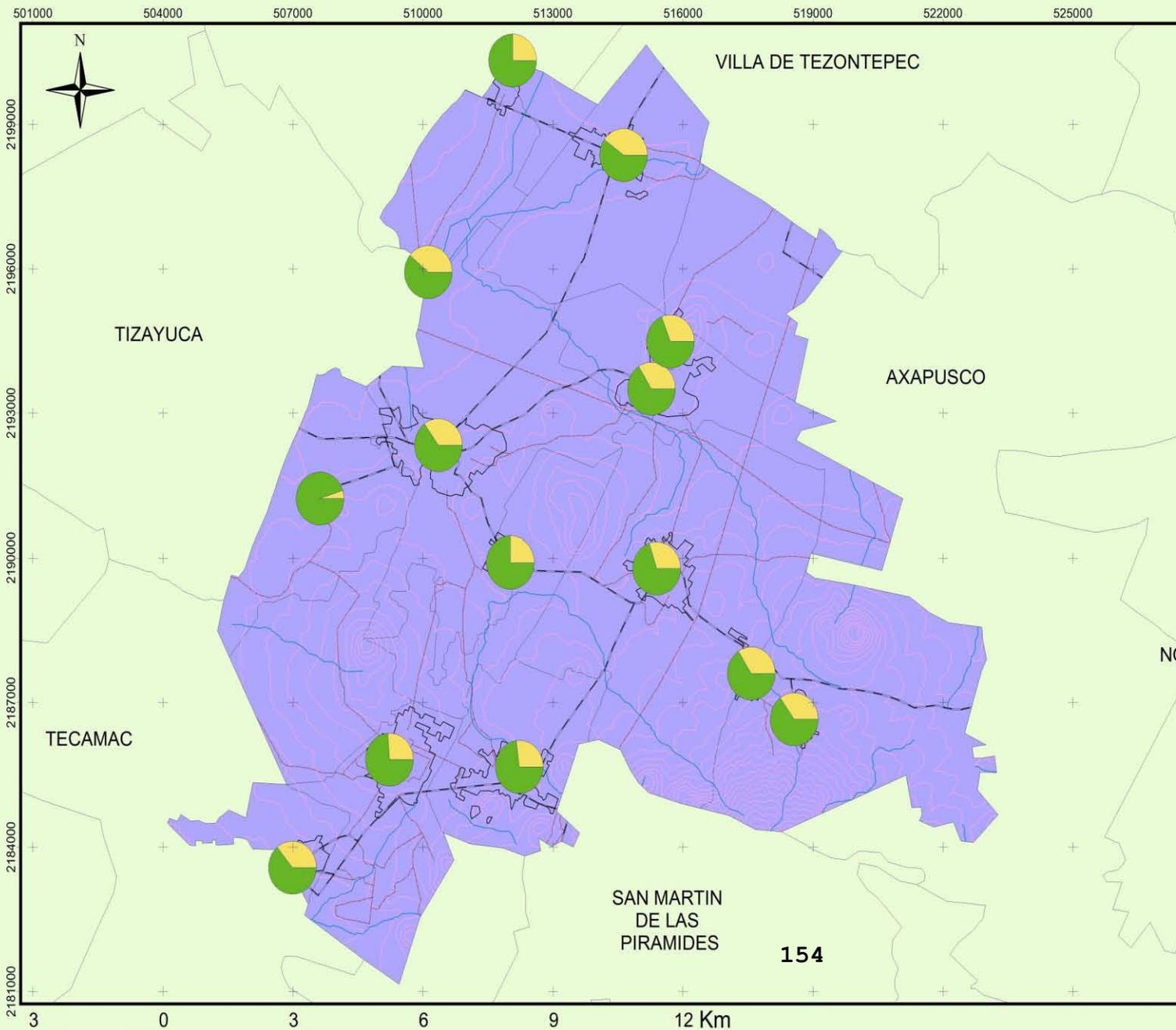
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografía superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





# 19 Servicios de Salud



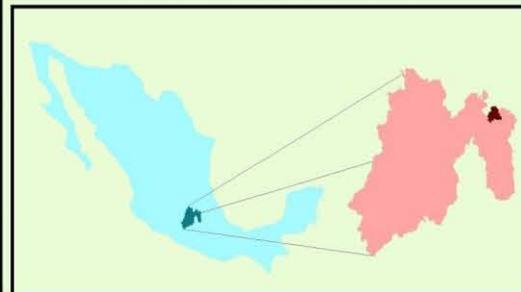
## SIMBOLOGIA

Población con derecho a Servicios de Salud



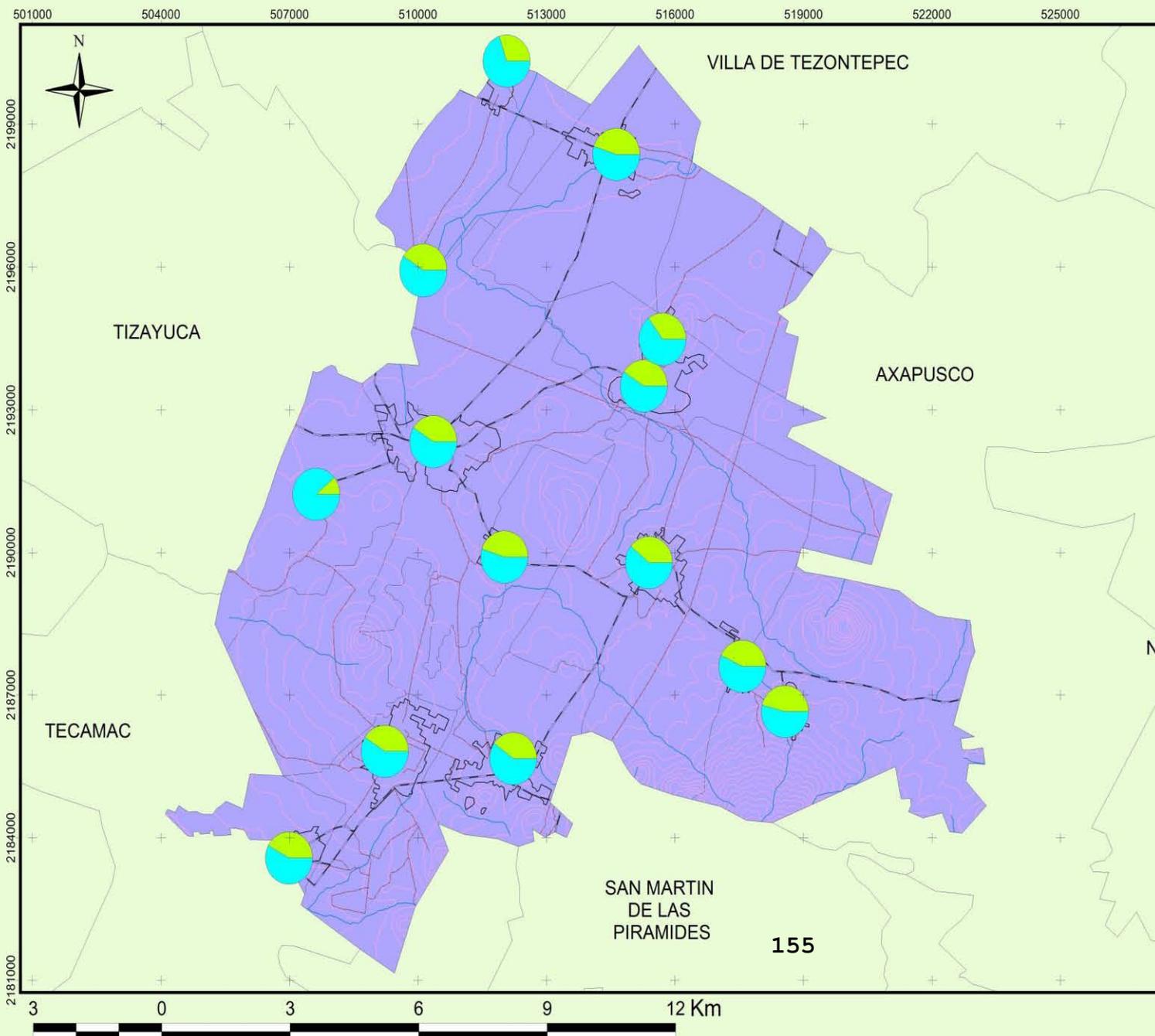
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





