



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL**



FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE EN EL MUNICIPIO DE TENANCINGO, ESTADO DE MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

LENDY IXCHEL MORALES RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS:

MTRO. EN GEOG. JULIO CÉSAR CARBAJAL MONROY

TOLUCA DE LERDO, ESTADO DE MÉXICO; JULIO DE 2017

Índice

| | |
|--|-----------|
| Resumen | 6 |
| Introducción | 7 |
| Justificación | 9 |
| Planteamiento del problema | 9 |
| Objetivos..... | 12 |
| CAPÍTULO 1. MARCO DE REFERENCIA | 13 |
| 1.1 Antecedentes..... | 13 |
| 1.2 Enfoques de la investigación | 18 |
| 1.2.1 Ciencias ambientales..... | 18 |
| 1.2.2 Ecología del paisaje..... | 21 |
| 1.2.2.1 Paisaje..... | 21 |
| 1.2.2.2 Vinculación con las ciencias ambientales | 23 |
| 1.3 Cambio de uso del suelo..... | 24 |
| 1.4 Deforestación..... | 26 |
| 1.5 Fragmentación..... | 28 |
| 1.6 Metodología | 33 |
| 1.6.1 Elaboración y tratamiento de la información digital | 34 |
| 1.6.2 Matriz de transición..... | 36 |
| 1.6.3 Tasa de cambio en vegetación (deforestación) y uso de suelo | 37 |
| 1.6.4 Medidas de fragmentación..... | 38 |
| CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL MUNICIPIO DE TENANCINGO . | 43 |
| 2.1 Características naturales | 43 |
| 2.1.1 Localización..... | 43 |
| 2.1.2 Geología..... | 45 |
| 2.1.3 Relieve | 47 |
| 2.1.4 Edafología | 48 |
| 2.1.5 Clima | 50 |
| 2.1.6 Hidrología | 52 |
| 2.1.7 Uso de suelo y vegetación..... | 54 |
| 2.1.8 Áreas Naturales Protegidas | 56 |
| 2.2 Características sociodemográficas | 59 |
| 2.2.1 Población..... | 59 |
| 2.2.2 Crecimiento poblacional..... | 62 |

| | |
|--|-----|
| 2.2.3 Viviendas | 63 |
| 2.2.4 Educación..... | 63 |
| 2.3 Características económicas | 64 |
| 2.3.1 Sector primario | 65 |
| 2.3.2 Sector secundario..... | 67 |
| 2.3.3 Sector terciario..... | 67 |
| 2.4 Marginación | 69 |
| CAPÍTULO 3. RESULTADOS..... | 72 |
| 3.1 Cambio de uso de suelo y tasa de cambio..... | 72 |
| 3.2 Fragmentación..... | 81 |
| 3.2.1 Nivel de paisaje | 81 |
| 3.2.2 Nivel de clase | 84 |
| 3.3 Discusión | 100 |
| Conclusiones | 109 |
| Referencias | 113 |
| Anexos | 121 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Resumen de los casos de estudio..... | 17 |
| Tabla 2. Leyenda para los mapas de uso de suelo y vegetación 1976 y 2015..... | 36 |
| Tabla 3. Matriz general de transición | 37 |
| Tabla 4. Medidas de fragmentación calculadas en Patch Analyst..... | 40 |
| Tabla 5. Localidades de Tenancingo, 2010..... | 59 |
| Tabla 6. Servicios públicos de las viviendas en Tenancingo, 2010 | 63 |
| Tabla 7. Infraestructura educativa en Tenancingo, 2012..... | 64 |
| Tabla 8. Indicadores económicos de Tenancingo, 2010 | 64 |
| Tabla 9. Principales cultivos y producción anual obtenida en Tenancingo, 2011 | 66 |
| Tabla 10. Volumen de producción de la ganadería en Tenancingo, 2011 | 66 |
| Tabla 11. Principales actividades de las industrias en Tenancingo, 2015 | 67 |
| Tabla 12. Principales actividades del comercio al por mayor en Tenancingo, 2015..... | 68 |
| Tabla 13. Principales actividades del comercio al por menor en Tenancingo, 2015..... | 68 |
| Tabla 14. Servicios en Tenancingo, 2015 | 69 |
| Tabla 15. Índice y grado de marginación de Tenancingo, 2010 | 70 |
| Tabla 16. Matriz de transición de Tenancingo, 1976 – 2015. | 72 |
| Tabla 17. Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo en Tenancingo, 1976 - 2015.... | 78 |
| Tabla 18. Valores de las medidas de fragmentación a nivel de paisaje en Tenancingo ... | 81 |
| Tabla 19. Valores de las medidas de fragmentación a nivel de clase en Tenancingo, | 84 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Fragmentos y corredores forestales en una matriz agrícola..... | 22 |
| Figura 2 . Principales estrategias para el diseño de reservas. | 32 |
| Figura 3. Flujograma metodológico..... | 34 |
| Figura 4. Mapa base municipal. | 44 |
| Figura 5. Mapa de geología. | 46 |
| Figura 6. Mapa de edafología. | 49 |
| Figura 7. Mapa de clima. | 51 |
| Figura 8. Mapa de hidrología. | 53 |
| Figura 9. Mapa de uso de suelo y vegetación..... | 55 |
| Figura 10. Superficie de cada clase de uso de suelo y vegetación en Tenancingo, 2015. | 56 |
| Figura 11. Mapa de áreas naturales protegidas..... | 58 |
| Figura 12. Pirámide poblacional por edad y sexo de Tenancingo, 2010. | 61 |
| Figura 13. Crecimiento de la población de Tenancingo, 1950 – 2010..... | 62 |
| Figura 14. Distribución de la población ocupada, en Tenancingo, 2012..... | 65 |
| Figura 15. Número de localidades según grado de marginación en Tenancingo, 2010.... | 70 |
| Figura 16. Mapa de marginación..... | 71 |
| Figura 17. Pérdidas y ganancias de superficie de uso de suelo y vegetación, en Tenancingo, 1976 y 2015. | 73 |
| Figura 18. Mapa de uso de suelo y vegetación 1976. | 74 |
| Figura 19. Trayectorias de cambio de uso del suelo en Tenancingo, 1976 - 2015..... | 76 |
| Figura 20. Mapa de uso de suelo y vegetación 2015. | 77 |
| Figura 21. Mapa de cambios en el periodo 1976 – 2015..... | 79 |
| Figura 22. Distribución de uso de suelo y vegetación en Tenancingo, 1976 y 2015..... | 80 |
| Figura 23. Número (NumP), tamaño promedio (MPS) y coeficiente de variación de tamaño (PSCoV) de los parches a nivel de paisaje, 1976 y 2015..... | 82 |
| Figura 24. Borde promedio de los parches a nivel de paisaje, 1976 y 2015..... | 82 |
| Figura 25. Índice promedio de forma (MSI), de diversidad (SDI) y de uniformidad (SEI) de Shannon de los parches a nivel paisaje, 1976 y 2015..... | 83 |
| Figura 26. Fragmentación en la clase agricultura de riego, 1976 y 2015..... | 85 |
| Figura 27. Invernaderos en la localidad de Santa Ana Ixtlahuatzingo. | 86 |

| | |
|--|-----|
| Figura 28. Número de parches a nivel de clase, 1976 y 2015..... | 86 |
| Figura 29. Fragmentación en la clase agricultura de temporal, 1976 y 2015..... | 87 |
| Figura 30. Fragmentación en la clase pastizal inducido, 1976 y 2015..... | 88 |
| Figura 31. Tamaño promedio de los parches a nivel de clase, 1976 y 2015. | 89 |
| Figura 32. Fragmentación en la clase zona urbana, 1976 y 2015. | 90 |
| Figura 33. Vista parcial de las zonas urbanas de Tenancingo de Degollado y El Salitre desde el mirador ubicado rumbo al monumento de Cristo Rey..... | 91 |
| Figura 34. Coeficiente de variación del tamaño de los parches a nivel de clase, 1976 y 2015. | 92 |
| Figura 35. Fragmentación en la clase bosque mesófilo de montaña, 1976 y 2015. | 93 |
| Figura 36. Invernaderos cercanos a la localidad de San Miguel Tecamatlán. | 93 |
| Figura 37. Borde promedio de los parches a nivel de clase, 1976 y 2015..... | 94 |
| Figura 38. Vista de Tenancingo desde la carretera a la localidad El Carmen..... | 95 |
| Figura 39. Fragmentación en la clase bosque templado, 1976 y 2015..... | 96 |
| Figura 40. Vista al bosque templado desde la localidad de San Miguel Tecamatlán..... | 96 |
| Figura 41. Fragmentación en la clase selva baja caducifolia, 1976 y 2015. | 97 |
| Figura 42. Índice promedio de forma de los parches a nivel de clase, 1976 y 2015..... | 98 |
| Figura 43. Fragmentación en la clase matorral, 1976 y 2015..... | 99 |
| Figura 44. Vista a Tenancingo desde la carretera Tenango - Tenancingo. | 100 |
| Figura 45. Mapa de fragmentación. | 107 |

Resumen

En la presente investigación se analizó el proceso de fragmentación en Tenancingo, Estado de México, desde un enfoque cuantitativo, partiendo de la identificación de la dinámica de cambio de uso de suelo y la deforestación para el periodo comprendido de 1976 - 2015. Esto contribuirá a una mayor comprensión de la manera en que el hombre ha interactuado con la naturaleza en el área de estudio.

Tenancingo, debido a sus condiciones naturales, es un territorio con una importante vocación forestal, pudiendo encontrar desde la vegetación correspondiente al bosque mesófilo de montaña y al bosque templado, hasta la propia de la selva baja caducifolia y el matorral. Al mismo tiempo, en su superficie hay una destacada actividad agrícola, principalmente enfocada a la floricultura que cada vez aumenta más, pues Tenancingo es parte del corredor florícola estatal, al que también pertenecen los municipios de Villa Guerrero, Zumpahuacán y Coatepec Harinas. Esta heterogeneidad, sumada a un constante crecimiento poblacional y urbano, configura un paisaje adecuado para el desarrollo del trabajo.

La información digital que sirvió de base proviene, por un lado, de cartas de uso de suelo y vegetación a escala 1: 50 000 del Instituto Nacional de Geografía y Estadística y, por otro, del programa informático gratuito Google Earth; las medidas para detectar la fragmentación fueron obtenidas con Patch Analyst versión 5.2, una extensión para el software ArcGIS.

Introducción

Este trabajo tiene como objetivo principal analizar el proceso de fragmentación del paisaje en el municipio de Tenancingo. La fragmentación es casi tan antigua como la expansión agrícola de la humanidad, pero se ha intensificado debido al desarrollo tecnológico, de tal manera que el hombre ha modificado en su propio beneficio la mayor parte de la tierra emergida útil, influyendo en la configuración actual de los ecosistemas en el paisaje. Así, el proceso es una de las principales amenazas para la biodiversidad y además de las frecuentes. Sin embargo, no ha sido lo suficientemente abordado desde el enfoque de las ciencias ambientales, aun cuando conjuntamente con la deforestación o la contaminación es uno de los determinantes de la pérdida de capital natural y una de las formas más evidentes de la interacción hombre-naturaleza (Santos & Tellería, 2006).

En este sentido, la investigación se encuentra estructurada en tres capítulos; en el primero se presenta el marco de referencia que contiene los casos de estudio previos que sirvieron como antecedentes a éste, además de los enfoques principales, ciencias ambientales y ecología del paisaje, desde los cuales está planteada y que son la base para el desarrollo de sus conceptos clave: cambio de uso de suelo, deforestación y, por supuesto, fragmentación.

En el mismo capítulo, también se muestra el diseño metodológico elegido, de carácter cuantitativo, que tiene como punto de partida la elaboración de mapas de uso de suelo y vegetación para los años 1976 y 2015, que permitan la construcción de la matriz de transición o de tabulación cruzada y el cálculo de tasas de cambio, así como de medidas de fragmentación con la extensión para ArcGIS conocida como Patch Analyst en su versión 5.2.

En el segundo capítulo, considerando aspectos naturales y socioeconómicos, se caracteriza ambientalmente el municipio de Tenancingo. Los primeros involucran localización, geología, relieve, edafología, clima, hidrología y uso de suelo y vegetación; los segundos tienen que ver con la población y su crecimiento,

actividades económicas y marginación tanto a nivel municipio como a nivel localidad.

En el tercer y último capítulo se exponen los resultados obtenidos con la identificación del cambio de uso del suelo derivados de la matriz de transición, las tasas de cambio en vegetación (deforestación) y uso de suelo, así como los cálculos generados en Patch Analyst relativos al proceso de fragmentación. La información es acompañada por tablas y por figuras como mapas, gráficas, además de fotografías del área de estudio a modo de evidencia. Finalmente, se realiza una discusión de dichos resultados que contribuya a entender la relación hombre-naturaleza en el municipio.

Justificación

Esta investigación se enfoca a la cuantificación del proceso de fragmentación, y de procesos asociados como el cambio de uso del suelo y la deforestación, en el municipio de Tenancingo, Estado de México. Se trata de un trabajo en el que se pretende realizar estimaciones que, a su vez, permitan encontrar tendencias a partir de las interacciones hombre-naturaleza.

Así, la fragmentación, aunada a los procesos asociados mencionados, no ha sido abordada ni con la escala espacio-temporal, ni con los métodos propuestos en este trabajo para el área de estudio, por lo que su identificación espacial y cuantificación contribuye a la caracterización del territorio. La fragmentación es un proceso al que, si se le compara con el cambio de uso de suelo y la deforestación, no siempre se le da la importancia que merece, pues no basta con conocer la superficie que abarca la vegetación, sino que además es relevante evaluar el grado de continuidad que ésta presenta (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2013).

Dentro de la de Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México, este tema tampoco ha sido trabajado previamente desde las ciencias ambientales, por lo que puede ser considerado como un parteaguas.

Asimismo, si bien las medidas utilizadas para valorar la fragmentación se idearon originalmente en relación a temas como la biodiversidad, éstas pueden aportar información de la proporción que existe de un determinado uso de suelo en un paisaje, la forma de los parches de cada uso o los tamaños medios de los mismos (Aguilera Benavente, 2010).

Planteamiento del problema

El cambio de uso del suelo es, en mayor medida, consecuencia de la interacción de del hombre con el entorno natural. Este cambio indica el impacto de sus actividades económicas y el desarrollo de sus comunidades sobre el territorio y sus recursos, y

permiten identificar problemas relativos a la sustentabilidad de dichas actividades (Palacio-Prieto et al., 2004).

Los cambios de uso del suelo están directamente vinculados con la deforestación y la fragmentación, al actuar como interfase entre las actividades humanas y los sistemas naturales. Por un lado, la deforestación tiene que ver con la pérdida de vegetación forestal a cualquier otra condición; mientras que la fragmentación se refiere a la transformación por la que una clase de cobertura, principalmente vegetal y que en un inicio es relativamente continua, cambia a un conjunto de parches más pequeños. En general desencadena una serie de modificaciones en los procesos ecosistémicos lo que repercute en la biodiversidad, siendo esta la razón por la que ha cobrado relevancia en los últimos años. Los efectos potenciales de la fragmentación tienen que ver con características de los parches como la forma, tamaño, lo que hay dentro de éstos y el tipo de borde que los rodea (Luna Soria, 2009).

Así, derivado del análisis del cambio de uso de suelo, es posible calcular tasas de cambio en vegetación (deforestación) y de uso del suelo, además de medidas relacionadas a la fragmentación y a las características de los parches ya mencionadas.

Particularmente, los ecosistemas forestales son el hábitat de más de 80% de la diversidad biológica terrestre del planeta y brindan esenciales servicios ambientales a la población humana. Se estima que proporcionan medios de subsistencia a más de mil millones de personas que viven en condiciones de pobreza extrema en el mundo y son una fuente de empleo remunerado para más de cien millones (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

Recientemente la importancia de su conservación se ha incrementado ante la amenaza que representan los procesos de deforestación y fragmentación, ligados además al cambio climático y cuyas causas principales son de origen

antropogénico, pues si bien se busca el mayor beneficio económico, en ocasiones los costos ambientales son irreversibles (FAO, 2013; Velázquez & Bocco, 2007).

En el caso de México, entre 1990 y 2000 se calcula que la superficie deforestada en el país era de 354 mil hectáreas (ha) anuales, cifra que se redujo para el lapso de 2000 a 2005 registrando 235 mil y para el de 2005 a 2010 con 155 mil; a su vez, a estos periodos les correspondió una tasa de deforestación anual promedio de 0.52%, 0.35% y 0.24% respectivamente. Sin embargo, la disminución de este último indicador no representa la heterogeneidad nacional pues existen zonas y tipos de vegetación con tasas significativamente más altas o bajas, cuya dinámica puede cambiar con el tiempo (SEMARNAT, 2013).

Por otra parte, también en el territorio mexicano, en el 2007 los bosques (incluidos los templados y mesófilos de montaña) fueron los ecosistemas forestales más fragmentados del país, pues el 54% de su superficie remanente se repartía en fragmentos menores a 80 kilómetros cuadrados (km²). Con respecto a las selvas, era un 38% de su superficie la que estaba en fragmentos menores a 80 km². En cuanto a los matorrales, éstos resultaron con el menor grado de fragmentación, ya que casi el 80% de su superficie no mostraba evidencias de esta condición (SEMARNAT, 2013).

Puesto que las actividades humanas afectan en distintos grados, variando en intensidad y extensión, es necesaria la identificación y el análisis de los procesos mencionados, para responder al cómo, dónde y qué tanto impactan en un territorio específico (Galicia, García, Gómez & Ramírez, 2007).

Asimismo, es importante destacar que el estudio del proceso de fragmentación no está limitado a los entornos naturales, aun cuando el interés por éste surgió principalmente por sus efectos negativos en la biodiversidad. Diversos autores han comenzado a hacer uso y adaptaciones de las medidas propuestas para tratar este proceso y trabajar con entornos propiamente antrópicos (Aguilera Benavente, 2010; Matteucci, 2005).

Objetivos

Objetivo general

Analizar proceso de fragmentación en el municipio de Tenancingo, Estado de México.

Objetivos particulares

- Delimitar un marco de referencia orientado a la fragmentación y a procesos asociados como el cambio de uso del suelo y la deforestación.
- Caracterizar el área de estudio con base en los aspectos naturales, sociales y económicos.
- Identificar la dinámica del cambio de uso del suelo en Tenancingo para el periodo comprendido de 1976 a 2015.
- Calcular tasas de cambio en vegetación (deforestación) y uso de suelo en Tenancingo.
- Calcular medidas de fragmentación en Tenancingo.

CAPÍTULO 1. MARCO DE REFERENCIA

En este primer capítulo, se presentan los antecedentes a la investigación, los enfoques desde los cuales se abordará, así como los conceptos clave y la metodología adaptada para el desarrollo de la misma.

1.1 Antecedentes

Para comenzar con este apartado, es importante mencionar que los trabajos enfocados en la cuantificación de procesos como la deforestación y la fragmentación, aun cuando tienen una misma zona de estudio, no son siempre comparables entre sí y generan un amplio rango de estimaciones, lo que se debe a la diferencia de los objetivos planteados, de los periodos de referencia, así como de los métodos y modelos empleados; sin embargo, la información obtenida es válida y permite identificar tendencias (SEMARNAT, 2013; Torres Rojo, 2004). En la Tabla 1 se presenta un resumen de los casos que serán descritos a continuación.

Así, en México la fragmentación ha sido abordada conjuntamente con tasas de cambio para vegetación, como por ejemplo en *Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, México* (De León Mata, Pinedo Álvarez & Martínez Guerrero, 2013). En este trabajo se analizó la dinámica espacial y composición de la cobertura vegetal del Área Prioritaria para la Conservación de Pastizales (APCP) llamada Cuchillas de la Zarca, determinando la afectación por el proceso de fragmentación. La APCP, con 11 588 km, forma parte del Desierto Chihuahuense de México y comprende una pequeña parte del sur de Chihuahua y el centro norte de Durango.

Partiendo de que el uso de sensores remotos de los que se obtienen imágenes satelitales, es un método de bajo costo y que permite abarcar grandes extensiones de terreno con gran detalle, se adquirieron 8 escenas del sensor Landsat TM5 para 2008, 2009, 2010 y 2011. Después de correcciones y calibración de las imágenes, el análisis espacial hizo posible la definición de seis clases: cuerpos de agua,

bosques de encino-pino, matorral desértico micrófilo, pastizal inducido, áreas de chaparral, pastizal inducido.

Las medidas elegidas fueron: número de parches, media del tamaño del parche, media del borde del parche, coeficiente de varianza del tamaño del parche, índice de diversidad de Simpson e índice de diversidad de Shannon. Éstas se calcularon en el software Patch Analyst.

Derivado de la clasificación supervisada se obtuvieron tasas de cambio para cada una de las clases en un periodo de 4 años (2008 a 2011), que indican una disminución de superficie de las áreas de chaparral, los bosques de encino-pino y el pastizal natural con tasas de -22.3%, -6.7 y 0.35% respectivamente. Por otro lado, hubo un aumento de superficie para el pastizal inducido y el matorral desértico micrófilo, con tasas de 9.7% y 3.5%. Los cuerpos de agua mostraron una tasa de -1.44% entre 2008 a 2010, pero en 2011 ésta cambió a 6.2%, atribuible a un periodo de sequía bajo.

Los resultados de las medidas calculadas en Patch Analyst evidencian un proceso gradual de fragmentación, con un aumento en el número de parches y una disminución en su tamaño medio. Los índices de Simpson y Shannon indican que el paisaje de Cuchillas de la Zarca es cada vez más heterogéneo, con un número mayor de fragmentos de cada clase. En las conclusiones hace énfasis en que los índices de diversidad aportan información de homogeneidad y heterogeneidad desde un punto de vista meramente cuantitativo, no pudiéndose extraer valoraciones cualitativas.

Por otra parte, recientemente se ha comenzado a hacer empleo de las medidas relacionadas a la fragmentación en entornos propiamente urbanos, como lo muestra el caso *Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada* (Aguilera Benavente, 2010). El Área Metropolitana de Granada (AMG), con una superficie de 859, 34 km² y 32 municipios, tiene una organización territorial que refleja una importante explotación agraria, pero que al mismo tiempo muestra un elevado dinamismo urbano. Así, se presenta un marco teórico para sustentar la aplicación de las

métricas de ecología del paisaje a entornos urbanos y se ejemplifica abordando la valoración de patrones de crecimiento en tres simulaciones de escenarios futuros para la AMG.

A partir de la fotointerpretación de ortofotos aéreas a escala 1:10 000 de la región de Andalucía del año 2004, se generó la cartografía correspondiente a ocupación del suelo, definiendo las cuatro categorías siguientes: zonas residenciales de alta densidad, zonas residenciales de baja densidad, áreas industriales y zonas comerciales. En cuanto a los escenarios futuros, éstos fueron tomados de un trabajo previo que tuvo como horizonte temporal el año 2020, siendo denominados: Escenario de intensificación de la ocupación residencial (Escenario 1), Escenario de especialización tecnológica e industrial (Escenario 2) y Escenario de contención de la ocupación urbana (Escenario 3).

Ahora bien, los patrones de ocupación urbana, o las diferentes morfologías de crecimiento caracterizadas por la forma y el tipo de ocupación, que se consideraron para identificarlos mediante las métricas de análisis espacial fueron: patrón agregado (adyacentes a núcleos urbanos consolidados), patrón lineal (circundantes a vías de comunicación), patrón en urbanizaciones (formas urbanas residenciales, alejadas a núcleos urbanos consolidados) y patrón nodal (junto a los principales nodos de comunicación). Por otra parte, las medidas elegidas fueron: número de fragmentos, tamaño medio, compacidad media, índice de forma medio, distancia media al vecino más cercano y el índice de proximidad medio.

Los resultados indican que en el escenario 1, para los usos industrial y comercial existe la tendencia a un patrón agregado, evidenciado por la disminución del número de fragmentos y un incremento del tamaño medio de los mismos. Por el contrario, los usos residenciales presentan un aumento en el número de fragmentos y una estabilidad de su tamaño medio, tendiendo al patrón en urbanizaciones. En el escenario 2 para el uso industrial se sugiere fragmentos urbanos más alargados, algunos de los cuales se unen entre sí, señalando una tendencia a un patrón lineal. Para el uso comercial hay un incremento en el número de fragmentos y una disminución en la distancia al vecino más cercano, con una tendencia al patrón

nodal. Los usos residenciales muestran una tendencia al patrón de urbanizaciones. El escenario 3 fue el que mostró una menor modificación de los valores de las métricas en relación a 2004, principalmente en los usos residenciales, mientras que el uso industrial y el uso comercial comparten la tendencia al patrón nodal, así como un leve incremento en el número de fragmentos y una disminución en la distancia al vecino más cercano.

Aplicaciones de este tipo pueden ser útiles en el ámbito de la planificación metropolitana, utilizándolos como instrumentos de monitorización de cambios o como indicadores en planes de ordenación del territorio.

Un último caso de estudio específico es *Reconocimiento del estado actual del paisaje del municipio de Gutiérrez (Cundinamarca), mediante el uso de indicadores de ecología del paisaje* (León Garay & Gutiérrez Fernández, 2014), en el que las medidas para comprender la fragmentación se aplicaron tanto a coberturas naturales como a coberturas antrópicas. En este municipio colombiano predominan los páramos y bosques andinos montanos y premontanos, ecosistemas que se encuentran entre los más sensibles al impacto ambiental y que albergan una gran diversidad biológica que incluye organismos endémicos; dichos ecosistemas tienen un importante poder de captación y regulación de recursos hídricos. Asimismo, parte de la zona de protección y conservación Parque Nacional Natural Sumapaz, pertenece al territorio de Gutiérrez.

De esta manera, surge el interés por identificar el estado actual de la fragmentación de los ecosistemas a nivel de paisaje en el municipio. Para el cálculo de métricas, y partiendo del empleo de mapas de uso de suelo dado por el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio del año 2010, se estableció un total de 12 clases de cobertura: Área Sin Uso Agropecuario ni Forestal (ASUAF); Bosque; Subpáramo; Área de Protección cuerpos de agua; Cultivos; Páramo; Pasto; Vegetación arbustiva rastrojo (Ra); Explotación Agrícola Confinada (EAC); Área del Sistema de Servicios Públicos Domiciliarios (ASSPD); Vegetación arbustiva rastrojo quemado (Rq); y Parque Nacional Natural Sumapaz (PNNS).

La información anterior fue ingresada en el software Patch Analyst acoplado a ArcGis 10, eligiendo las siguientes métricas: área de clase promedio; número de parches; tamaño promedio; desviación estándar; coeficiente de variación en el tamaño; índice de forma medio; índice de dimensión fractal; y distancia media del vecino más cercano.

Entre los resultados sobresale que, las áreas de clase promedio más altas corresponden a coberturas naturales, como el PNNS, el páramo y la vegetación arbustiva Ra; siguiendo esta línea, el mayor número de parches registrado fue para el páramo, mientras que el tamaño promedio del parche del PNNS fue el más alto, aunque tanto el páramo, como la vegetación arbustiva (Ra y Rq) presentan un tamaño promedio medio alto. Respecto al índice de forma medio, las coberturas de origen natural tienen regularidad en sus formas, siendo la cobertura ASUAF la de mayor irregularidad. Por último, los parches de las clases páramo y subpáramo son las más distanciadas, pese a su alta cantidad de parches.

A nivel general, los indicadores calculados reflejan un territorio poco intervenido, aunque en las zonas aledañas a la urbana el impacto antrópico es alto. Así, al existir bajos niveles de fragmentación en los ecosistemas naturales, más alejados al casco urbano, éstos representan un gran potencial para fines conservacionistas; situación que se sugiere sea tomada en cuenta en la actualización del Esquema de Ordenamiento Territorial de Gutiérrez.

Tabla 1. *Resumen de los casos de estudio.*

| Autor y año | Ámbito de estudio y descripción del trabajo | Medidas empleadas |
|--|--|---|
| De León Mata, Pinedo Álvarez & Martínez Guerrero, 2013 | Área Prioritaria para la Conservación de Pastizales (APCP) Cuchillas de la Zarca, México. Se analiza la dinámica espacial y composición de la cobertura vegetal, determinando la afectación por el proceso de fragmentación. | Número de parches, media del tamaño del parche, media del borde del parche, coeficiente de varianza del tamaño del parche, índice de diversidad de Simpson e índice de diversidad de Shannon. |

| Autor y año | Ámbito de estudio y descripción del trabajo | Medidas empleadas |
|--|--|---|
| Aguilera Benavente, 2010 | Área Metropolitana de Granada, España. Se presenta un marco teórico para sustentar la aplicación de las medidas de ecología del paisaje a entornos urbanos y se ejemplifica abordando la valoración de patrones de crecimiento en tres simulaciones de escenarios futuros. | Número de fragmentos, tamaño medio, compacidad media, índice de forma medio, distancia media al vecino más cercano y el índice de proximidad medio. |
| León Garay & Gutiérrez Fernández, 2014 | Municipio de Gutiérrez (Cundinamarca), Colombia. Se identifica el estado actual de la fragmentación de los ecosistemas a nivel de paisaje en el municipio | Número de parches; tamaño promedio; desviación estándar; coeficiente de variación en el tamaño; índice de forma medio; índice de dimensión fractal; y distancia media del vecino más cercano. |

Fuente: Adaptado de Aguilera Benavente, 2010.

1.2 Enfoques de la investigación

En este apartado se describen los enfoques Ciencias ambientales y Ecología del paisaje, ya que en ambos el ambiente es parte de su estudio y resultan complementarios. El segundo brinda las herramientas necesarias, en este caso denominadas medidas de configuración del paisaje, para el cálculo de la fragmentación que serán considerados en esta investigación desde un punto de vista propiamente estructural.

1.2.1 Ciencias ambientales

Todo ser vivo tiene participación en el sistema natural y depende de éste para sobrevivir, pero especialmente los seres humanos se relacionan con la naturaleza con formas de intensidad variable al explotar los recursos que ésta ofrece (Nebel & Wright, 1999). No fue hasta que se comenzó a hacer evidente la fragilidad y

degradación de su entorno, a través de problemáticas ambientales, que el hombre mostró interés por su cuidado.

De acuerdo con Gómez (2004), el concepto de degradación es relativo, hace referencia a una situación que se considera total o parcialmente indeseable con respecto a otra que se considera satisfactoria, dentro de las circunstancias económicas, sociales y naturales en que se genera.

En este sentido, la degradación ambiental es el deterioro del entorno natural mediante el agotamiento de recursos como el agua, aire y el suelo, así como la destrucción de los ecosistemas y la pérdida de biodiversidad, por la intervención del hombre. Es decir, se trata de un cambio que se percibe como perjudicial e indeseable, pero que al mismo tiempo está relacionado con la forma en que el hombre desarrolla sus actividades económicas y con los procedimientos que emplea para explotar dichos recursos (Zuritta et al., 2015).