# 20 PEA



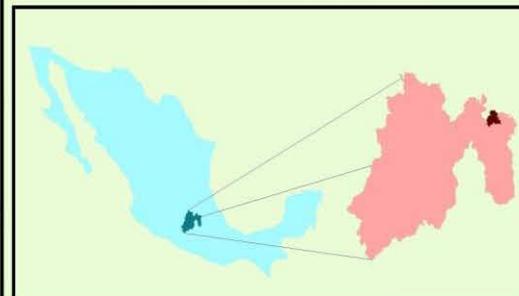
## SIMBOLOGIA

Población Económicamente Activa



- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

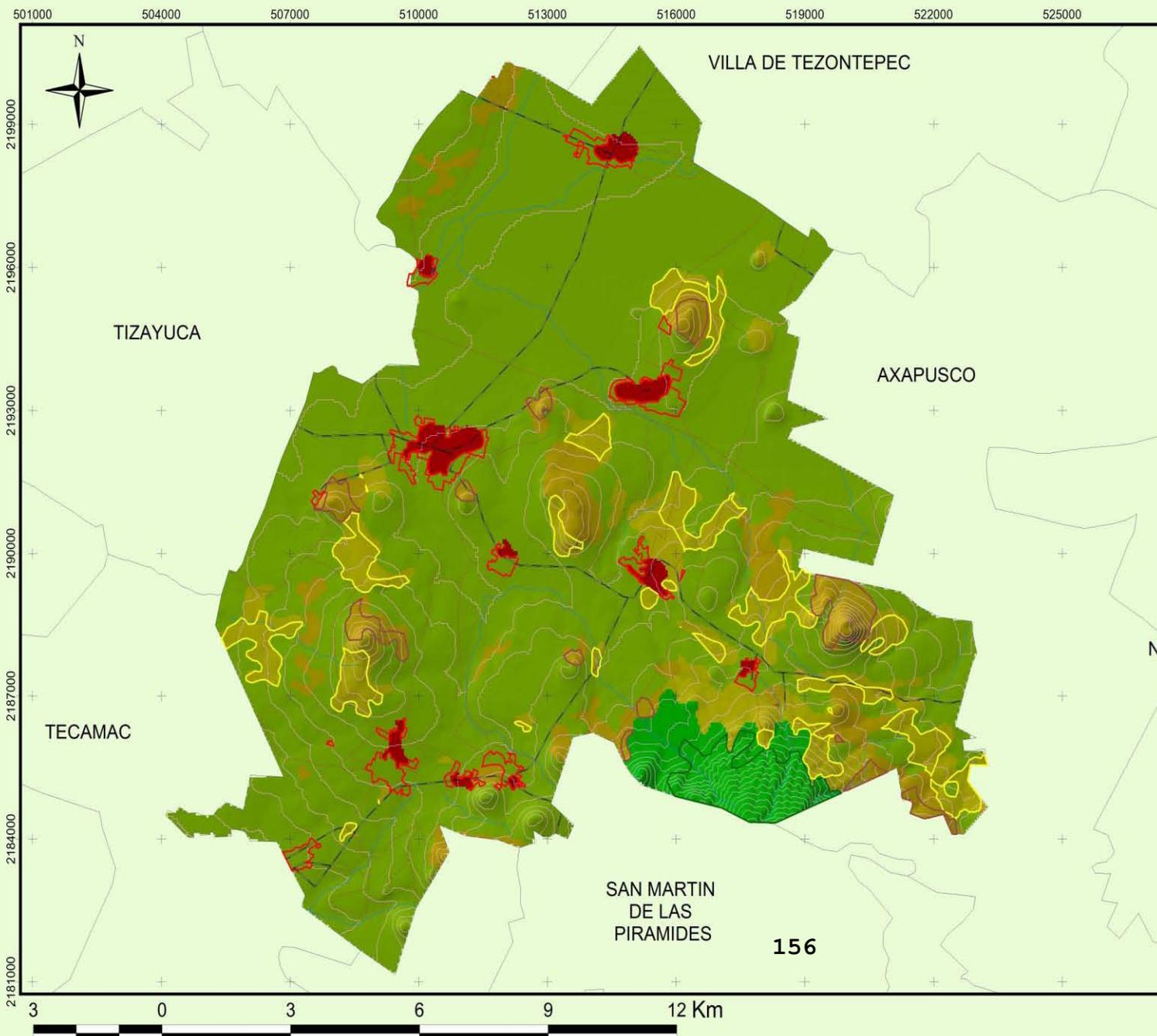
Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





Elaboración de un SIGMA como base para el POUM del municipio de Tezontepec, Estado de México y su aplicación con modelos

# 21 Cambio de Uso de Suelo 1977-1997



## SIMBOLOGIA

### Vegetación y Uso de Suelo 1977

- Bosque de encino (Be)
- Matorral Casicaule (Mc)
- Pastizal Inducido (Pi)
- Agricultura de Temporal (At)
- Zonas Urbanas (NU)

### Vegetación y Uso de Suelo 1997

- Bosque de encino (Be)
- Matorral Casicaule (Mc)
- Pastizal Inducido (Pi)
- Agricultura de Temporal (At)
- Zonas Urbanas (NU)

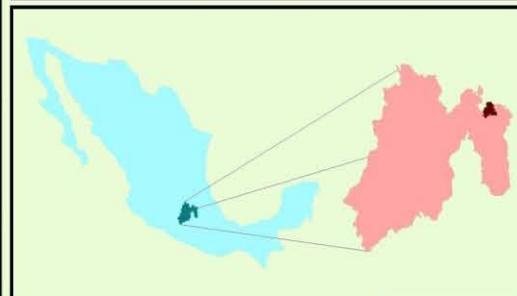
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

### Sistema de Proyección UTM

NAD 1927

Escala 1:50,000 INEGI

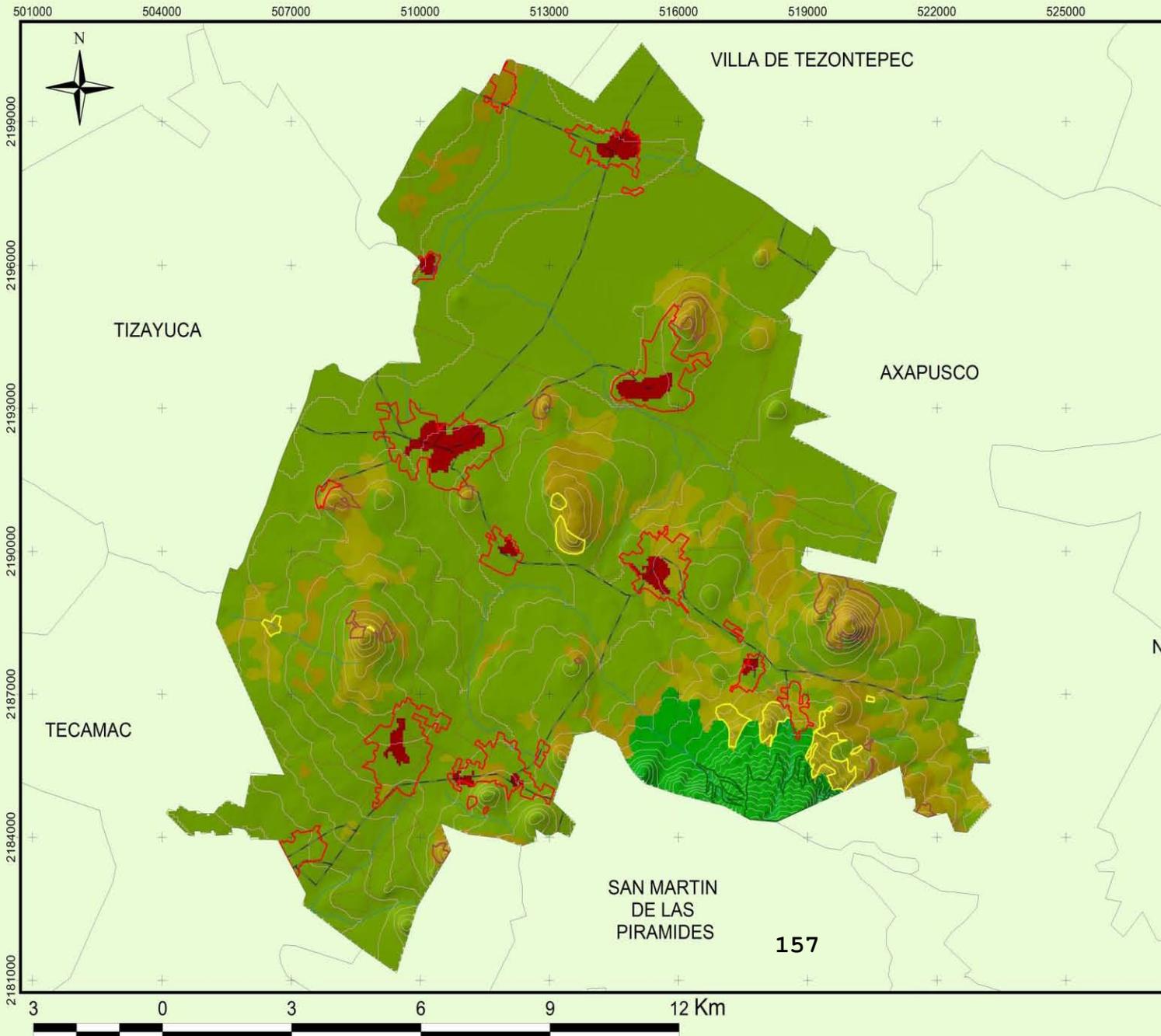
Cartas E14B11-E14B21





# Mapa Temático

## 22 Cambio de Uso de Suelo 1977-2008



### SIMBOLOGIA

#### Vegetación y Uso de Suelo 1977

- Bosque de encino (Be)
- Matorral Casicaule (Mc)
- Pastizal Inducido (Pi)
- Agricultura de Temporal (At)
- Zonas Urbanas (NU)

#### Vegetación y Uso de Suelo 2008

- Bosque de encino (Be)
- Matorral Casicaule (Mc)
- Pastizal Inducido (Pi)
- Agricultura de Temporal (At)
- Zonas Urbanas (NU)

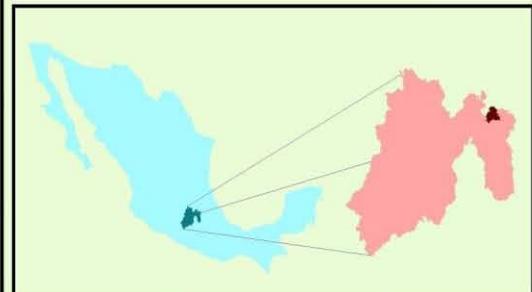
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

#### Sistema de Proyección UTM

NAD 1927

Escala 1:50,000 INEGI

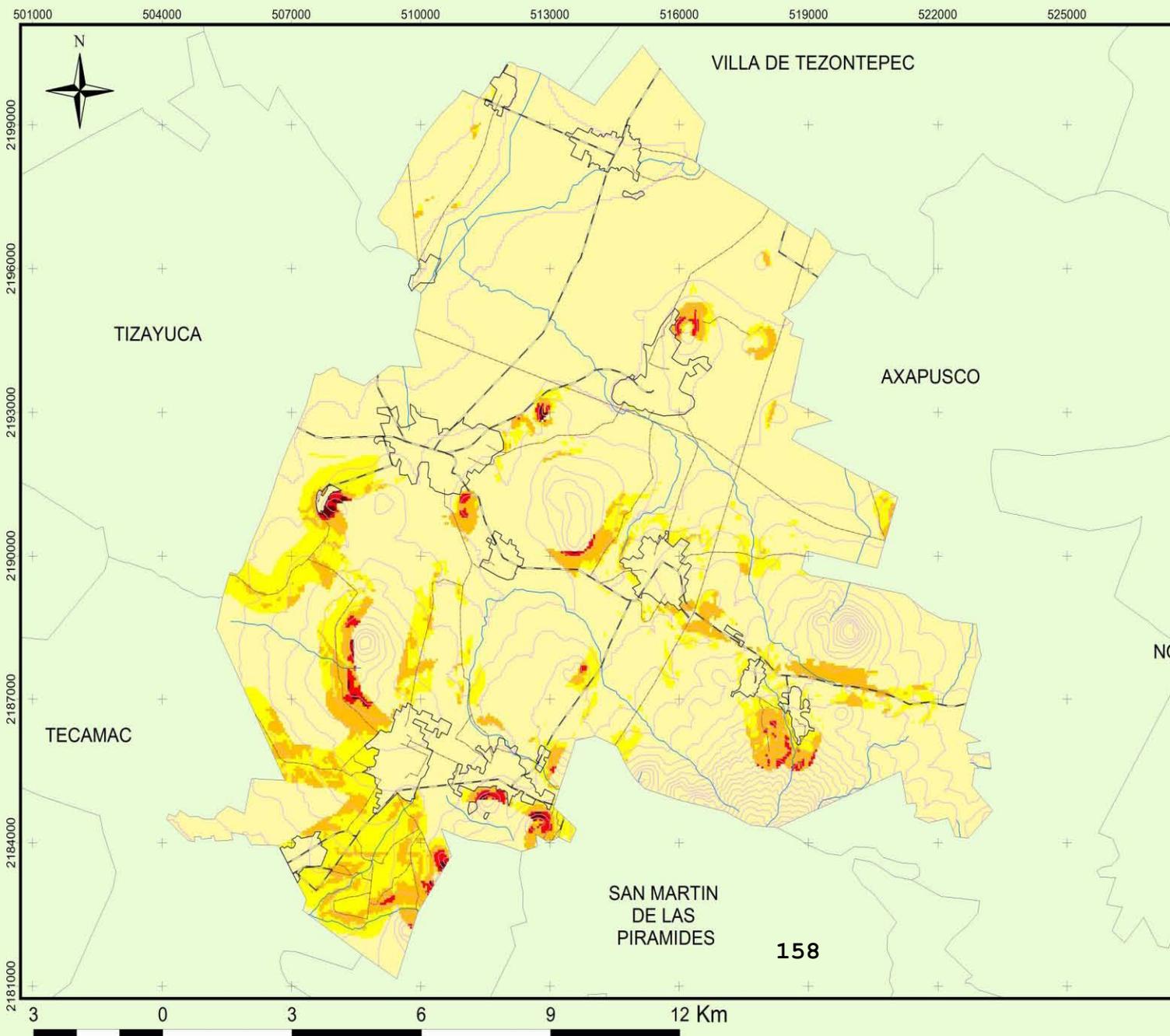
Cartas E14B11-E14B21





Elaboración de un SIGMA como base para el Mapa Temático de Tezontepec, Estado de México y su aplicación con modelos