Así, la pérdida de capital natural se debe a procesos más concretos como la desertificación, la deforestación, la fragmentación de hábitats y la contaminación; además de cambios en las dinámicas sociales como el desarrollo tecnológico o modificaciones a los patrones económicos y culturales (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], s/f).

No obstante, el abordar problemáticas ambientales supone un reto, pues son muy complejas, dados los elementos físicos, químicos y biológicos, así como los factores sociales y económicos, que las componen. En este escenario, donde se hace necesaria una visión integradora de las partes y sus relaciones, aparecen las ciencias ambientales, que buscan entender cómo funciona la tierra, la manera en que los humanos interactúan con ella y el cómo enfrentar las problemáticas resultantes. Se trata de un estudio interdisciplinario (Miller, 2007).

De esta forma, las ciencias ambientales relacionan los conocimientos y metodologías propias de las ciencias naturales y los conectan, a su vez, con los conocimientos y metodologías procedentes de las ciencias sociales, con la intención de solucionar, prevenir, minimizar y normalizar las problemáticas ambientales. Ello

en el marco de la sustentabilidad de los procesos naturales y planteándose como propósito mejorar la calidad de vida de la población (Giannuzzo, 2010; Facultad de Planeación Urbana y Regional [FaPUR], 2011).

Bocco (1998), dice que los procesos socioambientales ocurren en un territorio específico y buena parte de la comprensión de su naturaleza tiene que ver con los cambios en el tiempo. Lo temporal es un ingrediente en el modelamiento de situaciones hipotéticas y el proceso de investigación por el cual se puede abordar es la detección del cambio y el monitoreo. El análisis estadístico de datos temporales y el uso de imágenes obtenidas mediante sistemas de percepción remota, correspondientes a diferentes fechas, son herramientas fundamentales para tratar la cuestión temporal.

Por otra parte, lo espacial es más estático que lo temporal, pero igualmente poderoso en el modelamiento de situaciones donde la distribución de objetos de estudio es relevante en la explicación y predicción de su ocurrencia. Lo espacial supone el manejo de entidades geográficas organizados en un sistema de coordenadas conocido y su utilización en la formulación de modelos espaciales y el análisis espacial. La complejidad de los problemas que se analizan requiere aproximaciones sucesivas, esto es, del trabajo a varias escalas: de lo general a lo particular y viceversa (Bocco, 1998).

En este entendido, una herramienta importante y de gran aplicabilidad en las ciencias ambientales son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sistemas computarizados que tiene la capacidad de maneja grandes volúmenes de datos geográficos que pueden ser manipulados y analizados; donde la localización geográfica es una de sus características más importantes, es decir, permite interpretar datos referidos a un espacio terrestre (Colegio de Postgraduados, s/f).

El aporte de los SIG en las ciencias ambientales está vinculado principalmente al tipo de información que estos manejan y a la perspectiva de la realidad que nos proporcionan. Para un mejor tratamiento de las problemáticas ambientales, éstos deben tener un uso no sólo instrumental, sino también interpretativo (Quiroz Ortuño, 2010).

Asimismo, una ciencia espacialmente relacionada a este caso de estudio, y a las ciencias ambientales, es la ecología del paisaje.

1.2.2 Ecología del paisaje

El concepto de ecología del paisaje fue introducido por primera vez por Carl Troll en 1938, con relación a la interpretación de la fotografía aérea y las ventajas que ofrece para el estudio de la superficie terrestre, dado el gran espacio que abarca esta visión en comparación de una perspectiva a nivel de terreno. No obstante, la imagen aérea no muestra todas las condiciones de un lugar, por lo que se hace necesario la inspección ecológica terrestre (Troll, 2010).

De esta manera, la ecología del paisaje es una ciencia transdisciplinaria, que estudia el complejo de elementos interactuantes entre los seres vivos y sus condiciones ambientales, los cuales operan en una porción específica del paisaje. Esta ciencia se basa en el empleo de la visión horizontal proveniente de la geografía y la visión vertical propia de la ecología. Con esto, le es posible integrar las relaciones entre las variaciones de los patrones espaciales del paisaje con sus causas y consecuencias (Gurrutxaga & Lozano, 2006; Troll, 2010).

Tanto el concepto de ecología como el de paisaje están relacionados con el entorno del hombre, en particular con la superficie terrestre en la que éste desarrolla sus actividades económicas; se trata de un entorno natural que, a través de las mismas, transforma de un paisaje natural a un paisaje económica y culturalmente aprovechado (Troll, 2010).

1.2.2.1 Paisaje

Forman (1995) dice que el paisaje puede ser entendido como una mezcla de ecosistemas o tipos de uso de suelo que se repiten, el cual es el elemento básico de una región, formada a su vez por varios paisajes no repetitivos y de alto contraste. Turner, Gardner y O'Neill (2001), sugieren una definición general de paisaje que no requiere de una escala absoluta, así se refieren a éste como un área que es espacialmente heterogénea en al menos un factor de interés.

En la práctica, la delimitación del paisaje es arbitraria y depende de los criterios usados para su identificación y de los objetivos para los cuales se delimita (Matteucci, 1998a).

Un paisaje es un mosaico, mismo que puede ser evidente en todas las escalas. Un mosaico está compuesto por elementos, los cuales pueden clasificarse en parche, corredor y matriz, dependiendo de sus características físicas y funcionales (ver Figura 1). Este modelo simple constituye una herramienta para el análisis y la comparación, que además tiene un potencial para detectar patrones y principios (Forman, 1995; Matteucci, 2004).

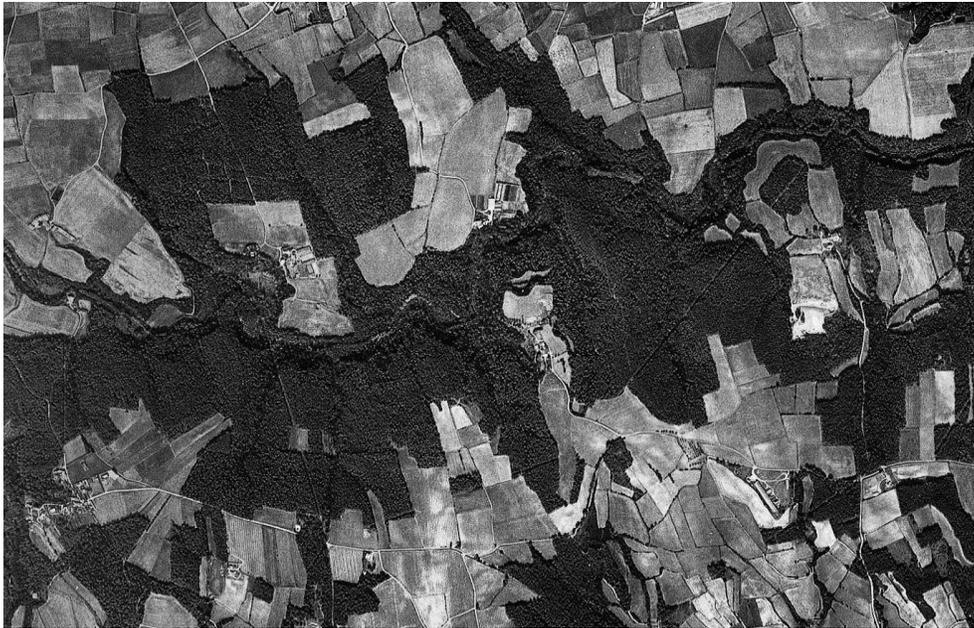


Figura 1. Fragmentos y corredores forestales en una matriz agrícola.
Nota: Tomado de Vila, Varga, Llaúsas & Ribas, 2006.

Los parches, también llamados fragmentos, son unidades espaciales relativamente singulares en relación con el entorno, pueden tener tamaños, formas y tipos de borde muy diferentes. Asimismo, un parche puede ser natural o antrópico. Los parches funcionan como hábitat, fuente o destino de especies, pero su rol dependerá de las características antes mencionadas (Matteucci, 2004).

Los corredores son fragmentos alargados que atraviesan el mosaico y cuyo contenido difiere del de los elementos vecinos. Pueden ser naturales (cursos de

agua, vegetación ribereña) o antrópicos (vías de comunicación, ductos, tendidos eléctricos). Sus atributos son el ancho y la longitud, el grado de ondulación y de continuidad y el contenido; su rol consiste en incrementar la conectividad del mosaico, facilitando los flujos (Matteucci, 2004).

La matriz constituye el fondo del mosaico, es el tipo de ecosistema dentro del cual se insertan los parches y corredores. En ocasiones resulta difícil identificar la matriz, pero comúnmente se asigna este nombre al ecosistema o uso dominante y de mejor conectividad (Matteucci, 2004).

1.2.2.2 Vinculación con las ciencias ambientales

Tomando como base el modelo de parche-corredor-matriz, la ecología del paisaje ha centrado su atención en el estudio de los diferentes tipos de fragmentos que componen un paisaje, así como sus formas y tamaños; la presencia de corredores y su conectividad y la distribución espacial de éstos y los fragmentos. Muchos de estos índices o medidas del paisaje también pueden ser cuantificadas mediante el uso de SIG y de un conjunto de medidas o índices (Aguilera Benavente, 2010).

Las medidas del paisaje permiten describir paisajes, comparar paisajes de distintas zonas geográficas y seguir su evolución en el tiempo. Estos aspectos se engloban en un enfoque estructural que es independiente de los objetos involucrados, es decir se valora únicamente el patrón, que es el arreglo espacial de los elementos de un paisaje. Cuando el objetivo es comprender procesos ecológicos como la dinámica de una población o el flujo de nutrientes, el enfoque es funcional (Matteucci, 2004).

Las bases de datos originadas a partir del enfoque de paisaje brindan una visión sinóptica y (semi) cuantitativa de la condición de los recursos naturales y su dinámica espacio-temporal, identificando los principales focos de cambio y de sus procesos asociados, como la deforestación y la fragmentación, lo que contribuye a su vez a tareas vinculados con la conservación e implementación de políticas ambientales y con los planes de uso y ordenamiento del territorio (Velázquez & Bocco, 2007).

1.3 Cambio de uso del suelo

El uso del suelo se caracteriza por los arreglos y las actividades del hombre para producir, cambiar o mantener un determinado tipo de cobertura. El uso del suelo definido de esta manera, establece un enlace directo entre cobertura de suelo y las acciones de los seres humanos en su entorno natural. En este entendido, la cobertura del suelo se refiere a la cobertura biofísica observada en la superficie de la tierra (FAO & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP], 1999).

Así, el cambio del uso de suelo es causado por múltiples factores interactuantes de diferentes niveles de organización. A su vez, la combinación de estos factores varía con el tiempo y el espacio, de acuerdo a condiciones naturales y sociales específicas. Entre estos factores, destacan los demográficos, económicos y culturales (Lambin et al., 2003).

El crecimiento de la población implica una mayor demanda de recursos y para satisfacer sus necesidades, sustituye las superficies ocupadas por vegetación con terrenos destinados a actividades productivas como la agricultura y la ganadería. Otro factor, asociado a la población, es el crecimiento de las ciudades, el cual también impulsa las modificaciones de uso del suelo, pero en menor magnitud (SEMARNAT, 2013).

El cambio de uso del suelo también se debe a las repuestas individuales y sociales ante el cambio de las condiciones económicas, mismas que son determinadas por factores institucionales. Las oportunidades para nuevos usos de suelo son creadas por los mercados y políticas, que cada vez son más afectados por factores globales. La economía y las políticas definen variables que tienen un impacto directo en las decisiones de los encargados de las tierras, como los impuestos, subsidios, costos de producción y transporte, acceso al crédito y tecnología, entre otros (Lambin et al., 2003).

Por otra parte, numerosos factores culturales influyen en las decisiones sobre uso del suelo. El hombre tiene varias motivaciones, memorias colectivas e historias

personales. De esta manera, sus actitudes, valores, creencias y las percepciones individuales influyen en esas decisiones, mismas que pueden haber tenido consecuencias intencionales y no intencionales en los ecosistemas (Lambin et al., 2003).

Aun cuando los ecosistemas son “naturales”, no se puede excluir al hombre, pues son una parte fundamental de esa naturaleza, ya que está ejerciendo una presión creciente sobre sus recursos. Esto se debe en gran medida a que través del cambio de uso del suelo, ha eliminado considerables extensiones de vegetación, influyendo de esta manera en su configuración actual en el paisaje y en la diversidad biológica que actualmente éstos pueden albergar (McNeely, 2002).

En los últimos 50 años el hombre ha transformado la naturaleza más rápida y ampliamente que en ningún otro periodo documentado. De los procesos asociados al cambio de uso del suelo, son tres los que han recibido especial atención: deforestación, degradación y fragmentación (SEMARNAT, 2013). El nuevo uso de suelo que sea asignado, determinará la extensión de la deforestación, el grado de transformación, o en su caso grado de degradación, y el tiempo de aprovechamiento. De esta forma, también influirá en la presencia de especies y en el número, tamaño y distribución de fragmentos, tanto naturales como antrópicos (Guevara S., Laborde D., & Sánchez Ríos, 2004).

Estos procesos, que atentan contra la biodiversidad, alteran el funcionamiento y deterioran los servicios ambientales de los ecosistemas, deben ser identificados espacialmente y cuantificados, toda vez que con base en ello se contribuye a la caracterización del territorio y a la ubicación de áreas de atención prioritarias, así como al manejo adecuado de los recursos, mismo que, aunque es complejo por los factores ecológicos, socioeconómicos y políticos que intervienen, es posible alcanzar (Palacio-Prieto et al., 2004).

Lambin et al. (2001), señalan que los estudios de caso a nivel local pueden ser la base para formular generalidades regionales de uso y cambio de uso del suelo,

ayudando a mejorar el conocimiento sobre temas críticos relacionados al cambio global y trabajos de sustentabilidad.

1.4 Deforestación

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2013), define al ecosistema forestal como la unidad funcional básica de interacción de los recursos forestales entre sí y con el ambiente. En este sentido, los recursos forestales son la vegetación forestal, sus servicios, productos y residuos, así como el suelo; y a su vez, dicha vegetación es la asociación de plantas y hongos que crecen y se desarrollan naturalmente, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas.

Así, la misma ley define a la deforestación como la pérdida de la vegetación forestal, ya sea por causas inducidas por el hombre o naturales, a cualquier otra condición; la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2013) hace énfasis en que este cambio debe ser permanente.

La deforestación puede ser considerada como un proceso de *gradientes de perturbación* de la estructura de las zonas forestales, el cual incluye modificaciones que van desde el empobrecimiento de la composición florística y la destrucción de los bosques hasta la completa eliminación del estrato arbóreo, debido principalmente a causas de origen antropogénico como la expansión de la agricultura y ganadería, el desarrollo de infraestructura, la tala, la recolección de leña y los incendios (Velázquez, Nuñez Hernández, Couturier & Bocco Verdinelli, 2011).

La conversión de las zonas forestales a tierras agrícolas y pastizales para el ganado puede deberse a razones de subsistencia o a razones comerciales; aunque en muchas ocasiones las superficies convertidas no son aptas para ninguna de estas actividades, dando como resultado una baja productividad y un alto costo ambiental, lo que orilla a su abandono y a la búsqueda de nuevos espacios. Asimismo, la urbanización de las zonas forestales, la minería, la energía hidroeléctrica, entre

otros, representan una gran amenaza, a la que se suma el impacto indirecto de la construcción de carreteras destinadas a esos proyectos, pues dan acceso a la colonización y la subsecuente conversión de más zonas (WWF, 2010).

La tala suele ser selectiva y exhaustiva, enfocándose en sólo unas cuantas especies que representan un mayor valor económico, sobre todo cuando ésta es ilegal. Por otra parte, si bien la extracción de leña y madera para uso doméstico tiende a ocurrir de forma lenta y gradual, y no necesariamente implica la tala puesto que se puede recolectar ramas y troncos caídos, el problema fundamental es que este tipo de aprovechamiento se considera de libre acceso y rara vez hay reglas internas al respecto. De esta manera, el efecto inmediato sería la degradación, que al final podría resultar ser una etapa anterior a la deforestación (Torres Rojo, 2004).

En cuanto a los incendios, éstos son generalmente producidos por quemas agropecuarias no controladas, pero también pueden tener un origen natural por la caída de rayos, aunque son menos frecuentes. Los incendios, al igual que la tala ilegal y la extracción de madera, vuelve más susceptibles a las zonas forestales a sufrir cambio de uso de suelo (FAO, 2010).

En este sentido, es posible encontrar factores indirectos que causan la deforestación, tales como el aumento de la población, la marginación rural, los incentivos a la producción agropecuaria extensiva, la corrupción y escasos recursos para vigilancia, el debilitamiento de la organización comunitaria, la administración deficiente de ejidos y comunidades, y una limitada cultura forestal (CONAFOR, 2001).

Así, este proceso tiene repercusiones ecológicas, como la pérdida de la biodiversidad, cambios en la composición vegetal, modificación, desaparición o extinción de fauna, cambios en la acumulación y ciclos de los nutrientes, cambios en el balance hídrico, erosión, degradación y pérdida de suelos. Y ya que la vegetación forestal es una importante fuente de retención de carbono, su pérdida constituye una potencial amenaza, pues se calcula que la deforestación, sumada a

la degradación forestal, contribuye con un 20% del volumen anual de emisiones de emisiones de gas de efecto invernadero Ambiente (UNEP, 2011).

Como consecuencias socioeconómicas, la deforestación es la principal causa de la pérdida de los recursos forestales en escalas locales, regionales y globales, lo que conlleva la alteración de los servicios ambientales, la migración y la disminución del ingreso por actividades primarias.

1.5 Fragmentación

La fragmentación es un proceso a nivel de paisaje, que implica un cambio en su estructura y configuración, por el que una clase de cobertura, especialmente un hábitat particular, se transforma en un conjunto de parches cada vez más pequeños, complejos y asilados los cuales quedan enclavados en una matriz ocupada por otra clase dominante o pueden ser adyacentes, de tal manera que no se distingue una matriz (García, 2011; Matteucci, 1998b; Mateucci, 2004).

La fragmentación es considerada como uno de los “cuatro jinetes del Apocalipsis” que causan la pérdida de la diversidad biológica, junto con la sobrecosecha de los recursos naturales por el hombre, la introducción de especies exóticas y los efectos secundarios de la extinción. Así, este es uno de los principales motivos por los cuales el proceso ha recibido especial atención (Badii, Flores, Foroughbakhch & Quiroz, 1998).

Al ocasionar que el paisaje adquiera una apariencia de archipiélago, los principios teóricos sobre los cuales se ha asentado el estudio de los efectos de la fragmentación sobre la biodiversidad proceden, en gran medida, del modelo biogeográfico de islas. Aunque en los últimos años diversas investigaciones han mostrado limitaciones de este modelo, por lo que con su empleo la dinámica de los fragmentos puede ser descrita de un modo, más bien, relativamente aproximado (Herrera, 2011; Monroy-Vilchis, 2003).

El proceso de fragmentación puede tener causas naturales, tales como un incendio o la acción del viento; no obstante, la fragmentación se incrementa considerablemente por la intervención humana. Se dice que la fragmentación es tan

antigua como la expansión agrícola, pero que se ha intensificado gracias al desarrollo tecnológico actual, que también supone diferentes maneras de explotación de recursos. Ejemplo de ello es la explotación maderera, la apertura de tierras para el cultivo, los pastizales inducidos para el ganado, la urbanización y la construcción de carreteras y presas (Simula, 2009).

La fragmentación es entonces el resultado de tres procesos de alteración: 1) la pérdida progresiva de superficie de hábitat original; 2) la subdivisión creciente del hábitat remanente; y 3) el incremento de la relación perímetro/área en dicho hábitat. Por lo general estos procesos van de la mano y están relacionados entre sí, sobre todo cuando la fragmentación no es aleatoria, como ocurre en los lugares donde el proceso de deforestación se concentra en la periferia de los fragmentos forestales ya existentes, reduciendo su tamaño o incluso haciéndolos desaparecer (García, 2011).

Una vez iniciada la fragmentación, ésta desencadena una serie de modificaciones en los procesos ecosistémicos (se alteran los flujos de energía, el viento, el agua y los nutrientes del suelo) y por consecuencia impacta las poblaciones (en sus características demográficas y genéticas) y las comunidades de flora y fauna (en sus relaciones bióticas y fomentando la pérdida de biodiversidad), que responden al cambio de los nuevos parches (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2009). Los efectos de estos parches dependerán de su tamaño, de su forma, del tipo de matriz o *borde* que los rodea, de su grado de aislamiento y de lo que se encuentra dentro de ellos.

De este modo, la fragmentación provoca un cambio progresivo en la configuración del paisaje que también puede definirse mediante la tendencia de cinco variables paisajísticas relacionadas a los parches que cambian simultáneamente e indican sobre la supervivencia de las especies de acuerdo a Santos y Tellería (2006): 1) pérdida regional de la cantidad de hábitat; 2) disminución del tamaño medio; 3) aumento del número de parches resultantes; 4) aumento de la distancia entre parches; y 5) aumento de la relación perímetro superficie.

Parches pequeños sólo pueden acoger pequeñas poblaciones y tienen una relación perímetro/área mayor que parches grandes, lo cual significa una mayor influencia de la matriz. Los fragmentos forestales en paisajes dominados por el hombre suelen tener superficies menores a una hectárea (Gurrutxaga & Lozano, 2006; Simula, 2009).

Además, el efecto borde puede llegar a ser importante si los parches tienen forma alargada o irregular, ya que éstos también poseen una relación perímetro/área mayor que fragmentos regulares. Una forma compacta o circular es entonces efectiva para conservar recursos internos, minimizando el perímetro expuesto a la matriz (Bustamante & Grez, 1995; Forman, 1995).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que una matriz con estructura similar a la de un parche de bosque tendrá una influencia menor que una matriz con estructura muy diferente, como por ejemplo un pastizal o un área agrícola. Generalmente los parches correspondientes a usos de suelo tienen formas más simples, bordes más rectos y tamaños más homogéneos que los parches naturales (Bustamante & Grez, 1995; Matteucci, 2005)

En cuanto al grado de aislamiento, éste dificulta el intercambio de organismos, en particular el de aquellos que tienen poca movilidad, como las especies pequeñas y que no vuelan. Las poblaciones en parches aislados, tienen mayor riesgo de desaparecer ya que son de menor tamaño y las perturbaciones naturales como incendios o inundaciones las pueden eliminar. Aunado a esto, la variabilidad genética se reduce al existir un menor número de individuos, aumentando relaciones de parentesco (CONABIO, 2009).

Adicionalmente, los organismos pueden responder o no a los efectos de la fragmentación dependiendo de la escala a la cual estos se producen, tratándose así de respuestas escala dependientes a la pérdida y subdivisión del hábitat. El hecho de que ciertas especies no presenten respuesta al proceso en una escala, no quiere decir que a escalas más finas otras especies tampoco lo hagan (García, 2011).

Ante las condiciones actuales de fragmentación del territorio por la apropiación de los sistemas ecológicos originales, el patrón espacial ha adquirido importancia en la agenda de planificación del uso sustentable y la conservación de recursos y servicios ecológicos (Mateucci, 2004).

Para efectos de conservación, es preferible asegurar la presencia de hábitats no fragmentados o con poco grado de fragmentación, de forma que sus efectos sean menores para todas las especies. En caso de que el ambiente ya se encuentre fragmentado, es recomendable considerar la posibilidad de establecer corredores entre los parches, para que se mantengan conectados entre sí y permitan a las especies desplazarse entre ellos. Sin embargo, no todos los efectos de la fragmentación sobre las diferentes especies siempre son negativos, pues pueden ser incluso positivos o neutrales, pero la determinación de esto requiere de estudios específicos (Monroy-Vilchis, 2003).

En esta línea, Herrera (2011) dice que las principales estrategias para el diseño de reservas o áreas naturales protegidas están basadas en la gestión de las propiedades de los parches, algunas de éstas se muestran en la Figura 2. No obstante, el mismo autor hace énfasis en que este modelo resulta insuficiente si se ignora la matriz, pues rara vez los parches están rodeados por una que es homogénea, inhóspita y ecológicamente neutra. Por lo que en estos casos la inclusión de las características estructurales de la matriz es crucial.

Los índices o medidas de estructura del paisaje han adquirido importancia porque miden propiedades relacionadas con el concepto de fragmentación y a los parches, como las ya mencionadas, y permiten sugerir posibles causas y consecuencias en relación con la integridad ecológica de los mismos, por lo que constituyen un primer acercamiento a la conservación de la biodiversidad. Además, estos atributos permiten describir paisajes, compararlos y seguir su evolución en el tiempo (Mateucci, 2004).

Es importante mencionar que, de acuerdo con Simula (2011), en general a la fragmentación se le ha visto como un aspecto de la degradación forestal,

entendiendo a esta última como el proceso de disminución de la capacidad de los ecosistemas forestales para brindar servicios ambientales, así como capacidad productiva, según la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2013). De este modo, continuando con Simula (2011), de 45 países tomados como referencia para su trabajo, tan sólo 6 tienen definiciones concretas para el proceso. Esos países son Chipre, Turquía, Ghana, Costa Rica, Estados Unidos y Argentina.

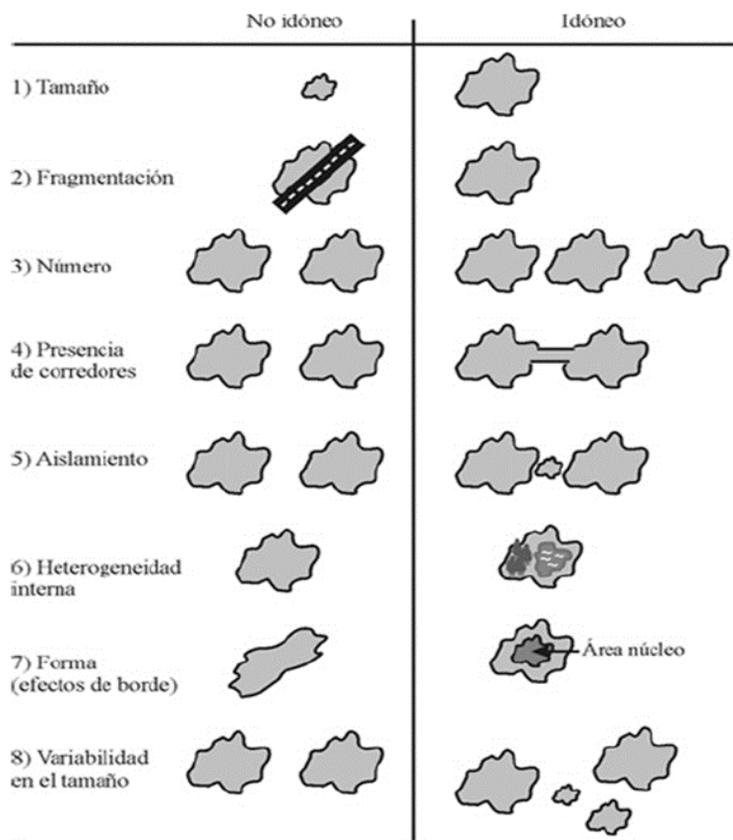


Figura 2 . Principales estrategias para el diseño de reservas.
Nota: Tomado de Herrera, 2011.

En México, en la mencionada ley la fragmentación tampoco es un aspecto que se considere explícitamente; en el artículo 117 de la misma se indica que la SEMARNAT sólo podrá autorizar el cambio de uso del suelo en terrenos forestales cuando se demuestre que no se compromete la biodiversidad, ni se provocará la erosión de los suelos, el deterioro de la calidad del agua y que los usos alternativos del suelo propuestos sean más productivos a largo plazo.

En la Norma Oficial Mexicana *NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*, el concepto se incluye únicamente como parte del método de evaluación de riesgo de extinción de las especies silvestres en México, dentro del criterio relacionado con el impacto de la actividad humana sobre el taxón (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2010).

1.6 Metodología

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo, cuya recolección de datos se fundamenta en la medición numérica de fenómenos. Esta medición se lleva a cabo utilizando procedimientos estandarizados y aceptados por la comunidad científica. Así, dicho enfoque tiene un proceso secuencial, deductivo, probatorio y que analiza la realidad objetiva; que al final, pretende explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2006).

Con la intención de orientar la investigación, se revisó y seleccionó información documental para identificar y sustentar los conceptos básicos utilizados en el desarrollo de la misma, además de describir los enfoques y presentar los estudios de caso relacionados. De esta manera se conformó el marco de referencia.

Para la caracterización ambiental del municipio de Tenancingo y para abordar el componente natural, se requirió de productos cartográficos generados por organismos reconocidos, tales como cartas digitales y datos vectoriales para la elaboración del mapa base y los mapas temáticos. Del mismo tipo de organismos se obtuvieron datos estadísticos, como censos de población, marginación y actividades económicas, para explicar el componente socioeconómico.

La siguiente etapa comparte una característica importante con la anterior, pues parte del enfoque fundamental para abordar lo espacial, es decir, del análisis geográfico y la cartografía (ver Figura 3). Los datos relacionados al cambio de uso del suelo, tasas de cambio y fragmentación se generaron a partir de productos de

sistemas de percepción remota y su posterior tratamiento en Sistemas de Información Geográfica; ello permitió, a su vez, la aplicación de fórmulas establecidas para calcular los procesos mencionados (Bocco, 1998).