# 23 Riesgo de Incendio



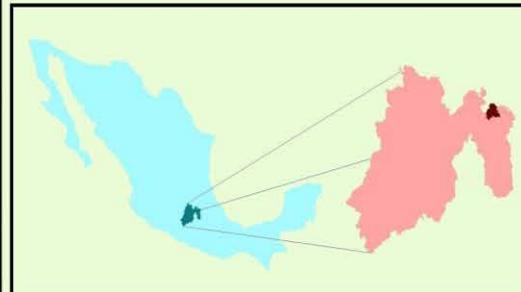
## SIMBOLOGIA

### Primer Semestre

- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

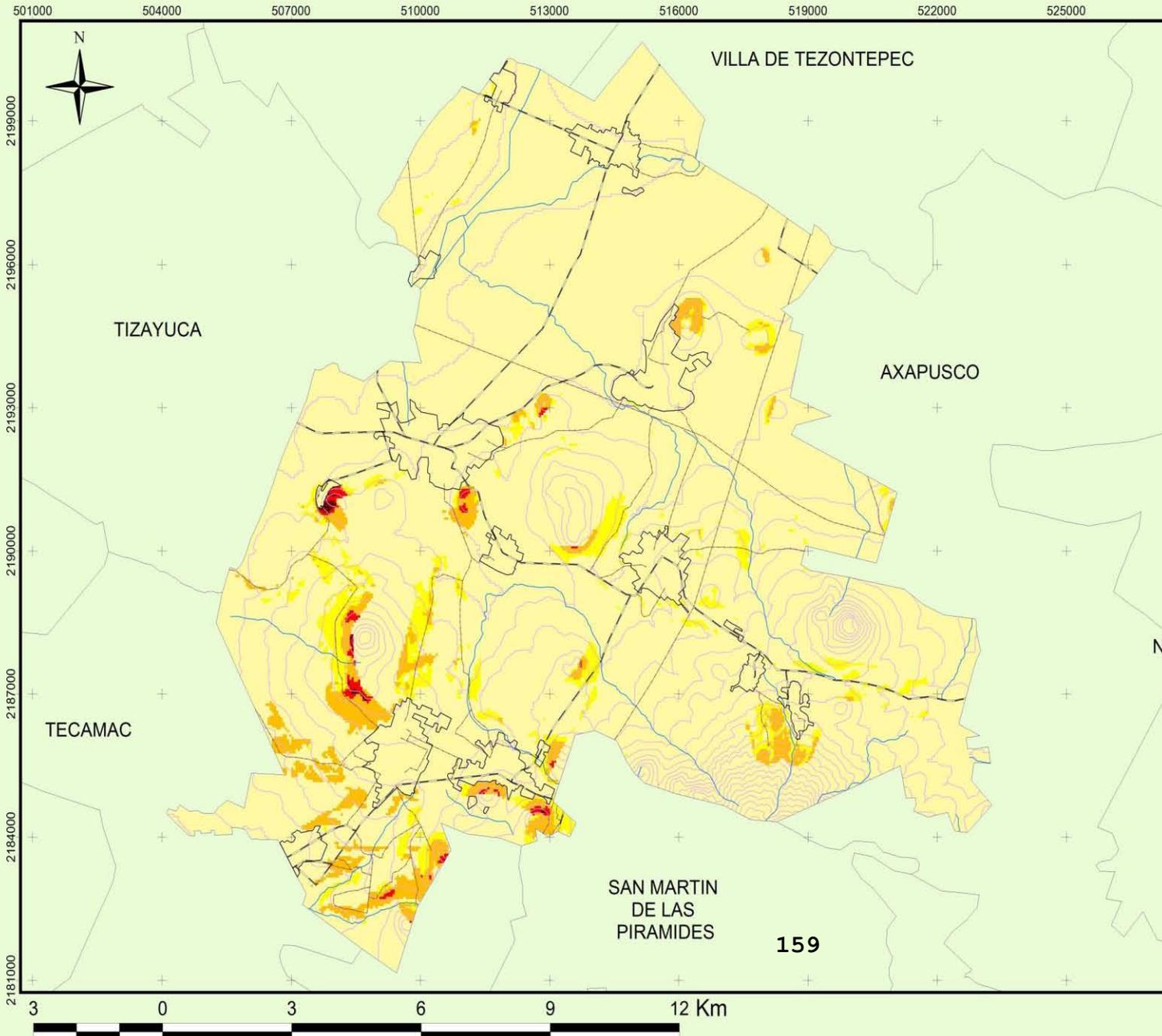
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografía superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





# 24 Riesgo de Incendio



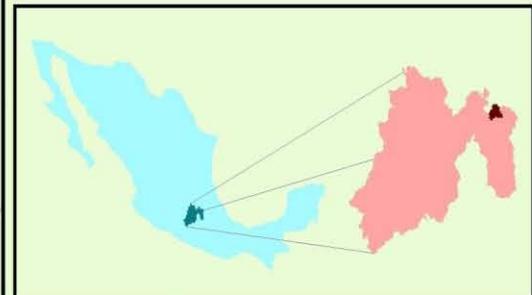
## SIMBOLOGIA

### Segundo Semestre

- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografía superficial
- Curvas de nivel

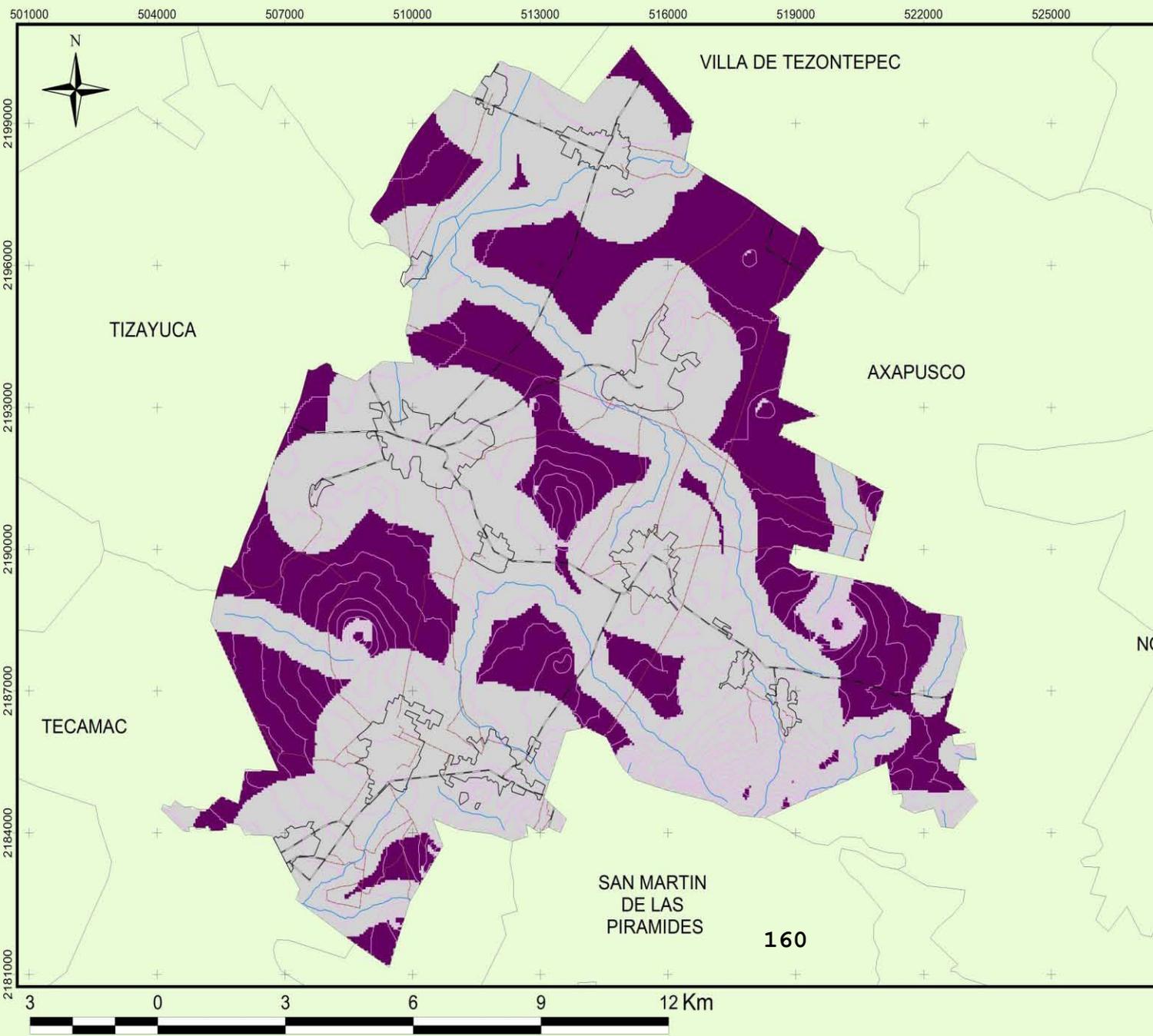
Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





# Mapa Temático

## 25 Localización de un VRSU



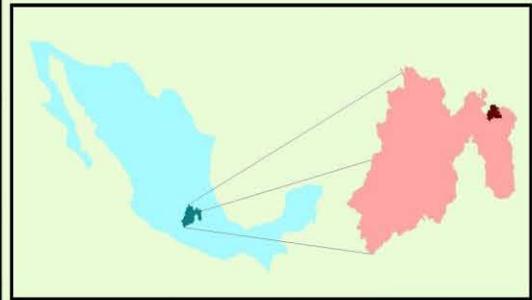
### SIMBOLOGIA

#### Zonas

- No Aptas
- Aptas

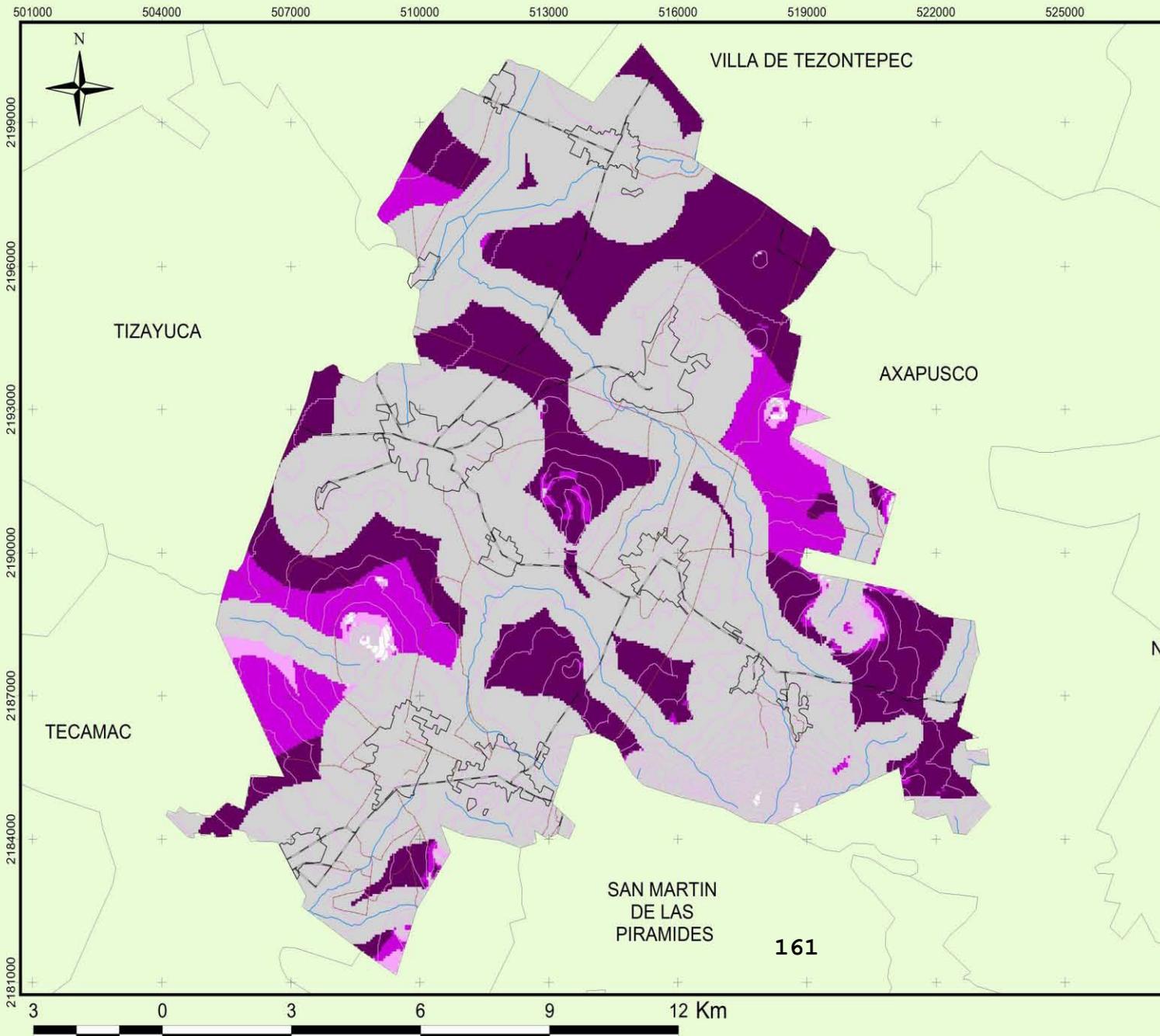
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





# 26 Localización de un VRSU



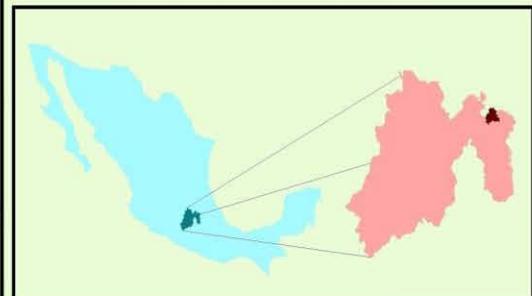
## SIMBOLOGIA

### Aptitud Territorial

- Excluyente
- Menos Apto
- 2
- 3
- Más Apto

- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21



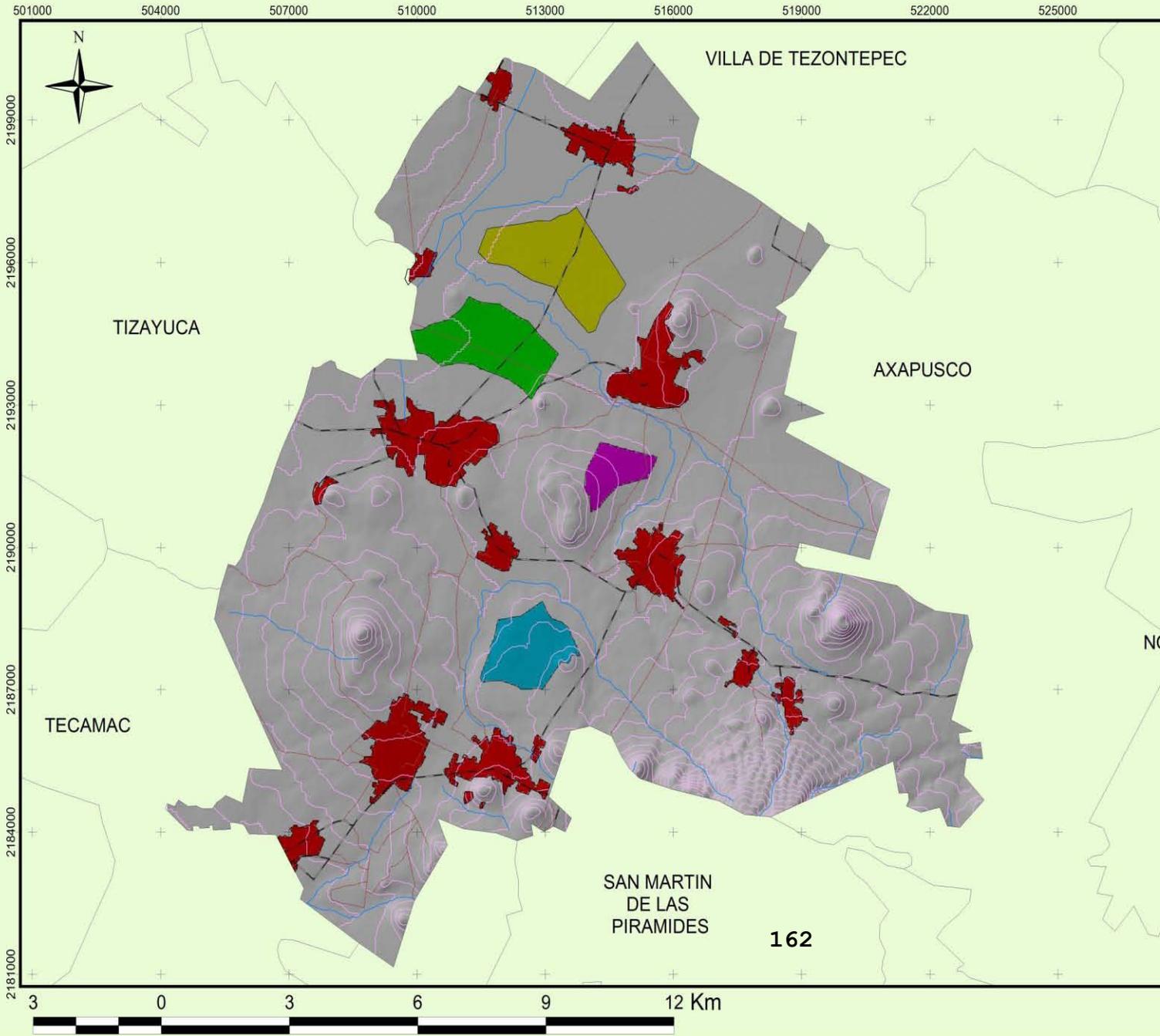


Elaboración de un SIGMA como base para el POET del Municipio de Tezontepec, Estado de México y su aplicación con modelos