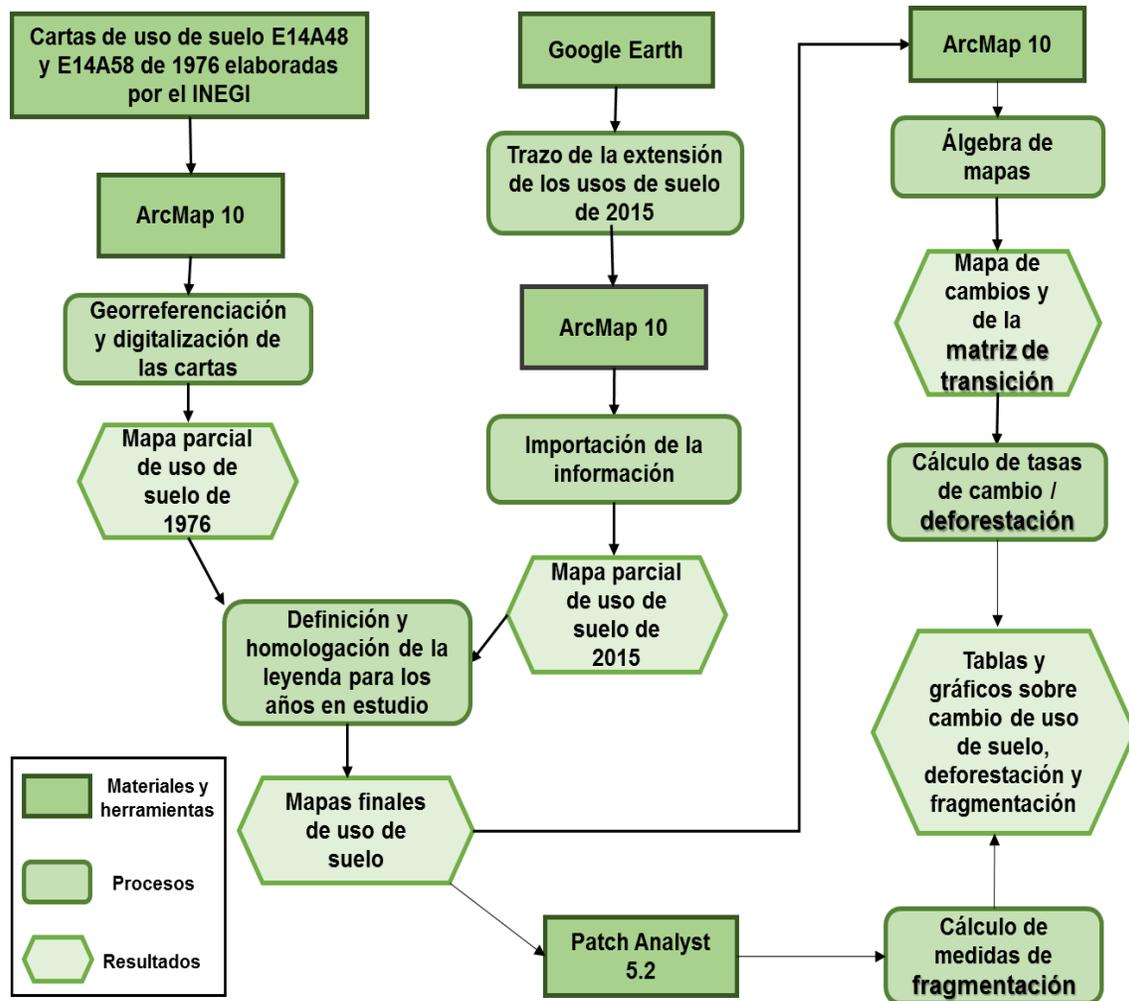


Figura 3. Flujograma metodológico.

Nota: Adaptado de Peralta Rivero, Torrico Albino, A. Vos, Galindo Mendoza & Contreras Servín, 2015.

1.6.1 Elaboración y tratamiento de la información digital

Para esta investigación, los años considerados para identificar el cambio de uso de suelo fueron 1976 y 2015. La información empleada para la primera fecha proviene de las *cartas de uso de suelo y vegetación* a escala 1:50 000 correspondientes a las claves E14A48 y E14A58, elaboradas por el INEGI a partir del procedimiento de

fotointerpretación y verificación de campo con fotografías aéreas a escala 1:25 000. Dichas cartas fueron georreferenciadas y digitalizadas a través del sistema *ArcGIS*, con su aplicación *ArcMap 10*, a fin de obtener un mapa parcial de uso de suelo de 1976.

En cuanto a la segunda fecha, se hizo empleo del programa informático gratuito *Google Earth*, cuyos datos básicos están constituidos principalmente por imágenes de satélite y fotografías aéreas de alta resolución, ambas de actualización periódica y que permiten trabajar en una escala de 1:50 000 y aún menor. Con este programa es posible percibir detalles suficientes y observar áreas que serían incluso inaccesibles en visitas de campo (Metternicht, 2006).

Así, utilizando la herramienta para trazar polígonos, se obtuvo la extensión de las coberturas antrópicas (agricultura de riego, agricultura de temporal y pastizales inducidos) y las coberturas naturales; estos datos se ingresaron en *ArcMap 10* y se les ajustaron las zonas urbanas y los cuerpos de agua contenidos en el *Conjunto de datos vectoriales de información topográfica edición 2015* (con claves E14A48 y E14A58) para generar el mapa parcial de uso de suelo de 2015. La unidad mínima cartografiada fue 1 hectárea, ello con referencia a las cartas de uso de suelo y vegetación mencionadas anteriormente.

Posteriormente, las leyendas de ambos mapas fueron definidas y homologadas, tomando como base la utilizada por el INEGI en las cartas de uso del suelo de 1976, así como la clasificación propuesta por la SEMARNAT (2013); algunos de los polígonos creados estaban compuestos por dos o más clases de la leyenda original, en estos casos el nombre asignado corresponde a la clase dominante.

De esta forma, se obtuvieron los mapas finales de uso de suelo y su correspondiente leyenda, con 9 clases cada uno: agricultura de riego (AR), agricultura de temporal (AT), pastizal inducido (PI), zona urbana (ZU), bosque mesófilo de montaña (BM), bosque templado (BT), selva baja caducifolia (SBC), matorral xerófilo (M) y cuerpo de agua (CA), (ver tabla 2).

Asimismo, por los métodos empleados y sus alcances, en este trabajo se considera que los cuerpos de agua no presentan cambios, manteniendo la misma superficie en ambas fechas.

Tabla 2. Leyenda para los mapas de uso de suelo y vegetación 1976 y 2015

| Categoría | Clase | Asociaciones que incluye |
|----------------|---------------------------------|--|
| Uso de suelo | Agricultura de riego (AR) | Agricultura de riego |
| | Agricultura de temporal (AT) | Agricultura de temporal permanente Agricultura de temporal nómada |
| | Pastizal inducido (PI) | Pastizal inducido |
| | Zona urbana (ZU) | Zona urbana |
| Vegetación | Bosque mesófilo de montaña (BM) | Bosque Mesófilo de Montaña Bosque de Pino Bosque de Encino |
| | Bosque templado (BT) | Bosque de Pino-Encino Bosque de Encino-Pino Bosque de Táscate |
| | Selva baja caducifolia (SBC) | Selva Baja Caducifolia |
| Cuerpo de Agua | Matorral xerófilo (M) | Matorral xerófilo |
| | Cuerpo de agua (CA) | Cuerpo de agua (CA) |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 1976; Luna Soria, 2009; SEMARNAT, 2013.

1.6.2 Matriz de transición

Para analizar el cambio de uso del suelo y encontrar las áreas de cambio positivo (ganancias) y/o negativo (pérdidas) netas, así como las superficies actuales de cada cobertura y los correspondientes porcentajes de cambio, fue necesario aplicar la herramienta conocida como *Algebra de Mapa* en ArcMap 10, obteniendo un *mapa de cambios* y una *matriz de tabulación cruzada* o *matriz de transición*.

Dicha matriz de tabulación cruzada sigue el formato de la Tabla 3, donde las filas muestran las clases definidas en el tiempo 1 y las columnas muestran las mismas clases, pero en el tiempo 2. Los registros dentro de la diagonal indican persistencia, así la notación P_{jj} señala las áreas que no presentaron cambios de la clase j ;

mientras que P_{ij} , fuera de la diagonal, se refiere a la proporción de paisaje que experimenta una transición de la clase i a la clase j (Pontius, Jr., Shusas & McEachern, 2004).

Por otro lado, en la fila *Total tiempo 2*, p_{+j} denota el área en la clase j en el tiempo 2, que es la suma total de i de P_{ij} ; y en la columna *Total tiempo 2*, P_{i+} denota la superficie en la clase i en el tiempo 1, que es la suma total de j de P_{ij} . Por último, la fila *Ganancias* representa la proporción de paisaje que tuvo un aumento de la clase j entre el tiempo 1 y el tiempo 2; en tanto que la columna *Pérdidas* indica el área que experimenta una disminución de la clase i entre el tiempo 1 y el tiempo 2 (Pontius, Jr., Shusas & McEachern, 2004).

Tabla 3. Matriz general de transición

| | Tiempo 2 | | | | | |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| Tiempo 1 | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 | Total tiempo 1 | Pérdidas |
| Clase 1 | P_{11} | P_{12} | P_{13} | P_{14} | P_{1+} | $P_{1+} - P_{11}$ |
| Clase 2 | P_{21} | P_{22} | P_{23} | P_{24} | P_{2+} | $P_{2+} - P_{22}$ |
| Clase 3 | P_{31} | P_{32} | P_{33} | P_{34} | P_{3+} | $P_{3+} - P_{33}$ |
| Clase 4 | P_{41} | P_{42} | P_{43} | P_{44} | P_{+} | $P_{4+} - P_{44}$ |
| Total tiempo 2 | P_{+1} | P_{+2} | P_{+3} | P_{+4} | 1 | |
| Ganancias | $P_{+1} - P_{11}$ | $P_{+2} - P_{22}$ | $P_{+3} - P_{33}$ | $P_{+4} - P_{44}$ | | |

Fuente: Pontius, Jr., Shusas & McEachern, 2004

1.6.3 Tasa de cambio en vegetación (deforestación) y uso de suelo

Las tasas de cambio en vegetación y uso de suelo, fueron calculadas para cada clase mediante la ecuación que se presenta a continuación, cuyo resultado expresa el cambio de las superficies en términos de porcentaje al inicio de cada año (Palacio-Prieto et al., 2004):

$$C = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

Donde:

C= Tasa de cambio (multiplicar por 100)

S_1 = Superficie en la fecha 1.

S_2 = Superficie en la fecha 2.

n = Número de años entre las dos fechas.

Como se mencionó con anterioridad, para la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2013), zonas áridas y semiáridas se consideran como vegetación forestal, por lo que en este caso también se le aplicó el término deforestación a los matorrales, aunque para diversos órganos internacionales, éste se restringe exclusivamente a zonas arboladas (SEMARNAT, 2013).

De esta forma, Takaki (2011) define la tasa de deforestación como el cambio permanente causado por la intervención humana de la superficie forestal entre un periodo de tiempo y otro subsecuente.

1.6.4 Medidas de fragmentación

La habilidad para cuantificar la estructura del paisaje, es un prerrequisito para el estudio de su función y cambio. Por esta razón, se ha hecho especial énfasis en el desarrollo de métodos para dicha cuantificación. Las medidas de la ecología del paisaje surgieron para identificar las características espaciales de los procesos ecológicos, en relación con conceptos como la fragmentación, la dominancia, el aislamiento, entre otros (Aguilera Benavente, 2010; McGarigal & Marks, 1995).

Actualmente, existen diversos softwares desarrollados con esa finalidad como: Fragstats, Patch Analyst, Grass, V-Late. Algunos de éstos, están limitados a un entorno de hardware específico y la elección entre uno y otro depende de las necesidades del usuario. El cálculo de las medidas se realiza en un mosaico de parches, los cuales son polígonos en un mapa vectorial o un conjunto de píxeles contiguos pertenecientes a la misma clase. Este tipo de patrón es areal y temático. Cada tipo o clase de polígono tiene un valor nominal, que puede ser un tipo de vegetación o un uso particular del suelo, entre otros. Asimismo, las medidas suelen dividirse en categorías (Matteucci, 2004; Rempel, R.S., D. Kaukinen., & A.P. Carr., 2012):

- Medidas de área
- Medidas de densidad de parche y tamaño
- Medidas de borde
- Medidas de forma
- Medidas de diversidad

A su vez, cada una de estas medidas, pueden ser calculadas, con ciertas excepciones, en tres niveles jerárquicos: nivel de parche, nivel de clase y nivel de mosaico. La información generada a partir de esto, consiste únicamente en un conjunto de valores numéricos que por sí solos no tienen un valor determinante. Sin embargo, los resultados de dichas medidas pueden aportar información muy valiosa acerca de la evolución y cambios que tienen lugar en un paisaje determinado, o al comparar diferentes paisajes (Aguilera Benavente, 2010).

No obstante, Matteucci (2004) dice que, si bien los softwares mencionados calculan una gran cantidad de medidas en poco tiempo, tienen la desventaja de que existe la tendencia de calcular todas las medidas disponibles y posteriormente tratar de encontrar una explicación a los resultados. Por ello, recomienda partir de una hipótesis y seleccionar las variables y métodos que permitan demostrarla, además de usar la menor cantidad de medidas que sea posible y por supuesto, analizar lo que cada una refleja. A esto se suma que todas las medidas provienen de pocas medidas en el mapa (área, perímetro y contenido de los polígonos), que son sometidos a una variedad de algoritmos, por lo que hay medidas inherentemente redundantes.

Haciendo uso de los datos vectoriales correspondientes a los usos de suelo de 1976 y 2015 de Tenancingo, y para obtener los patrones de fragmentación, se usó *Patch Analyst 5.2*, una extensión para el software ArcGIS que facilita el análisis espacial de los fragmentos o parches del paisaje y la modelación de atributos asociados a éstos. Patch Analyst permite calcular un total de 42 medidas y trabajar tanto en formato vectorial como en formato raster. No obstante, no todas las medidas son

aplicables en ambos formatos. Así, en la Tabla 4 se presentan las medidas elegidas para este trabajo (Rempel, R.S., D. Kaukinen., & A.P. Carr., 2012).

Tabla 4. Medidas de fragmentación calculadas en Patch Analyst

| Medida y acrónimo | Unidad, rango y fórmula | Descripción |
|---|---|--|
| Número de parches (NumP) | Adimensional (0, ∞) $NumP = Num$ | Equivale al número de parches de una clase determinada o en el mosaico. Un aumento en el número de parches evidencia un proceso de fragmentación. |
| Tamaño promedio del parche (MPS) | Hectáreas (0, ∞) $MPS = \frac{A}{NumP}$ | Es igual a la suma de las áreas de todos los parches de una clase determinada o al área total del mosaico dividido entre el número total de parches |
| Coficiente de variación del tamaño del parche (PSCoV) | Porcentaje (0, ∞) $PSCoV = \frac{PSSD}{MPS}$ | Se obtiene al dividir la desviación estándar del tamaño de los parches (PSSD) entre MPS y multiplicado por 100, de una clase o de un mosaico, según sea el caso. A mayor valor, mayor variabilidad en el tamaño de los parches. |
| Borde promedio del parche (MPE) | Metros (0, ∞) $MPE = \frac{TE}{NumP}$ | Es igual al perímetro total (TE) de los parches entre NumP, de una clase o de un mosaico, según sea el caso. Valores bajos indican mayor fragmentación, valores altos indican menor fragmentación. |
| Índice promedio de forma (MSI) | Adimensional (0, ∞) $MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left[\frac{p_{ij}}{\sqrt{\pi} \cdot a_{ij}} \right]}{NumP}$ | Es la suma del perímetro de cada parche dividido entre la raíz cuadrada del área (ha) de los parches de cada clase o de todos los parches del mosaico y ajustado al estándar circular, dividido entre el NumP. Es igual a 1 cuando los parches tienen formas circulares y el valor se incrementa al hacerse más irregulares. |
| Índice de diversidad de Shannon (SDI) | Adimensional (0, ∞) $SDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)$ | Equivale a menos la suma, para todas las clases, de la abundancia proporcional de cada clase multiplicada por el logaritmo neperiano de esa proporción. Es igual a 0 cuando sólo existe un parche en el mosaico y se incrementa cuando el número de parches de las distintas clases también lo hace. |
| Índice de uniformidad de Shannon (SEI) | Adimensional (0, 1) $SEI =$ | Equivale a menos la suma, para todas las clases, de la abundancia proporcional de cada uno de los parches respectivos, multiplicado por |

| Medida y acrónimo | Unidad, rango y fórmula | Descripción |
|-------------------|---|---|
| | $\frac{-\sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)}{\ln m}$ | tal proporción y dividido entre el logaritmo del NumP por clase. Es igual a 0 cuando la distribución del área entre los parches de las distintas clases es baja y se aproxima a 1 cuando la misma se vuelve más uniforme. |

Fuente: Adaptado de León Garay & Gutiérrez Fernández, 2014; McGarigal & Marks, 1995.

Como parte de la categoría *medidas de densidad y tamaño de parche* se consideraron número de parches (NumP), tamaño promedio del parche (MPS) y coeficiente de variación del tamaño del parche (PSCoV); dentro de las *medidas de borde* se eligió promedio de borde del parche (MPE); en el caso de las *medidas de forma* fue el índice promedio de forma (MSI); por último, como *medidas de diversidad* se incluyeron el índice de diversidad de Shannon (SDI) y el índice de uniformidad de Shannon (SEI).

De las 7 medidas presentadas, SDI y SEI únicamente pueden ser expresadas a nivel de paisaje, por lo que, a excepción de éstas, el resto fueron calculadas tanto a ese nivel (en este caso el municipio de Tenancingo) como al de clase (para cada una de las definidas anteriormente, sin contar cuerpos de agua). A partir de esta información, en Excel se hicieron tablas y gráficos para interpretar y representar el proceso de fragmentación.

Conviene anotar que, entre las desventajas de la metodología presentada, una se relaciona con la elaboración del mapa de uso de suelo y vegetación del año 2015, pues no se realizó verificación en campo que permitiera una mayor precisión en la asignación de las clases consideradas en la leyenda, acción que sí fue llevada a cabo para el año 1976 por el INEGI.

Por otro lado, recientemente en México se está fomentando la generación información de uso de suelo y vegetación a escala 1: 50,000 debido a que predomina la hecha a escala 1: 250, 000, cuya resolución impide realizar cálculos más exactos del estado de la cobertura vegetal y es inadecuada para tomar decisiones sobre el manejo de los recursos (Takaki, 2011).

No obstante, teniendo en cuenta que en este trabajo la fragmentación parte del análisis del cambio de uso del suelo manejado a la primera escala, es importante reconocer que se trata un proceso que ocurre simultáneamente a muchas escalas y puede manifestarse de distintas maneras, por lo que tiene un menor poder predictivo en sitios más específicos dentro del mismo municipio. En ese tipo de sitios un enfoque cualitativo podría contribuir a un panorama más amplio de la fragmentación, ya que a escala fina la variabilidad de los procesos ecológicos es muy alta y cada organismo responde de diferente forma al cambio producido por la intervención humana en los ecosistemas (Mateucci, 1998; Velázquez & Bocco, 2007).

Asimismo, si se compara Patch Analyst con otro tipo software como Fragstats o Grass. que trabajan esencialmente en formato raster, resulta más modesto, pues se éste se limita exclusivamente a calcular los principales índices de paisaje, mientras que los otros ofrecen una lista más amplia de los mismos (Vila, Varga, Llaúsas & Ribas, 2006).

Por último y en cuanto a las medidas de fragmentación, éstas presentan algunas limitaciones generales en su aplicación. En primer lugar, los parches son elementos considerados como discretos obviando las transiciones que existen entre los límites definidos, lo que se traduce en una simplificación de la heterogeneidad que hay en el paisaje. En segundo lugar, el tipo y el número de clases que se incluye en la leyenda de los mapas de uso de suelo y vegetación utilizada para realizar los cálculos de las medidas condiciona los resultados cuantitativos derivados de la aplicación (Vila, Varga, Llaúsas & Ribas, 2006).

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL MUNICIPIO DE TENANCINGO

El presente capítulo se divide en dos partes, en la primera se abordan las características naturales, presentando información sobre componentes como la geología, edafología, clima, hidrología y uso de suelo, además de la representación cartográfica de éstos en el territorio de Tenancingo. Asimismo, en la segunda parte se ofrece una visión general sobre las características económicas, integrada por datos de carácter censal referidos a población, marginación y actividades económicas.

2.1 Características naturales

Al término *tenamitl* se le elimina el afijo *itl*, cambiado a su vez la grafía *m* por *n*, para tomar el sufijo *tzintli* y formar *Tenantzintli*, que significa "Pequeñas murallitas". Esta nueva palabra también sufre modificaciones, pues el afijo *tli* es reemplazado por *co*, dando como resultado *tenan-tzin-co* que puede interpretarse como "Lugar de la pequeña muralla". Finalmente se decidió cambiar la grafía *tz* por *c* y por influencia de la lengua castellana se sustituyó el afijo primario de la grafía *c* por *g*, quedando reestructurado el vocablo como Tenancingo (Serrano Pérez, 2010).

2.1.1 Localización

Tenancingo es uno de los 125 municipios del Estado de México, ubicado al sur de la entidad. Se localiza entre los paralelos 18°49' y 19°03' de latitud norte y los meridianos 99°29' y 99°39' de longitud oeste. Su altitud está entre los 2 200 y 2 700 metros sobre el nivel del mar; en tanto que su superficie territorial es de 16452 hectáreas, lo que representa el 0.73% de la superficie estatal (INEGI, 2010a).

Es importante mencionar que, la Isla Municipal San José Chalmita pertenece al territorio en estudio, misma que se sitúa entre los paralelos 18°49' y 18°53' de latitud norte y los meridianos 99°30' y 99°34' de longitud oeste (ver Figura 4).

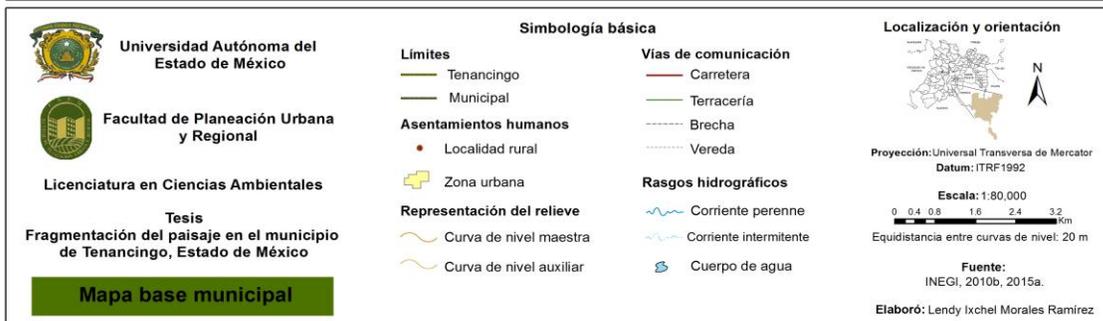
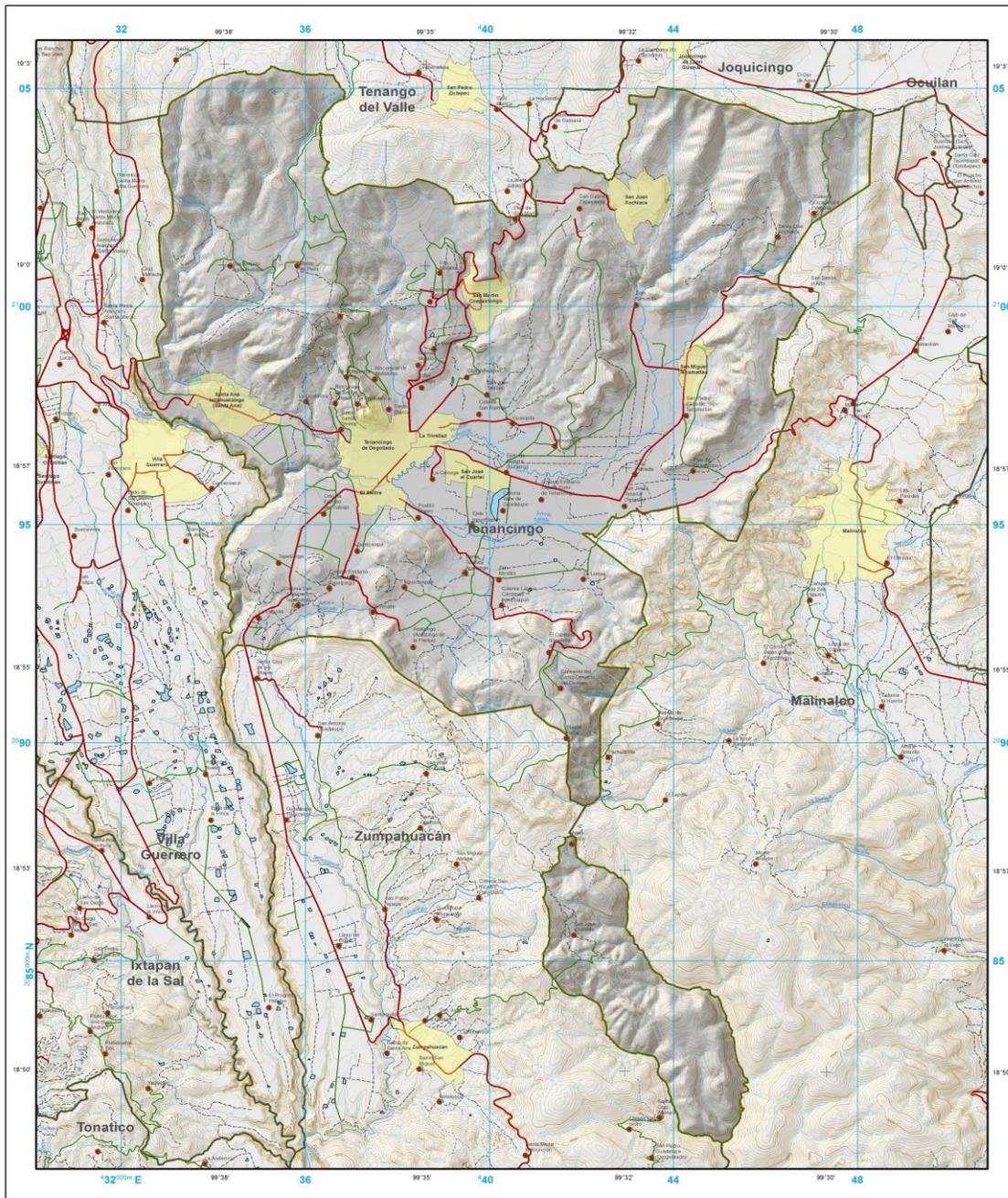


Figura 4. Mapa base municipal.

Tenancingo colinda con los siguientes municipios: al norte con Tenango del Valle y Joquicingo; al este con Ocuilan y Malinalco; al sur con Malinalco y Zumpahuacán; y al oeste con Villa Guerrero y Tenango del Valle.

2.1.2 Geología

El desarrollo geológico del territorio municipal está dado por los periodos Cuaternario (59.86%) y Neógeno (25.43%) de la era Cenozoica, y por los periodos Cretácico (6.71%) y Jurásico superior-Cretácico inferior (1.02%) de la era Mesozoica (INEGI, 2010a).

Existe la hipótesis de que el Valle de Tenancingo antiguamente fue un lago natural que con el tiempo se llenó con sedimentos y cenizas volcánicas arrastradas por corrientes de agua, aproximadamente durante el periodo cuaternario, entre las épocas del Holoceno y Pleistoceno (SEMARNAT, s/f).

Ahora bien, las rocas de mayor presencia en Tenancingo son las ígneas extrusivas, las cuales suman un 60%, seguidas por las rocas sedimentarias que representan un 10.28%. En conjunto, los suelos residual y aluvial conforman el 28.72% restante (ver Figura 5).

Las rocas ígneas extrusivas encontradas en el municipio son la extrusiva intermedia el basalto, la toba y la brecha volcánica. De estas rocas, el basalto es la más abundante (46.84%), domina en el norte y en menor cantidad se localiza en hacia el sur. La toba (9.59%) se distribuye moderadamente en el norte, este y oeste; mientras que la brecha volcánica (3.66%) se concentra mayormente en el oeste. La extrusiva intermedia se halla en una proporción relativamente pequeña (0.91%) en la Isla Municipal San José Chalmita.

Por otro lado, las rocas sedimentarias presentes son la caliza, la lutita-arenisca, y la arenisca-conglomerado. La caliza (5.97%) y la lutita-arenisca (0.74%) se ubican en la mencionada Isla Municipal y la Arenisca-Conglomerado (3.57%) se limita al oeste del municipio.

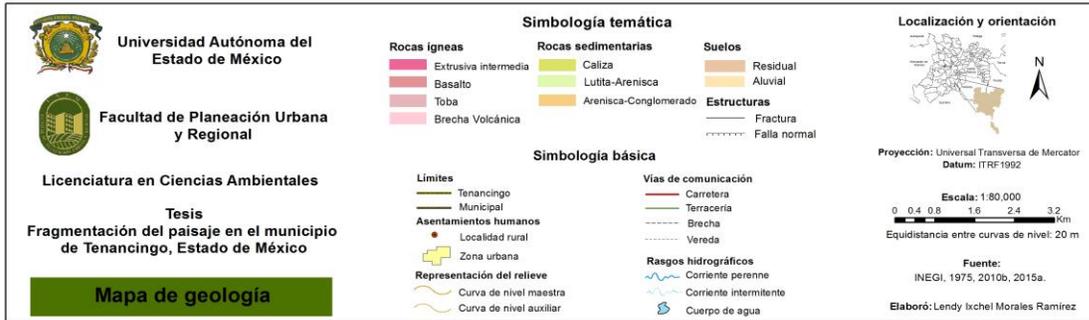
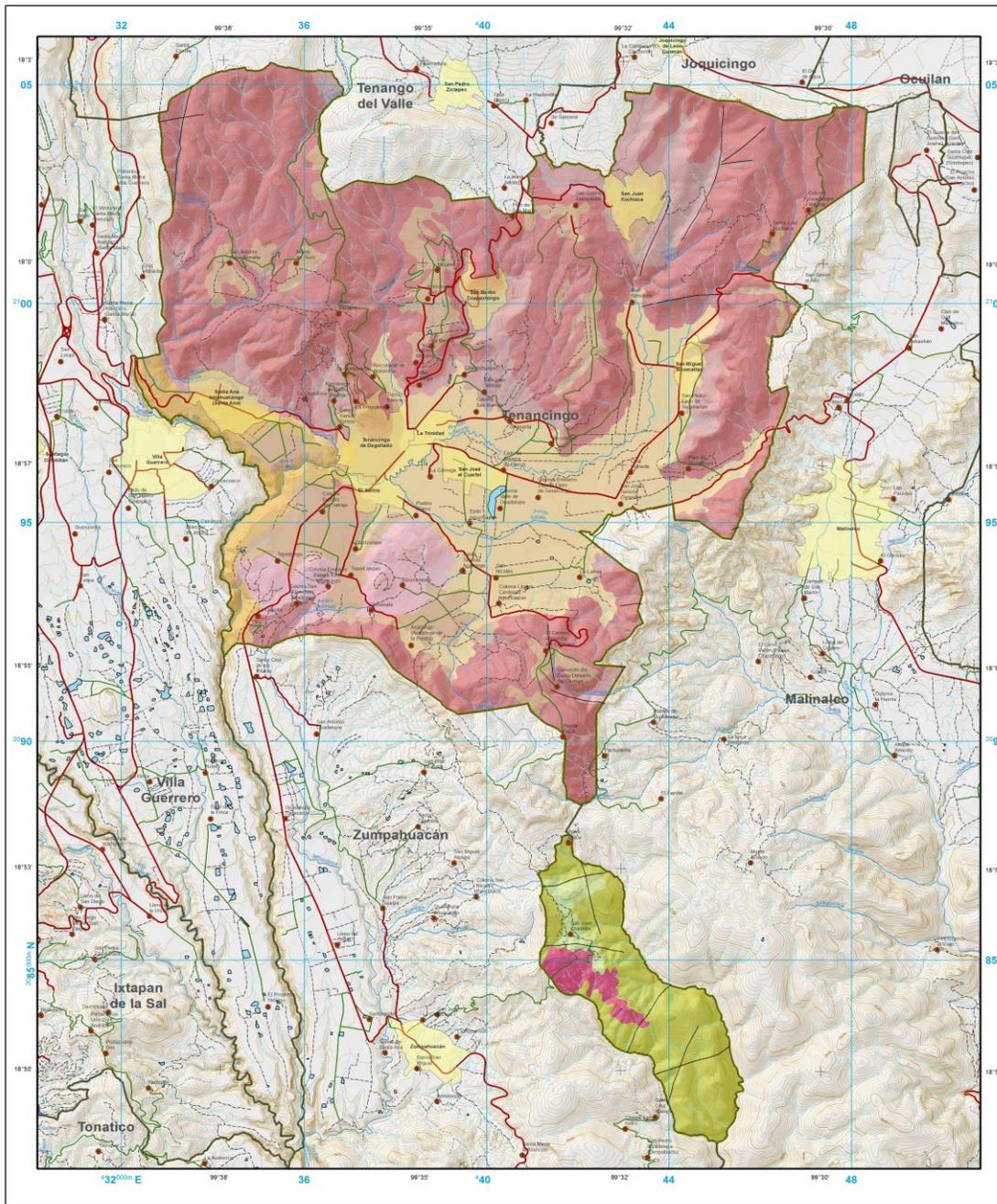


Figura 5. Mapa de geología.

Respecto a los suelos, el residual (11.41%) figura en el norte, noroeste y hacia el sur. Este suelo comprende la mayor parte de la cabecera municipal, Tenancingo de Degollado. El aluvial (17%) está esencialmente en la zona centro y noreste, donde también existe una gran concentración de asentamientos humanos.

Por último, hay un total de 19 fracturas dentro del territorio, de las cuales 7 están en el norte, 11 se sitúan en el sur y la restante en el oeste. También existe una falla normal en el sur.

2.1.3 Relieve

El municipio de Tenancingo está asentado en un área de convergencia de dos provincias fisiográficas, la parte norte se halla sobre el *Eje Neovolcánico Transversal* (84.58%) y la parte sur sobre la *Sierra Madre del Sur* (15.42%); a su vez está dentro de las subprovincias Lagos y Volcanes de Anáhuac y Sierras y Valles Guerrerenses respectivamente (INEGI, 2010a).

El sistema de topoformas está integrado de la siguiente manera: lomerío (64%), sierra (34.20%), llanura (1.54%) y valle (0.26%). El lomerío se distribuye sobre todo en la parte central del territorio y en sus zonas de menor pendiente se concentran algunas de las localidades de mayor población, tales como la cabecera municipal, Tenancingo de Degollado (INEGI, 2010a).

La sierra tiene presencia tanto en el norte, en donde está la localidad urbana llamada San Juan Xochiaca, como en el sur. En este caso, como elevaciones principales se encuentra La Víbora en el noreste, con una altura aproximada de 2300 metros y Peña Colorada en el noroeste, elevación cercana a los 2400 metros en cuya cima se establece la localidad rural Agua Bendita (INEGI, 2010; SEMARNAT, s/f).

Con dirección sur, destacan además las montañas La Cantera y La Malinche, las cuales forman parte del macizo montañoso llamado Nixcongo con una altura que también llega a los 2400 metros y sobre el cual se asienta la localidad rural El Carmen o Desierto del Carmen (INEGI, 2010; SEMARNAT, s/f).

En lo referente a las topoformas de menor proporción, la llanura y el valle, la primera se localiza en una zona del noreste municipal dominada por vegetación forestal, condición que comparte con el segundo, que solo comprende una pequeña porción en el este.

2.1.4 Edafología

Las unidades de suelo de mayor presencia en Tenancingo son: andosol húmico (54.47%), cambisol crómico (14.74%), feozem lúvico (9.07%), leptsol (7.67%) y vertisol pélico (6.52%); en una cantidad menor se encuentran unidades como luvisol vértico (4.89%), litosol (2.56%) y Acrisol húmico (0.08%), (ver Figura 6).

El andosol, que está asociado con andosol mólico y cambisol crómico, comprende poco más de la mitad de la superficie municipal, domina principalmente en el norte, aunque también existe una importante porción de éste en el sur. A su vez, el cambisol, principalmente asociado a acrisol ortico y andosol húmico, predomina en el norte.

El feozem, que se asocia a feozem háplico, andosol húmico y andosol mólico, se localiza en el centro y sur, donde existe una importante concentración de asentamientos humanos. El Leptosol, suelo somero asociado a litosol y a andosol húmico, se restringe a la Isla Municipal San José Chalmita, a la cual domina en su totalidad.

El caso del vertisol pélico, conocido por ser muy arcilloso se asocia a feozem háplico, andosol húmico y andosol mólico, es similar al del Feozem, pues también se halla en el centro y sur, pero en menor proporción. La presencia de asentamientos humanos es igualmente notoria.

En cuanto a las unidades de menor abundancia, el luvisol vértico asociado a luvisol crómico y cambisol crómico, figura en el sur, este y oeste; en tanto que el litosol, con asociación al andosol húmico, lo hace en el sur y oeste. Por último, el acrisol húmico está asociado a acrisol ortico y se limita al sur. Cabe agregar que todas las

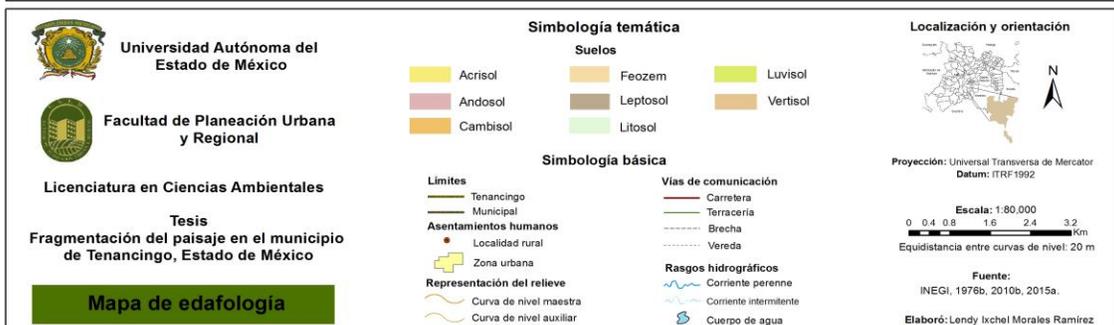
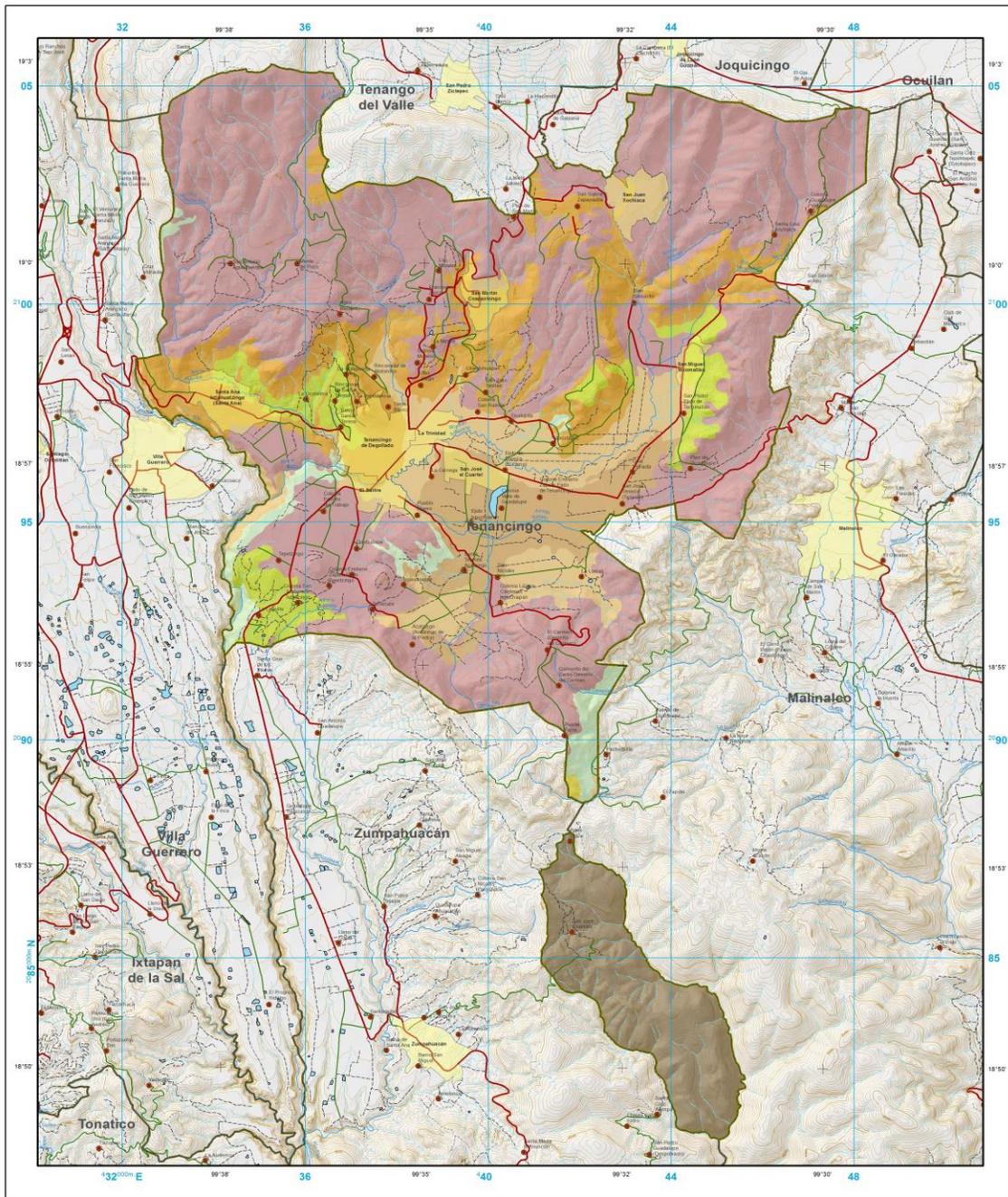


Figura 6. Mapa de edafología.

unidades de suelo mencionadas tienen como característica en común la clase textural media.

2.1.5 Clima

En el territorio municipal existen 4 tipos de clima que pertenecen a los grupos A y C (ver Figura 7). Como parte del primero de éstos, se encuentran el clima cálido (0.05%), el semicálido del grupo A (3.45%) y el semicálido del grupo C (12.63%); mientras que dentro del segundo se halla el clima templado (83.88%).

El clima cálido es el de menor presencia, pues únicamente abarca una pequeña parte del extremo sur de San José Chalmita. Es subhúmedo (humedad moderada) y presenta una temperatura media anual mayor a los 22 ° C.

Por otro lado, el semicálido del grupo A se concentra en el este del municipio. Es subhúmedo (humedad moderada), con una temperatura media anual que varía entre los 18 y 22 ° C. En cuanto al clima semicálido del grupo B, éste se distribuye en el oeste y en aproximadamente el 80% de San José Chalmita. Es subhúmedo y la temperatura media anual es mayor a 18 ° C.

El cuarto clima, el templado, comprende la mayor parte de Tenancingo y como en los casos anteriores también se caracteriza por ser subhúmedo, pero tiene una temperatura media anual entre los 12 ° y 18 ° C.

En todos los casos el régimen de lluvia es de verano y la temperatura más elevada se registra antes del solsticio de la misma estación. Como información complementaria, y a excepción del clima templado que es isotermal, los climas mencionados tienen poca oscilación térmica.

Finalmente, tomando en cuenta las isoyetas anuales de Tenancingo, el promedio de precipitación va de 1,000 a 1,500 mm; después del periodo de lluvias de convección en verano y parte del otoño, el periodo de tiempo es seco con una precipitación de aproximadamente 1,199.3 mm (Serrano Pérez, 2010).

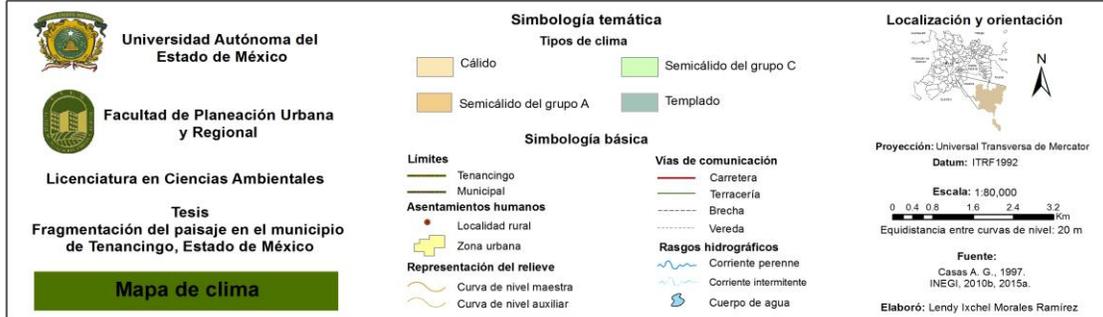
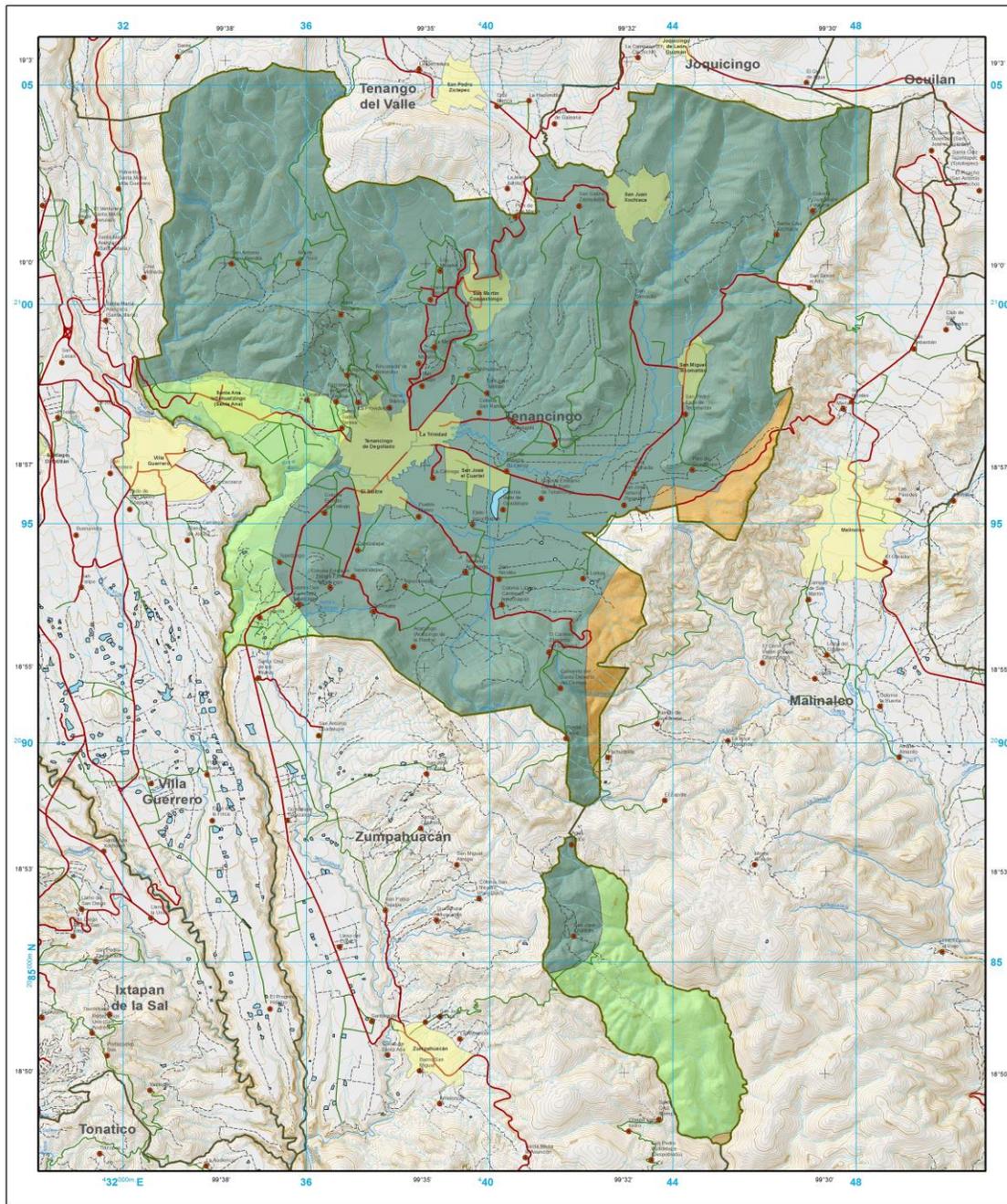


Figura 7. Mapa de clima.

2.1.6 Hidrología

El municipio de Tenancingo se encuentra dentro la Región Hidrológica N° 18 Balsas, y pertenece a la cuenca Río Grande de Amacuzac. A su vez, un 89.30% de su territorio forma parte la subcuenca Río Alto Amacuzac y un 10.70%, mayormente el sur, corresponde a la subcuenca Río Coatlán (INEGI, 2010).

Tenancingo tiene las siguientes corrientes de agua perennes: Puenteillas, La Fábrica, Atotonilco, Arroyo Grande, Tecomatlán, San Simonito, Tenancingo, El Salto, Texcalienco, Las Canoas y Arroyo Salado. Cuenta, además, con 16 arroyos y 9 cuerpos de agua, de éstos últimos 3 son perennes y 6 son intermitentes (ver Figura 8).

El municipio se encuentra asentado sobre el acuífero llamado, homónimamente, Tenancingo, con clave 1504. Geopolíticamente éste también abarca totalmente los municipios Almoloya de Alquisiras, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Joquicingo, Malinalco, Ocuilan, Tenancingo, Tenango del Valle, Texcaltitlán, Tonatico, Villa Guerrero y Zumpahuacan; y parcialmente los municipios Sultepec, Temascaltepec, Texcalyacac, Tianguistenco, Toluca, Zacualpan y Zinacantepec (ver Figura). Hasta 2015, se calcula que este acuífero cuenta con una disponibilidad de agua subterránea de 0.156988 millones de metros cúbicos anuales (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2015).

Por otro lado, en el territorio existen 33 manantiales, de los que una parte de la población se abastece, destacando las localidades rurales de Monte Pozo y Atotonilco. Asimismo, otras como Santa Ana Ixtlahuatzingo, Pueblo Nuevo, Chalchihuapan y San José el Cuartel emplean pozos locales para la obtención de agua (Plan Municipal de Desarrollo de Tenancingo 2013-2015, 2013).

También existen presas y bordos de almacenamiento de agua pluvial, ubicadas en las localidades de San José Tenería, San Nicolás, Tepetzingo, Colonia San Isidro e Ixpuchiapan (Plan Municipal de Desarrollo de Tenancingo 2013-2015, 2013).

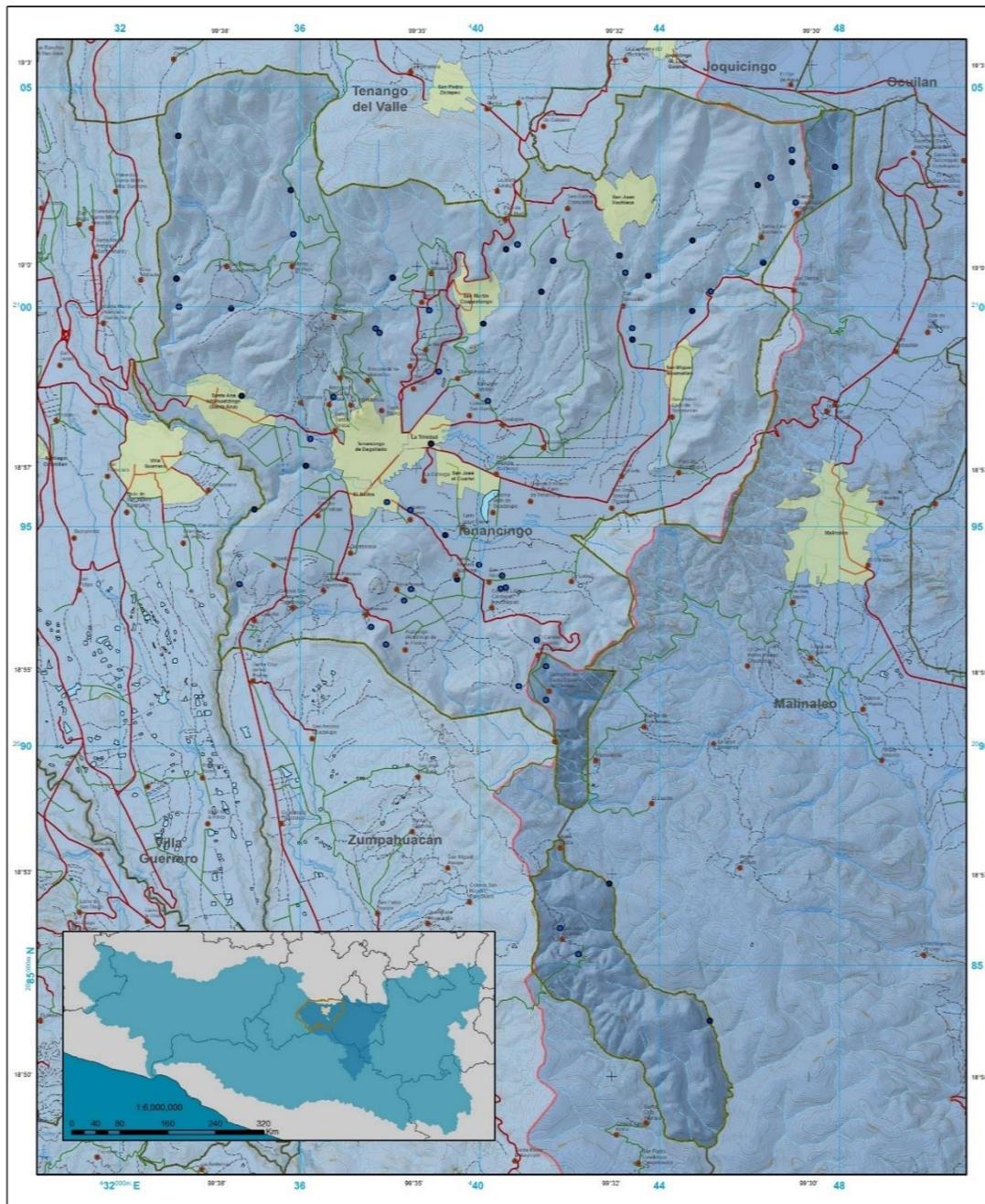


Figura 8. Mapa de hidrología.

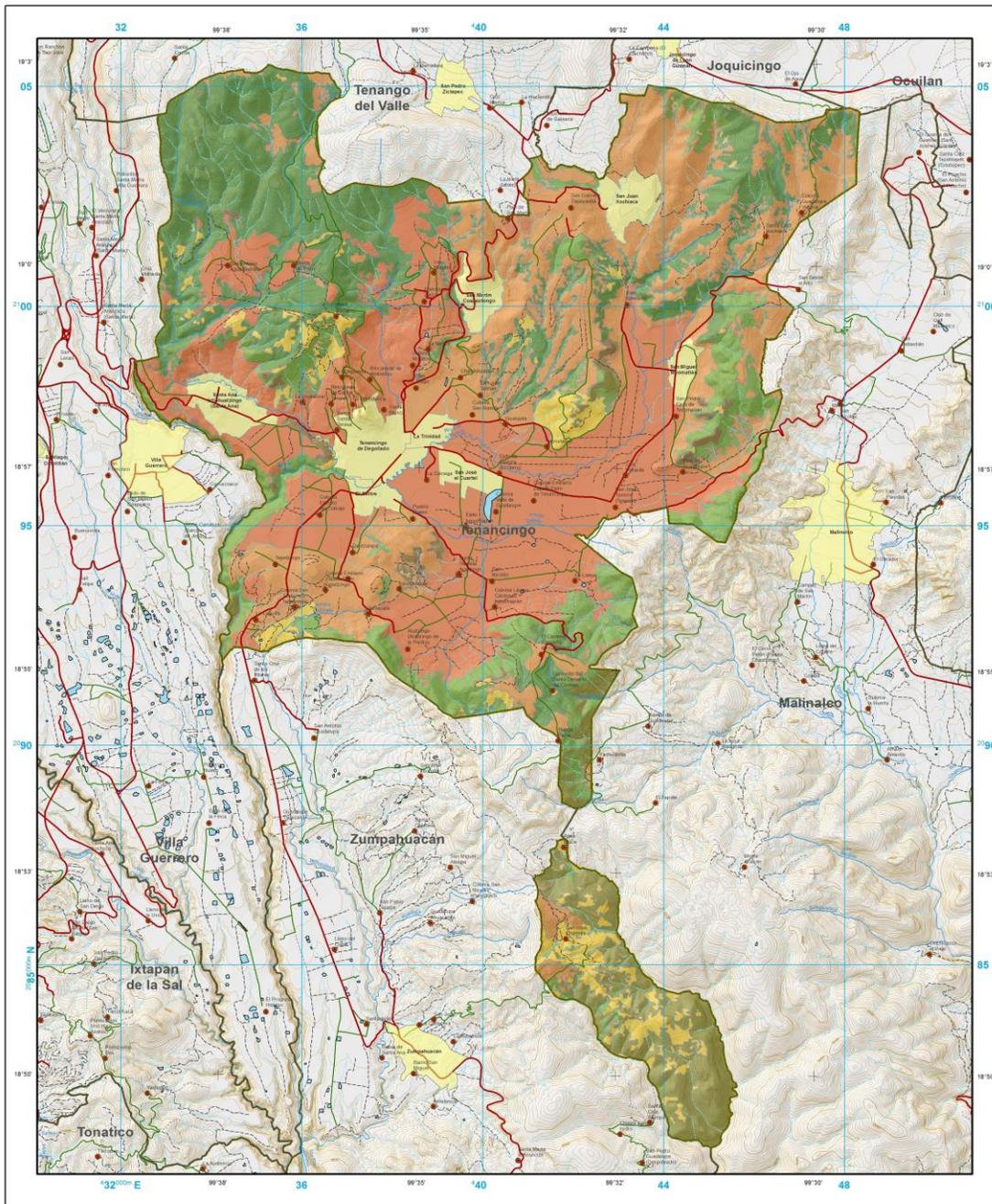
2.1.7 Uso de suelo y vegetación

El uso de suelo en el municipio tiene la siguiente distribución: un 51.95% corresponde a la agricultura (28.36% de riego y 23.59% de temporal), 5.83% a pastizal inducido y un 5.81% a zonas urbanas; mientras que un 37.11% pertenece a las coberturas naturales. Los cuerpos de agua representan el 0.10% restante (ver Figura 9).

Dentro del sector agrícola, es importante destacar a la floricultura, actividad que en el país se expandió entre 1980 y 1990, registrando un aumento en la superficie cultivada de 3,000 a 13,000 hectáreas. Actualmente, el Estado de México ocupa el primer lugar nacional en producción de flor y Tenancingo es uno de los municipios de mayor aporte. Así, la producción, principalmente a través del establecimiento de invernaderos, es permanente y programada para diversas épocas del año (Orozco Hernández, 2006; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2015).

Así, la agricultura de riego predomina en el sureste y noroeste, en el caso de la agricultura de temporal, ésta se ubica principalmente en el noreste. Las zonas urbanas sobresalen hacia el norte y centro del territorio, en tanto que el pastizal inducido lo hace en el sur.

La vegetación incluye bosque mesófilo de montaña, bosque templado, selva subhúmeda y matorral xerófilo. El bosque mesófilo de montaña presente está compuesto en su mayoría por especies de pino y encino. Dentro de los bosques templados se hallan bosques de coníferas (pino y táscate), bosques de latifoliadas (encino) y bosques mixtos (pino-encino y encino-pino). El tipo de selva localizada en el caso de estudio es selva baja caducifolia; y los tipos de matorral identificados son inerme (especies sin espinas) y subinerme (combinación de especies con espinas y sin espinas). De estas clases, la de mayor superficie es el bosque mesófilo de montaña, que comprende el 19.39% del territorio (ver Figura 10).



| | | | |
|--|---|--|--|
|  Universidad Autónoma del Estado de México  Facultad de Planeación Urbana y Regional Licenciatura en Ciencias Ambientales Tesis Fragmentación del paisaje en el municipio de Tenancingo, Estado de México Mapa de uso de suelo y vegetación | <p>Simbología temática</p> <p>Uso agrícola</p> <ul style="list-style-type: none"> Agricultura de riego Agricultura de temporal <p>Uso pecuario</p> <ul style="list-style-type: none"> Pastizal inducido | <p>Vegetación</p> <ul style="list-style-type: none"> Bosque mesófilo de montaña Bosque templado Selva baja caducifolia Matorral | <p>Localización y orientación</p>  <p style="text-align: right;">N</p> <p>Proyección: Universal Transversa de Mercator Datum: ITRF1992</p> <p>Escala: 1:80,000</p>  <p>Equidistancia entre curvas de nivel: 20 m</p> <p>Fuente: Google Earth, 2015, INEGI, 1976a, 2010b, 2015a.</p> <p>Elaboró: Lendy Ixchel Morales Ramírez</p> |
| | <p>Simbología básica</p> <p>Límites</p> <ul style="list-style-type: none"> Tenancingo Municipal <p>Asentamientos humanos</p> <ul style="list-style-type: none"> Localidad rural Localidad urbana <p>Representación del relieve</p> <ul style="list-style-type: none"> Curva de nivel maestra Curva de nivel auxiliar | <p>Vías de comunicación</p> <ul style="list-style-type: none"> Carretera Terracería Brecha Vereda <p>Rasgos hidrográficos</p> <ul style="list-style-type: none"> Corriente perenne Corriente intermitente Cuerpo de agua | |

Figura 9. Mapa de uso de suelo y vegetación.