Miguel Ángel Trinidad Trinidad

Mapa Temático

27 Localización de un VRSU



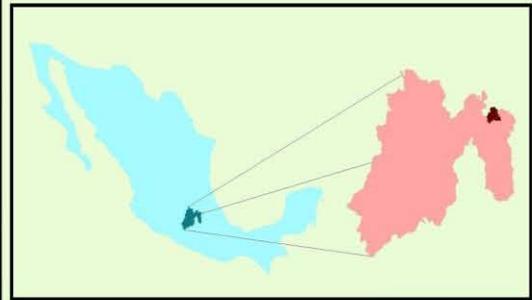
SIMBOLOGIA

Zonas más aptas por superficie

- Zonas 1
- Zonas 2
- Zonas 3
- Zonas 4

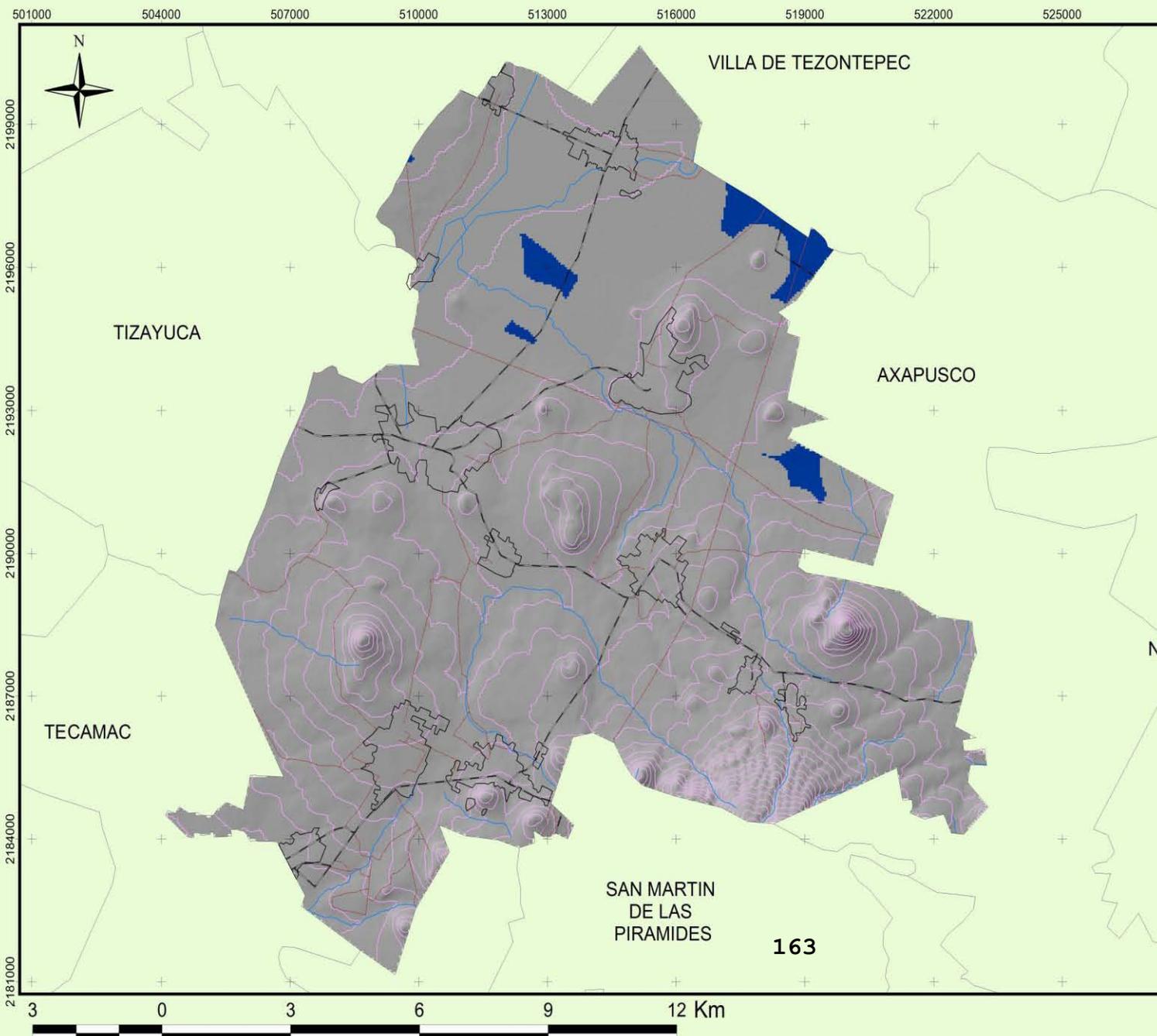
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





# 28 Ubicación de una PTAR



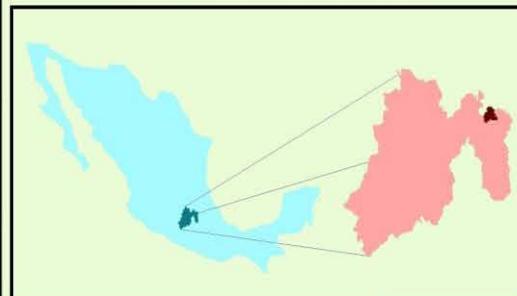
## SIMBOLOGIA

### Zonas

- No Aptas
- Aptas

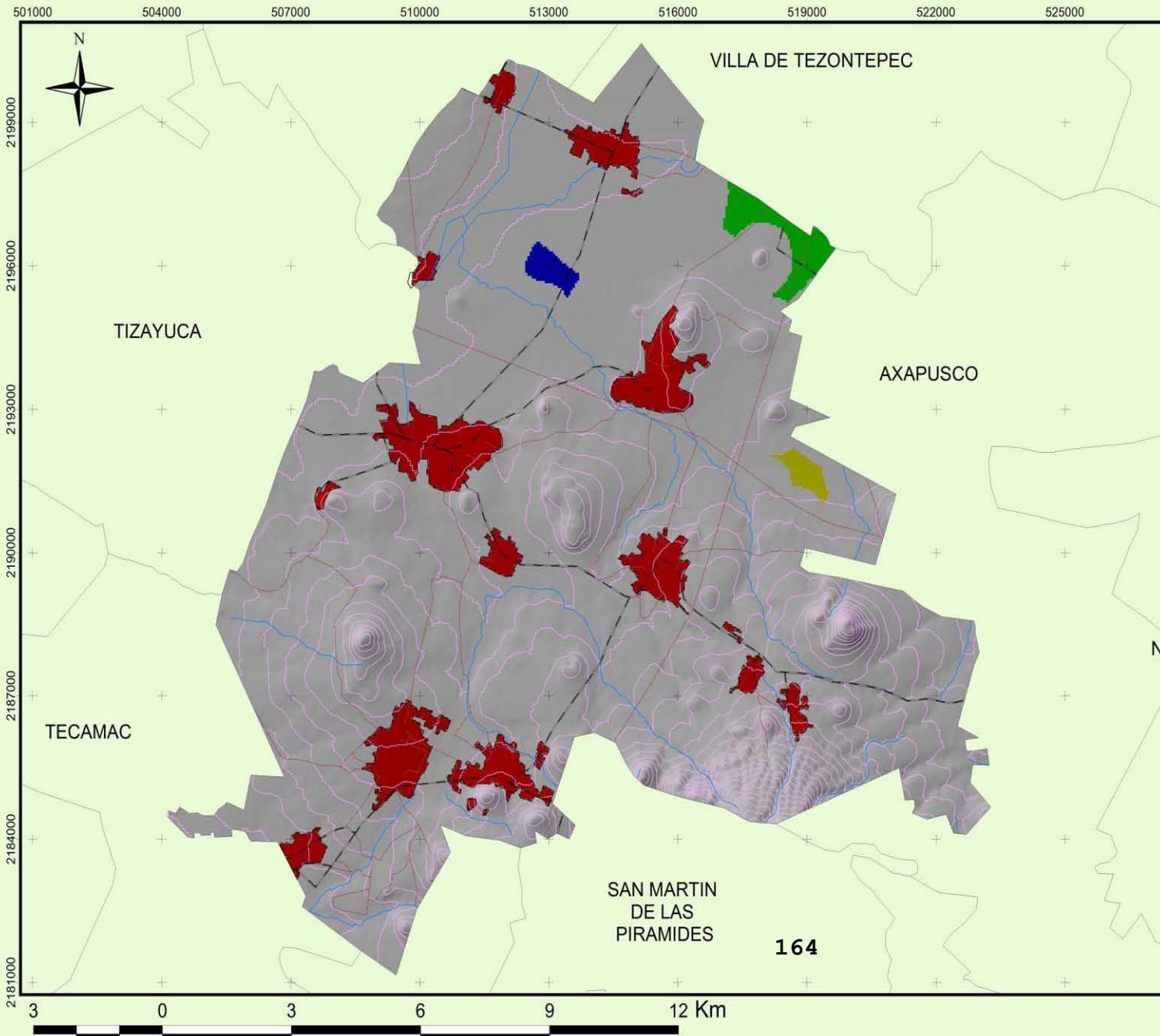
- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