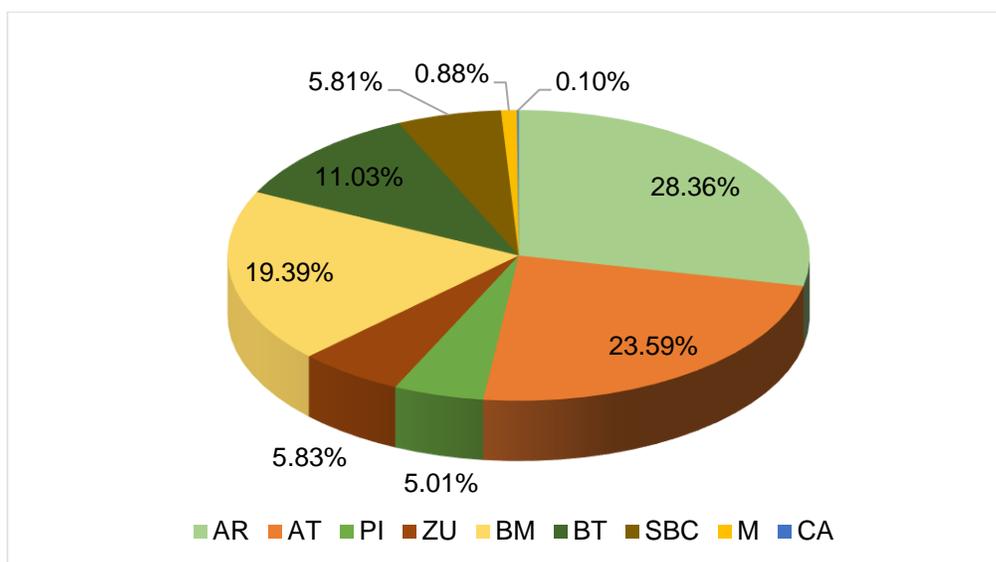


Figura 10. Superficie de cada clase de uso de suelo y vegetación en Tenancingo, 2015.
 Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana;
 BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M:
 Matorral. Elaboración propia.

El bosque mesófilo de montaña se halla sobre todo en el noreste y noroeste del municipio, mientras que el bosque templado tiene mayor cobertura en el sur y este. La selva baja caducifolia tiene una marcada presencia en la Isla Municipal San José Chalmita y hay reducidas concentraciones de matorral en el este y oeste del municipio.

Cabe señalar que, en cuanto a la tenencia de la tierra en el municipio, la propiedad comunal ocupa 37.35% de la superficie total, en tanto que la propiedad privada y ejidal abarcan 24.92% y 22.47% respectivamente (Plan Municipal de Desarrollo de Tenancingo 2013-2015, 2013).

2.1.8 Áreas Naturales Protegidas

En Tenancingo se encuentran tres Áreas Naturales Protegidas (ver Figura 11): el Parque Nacional Desierto del Carmen o Nixcongo; el Parque Estatal Ecológico, Recreativo y Turístico Hermenegildo Galeana; y el Parque Ecológico y Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahucán.

El Parque Nacional Desierto del Carmen o de Nixcongo fue decretado el 10 octubre de 1942. Ubicado hacia el sur del municipio, tiene una superficie de 529 hectáreas, dentro de la que se encuentra el Convento del Santo Desierto del Carmen. Para su establecimiento se consideró, además del valor histórico del convento, la gran variedad y belleza de los escenarios que su ubicación ofrece, como las vistas a los valles de Tenancingo y Malinalco, y su consecuente potencial como atracción turística (Decreto del Parque Nacional Desierto del Carmen o de Nixcongo,1942).

El Parque Estatal Ecológico, Recreativo y Turístico Hermenegildo Galeana, tiene como fecha de decreto el 3 abril de 1980. Localizado en el norte de Tenancingo y con una superficie de 367 hectáreas, su creación tuvo como justificación la posibilidad de forestar y reforestar la zona, lo que contribuiría, entre otros, a la absorción de agua y al control de la erosión del suelo. Asimismo, se ideó para el esparcimiento físico y mental de sus habitantes y visitantes (Decreto del Parque Estatal Ecológico, Recreativo y Turístico Hermenegildo Galeana, 1980).

El Parque Ecológico y Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán (PERTMZ), decretado el 18 julio de 1981, cuenta una superficie de 25, 966 hectáreas, cifra que no incluye las 367 correspondientes al parque Hermenegildo Galeana, el cual, aunque está dentro de su territorio, se estipula que no pertenece a él (14, 661 ha de Tenancingo). Así, se concibió para conservar la riqueza natural de la zona montañosa de los municipios que le dan nombre, así como para el desarrollo de programas silvícolas, aprovechamiento forestal y de infraestructura turística que reportaran beneficios económicos y de recreo; esto restringiendo asentamientos humanos que supongan una traba a su funcionamiento (Decreto del Parque Ecológico y Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán,1981).

Los parques Desierto del Carmen y Hermenegildo Galeana son administrados por la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF), en tanto que en el parque Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán la administración tiene el estatus de “sin operar” (SEANPEM, s/f). A pesar del año de su creación, ninguna de estas áreas cuenta con programa de manejo.

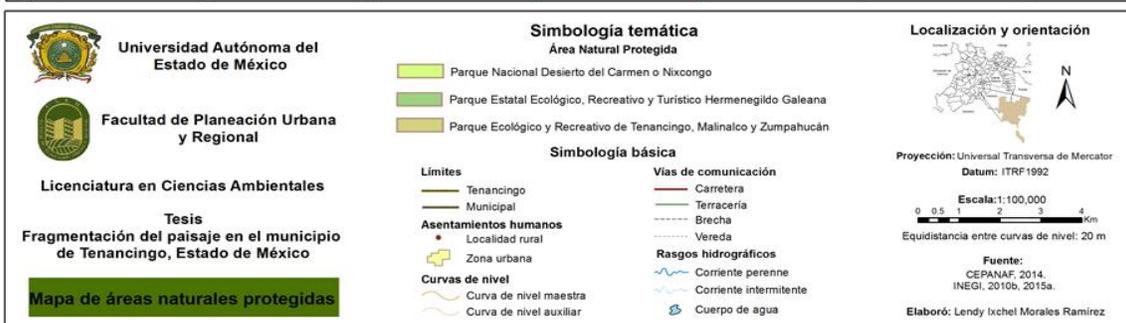
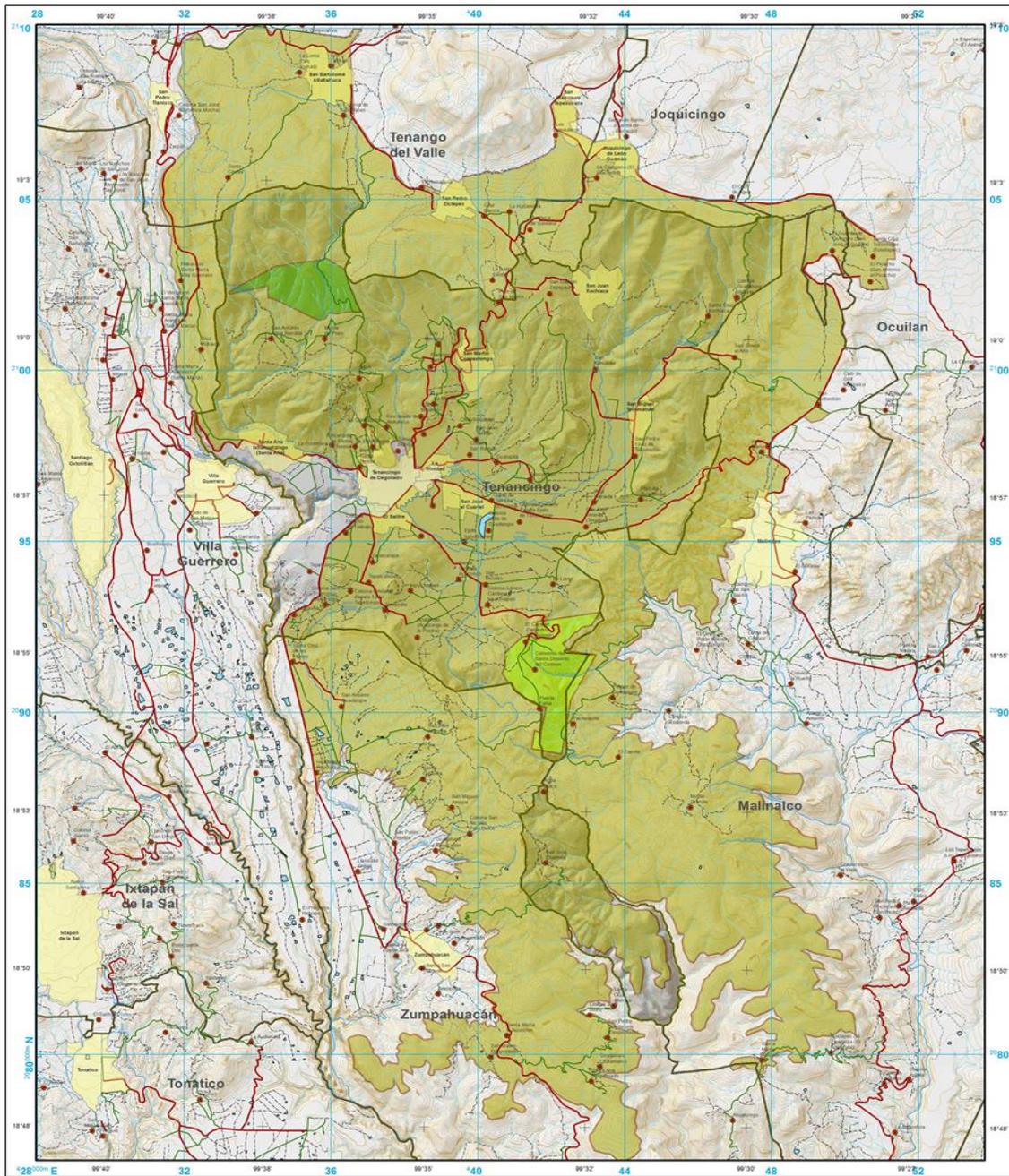


Figura 11. Mapa de áreas naturales protegidas.

2.2 Características sociodemográficas

2.2.1 Población

Tenancingo está integrado por 61 localidades, 53 rurales y 8 urbanas (ver Tabla 5), éstas últimas son: Tenancingo de Degollado (cabecera municipal), El Salitre, San Martín Coapaxtongo, Santa Ana Ixtlahuatzingo, San Miguel Tecomatlán, La Trinidad, San Juan Xochiaca y San José el Cuartel (INEGI, 2015a).

Tabla 5. Localidades de Tenancingo, 2010

| Localidad | Nombre de la localidad | Longitud | Latitud | Altitud | Población total |
|-----------|--------------------------------------|----------|---------|---------|-----------------|
| 0001 | Tenancingo de Degollado | 0993537 | 185741 | 2031 | 14, 174 |
| 0002 | Acatzingo (Acatzingo de la Piedra) | 0993519 | 185526 | 2139 | 1, 949 |
| 0003 | San Antonio Agua Bendita | 0993725 | 190006 | 2398 | 781 |
| 0004 | El Carmen (El Desierto del Carmen) | 0993324 | 185513 | 2418 | 1, 032 |
| 0005 | Cruz Vidriada | 0993225 | 185726 | 2040 | 441 |
| 0006 | Chalchihuapan | 0993429 | 185837 | 2064 | 1, 379 |
| 0007 | Colonia Guadalupe Victoria | 0993011 | 190040 | 2492 | 518 |
| 0008 | Gualupita | 0993358 | 185806 | 2039 | 274 |
| 0009 | Ixpuchiapan | 0993512 | 185558 | 2098 | 823 |
| 0010 | Ejido de Tenería (El Llano) | 0993359 | 185726 | 2028 | 881 |
| 0011 | Monte de Pozo | 0993636 | 190006 | 2403 | 19 |
| 0012 | Francisco Zarco | 0993454 | 185933 | 2247 | 382 |
| 0013 | Los Morales | 0993444 | 190014 | 2277 | 307 |
| 0015 | Pueblo Nuevo | 0993503 | 185653 | 2018 | 1, 359 |
| 0016 | Quetzalapa | 0993549 | 185626 | 2061 | 1, 080 |
| 0017 | El Salitre | 0993523 | 185709 | 2017 | 4, 544 |
| 0018 | San José Chalmita | 0993251 | 185136 | 1978 | 1, 163 |
| 0019 | San José Tenería (Tenería) | 0993235 | 185701 | 2039 | 2, 402 |
| 0020 | San Juan Tetitlán | 0993412 | 185822 | 2072 | 943 |
| 0021 | San Martín Coapaxtongo | 0993412 | 185939 | 2227 | 2, 865 |
| 0022 | San Nicolás | 0993406 | 185600 | 2040 | 1, 594 |
| 0023 | San Simonito | 0993224 | 185929 | 2106 | 2, 028 |
| 0024 | Santa Ana Ixtlahuatzingo (Santa Ana) | 0993725 | 185814 | 2109 | 6, 697 |
| 0025 | Santa Cruz Xochiaca | 0993040 | 190021 | 2440 | 167 |
| 0026 | Santa Teresita Acatzingo | 0993424 | 185617 | 2035 | 462 |
| 0027 | San Miguel Tecomatlán | 0993143 | 185842 | 2083 | 3, 180 |

| Localidad | Nombre de la localidad | Longitud | Latitud | Altitud | Población total |
|---------------------------|--|----------|---------|---------|-----------------|
| 0030 | Tepalcatepec | 0993557 | 185608 | 2079 | 1, 790 |
| 0031 | Tepetzingo | 0993645 | 185617 | 2079 | 2, 503 |
| 0032 | Tepoxtepec | 0993323 | 185746 | 2044 | 1, 539 |
| 0033 | Terrenate | 0993537 | 185539 | 2120 | 527 |
| 0034 | La Trinidad | 0993451 | 185759 | 2020 | 3, 832 |
| 0035 | San Juan Xochiaca | 0993228 | 190037 | 2406 | 3, 536 |
| 0036 | San Gabriel Zepayautla | 0993307 | 190047 | 2448 | 2, 263 |
| 0037 | Rinconada de Santa Teresa | 0993604 | 185824 | 2101 | 376 |
| 0039 | Rinconada de Atotonilco | 0993541 | 185846 | 2085 | 869 |
| 0040 | La Compuerta | 0993558 | 185837 | 2192 | 605 |
| 0042 | Colonia Ejército del Trabajo | 0993619 | 185652 | 2071 | 414 |
| 0043 | Colonia Emiliano Zapata Ejido de Tenancingo | 0993332 | 185713 | 2038 | 2, 461 |
| 0044 | La Lagunilla | 0993702 | 185538 | 2011 | 680 |
| 0045 | La Loma | 0993305 | 185606 | 2060 | 129 |
| 0046 | La Mesita | 0993453 | 185858 | 2203 | 588 |
| 0047 | Plan de San Martín | 0993353 | 190035 | 2436 | 172 |
| 0051 | Tierra Blanca | 0993531 | 185820 | 2115 | 1, 240 |
| 0052 | Plan de Guadalupe | 0993140 | 185728 | 2130 | 228 |
| 0053 | San Pedro Ejido Tecomatlán | 0993150 | 185803 | 2067 | 1, 036 |
| 0055 | Colonia San Francisco Tepetzingo | 0993632 | 185549 | 2077 | 324 |
| 0057 | Colonia Emiliano Zapata | 0993605 | 185613 | 2090 | 422 |
| 0058 | Colonia Morelos | 0993508 | 185845 | 2144 | 396 |
| 0059 | Agua Bendita | 0993602 | 185922 | 2336 | 172 |
| 0060 | Colonia San Ramón | 0993420 | 185806 | 2021 | 2, 264 |
| 0061 | Agua Dulce | 0993309 | 185249 | 2134 | 43 |
| 0062 | Colonia Valle de Guadalupe | 0993402 | 185701 | 2022 | 336 |
| 0063 | Ejido Ixpuchiapan | 0993424 | 185649 | 2017 | 567 |
| 0065 | La Providencia | 0993548 | 185821 | 2265 | 98 |
| 0067 | La Ocotlera | 0993631 | 185816 | 2077 | 415 |
| 0068 | Barrio Santa Teresa | 0993609 | 185802 | 2042 | 713 |
| 0069 | Colonia Lázaro Cárdenas Ixpuchiapan | 0993402 | 185547 | 2048 | 198 |
| 0071 | La Ciénega | 0993453 | 185722 | 2020 | 2, 847 |
| 0072 | San Diego | 0993505 | 185829 | 2071 | 1, 063 |
| 0073 | San José el Cuartel | 0993438 | 185735 | 2018 | 4, 855 |
| 7301 | Niniguno [Proqufim] | 0993552 | 185701 | 2049 | 1 |
| Población total municipal | | | | | 90, 946 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, s/f.

Para el año 2010, el municipio tiene una población total de 90, 946 habitantes, de los cuales 44, 239 son hombres y 46, 707 son mujeres. De esta forma, la densidad de población es de 562 hab/km² y la relación hombres-mujeres de 94.72, es decir, había 95 hombres por cada 100 mujeres.

Por otra parte, el 52% de la población total es rural, mientras que el 48% es urbana. Las localidades con mayor concentración de habitantes es Tenancingo de Degollado con 16%, seguida por Santa Ana Ixtlahuatzingo con 7% y San José el Cuartel con 5%.

La población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena suma 232 habitantes, 128 hombres y 104 mujeres. Entre los principales dialectos se encuentra el Cakchiquel, Chatino, Huasteco, Huichol, Lenguas Mixtecas, Zapotecs, Maya, Mazahua, Mazateco, Náhuatl, Otomí, Quiché y Totonaca (INEGI, 2010a).

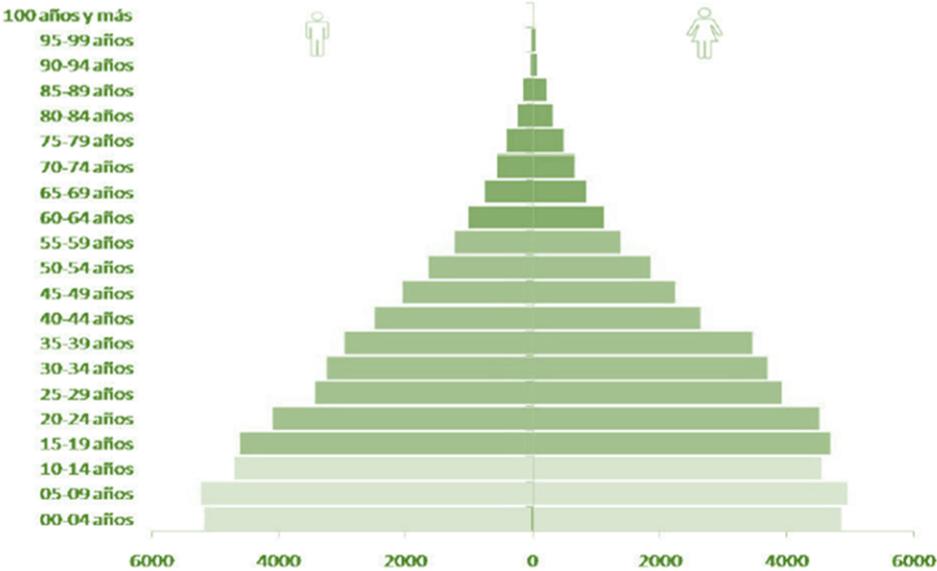


Figura 12. Pirámide poblacional por edad y sexo de Tenancingo, 2010.
 Nota: Tomado del Plan Municipal de Desarrollo de Tenancingo 2013-2015, 2013.

En cuanto a la estructura de la población por edad, y considerando 3 grandes grupos, se tienen los siguientes datos: de los 0 a 14 años hay 29, 458 habitantes; de los 15 a 59 años se encuentran 54, 136; y de 60 años y más existen 6, 949. La edad de 403 personas no está especificada. Así, el grupo de 15 a 59 años es el de

mayor porcentaje en Tenancingo (59.53%). Sin embargo, por grupos quinquenales de edad, el más grande es el de 5 a 9 años, con un total de 10, 178 habitantes (INEGI, s/f).

La pirámide poblacional del municipio es de tipo progresiva, pues tiene una base ancha que tiende a hacerse angosta con el incremento de los años. La edad mediana es de 23, la cual se sitúa por debajo de la estatal que es de 26. Tratándose entonces de una estructura poblacional joven (ver Figura 12).

2.2.2 Crecimiento poblacional

La población de Tenancingo se incrementó poco más de 4 veces durante el periodo de 1950 a 2010, al pasar de 20 mil 261 habitantes a 90 mil 946, con un incremento absoluto de 70 mil 685 personas (ver Figura 13).

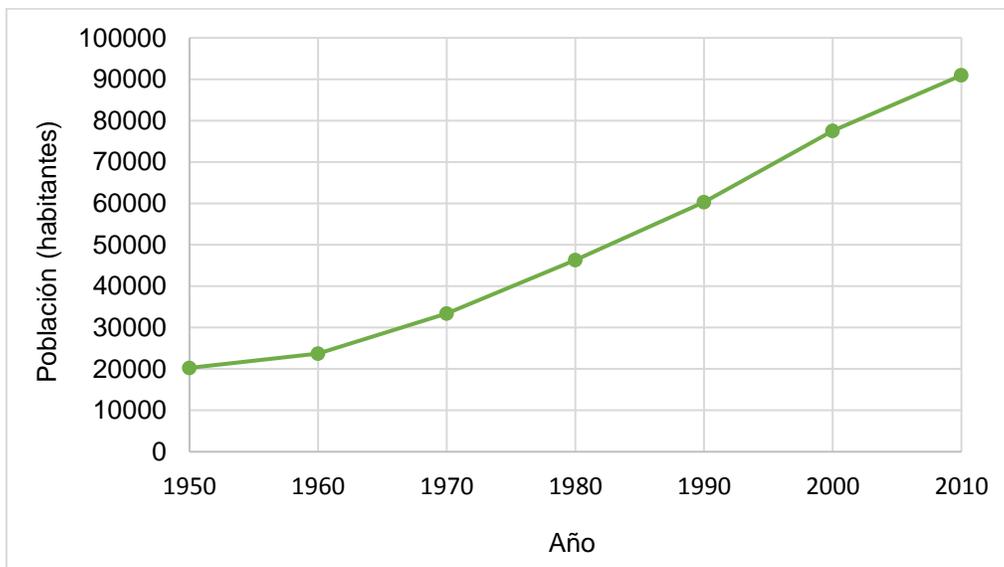


Figura 13. Crecimiento de la población de Tenancingo, 1950 – 2010.

Nota: Elaboración propia con base en INEGI, s/f.

Para 1960 el número de habitantes era de 23 mil 731, registrando una tasa de crecimiento de 1.6% respecto a 1950. Posteriormente, entre 1960 y 1970 la población pasó a ser de 33 mil 371, con una tasa considerablemente más elevada que la anterior, pues fue de 3.5%.

Durante el lapso de 1970 a 1980, el conteo de habitantes fue de 46 mil 331, así la tasa de crecimiento fue de 3.3%. De 1980 a 1990 se ascendió 60 mil 300 personas, con una tasa de 2.7% Entre 1990 y 2000, se llegó a los 77 mil 531 habitantes, lo que indica una tasa de 2.6%.

Finalmente, para el periodo de 2000 a 2010, la población alcanzó a cifra de 90 mil 946, reflejando una tasa de 1.6%. La Encuesta Intercensal 2015 del INEGI (s/f), estima que el número de habitantes en el municipio hasta ese año es de 97 mil 891.

2.2.3 Viviendas

El total de viviendas particulares habitadas hasta 2010 es de 20, 588, con un promedio de ocupantes de 4.5. Las viviendas con piso de materiales como cemento, madera o mosaico son 18, 745 y las que tienen piso de tierra 1, 778; no se especifica el material de 65 viviendas. En cuanto a la disponibilidad de servicios públicos, se presenta la Tabla 6.

Tabla 6. Servicios públicos de las viviendas en Tenancingo, 2010

| Servicio | Viviendas que disponen | Viviendas que no disponen | No especificado |
|---------------|------------------------|---------------------------|-----------------|
| Luz eléctrica | 20, 281 | 254 | 53 |
| Agua entubada | 17, 742 | 2, 777 | 69 |
| Drenaje | 18, 647 | 1, 822 | 119 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, s/f.

Según los datos anteriores, el servicio público del que un mayor número de viviendas no dispone es el agua entubada.

2.2.4 Educación

Respecto a las características educativas del municipio, en 2010 la población de 15 años y más analfabeta es de 4, 490 habitantes y el promedio de escolaridad de 8.07 años (INEGI, s/f). En Tenancingo existen 207 centros educativos, que van desde la modalidad preescolar hasta superior, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Infraestructura educativa en Tenancingo, 2012

| Tipología | Número de planteles |
|----------------|---------------------|
| Preescolar | 67 |
| Primaria | 62 |
| Preparatoria | 33 |
| Media superior | 14 |
| Superior | 4 |
| Otros | 27 |
| Total | 207 |

Fuente: Elaboración propia con base en Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral [IGCEM], 2012.

La modalidad con mayor número de planteles es el preescolar, con 67, le sigue la primaria con 62 y la preparatoria con 33; mientras que el nivel superior es el que cuenta con el menor número de éstos.

2.3 Características económicas

Para el año 2010, la Población Económicamente Activa (PEA) es de 34, 027 habitantes, y de éstos 32, 802 corresponden a la Población Ocupada (ver Tabla 8).

Tabla 8. Indicadores económicos de Tenancingo, 2010

| Indicador | Población total | Población masculina | Población femenina |
|------------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| Población Económicamente Activa | 34, 027 | 23, 596 | 10, 431 |
| Población No Económicamente Activa | 31, 777 | 7, 526 | 24, 251 |
| Población Ocupada | 32, 802 | 22, 565 | 10, 237 |
| Población Desocupada | 1, 225 | 1, 031 | 194 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, s/f.

Del total de la Población Ocupada, 9, 440 habitantes laboran dentro del sector primario, 5, 811 en el sector secundario y 17, 477 son parte del sector terciario. No se especifica a qué sector económico pertenecen las 104 personas (ver Figura 14).

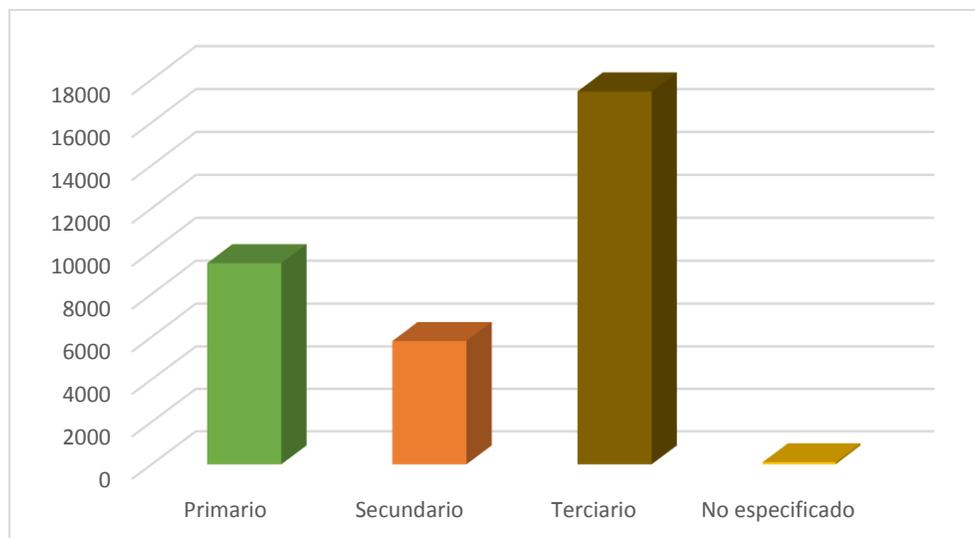


Figura 14. Distribución de la población ocupada, en Tenancingo, 2012.
 Nota: Elaboración propia con base en IGCEM, 2012.

2.3.1 Sector primario

Los principales cultivos en el año 2011 fueron: alfalfa verde, avena forrajera, frijol, maíz grano, pastos (maíz forrajero), tomate rojo y tomate verde. La mayor producción anual obtenida correspondió a la avena forrajera, con 5,370 toneladas (ver Tabla 9).

En este sector, es también muy importante la floricultura, actividad a la que se ha destinado una considerable parte de la superficie agrícola municipal. En el Estado de México existen más de 100 variedades de flores que se ofrecen al consumidor, cultivándose alrededor del 36% de la superficie de especies ornamentales del país con aproximadamente 7,000 hectáreas, entre las cuales los cultivos de crisantemo, gladiola, clavel y rosa son mayoría. Esto lo convierte en el principal productor nacional de flor (SAGARPA, 2015).

Derivado de esta actividad, se estima que se generan más de 70 mil empleos directos (y otros tantos indirectos), sobre todo en la región sur de la entidad, destacando los municipios de Villa Guerrero, Zumpahuacán, Coatepec Harinas y Tenancingo, los cuales integran el corredor florícola estatal; asimismo, reporta más

de 4, 500 millones de pesos anualmente y exporta cerca de 30 millones de dólares (SAGARPA, 2013).

Tabla 9. Principales cultivos y producción anual obtenida en Tenancingo, 2011

| Principales cultivos | Producción anual obtenida (ton) |
|----------------------|---------------------------------|
| Alfalfa verde | 20 |
| Avena forrajera | 5, 370 |
| Frijol | 119 |
| Maíz grano | 4, 503 |
| Pastos | 1, 050 |
| Tomate rojo | 12 |
| Tomate verde | 150 |

Fuente: INEGI, 2013.

San Miguel Tecamatlán y Santa Ana Ixtlahuatzingo son las dos localidades especialmente enfocadas al cultivo de flores y plantas en Tenancingo, del que sobresalen las gladiolas y los rosales.

Tabla 10. Volumen de producción de la ganadería en Tenancingo, 2011

| Producto | Volumen de la producción |
|---|--------------------------|
| Carne en canal de bovino (Toneladas) | 340 |
| Carne en canal de porcino (Toneladas) | 384 |
| Carne en canal de ovino (Toneladas) | 43 |
| Carne en canal de caprino (Toneladas) | 5 |
| Carne en canal de gallináceas (Toneladas) | 561 |
| Carne en canal de guajolotes (Toneladas) | 4 |
| Leche de bovino (Miles de litros) | 1, 538 |
| Huevo para plato (Toneladas) | 255 |
| Miel (Toneladas) | 49 |
| Cera en greña (Toneladas) | 1 |

Fuente: INEGI, 2013.

En cuanto a la actividad ganadera, en el 2011, destaca la producción de carne en canal de gallináceas, porcino y bovino, así como la leche de bovino y el huevo para plato (ver Tabla 10).

2.3.2 Sector secundario

Para el sector secundario, existen 500 industrias manufactureras en el municipio, entre las que sobresalen las dedicadas a la panificación tradicional; la elaboración de tortillas de maíz; confección, bordado y deshilado de productos textiles; fabricación de productos de madera para la construcción; fabricación de productos de herrería; y fabricación de muebles (ver Tabla 11).

Tabla 11. Principales actividades de las industrias en Tenancingo, 2015

| Clave de la actividad | Actividad | Unidades económicas |
|-----------------------|---|---------------------|
| 311812 | Panificación tradicional | 192 |
| 311830 | Elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal | 74 |
| 314991 | Confección, bordado y deshilado de productos textiles | 18 |
| 321910 | Fabricación de productos de madera para la construcción | 18 |
| 332320 | Fabricación de productos de herrería | 43 |
| 337120 | Fabricación de muebles | 50 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2015b.

Cabe mencionar que, de las 192 unidades de la panificación tradicional, 138 se encuentran en la localidad de San Miguel Tecamatlán. También es destacable que, de las 18 unidades de confección, bordado y deshilado de productos textiles, 12 elaboran rebozo, el cual es un artículo muy representativo de Tenancingo.

2.3.3 Sector terciario

Respecto al sector terciario, y el de mayor importancia en el municipio, hay 120 establecimientos para el comercio al por mayor y 1, 862 para el comercio al por menor. Dentro del primer tipo de comercio, existe un dominio de los establecimientos con venta de fertilizantes, plaguicidas y semillas; medicamentos veterinarios y alimentos para animales; y cemento, tabique y grava (ver Tabla 12).

Tabla 12. Principales actividades del comercio al por mayor en Tenancingo, 2015

| Clave de la actividad | Actividad | Unidades económicas |
|-----------------------|--|---------------------|
| 434111 | Comercio al por mayor de fertilizantes, plaguicidas y semillas para la siembra | 27 |
| 434112 | Comercio al por mayor de medicamentos veterinarios y alimentos para animales | 14 |
| 434211 | Comercio al por mayor de cemento, tabique y grava | 19 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2015b.

Referente al comercio al por menor, hay una gran presencia de abarrotes, además de tiendas de ropa y de plantas naturales (ver Tabla 13).

Tabla 13. Principales actividades del comercio al por menor en Tenancingo, 2015

| Clave de la actividad | Actividad | Unidades económicas |
|-----------------------|--|---------------------|
| 461110 | Comercio al por menor en abarrotes, ultramarinos y misceláneas | 455 |
| 463211 | Comercio al por menor de ropa | 159 |
| 436612 | Comercio al por menor de plantas y flores naturales | 133 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2015b.

La mayor parte de las unidades económicas que ofrecen plantas y flores naturales se ubican en el popular Mercado de la Flor Xochiquetzal, en Tenancingo de Degollado, al que asisten frecuentemente no sólo vendedores y compradores locales, sino también de otros municipios y estados. En este sentido, se estima que la comercialización de productos ornamentales del Estado de México, en el mercado nacional se realiza el 55% en la Central de Abasto, el 20% en el mencionado mercado de flores de Tenancingo, un 10% en el mercado de Jamaica del D.F. y el 15% de manera directa (SAGARPA, 2015).

Finalmente, en lo concerniente a los servicios, los más numerosos son aquellos que proporcionan alojamiento temporal y preparación de alimentos y bebidas; los no

relacionados con actividades gubernamentales; así como los de salud y asistencia social (ver Tabla 14).

Tabla 14. *Servicios en Tenancingo, 2015*

| Actividad | Unidades económicas |
|--|---------------------|
| Transportes, correos y almacenamiento | 14 |
| Información en medios masivos | 10 |
| Servicios financieros y de seguros | 39 |
| Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes e intangibles | 50 |
| Servicios profesionales, científicos y técnicos | 78 |
| Corporativos | 0 |
| Servicios de apoyo a los negocios y de manejo de desechos y servicios de remediación | 77 |
| Servicios educativos | 78 |
| Servicios de salud y de asistencia social | 166 |
| Servicios de esparcimiento, culturales y deportivos, y otros servicios recreativos | 65 |
| Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas | 499 |
| Otros servicios excepto actividades gubernamentales | 474 |
| Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales | 73 |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2015b.

2.4 Marginación

Para el cálculo de la marginación de los municipios de las distintas entidades del país para el año 2010, el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2012), empleó 8 indicadores socioeconómicos, relacionados a educación, vivienda, población total e ingresos.

Así, de acuerdo con el mencionado organismo, en el 2010 el municipio de Tenancingo presentaba un grado de marginación medio, con un índice de -0.69539, ocupando con ello el puesto 51 a nivel estatal y 1, 790 a nivel nacional (ver Tabla 15).

Tabla 15. Índice y grado de marginación de Tenancingo, 2010

| Municipio | Índice de marginación | Grado de marginación | Índice de marginación (0 a 100) | Lugar a nivel estatal | Lugar a nivel nacional |
|------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Tenancingo | -0.69539 | Medio | 19.815 | 51 | 1,790 |

Fuente: CONAPO, 2012.

Empero, en la Figura 15 se refleja la marginación por localidad del municipio para el mismo año, desglosando así más a detalle la información anterior.

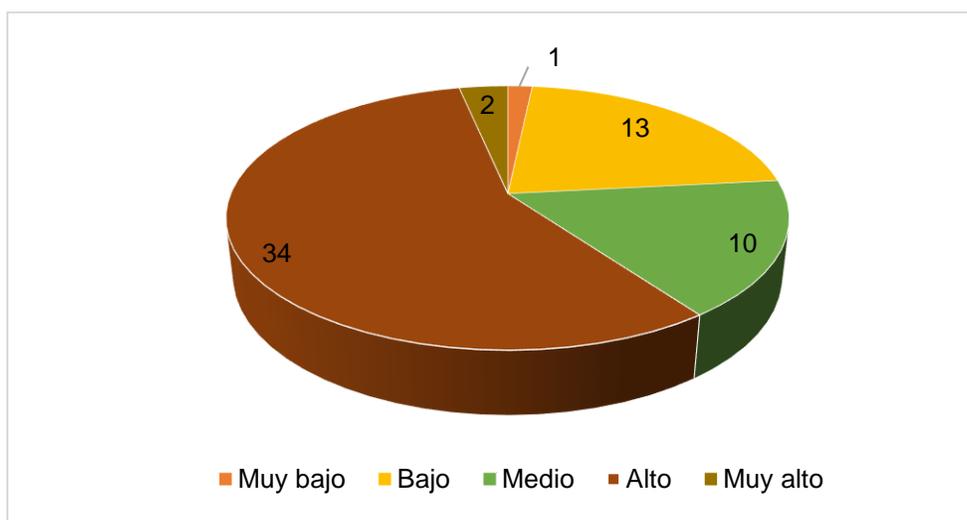


Figura 15. Número de localidades según grado de marginación en Tenancingo, 2010.

Nota: Elaboración propia con base en CONAPO, 2012.

De esta manera, en 36 localidades se reportaban los grados más elevados de marginación, la gran mayoría de éstas eran rurales, ubicadas principalmente en la periferia del municipio. Sin embargo, las localidades urbanas de San Martín Coapaxtongo, Santa Ana Ixtlahuatzingo y San Juan Xochiaca también entraban en este rango (ver Anexo 1). Las localidades con grado medio eran 10, mismas que tenían una distribución más bien dispersa; en tanto que las localidades de grado bajo y muy bajo sumaban 14, éstas últimas con una marcada presencia en la zona centro de Tenancingo (ver Figura 16).

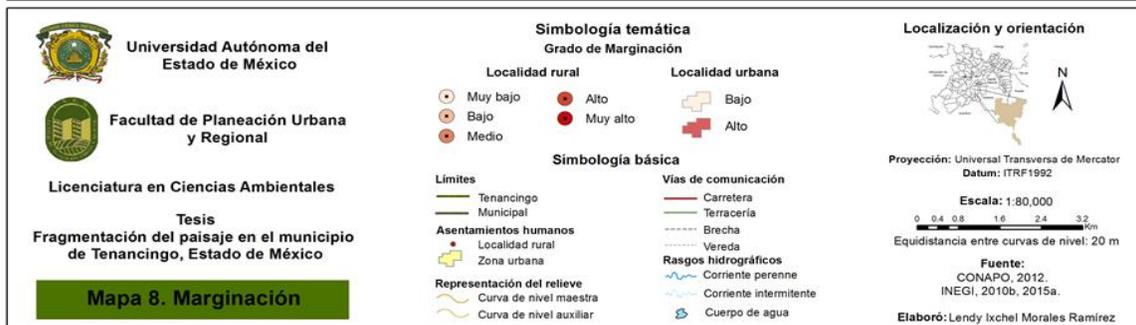
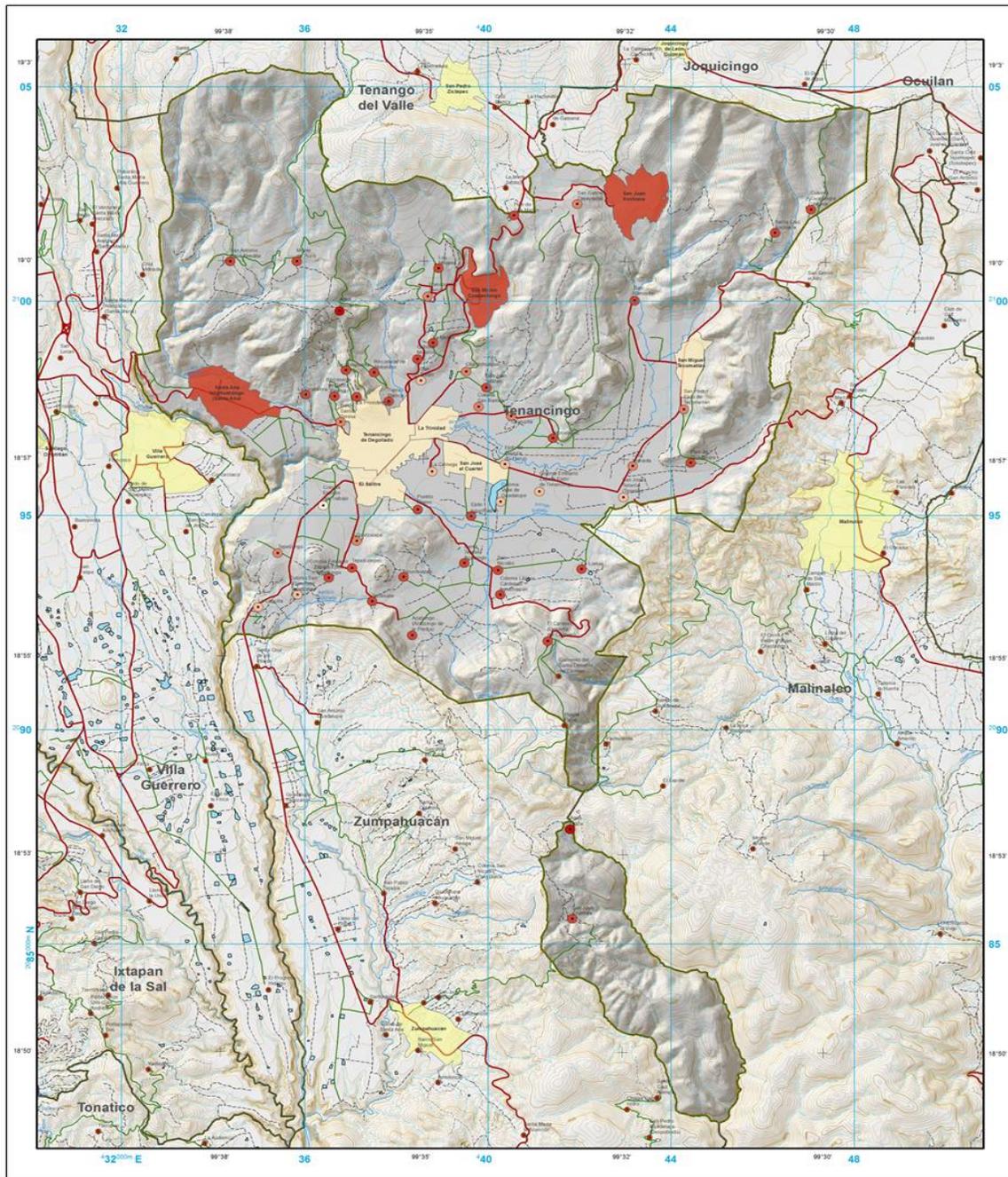


Figura 16. Mapa de marginación.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la construcción de la matriz de transición; derivado de ésta se muestra también el cálculo de tasas de cambio en vegetación y de uso de suelo. Finalmente, se exponen los valores de las medidas de fragmentación conseguidos con el uso del software Patch Analyst.

3.1 Cambio de uso de suelo y tasa de cambio

De acuerdo al análisis del cambio de uso suelo en el municipio de Tenancingo para el periodo 39 años, comprendido entre 1976 y 2015, los usos de suelo pasaron de ocupar un 57.21% del territorio a un 62.89%, mientras que la vegetación (y los cuerpos de agua) lo hicieron de un 42.79% a un 37.11% (ver Figuras 18 y 20).

Actualmente, por su extensión, el orden de las 9 coberturas de mayor a menor es la siguiente: agricultura de riego, agricultura de temporal, bosque mesófilo de montaña, bosque templado, zona urbana, selva baja caducifolia, pastizal inducido, matorral y cuerpos de agua (ver Tabla 16).

Tabla 16. *Matriz de transición de Tenancingo, 1976 – 2015.*

| | 2015 | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|----|------------|----------|
| 1976 | AR | AT | PI | ZU | BM | BT | SBC | M | CA | Total 1976 | Pérdidas |
| AR | 2564 | 0 | 0 | 345 | 32 | 0 | 0 | 11 | 0 | 2952 | 388 |
| AT | 1537 | 3296 | 0 | 500 | 167 | 125 | 33 | 0 | 0 | 5658 | 2362 |
| PI | 47 | 0 | 369 | 16 | 22 | 65 | 115 | 66 | 0 | 701 | 332 |
| ZU | 0 | 0 | 0 | 86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86 | 0 |
| BM | 250 | 294 | 117 | 7 | 2970 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3638 | 668 |
| BT | 177 | 190 | 137 | 6 | 0 | 1624 | 0 | 0 | 0 | 2133 | 509 |
| SBC | 0 | 36 | 201 | 0 | 0 | 0 | 807 | 0 | 0 | 1045 | 237 |
| M | 91 | 65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 67 | 0 | 223 | 156 |
| CA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 16 | 0 |
| Total 2015 | 4667 | 3881 | 824 | 959 | 3191 | 1814 | 956 | 144 | 16 | 16452 | |
| Ganancias | 2103 | 585 | 455 | 873 | 221 | 190 | 149 | 78 | 0 | | |

Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral; CA: Cuerpo de agua. Superficie en hectáreas. Elaboración propia con base en Pontius et al.

Para comprender como se llegó a la distribución mencionada, a continuación, se describen los resultados obtenidos con de la matriz de tabulación cruzada o de transición propuesta por Pontius, Jr., Shusas & McEachern, 2004; y enseguida, se describirán también las tasas de cambio en vegetación y uso del suelo (ver Figura 19).

Dicha matriz, indica que la agricultura de riego tuvo un total de 388 hectáreas (ha) pérdidas durante el periodo de estudio, debido principalmente a la expansión de las zonas urbanas en el municipio (88.90%). En contraste, tuvo una considerable ganancia de 2, 103 ha, que provienen sobre todo de lo que solía ser agricultura de temporal (73.10%) en el norte y sur, en la primera dirección destaca el establecimiento de invernaderos para la floricultura.

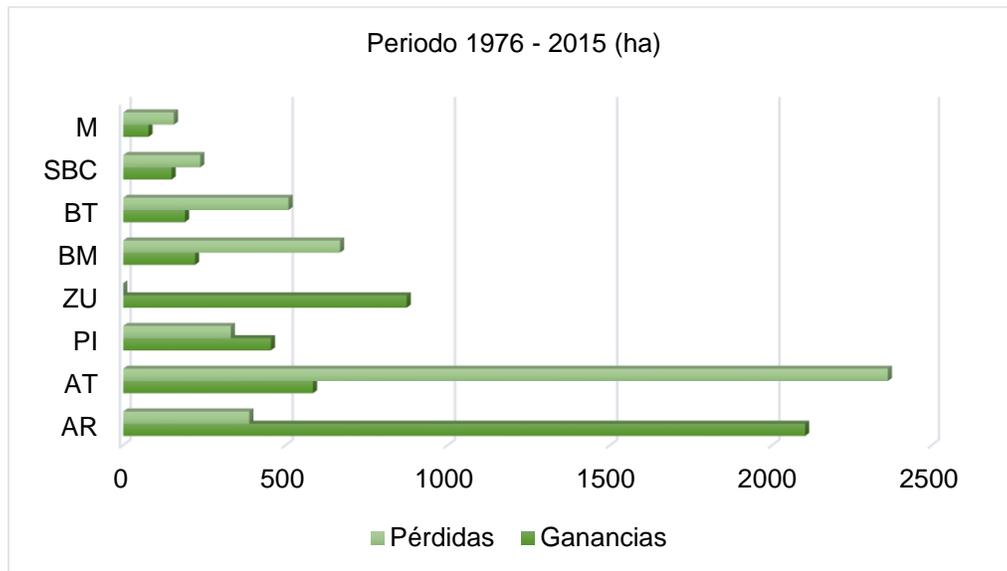
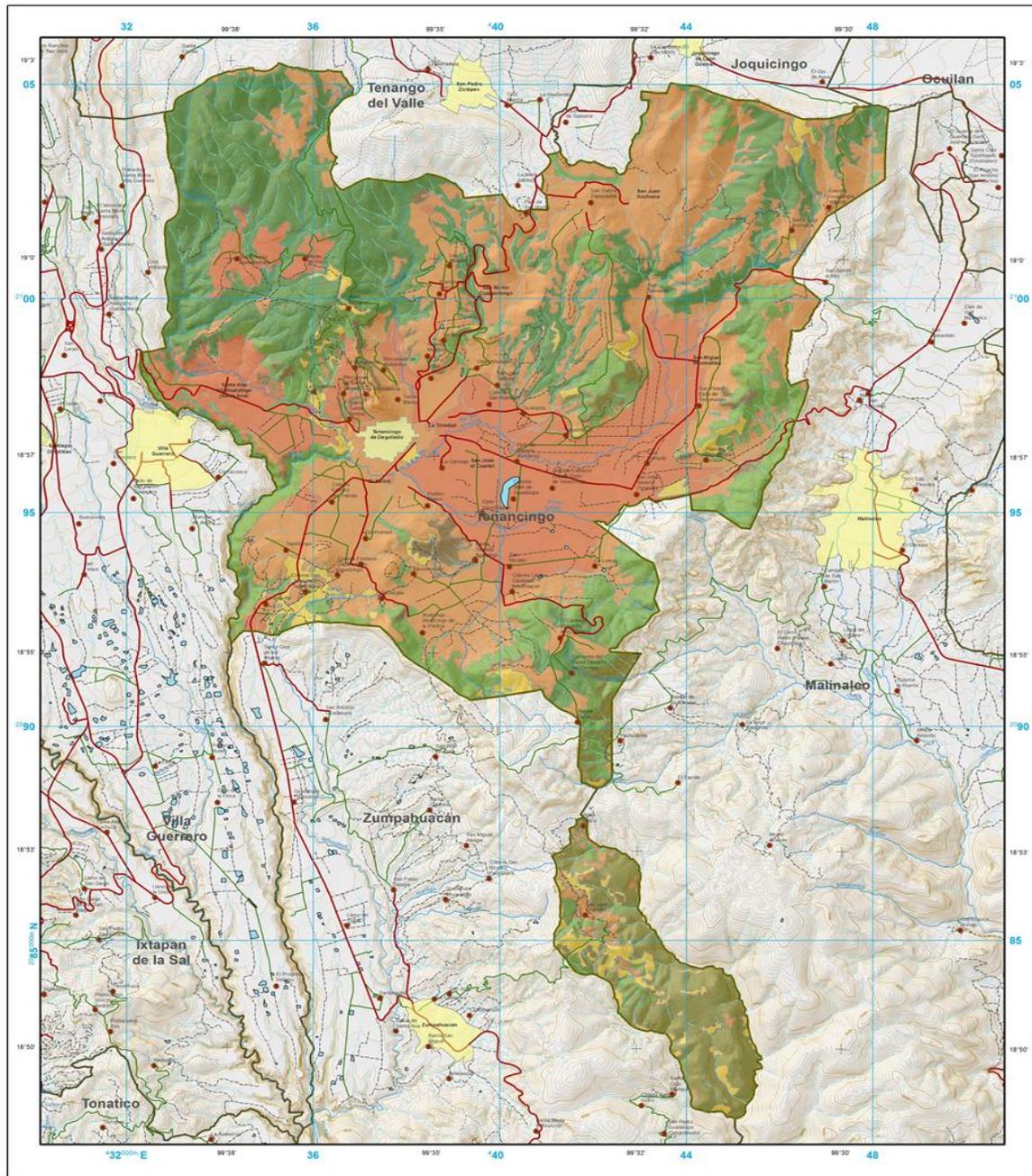


Figura 17. Pérdidas y ganancias de superficie de uso de suelo y vegetación, en Tenancingo, 1976 y 2015.

Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral. Elaboración propia.

La agricultura de riego, es el uso de suelo de mayores pérdidas, sumando 2, 362 ha, que en su mayoría fueron convertidas precisamente a agricultura de riego (65.06%) y en un porcentaje menor también a zonas urbanas (21.16%). En cuanto a sus ganancias de 585 ha, éstas vienen en primer lugar del bosque mesófilo de montaña (50.28%) y en segundo lugar del bosque templado (32.46%).



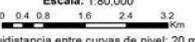
| | | | | |
|---|--|--|---|--|
|  Universidad Autónoma del Estado de México  Facultad de Planeación Urbana y Regional Licenciatura en Ciencias Ambientales Tesis Fragmentación del paisaje en el municipio de Tenancingo, Estado de México Mapa de uso de suelo y vegetación 1976 | <p>Simbología temática</p> <p>Uso agrícola</p> <ul style="list-style-type: none"> Agricultura de riego Agricultura de temporal <p>Uso pecuario</p> <ul style="list-style-type: none"> Pastizal inducido | <p>Vegetación</p> <ul style="list-style-type: none"> Bosque mesófilo de montaña Bosque templado Selva baja caducifolia Matorral | <p>Localización y orientación</p>  <p style="text-align: right;">N</p> <p>Proyección: Universal Transversa de Mercator Datum: ITRF1992</p> <p>Escala: 1:80,000</p>  <p>Equidistancia entre curvas de nivel: 20 m</p> <p>Fuente: INEGI, 1976a, 2010b, 2015a.</p> <p>Elaboró: Lendy Ixchel Morales Ramírez</p> | |
| | <p>Simbología básica</p> <p>Límites</p> <ul style="list-style-type: none"> Tenancingo Municipal <p>Asentamientos humanos</p> <ul style="list-style-type: none"> Localidad rural Localidad urbana <p>Representación del relieve</p> <ul style="list-style-type: none"> Curva de nivel maestra Curva de nivel auxiliar | | <p>Vías de comunicación</p> <ul style="list-style-type: none"> Carretera Terracería Brecha Vereda <p>Rasgos hidrográficos</p> <ul style="list-style-type: none"> Corriente perenne Corriente intermitente Cuerpo de agua | |

Figura 18. Mapa de uso de suelo y vegetación 1976.

El pastizal inducido, por otra parte, debe la cantidad de 332 ha pérdidas en gran medida a la selva baja caducifolia (34.80%), al matorral (19.99%) y al bosque templado (19.63%); pero a la vez la primera cobertura natural también lo favoreció, pues la parte más importante (44.21%) de sus ganancias netas de 455 ha procede de la misma. Estos cambios se produjeron en la Isla Municipal San José Chalmita.

En 1976 sólo había una zona urbana, de manera que este uso de suelo únicamente tuvo ganancias, mismas que ascendieron a 873 ha ocupado espacios antes pertenecientes a la agricultura de temporal (57.22%) y la agricultura de riego (39.53%).

Para los usos de suelo, la permanencia en los casos de la agricultura de riego y las zonas urbanas es alta, con 86.84% y 100% de superficie original respectivamente. En cuanto a la agricultura de temporal ésta es más bien media, con 58.25%, es decir, poco más de la mitad de la superficie inicial. El pastizal inducido resultó ser la clase de menor permanencia, con 52.68% de área conservada.

En lo que respecta a la vegetación en el periodo de 1976 a 2015, el bosque mesófilo de montaña tuvo una pérdida neta de 668 ha, con cambios dirigidos principalmente a agricultura de temporal (43.99%) y a agricultura de riego (37.43%), localizados sobre todo en el norte del municipio. Sin embargo, también se produjo una ganancia de 221 ha que proviene en gran parte de la agricultura de temporal (78.95%) que se ubicaba en el norte.

Por otro lado, las pérdidas que ascienden a 509 ha del bosque templado, al igual que el bosque mesófilo de montaña, tienen como motivos centrales la agricultura de temporal (37.26%) y la agricultura de riego (34.74%), pero en este caso ubicadas en mayor cantidad hacia el este del territorio. De la misma forma, las ganancias que suman 190 ha, se encuentran en zonas que estaban destinadas a la agricultura de temporal (65.74%).

La selva baja caducifolia, con una cifra de 237 ha de pérdidas, cambió en su mayoría a pastizal inducido (84.78%), uso de suelo muy concentrado hacia el sur de Tenancingo, en la isla municipal San José Chalmita. No obstante, fue de esta

cobertura y orientación de la que obtuvo más ganancias, puesto que de 149 ha nuevas, 115 ha (75.51%) solían estar ocupadas por el mismo. Esto coincide con lo descrito previamente sobre el pastizal.

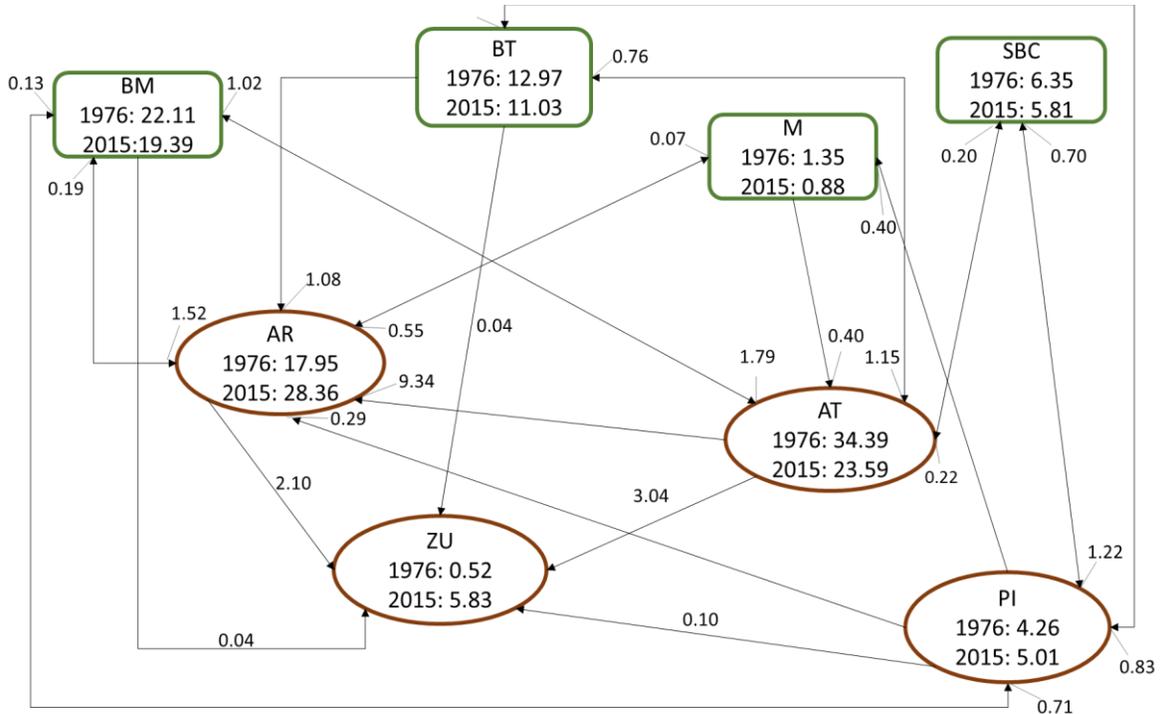


Figura 19. Trayectorias de cambio de uso del suelo en Tenancingo, 1976 - 2015.

Nota: Los valores al interior de los rectángulos y óvalos representan el porcentaje de clase con respecto al área total del municipio; los valores junto a las flechas representan el porcentaje de área que cambia de una clase a otra durante el periodo de estudio. AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral. Adaptado de Luna Soria, 2009.

La cuarta clase de vegetación, el matorral xerófilo, tuvo una pérdida neta de 156 ha debida considerablemente a la agricultura de riego (58.45%) y la agricultura de temporal (41.54%) practicadas en el oeste y centro del municipio. Mientras que de las ganancias que sumaron un total de 78 ha, hubo un aporte generado en terrenos ubicados en el noroeste en los que existía pastizal inducido (85.47%).