# 29 Ubicación de una PTAR



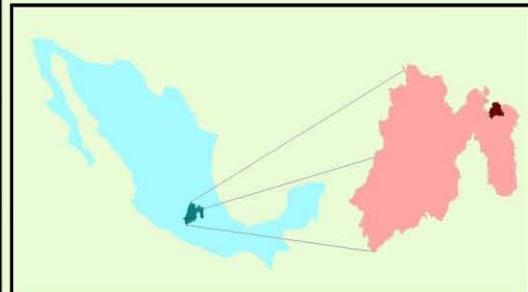
## SIMBOLOGIA

Zonas más aptas por superficie

- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3

- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

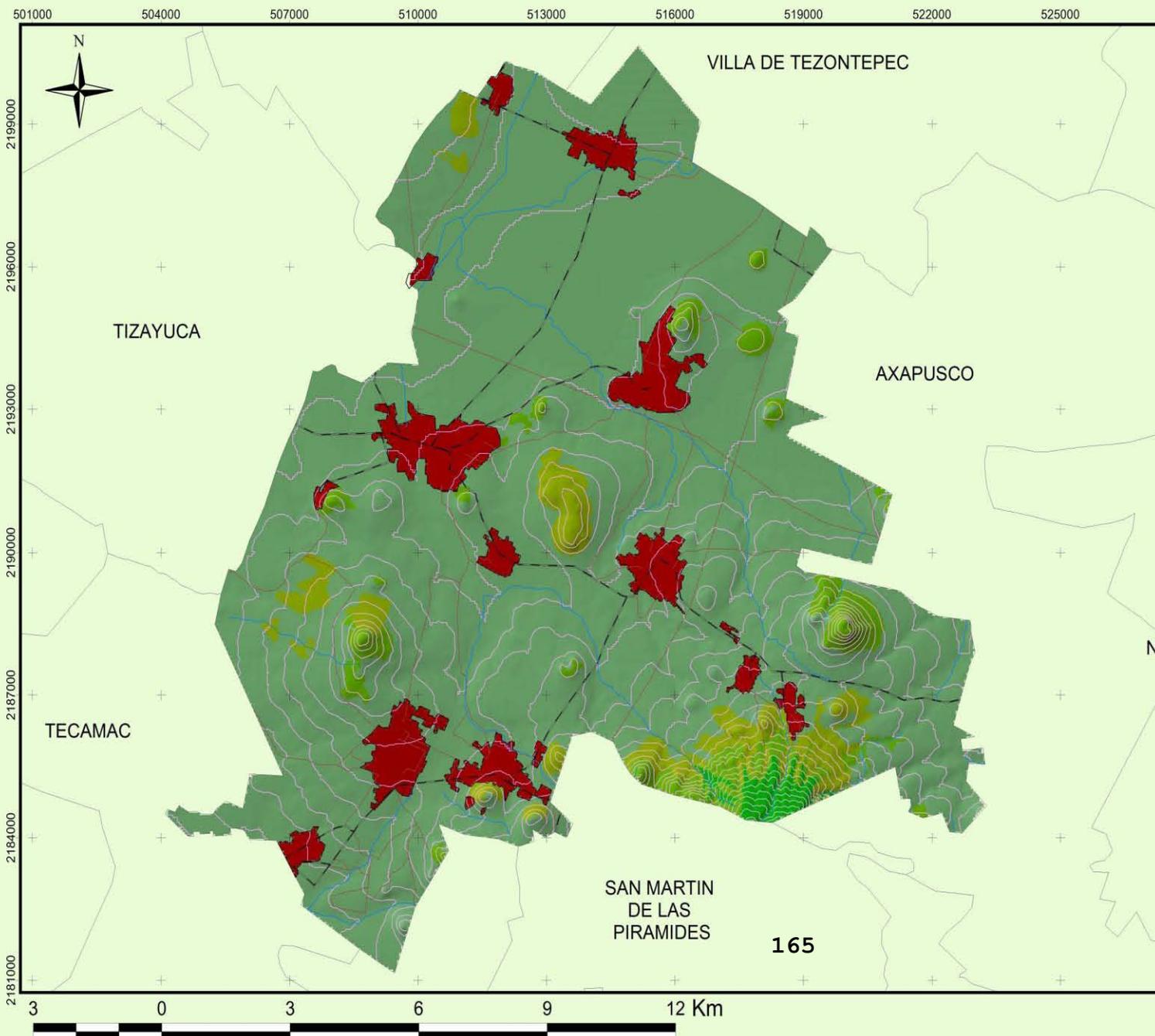
Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927  
Escala 1:50,000 INEGI  
Cartas E14B11-E14B21





Elaboración de un SIGMA como base para el POUM del Municipio de Tlaxcala, Estado de México y su aplicación con modelos