Los cambios descritos consolidan a la agricultura de riego y a la agricultura de temporal como los usos de suelo que más impactan los diferentes tipos de vegetación en el municipio. A pesar de ello, la permanencia de dichos tipos entre

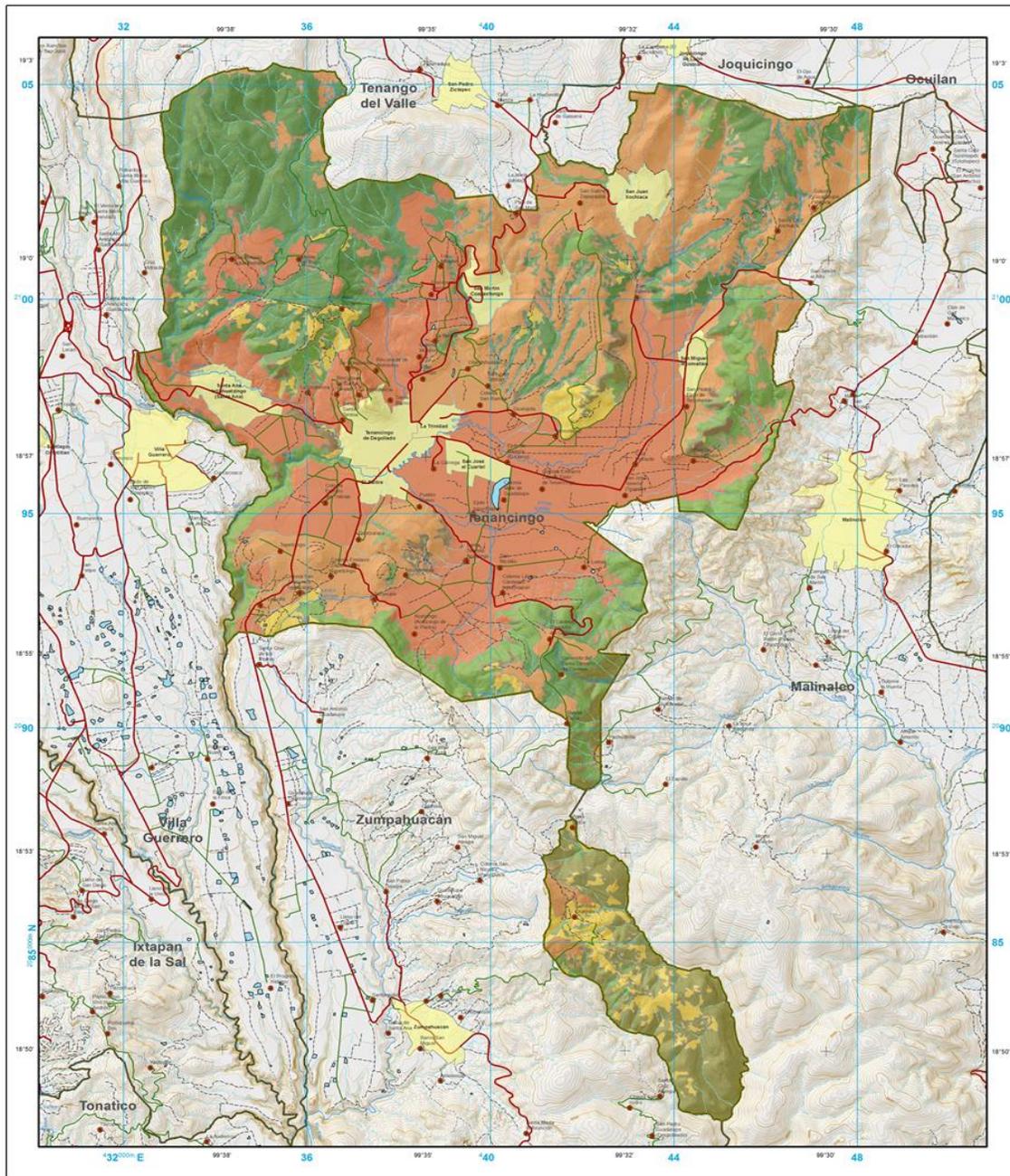


Figura 20. Mapa de uso de suelo y vegetación 2015.

1976 y 2015, a excepción del caso del matorral xerófilo, es alta. El bosque mesófilo de montaña mantiene un 81.63% de superficie original, el bosque templado un 76.12% y la selva baja caducifolia un 77.29%; mientras que tan sólo el 29.94% de la cobertura de los matorrales se ha mantenido sin cambios.

Ahora bien, en cuanto a las tasas anuales de cambio que engloban tanto las pérdidas como las ganancias señaladas en la matriz de transición (ver Tabla 17), la agricultura de riego es actualmente el uso de suelo de mayor extensión, aumentando de 2, 952 ha (17.95%) en 1976 a 4, 667 ha (28.36%) en 2015, de modo que la diferencia entre las dos fechas indica una ganancia de 1, 714 ha (10.42%) y una tasa de 1.2%.

Por el contrario, la agricultura de temporal, que en orden decreciente le sigue en extensión, registró una pérdida de 1, 777 ha (10.80%), ya que después de ser el uso de suelo dominante en 1975 con 5658 ha (34.39%), se redujo a 3, 881 ha (23.59%) en 2015 y con ello la tasa correspondiente es de -1.0%.

En lo que respecta al pastizal inducido, éste se incrementó en apenas 124 ha (0.75%), comprendiendo inicialmente una superficie de 701 ha (4.26%) y llegando a 824 ha (5.01%), con una tasa de aproximadamente 0.4%.

Tabla 17. *Tasa de cambio en vegetación y uso de suelo en Tenancingo, 1976 - 2015*

| Clase | Hectáreas | | Tasa de cambio |
|----------------------------|------------|------------|----------------|
| | Total 1976 | Total 2015 | |
| Agricultura de riego | 2, 952 | 4, 667 | 1.2 |
| Agricultura de temporal | 5, 658 | 3, 881 | -1.0 |
| Pastizal inducido | 701 | 824 | 0.4 |
| Zona urbana | 86 | 959 | 6.4 |
| Bosque mesófilo de montaña | 3, 638 | 3, 191 | -0.3 |
| Bosque templado | 2, 133 | 1, 814 | -0.4 |
| Selva baja caducifolia | 1, 045 | 956 | -0.2 |
| Matorral | 223 | 144 | -1.1 |

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la zona urbana presentó una tasa anual de cambio de 6.4%, la más alta de todas las clases (tanto correspondientes a uso de suelo como a vegetación)

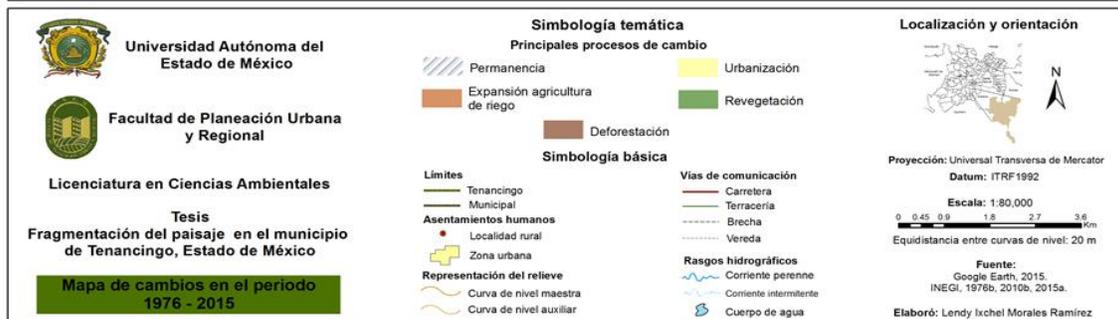
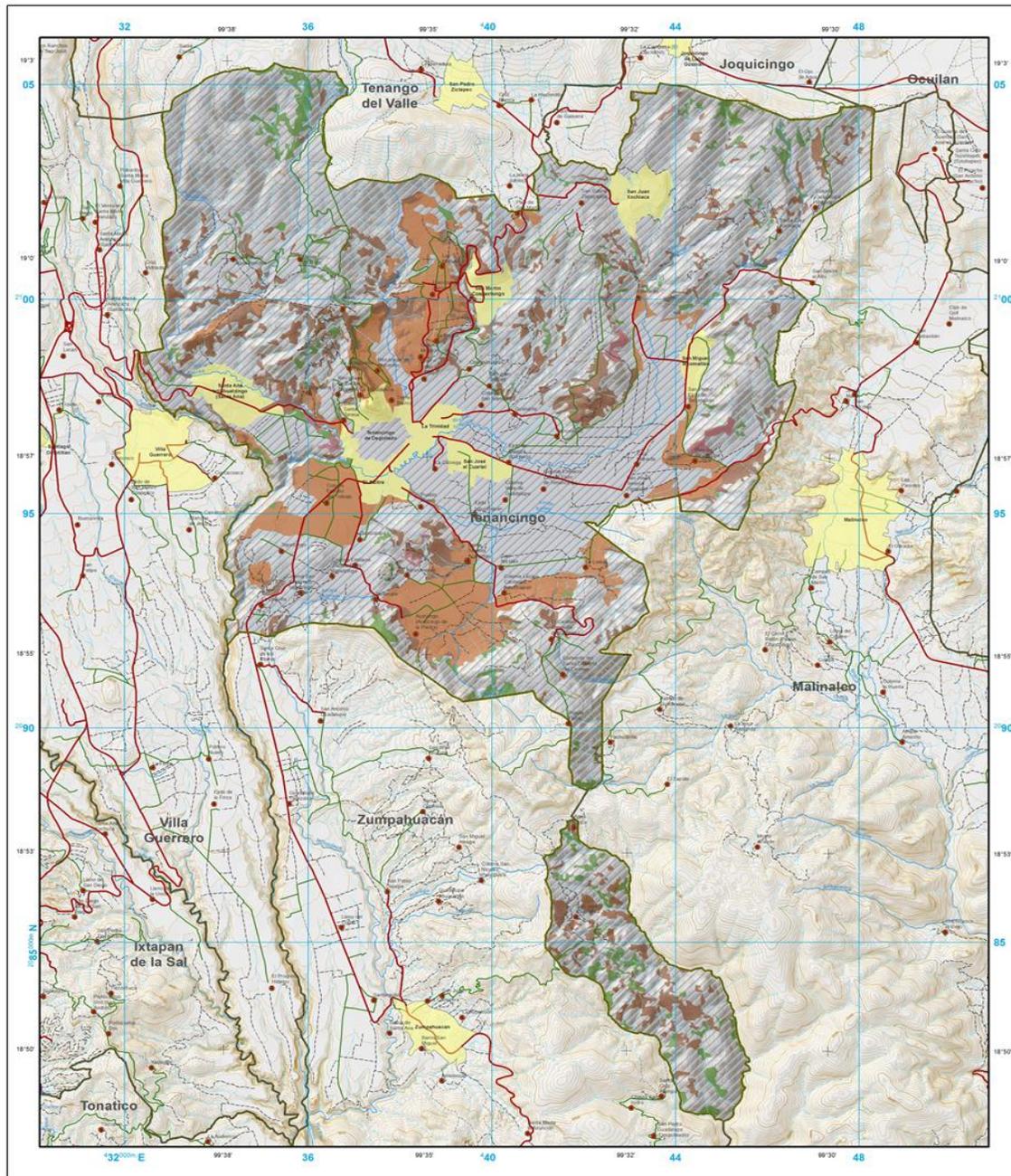


Figura 21. Mapa de cambios en el periodo 1976 – 2015.

pues pasó de abarcar 86 ha (0.52%) del área en estudio a 959 ha (5.83%), lo que representa una ganancia de 873 ha (5.31%) en el lapso de 39 años señalado.

En cuanto a las coberturas naturales, todas experimentaron tasas negativas, que van del -0.2% al -1.1%. En el caso particular del bosque mesófilo de montaña, continúa siendo la vegetación de mayor presencia en el municipio, no obstante, de ocupar 3, 638 ha (22.11%) en 1976 disminuyó a 3, 191 ha (19.39%) en 2015, este cambio refleja una pérdida de 447 ha (2.72%) y una tasa de deforestación de -0.3%.

El bosque templado tuvo una superficie inicial de 2133 ha (12.97%), misma que pasó a ser de 1814 ha (11.03%), dando como resultado una pérdida de 319 ha (1.94%) y una tasa de -0.4%.

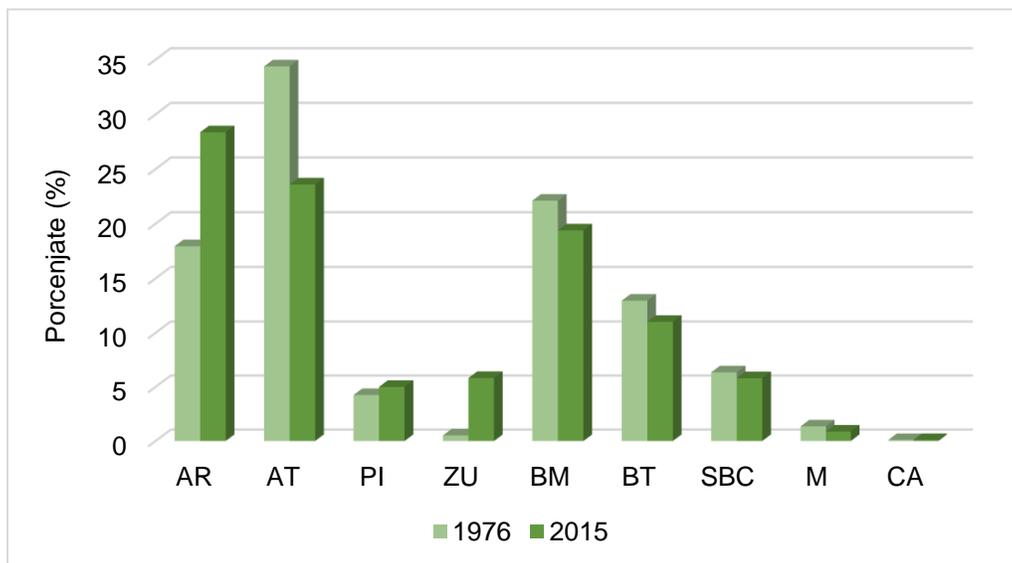


Figura 22. Distribución de uso de suelo y vegetación en Tenancingo, 1976 y 2015.

Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral; CA: Cuerpo de agua. Elaboración propia.

En la selva baja caducifolia la pérdida fue de sólo 89 ha (0.54%). Teniendo una extensión territorial de 1,045 ha (6.35%) en 1976 y una de 956 ha (5.73%) en 2015, la tasa fue de -0.2%.

El matorral xerófilo, siendo la vegetación de menor superficie en ambos años de estudio, reveló una tasa deforestación de -1.1, pasando de un área de 223 ha (1.35%) a una de 144 ha (0.88%), con una pérdida de 70 ha (0.48%), lo que la

convierte en la zona forestal de mayor cambio al inicio de cada año durante el periodo referido en Tenancingo.

A nivel general, la conversión de vegetación a usos de suelo en el municipio fue de 921 ha (5.78%) en 39 años, contando con una superficie de 7, 039 ha (42.79%) en 1976 y terminando con una de 6, 118 ha (37.11%) y con una tasa de deforestación de -0.4%. En la Figura 21 es posible identificar los principales procesos de cambio en el municipio.

3.2 Fragmentación

Como se ha mencionado, la fragmentación es un proceso a nivel de paisaje, en donde una clase de cobertura se transforma en un conjunto de parches o fragmentos más pequeños a los originales, de manera que influye en número, tamaño y forma de los mismos. En este apartado, se presentan los valores obtenidos de las medidas para evaluar dichas características para el paisaje en Tenancingo y para cada una de las clases que lo componen.

3.2.1 Nivel de paisaje

En el periodo de 1976 a 2015, se hace evidente el proceso de fragmentación en el municipio de Tenancingo. En la Tabla 18, las medidas calculadas a nivel de paisaje con Patch Analyst señalan que, en los 39 años transcurridos, el número de parches se incrementó de 249 a 372.

Tabla 18. *Valores de las medidas de fragmentación a nivel de paisaje en Tenancingo, 1976 y 2015*

| Año | NumP | MPS(ha) | PSCoV (%) | MPE (m/ha) | MSI | SDI | SEI |
|-------------|-------------|----------------|------------------|-------------------|------------|------------|------------|
| 1976 | 249 | 68.55 | 407.71 | 5166.26 | 1.99 | 1.67 | 0.80 |
| 2015 | 372 | 45.36 | 504.36 | 4211.37 | 2.08 | 1.78 | 0.86 |

Fuente: Elaboración propia con base en Rempel, R.S., D. Kaukinen., and A.P. Carr. 2012.

Asimismo, se puede observar que el tamaño medio de éstos disminuyó, lo cual indica que los parches más grandes existentes en 1976 fueron divididos. En correspondencia, hay una alta variación en el tamaño de los parches, pues el coeficiente se elevó, pasando de 407.71% a 504.36% (ver Figura 23).

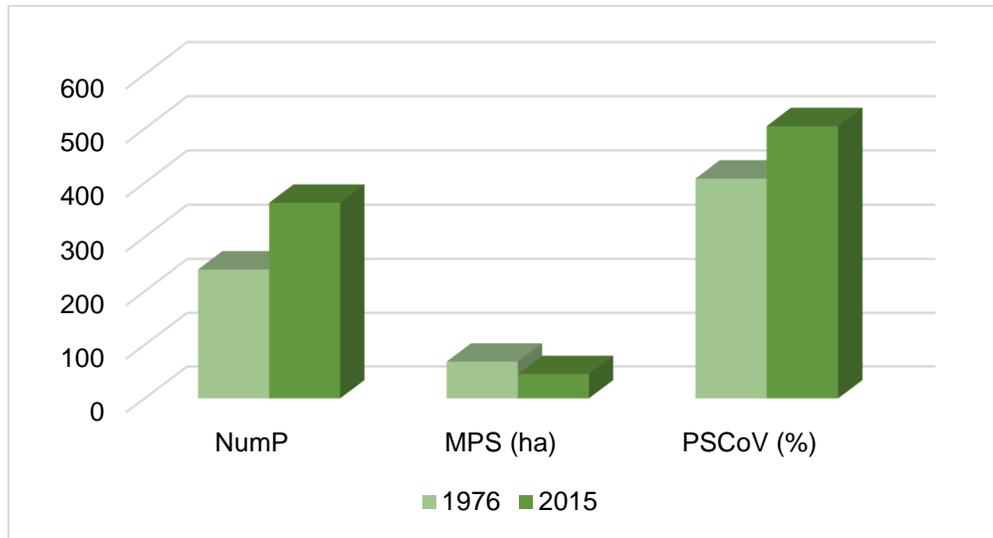


Figura 23. Número (NumP), tamaño promedio (MPS) y coeficiente de variación de tamaño (PSCoV) de los parches a nivel de paisaje, 1976 y 2015.
Nota: Elaboración propia.

Al reducirse la medida de borde promedio del parche de 5166.26 m a 4211.37 m, se corrobora la fragmentación en el municipio (ver Figura 24), puesto que un menor valor refleja un mayor número de parches.

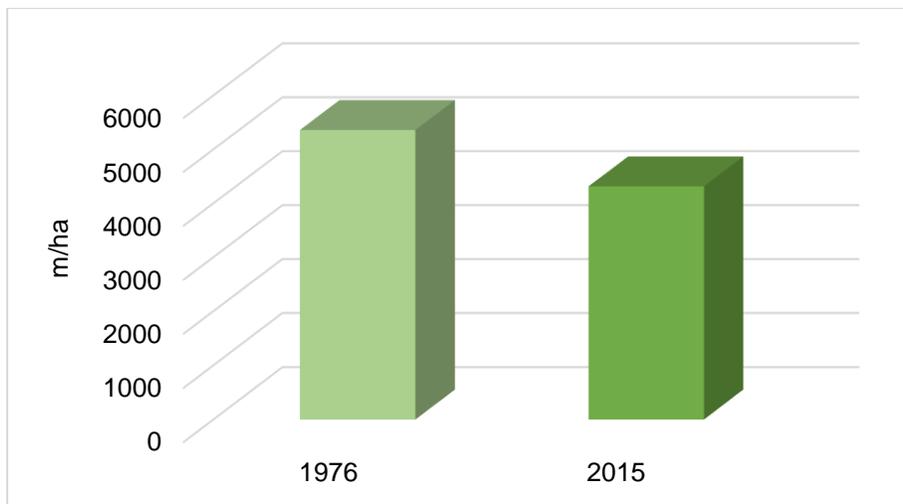


Figura 24. Borde promedio de los parches a nivel de paisaje, 1976 y 2015.
Nota: Elaboración propia.

El índice medio de forma originalmente de 1.99 aumentó a 2.08, esto debido a que en general las formas de las distintas clases se hicieron ligeramente más irregulares. Por otro lado, el valor del índice de diversidad de Shannon fue de 1.67

en 1976 y de 1.78 en 2015, confirmando así una mayor heterogeneidad en el territorio; en tanto que el índice de uniformidad de Shannon para el periodo en estudio es cada vez más cercano a 1, lo que sugiere que la distribución de áreas entre las distintas clases es más homogénea que en un inicio (ver Figura 25).

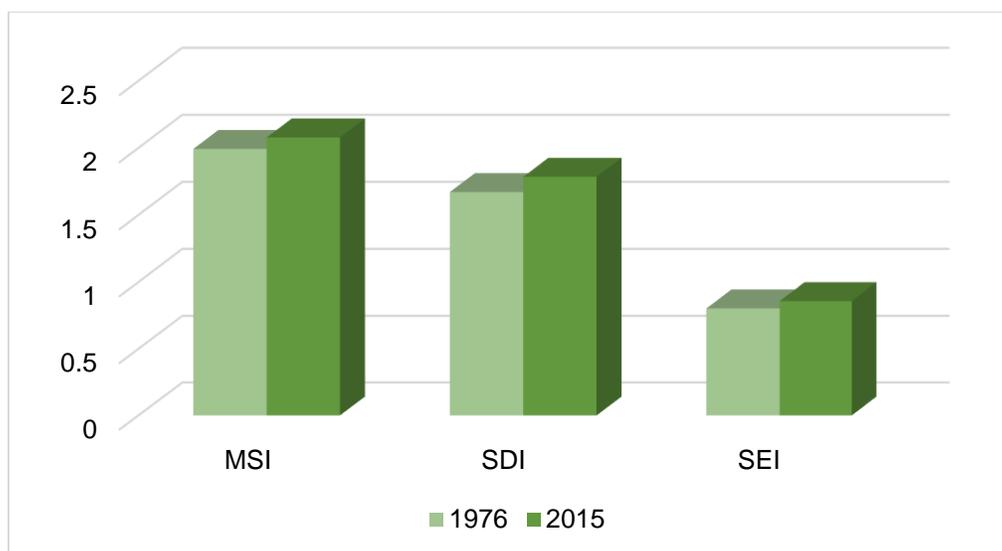


Figura 25. Índice promedio de forma (MSI), de diversidad (SDI) y de uniformidad (SEI) de Shannon de los parches a nivel paisaje, 1976 y 2015.

Nota: Elaboración propia.

Como se mencionó en la información derivada de la matriz de transición, la agricultura de temporal, que en 1976 era la clase dominante, perdió un importe superficie a favor de la agricultura de riego, lo que tuvo una gran repercusión en la última medida descrita.

En general, en 1976, 134 parches correspondían a los usos de suelo (agricultura de riego, agricultura de temporal, pastizal inducido y zona urbana), y 106 a la vegetación (bosque mesófilo de montaña, bosque templado, selva baja caducifolia y matorral xerófilo); en 2015, los parches de las coberturas naturales sumaron 205, mientras que los de las coberturas naturales registraron 167. Los 9 parches restantes en ambos casos corresponden a los cuerpos de agua.

3.2.2 Nivel de clase

Las medidas aplicadas a nivel de clase (ver Tabla 19) permiten comprender mejor los cambios en el comportamiento de los parches específicos para cada uso de suelo y tipo de vegetación, así los resultados de éstas se exponen a continuación comenzando con las clases antrópicas.

Tabla 19. Valores de las medidas de fragmentación a nivel de clase en Tenancingo, 1976 y 2015

| Clase | NumP | MPS (ha) | PSCoV (%) | MPE (m/ha) | MSI |
|-------------|------|----------|-----------|------------|------|
| 1976 | | | | | |
| AR | 10 | 296 | 197.70 | 10078 | 1.97 |
| AT | 62 | 91 | 378.90 | 6740 | 1.99 |
| PI | 61 | 12 | 181.76 | 2032 | 1.72 |
| ZU | 1 | 85 | 0.00 | 5134 | 1.57 |
| BM | 15 | 243 | 253.25 | 16537 | 2.84 |
| BT | 43 | 50 | 223.11 | 5885 | 2.30 |
| SBC | 17 | 61 | 234.61 | 5284 | 2.07 |
| M | 31 | 7 | 183.86 | 1539 | 1.66 |
| 2015 | | | | | |
| AR | 23 | 203 | 290.72 | 8380 | 2.08 |
| AT | 72 | 54 | 465.38 | 5761 | 2.08 |
| PI | 102 | 8 | 243.08 | 1775 | 1.83 |
| ZU | 8 | 107 | 56.05 | 6196 | 1.58 |
| BM | 44 | 72 | 455.64 | 7040 | 2.49 |
| BT | 67 | 27 | 285.25 | 4123 | 2.33 |
| SBC | 21 | 45 | 269.59 | 4985 | 2.18 |
| M | 25 | 6 | 113.97 | 1508 | 1.77 |

Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral. Elaboración propia con base en Rempel, R.S., D. Kaukinen., and A.P. Carr. 2012.

En la agricultura de riego los parches aumentaron de 10 a 23, y aunque el de mayor tamaño en 1976, localizado en el este del municipio, se hizo más grande en 2015 pasando de 1, 987 ha a 2, 681 ha, el tamaño promedio de los parches se redujo de 296 ha a 203 ha, debido en gran parte a que los nuevos parches tienen una superficie menor a 10 ha. Esto la convierte en el uso de suelo que experimentó la reducción más considerable en esa medida, aunque pese a ello continúa siendo el de mayor valor en la misma (ver Figura 26).

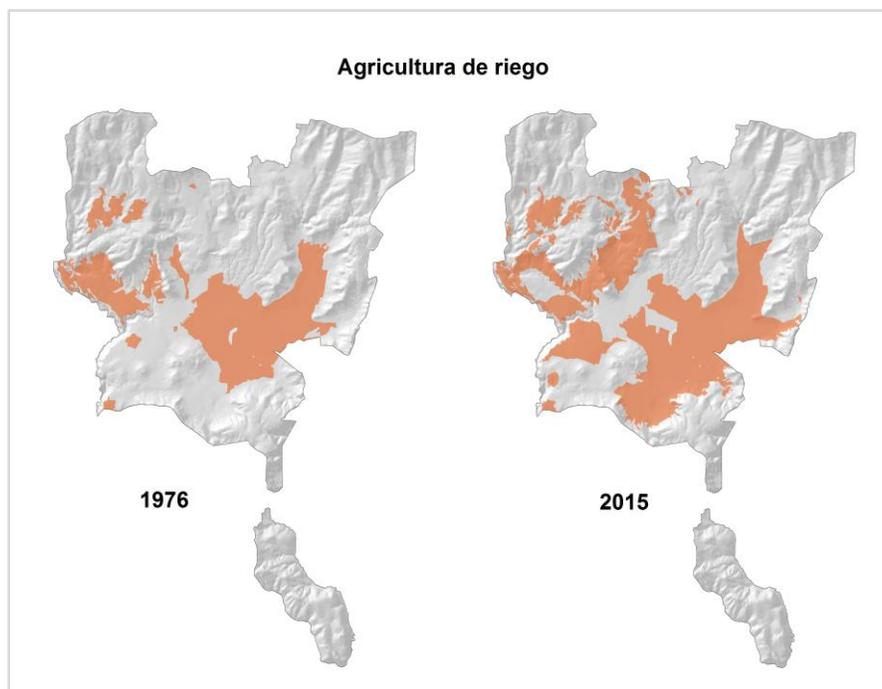


Figura 26. Fragmentación en la clase agricultura de riego, 1976 y 2015.
Nota: Elaboración propia.

A la vez, relacionado con el aumento de parches, el coeficiente de variación de tamaño también lo hizo de 197.70% a 290.72%, por lo que es además la clase con mayor aumento en el coeficiente en el periodo de estudio. La siguiente medida, el borde promedio, disminuyó de 10, 0078 m a 8, 380 m, lo cual corrobora una mayor división en esta clase antrópica.

El índice promedio de forma refleja un incremento de la irregularidad de la forma de los fragmentos correspondientes a esta actividad productiva, partiendo de 1.97 a 2.08. El parche más irregular en el año 2015 se halla en hacia el noroeste de Tenancingo y es el segundo en orden ascendente de extensión con un total de 1, 248 ha.

Cabe mencionar que, aproximadamente la mitad de los nuevos parches se encuentran en lo que solía ser bosque mesófilo de montaña en el noroeste municipal y en los que se practica esta actividad mediante el establecimiento de invernaderos.



Figura 27. Invernaderos en la localidad de Santa Ana Ixtlahuatzingo.
Nota: Toma propia.

Asimismo, a nivel general, de 32 localidades rurales que se ubican en parches en los que domina este uso de suelo, 19 presentan un alto grado de marginación para el año 2010. La localidad urbana Santa Ana Ixtlahuatzingo que se encuentra rodeada por este uso, y que es una de las principales productoras de flor en el municipio, igualmente tiene un valor alto en el tema (Figura 27).

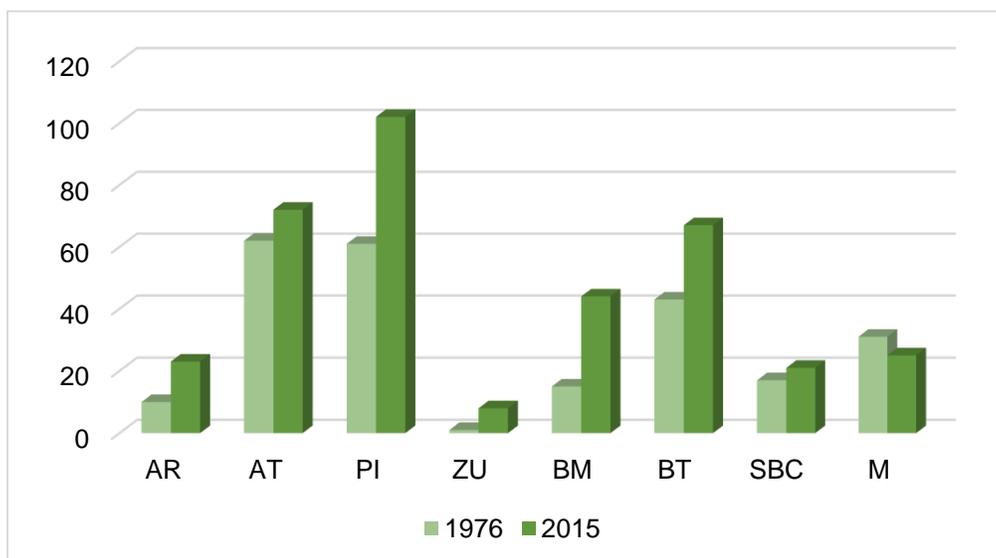


Figura 28. Número de parches a nivel de clase, 1976 y 2015.

Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral. Elaboración propia.

En cuanto a la agricultura de temporal, los fragmentos en 1976 eran 62 y aumentaron a 72 en 2015, en este caso el parche más grande en el año inicial, localizado en el norte, se redujo, favoreciendo la expansión de la agricultura de riego principalmente a través de invernaderos y la urbanización (ver Figura 29). El tamaño promedio de los parches pasó de 91 ha a 54 ha, y como en el primer uso de suelo mencionado muchos de los parches nuevos tienen una extensión menor a 10 hectáreas.