# 30 Calidad de la Vegetación



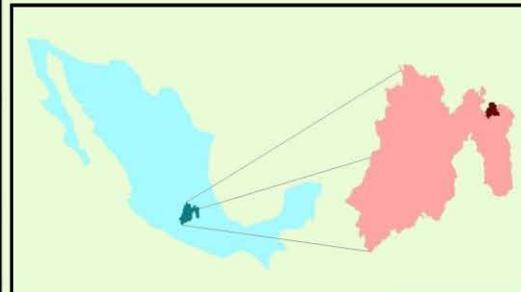
## SIMBOLOGIA

### Calidad

- Baja
- Media
- Media-Alta
- Alta

- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

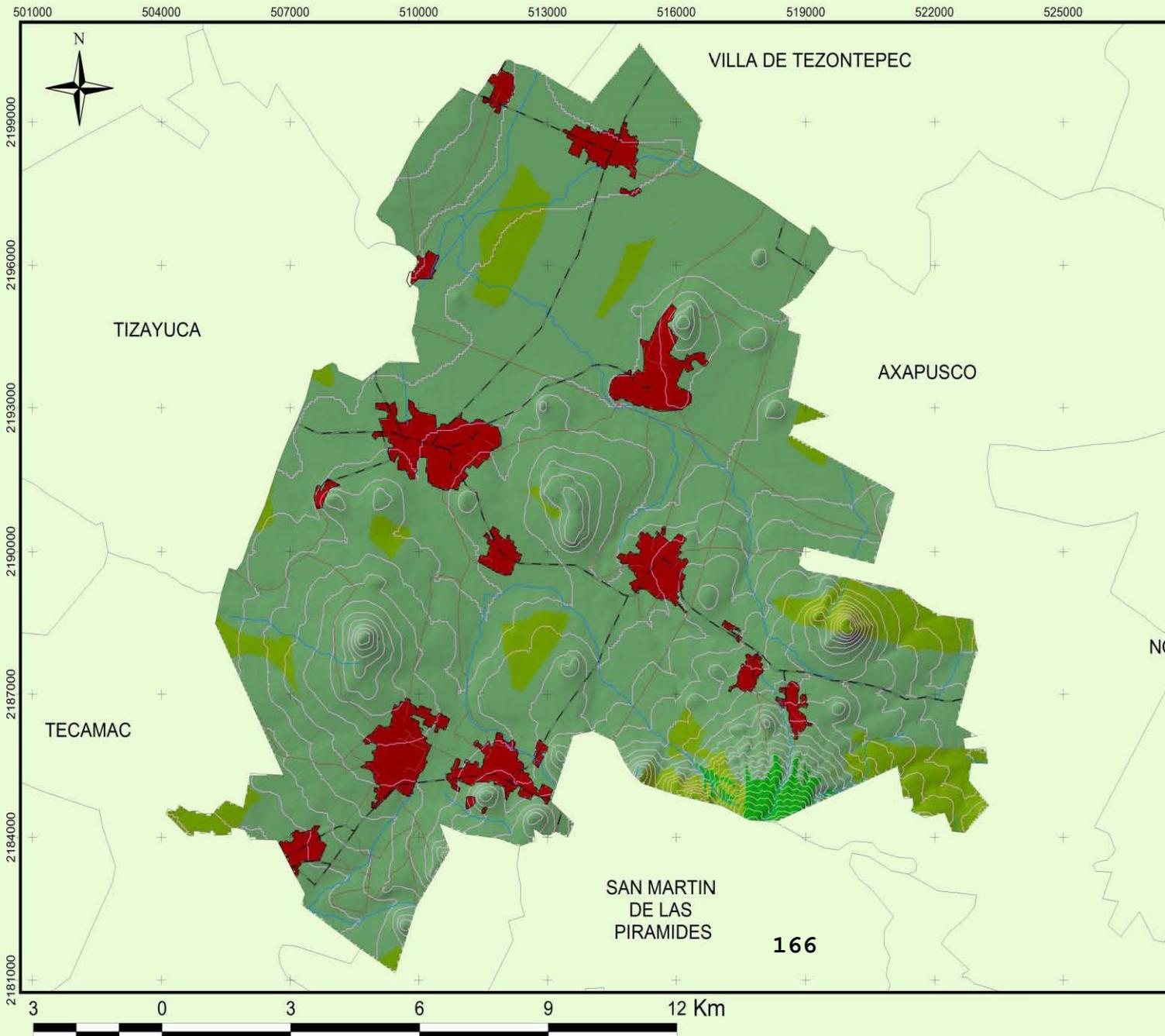
Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21





Elaboración de un SIGMA como base para el POUM del Municipio de Tezontepec, Estado de México y su aplicación con modelos

# 31 Fragilidad de la Vegetación



## SIMBOLOGIA

### Fragilidad

Baja

Media

Alta

Núcleos Urbanos

Carreteras Asfaltadas

Terracerias

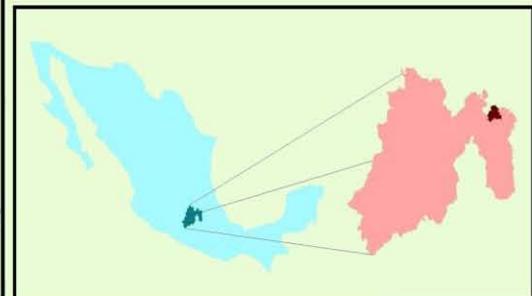
Hidrografia superficial

Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
NAD 1927

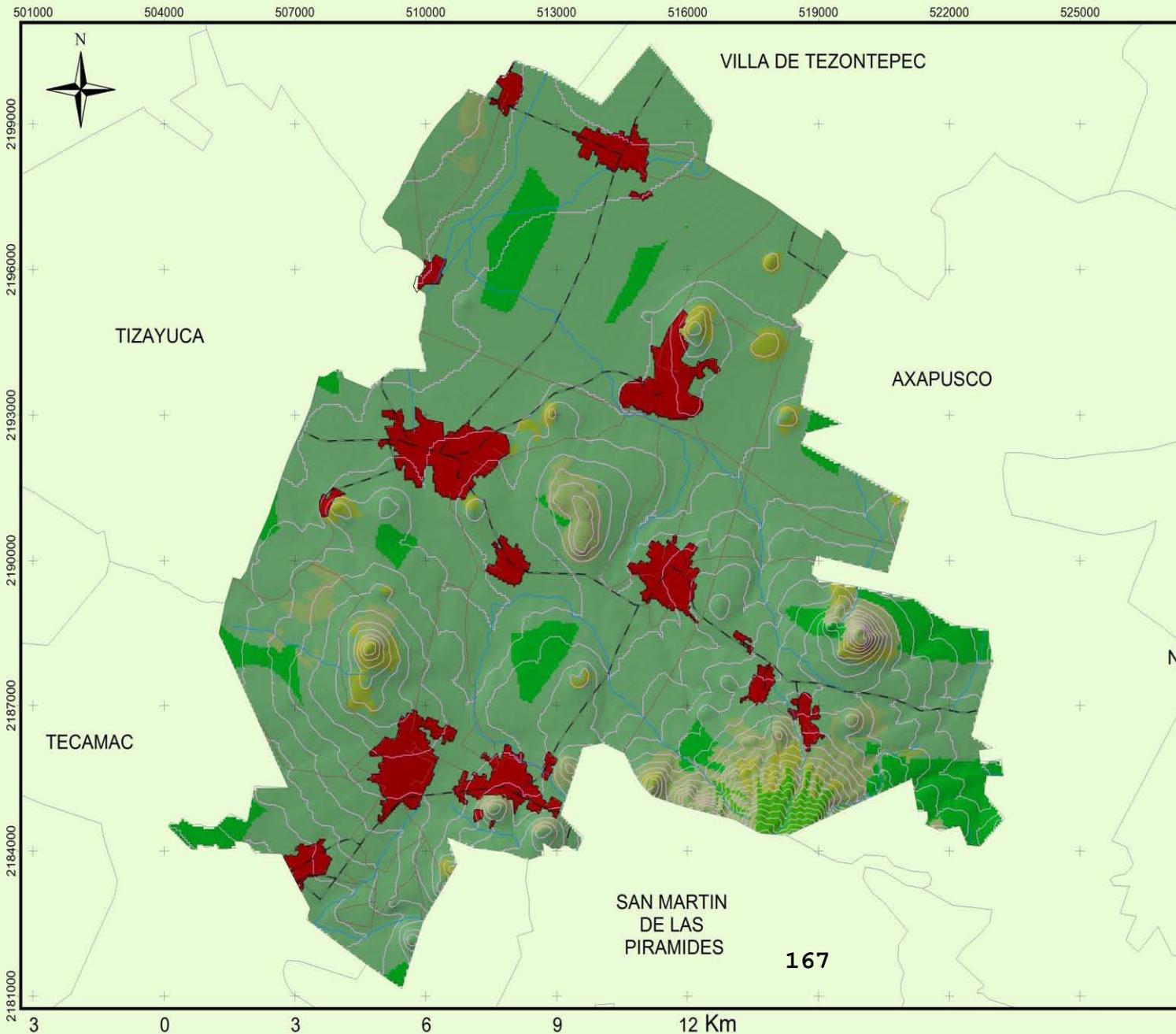
Escala 1:50,000 INEGI

Cartas E14B11-E14B21





# 32 Calidad y Fragilidad de la Vegetación



## SIMBOLOGIA

### Clases

- Alta Calidad - Alta Fragilidad
- Alta Calidad - Baja Fragilidad
- Calidad Media-Alta y Fragilidad Variable
- Calidad Baja y Fragilidad Media-Alta
- Calidad Baja y Fragilidad Baja

- Núcleos Urbanos
- Carreteras Asfaltadas
- Terracerias
- Hidrografia superficial
- Curvas de nivel

Sistema de Proyección UTM  
 NAD 1927  
 Escala 1:50,000 INEGI  
 Cartas E14B11-E14B21