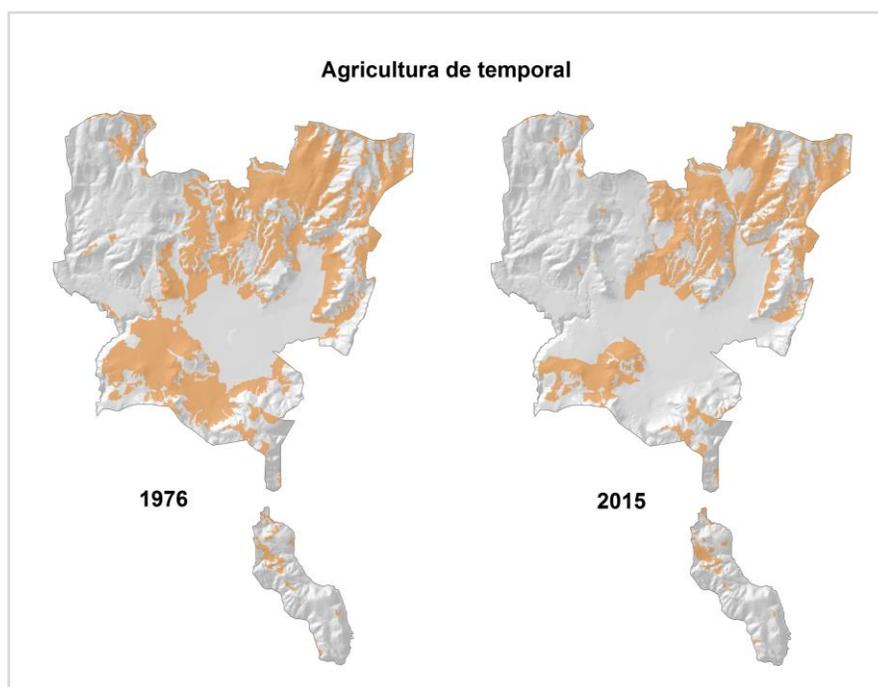


Figura 29. Fragmentación en la clase agricultura de temporal, 1976 y 2015.
Nota: Elaboración propia.

El coeficiente de variación de tamaño se elevó de 378.90% a 465.48%, y en los dos años de estudio ha sido la cobertura con los valores más altos en esta medida. El borde promedio disminuyó de 6,740 m a 5,761 m y el índice promedio de forma aumentó, cambiando de 1.99 a 2.08; así actualmente para la agricultura de temporal y la agricultura de riego comparten el mismo valor de MSI. El parche con la mayor irregularidad es el más grande en superficie con 2,026 ha y con una orientación noreste.

Al menos 10 parches nuevos se deben a la división de 2 parches que originalmente eran más grandes, encontrados en el noroeste, y que probablemente por abandono

y posterior revegetación, adquirieron su configuración actual en el paisaje como parte del bosque mesófilo de montaña.

Las localidades rurales que se encuentran inmersas en este uso de suelo suman 19, de las cuales 11 cuentan con un grado de marginación alto y una con un grado categorizado como muy alto. Adicionalmente, la localidad urbana San Juan Xochiaca se encuentra rodeada por este tipo de actividad primaria y también refleja un alto grado de marginación.

El pastizal inducido muestra el mayor incremento en el número de parches, registrando 41 de más, después de que en 1976 existían 61 y en 2015 un total de 102. No obstante, es el uso de suelo que ha presentado los valores más bajos en la medida de tamaño promedio; así, ésta se redujo de 12 ha a 8 ha, lo cual indica que, en general y a comparación de las dos actividades previas, ésta no es practicada en grandes extensiones de terreno. Sin embargo, el fragmento de mayor superficie cuenta con 131 ha y se encuentra hacia el suroeste municipal (ver Figura 30).

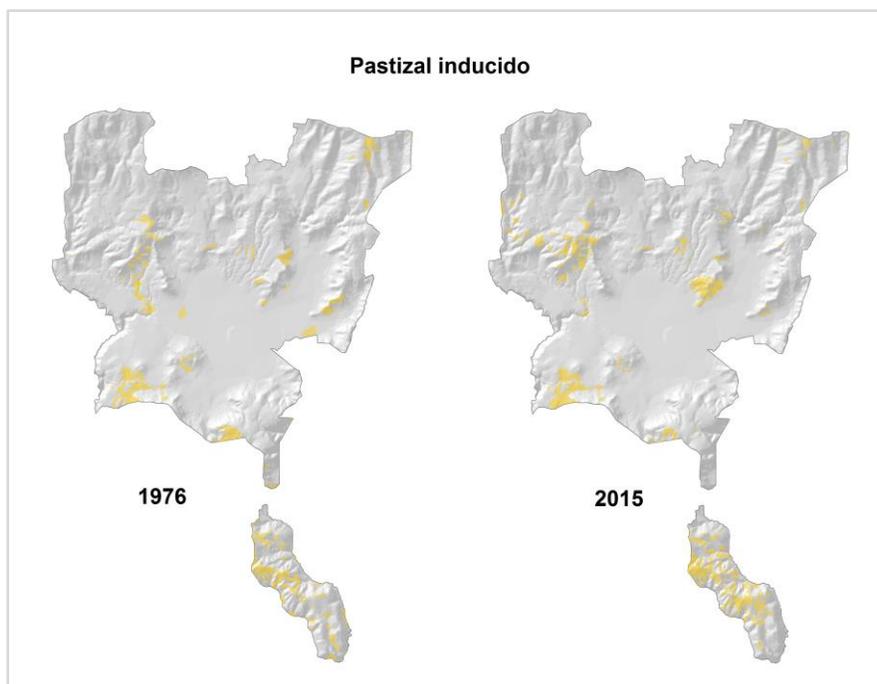


Figura 30. Fragmentación en la clase pastizal inducido, 1976 y 2015.

Nota: Elaboración propia.

Más de la mitad de los fragmentos tanto en la primera fecha como en la segunda son menores a 10 hectáreas, lo que influye en que el resultado del coeficiente de variación de tamaño sea un poco más bajo en un balance con los usos de suelo anteriores, aunque subió de 181.76% a 243.08%.

El borde medio tuvo una baja en sus valores de 2, 032 m a 1,775 m, pero fue el uso de suelo que mostró una menor reducción en esta medida. En lo referente a la forma, señala una mayor irregularidad en los parches, subiendo de 1.72 a 1.83. El parche de forma más compleja se encuentra en el sur del territorio, en la isla municipal San José Chalmita y es el segundo de mayor área.

En esa isla especialmente, el número de parches pasó de 27 a 36, pero al mismo tiempo muchos de los iniciales desaparecieron, por aparente abandono y posterior revegetación en la selva baja caducifolia, y otros se hicieron más grandes, lo que condujo también a un cambio de formas. Gran parte de los nuevos parches aparecieron en el norte del municipio, en espacios antes ocupados por bosque mesófilo de montaña.

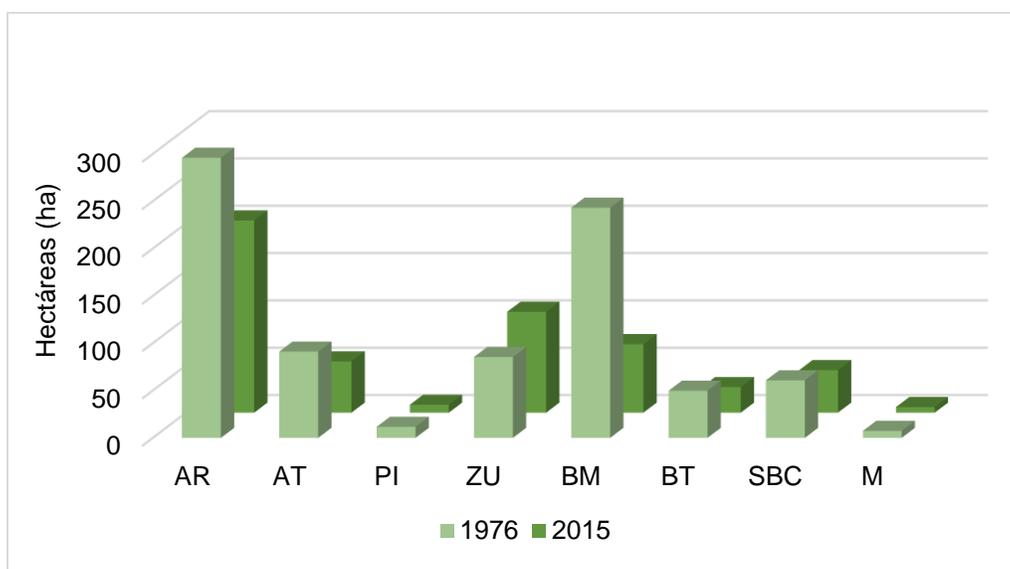


Figura 31. Tamaño promedio de los parches a nivel de clase, 1976 y 2015.

Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral. Elaboración propia.

Sin embargo, esta actividad tiene una notoria presencia en la mencionada isla, pues aproximadamente un 40% de la superficie total que se le destina en 2015 en el municipio, se concentra ahí (ver Figura 29). En San José Chalmita, hay dos localidades que, si bien no están dentro de este tipo de cobertura, si son lo bastante cercanas y presentan un grado de marginación alto. Por otro lado, sólo hay una localidad rural que sí está enclavada en este uso de suelo y es conocida como Agua Bendita, en el noroeste de Tenancingo.

En cuanto a la zona urbana, este uso antrópico pasó de un parche a 8, por lo que el tamaño promedio de 86 ha correspondiente a 1976 se refiere al único fragmento existente en esa fecha, posteriormente esta métrica aumento 107 ha en 2015. De la misma manera, el coeficiente de variación de tamaño al inicio del periodo es igual 0, dado que no había más parches con base en los cuales calcular la medida (ver Figura 32).

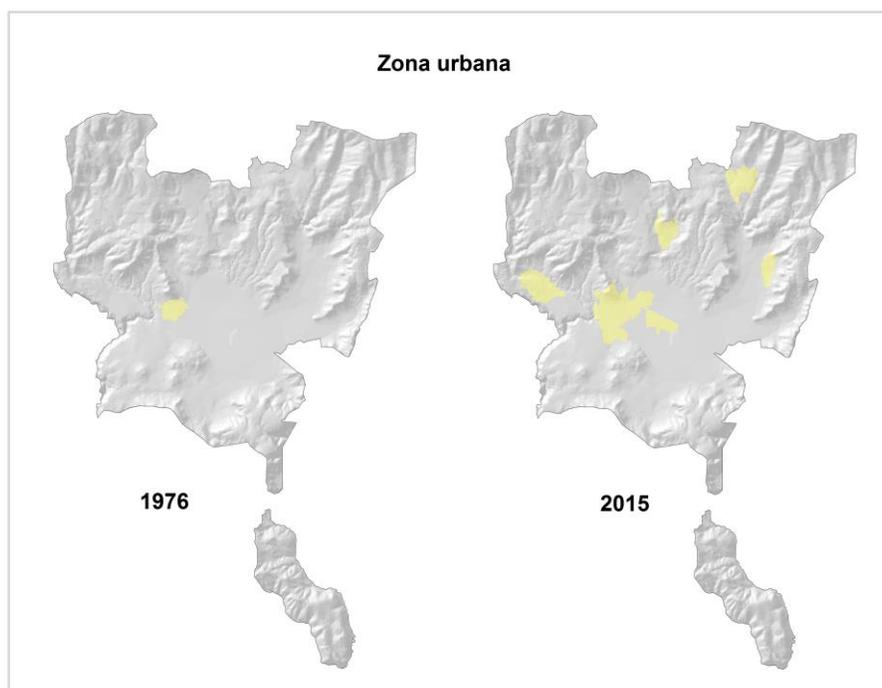


Figura 32. Fragmentación en la clase zona urbana, 1976 y 2015.
Nota: Elaboración propia

En 2015, dicho coeficiente llegó a 56.05%, el cual es el resultado más bajo para los usos de suelo, lo que indica que las distintas zonas urbanas comparten áreas muy

similares. Los resultados del borde promedio cambiaron de 5,134 m a 5, 508 m y a diferencia de casos anteriores éstos se elevaron, esto se puede traducir en que los parches no se encuentran aislados los unos de las otros y tienen varios bordes en común, tales son los casos de Tenancingo de Degollado, El Salitre, La Trinidad y San José el Cuartel (ver Figura 33).



Figura 33. Vista parcial de las zonas urbanas de Tenancingo de Degollado y El Salitre desde el mirador ubicado rumbo al monumento de Cristo Rey.

Nota: Toma propia.

La medida de forma es también la más baja de todas las clases tanto antrópicas como naturales, en ambas fechas de estudio, lo que convierte a las zonas urbanas en las de mayor regularidad de forma, el índice tuvo una diferencia de apenas 0.01 entre un año y otro, pasando de 1.57 a 1.58. El Salitre es actualmente el fragmento relativamente más irregular, lo que es consecuencia de que parte de sus límites siguen la trayectoria del río perenne San Simonito.

Un total de 5 parches de este uso de suelo reemplazaron principalmente superficies que eran dedicadas a la agricultura de temporal y 2 lo hicieron con las que eran dedicadas a la agricultura de riego. El único parche existente en 1976, Tenancingo de Degollado, es actualmente el de mayor tamaño con 216 ha.

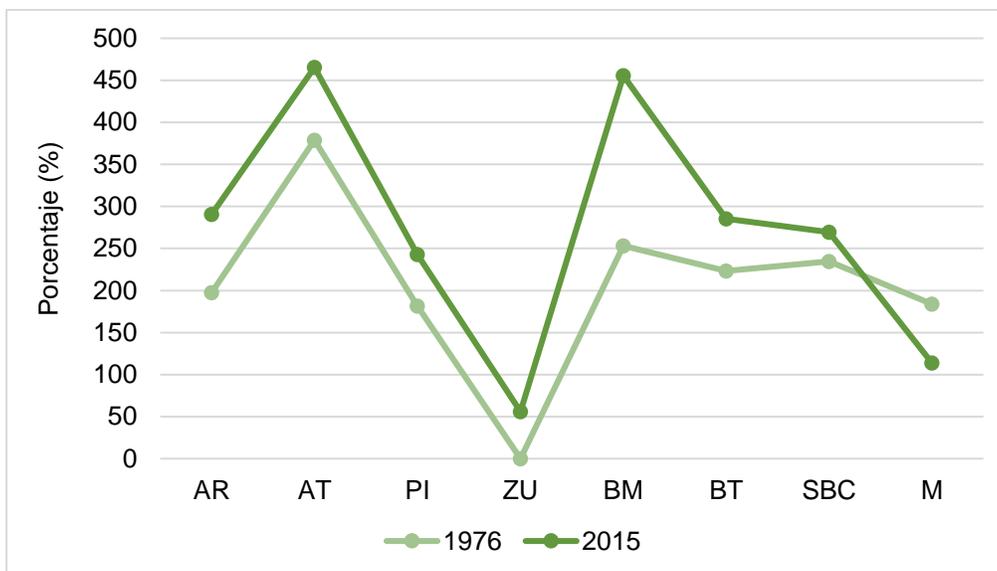


Figura 34. Coeficiente de variación del tamaño de los parches a nivel de clase, 1976 y 2015.

Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral. Elaboración propia.

En el bosque mesófilo de montaña los parches pasaron de 15 en 1976 a 44 en 2015; a la vez, el tamaño promedio de éstos se redujo de 243 ha a 72 ha, es decir, llegó por debajo de la mitad del total inicial; el parche más grande de 1976 contaba con una extensión de 2, 462, la cual disminuyó a 2, 175 ha en 2015 y se localiza en el noroeste. Sobre todo, en el noreste se evidencia un proceso de reducción de área, pues los parches, con formas originalmente alargadas, se aprecian más delgados (ver Figura 35).

El porcentaje del coeficiente de variación de tamaño aumentó de 253.25% a 455.64%, siendo la vegetación con mayor incremento en esta métrica entre los dos años de estudio y la que muestra mayor valor actual. En este caso también es frecuente hallar parches nuevos de tamaños menores a 10 ha, que se deben considerablemente a la división de parches grandes en unos más pequeños, por la expansión de la agricultura de riego y de temporal practicada en el norte del municipio (ver Figura 36).

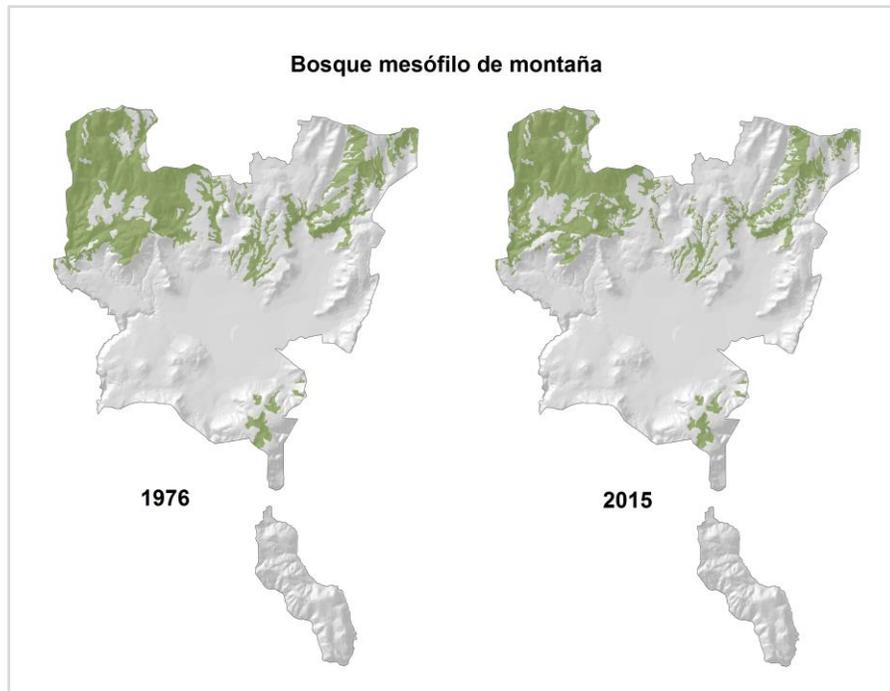


Figura 35. Fragmentación en la clase bosque mesófilo de montaña, 1976 y 2015.
Nota: Elaboración propia.

La reducción de la medida de borde promedio de 16, 537 m a 7040 m confirma la fragmentación de este bosque y más aislamiento entre sus parches; en general es clase con la reducción más significativa en esta medida.



Figura 36. Invernaderos cercanos a la localidad de San Miguel Tecamatlán.
Nota: Toma propia.

El índice promedio de forma disminuyó de 2.84 a 2.49, debido a que los nuevos fragmentos tienen formas comparativamente más regulares, sin embargo, en general continúa siendo la cobertura natural de mayor irregularidad. El parche con mayor valor en el índice para 2015 se ubica en el noreste; en 1976 fue el mismo parche el que tenía el valor más alto y que además experimentó una destacable fragmentación pues éste se subdividió en 12 parches.

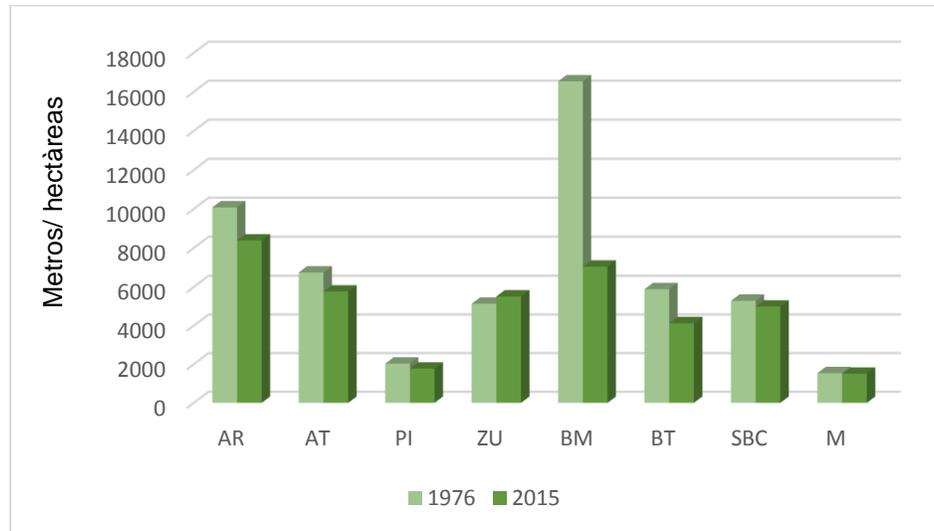


Figura 37. Borde promedio de los parches a nivel de clase, 1976 y 2015.

Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral. Elaboración propia.

La vegetación de este tipo localizada en las áreas naturales protegidas Parque Estatal Ecológico, Recreativo y Turístico Hermenegildo Galeana y Parque Nacional Desierto del Carmen o Nixcongo, en el noroeste y sureste de Tenancingo respectivamente, se mantuvo prácticamente intacta, ya que en la primera permaneció el único parche registrado en 1976 y en la segunda lo hicieron también los 3 ya existentes. En el parque estatal incluso hubo un ligero aumento en la superficie reportada en 1976, pasando de 325 ha a 329 ha en 2015; mientras que en el parque nacional hubo una reducción mínima de 119 ha a 117 ha.

En este panorama, influye, además de su estatus, el hecho de que en el parque Hermenegildo Galeana sólo hay dos localidades rurales cercanas, San Antonio Agua Bendita con 781 habitantes, y Monte Pozo con 19, aunque presentan alto

grado de marginación. Por otro lado, dentro de los límites del parque Desierto del Carmen sólo se halla la localidad rural El Carmen, con 661 habitantes, misma que también tiene alta marginación.



Figura 38. Vista de Tenancingo desde la carretera a la localidad El Carmen.
Nota: Toma propia.

En el bosque templado los parches que inicialmente eran 43 aumentaron a 67, mientras que su tamaño medio disminuyó de 50 ha a 37 ha, conduciendo a la vez a un mayor valor de su coeficiente de variación de 223.11% a 285.25%. Como en el caso del bosque mesófilo de montaña, hay evidencia de la reducción de área (ver figura 39).

Aproximadamente 9 parches iniciales desaparecieron, en su mayoría menores a 12 ha y que se encontraban más expuestos a la intervención humana, pues esta situación fue motivada fuertemente por la agricultura de riego y la agricultura de temporal. Además, de los nuevos fragmentos menores a 10 ha, una gran parte son producto de la fragmentación de parches más grandes de 1976.

Para este bosque al igual que el anterior, el borde promedio se redujo de 5,885 m a 4,123 m confirmando el proceso de división y un asilamiento más marcado entre parches. En cuanto a la medida de forma, el índice cambió ligeramente de 2.30 a 2.33. De esta manera es la segunda cobertura natural con mayor complejidad; el parche más irregular en 2015 se localiza en el este de Tenancingo y cuenta con 336

ha. En 1976 el parche más irregular se localizaba en el oeste, pero al subdividirse en más parches perdió dicha posición.

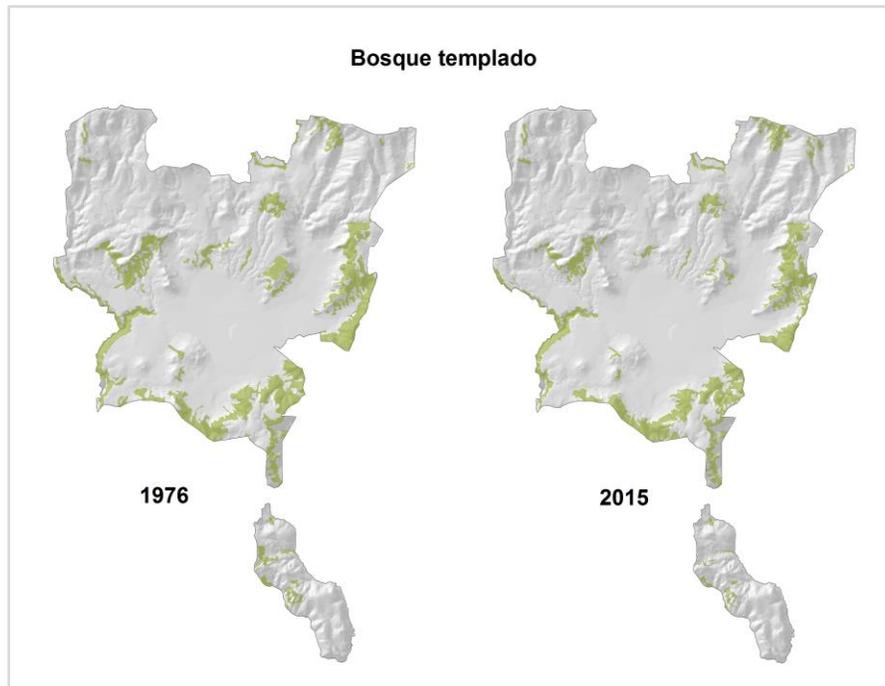


Figura 39. Fragmentación en la clase bosque templado, 1976 y 2015.
Nota: Elaboración propia.



Figura 40. Vista al bosque templado desde la localidad de San Miguel Tecomatlán.
Nota: Toma propia.

De las áreas naturales protegidas previamente mencionadas, sólo hay porciones de este bosque en el Parque Nacional Desierto del Carmen o Nixcongo, las cuales también tuvieron una alta permanencia pues sumaban un total de 176 ha en 1976 y 169 ha en 2015 y como se mencionó la localidad rural más cerca es El Carmen, con 661 habitantes.

En el caso de la selva baja caducifolia se detectaron tan sólo 4 nuevos parches de los que en un principio existía, con 17 en 1976 y 21 en 2015, esto tiene con ver con el hecho de que a diferencia de las coberturas naturales anteriores los parches iniciales en su mayoría únicamente se redujeron en tamaño debido principalmente al pastizal inducido.

Así, el tamaño promedio cayó de 61 ha a 45 ha, con un aumento en el porcentaje del coeficiente de variación, de 223.11% a 285.25%, siendo el tipo de vegetación con el menor incremento en la medida y, después del matorral xerófilo, también es el segundo de menor cambio en el resultado de borde promedio de 5, 284 m a 4,985 m, lo que sugiere que mantiene un nivel de fragmentación y de asilamiento más o menos constante.

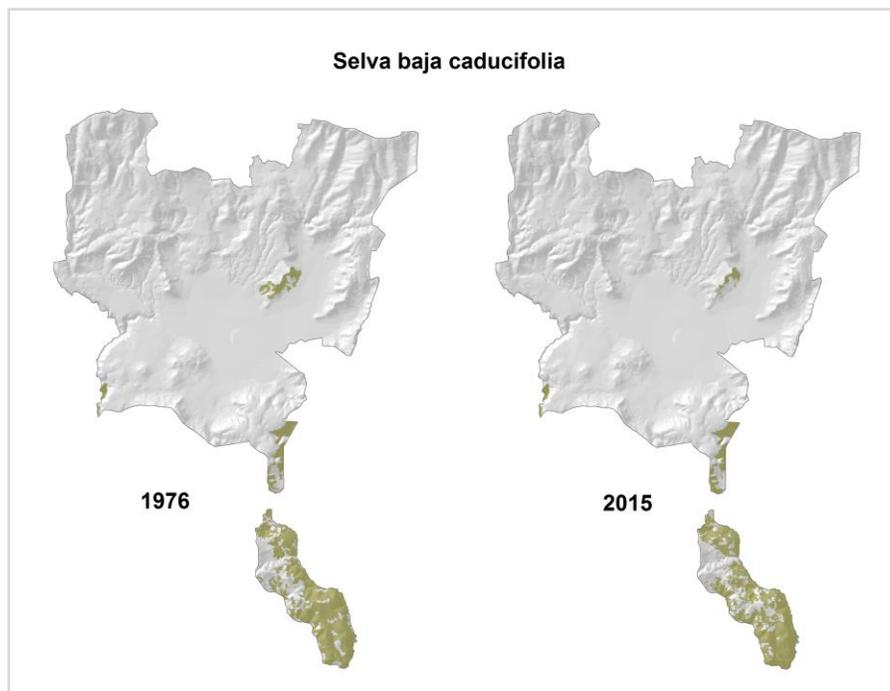


Figura 41. Fragmentación en la clase selva baja caducifolia, 1976 y 2015.
Nota: Elaboración propia

El índice promedio de forma pasó de 2.07 a 2.18. Así, esta medida continúa indicando una tendencia a la irregularidad. El parche que se caracteriza por ser el de forma más compleja, es el ubicado en la isla municipal San José Chalmita de aproximadamente 565 ha (ver Figura 41). Esta cobertura tiene una marcada presencia en esa isla, y hay dos localidades rurales cercanas una homónima, San José Chalmita, con 1, 163 habitantes y Agua Dulce con 43 hasta 2010, y con grado de marginación alto y muy alto respectivamente.

La selva baja caducifolia también tiene presencia en el parque Desierto del Carmen y particularmente su área total fue de 100 ha en 1976 y 98 ha en 2015, por lo que este tipo de vegetación tampoco sufrió grandes cambios, los 4 parches existentes en la primera fecha se encontraron también en la segunda.

En contraste a las clases anteriores, tanto naturales como antrópicas, el matorral xerófilo tuvo una reducción en el número de parches, pasando de 31 a 25, pues desaparecieron varios parches iniciales principalmente a consecuencia de la agricultura de riego y a la agricultura de temporal que ocuparon los parches más pequeños y expuestos a la intervención humana (ver Figura 43).

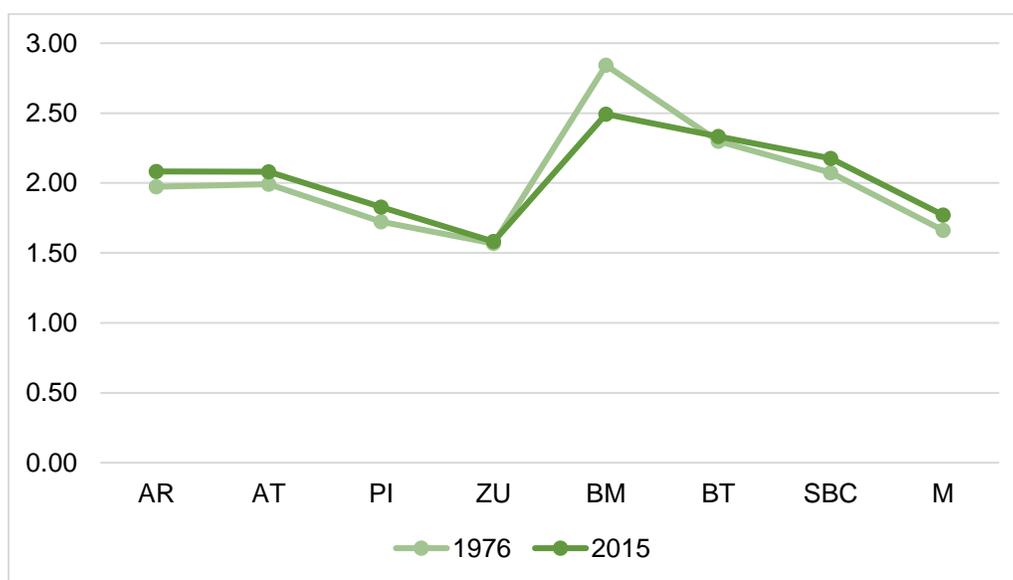


Figura 42. Índice promedio de forma de los parches a nivel de clase, 1976 y 2015.

Nota: AR: Agricultura de riego; AT: Agricultura de temporal; PI: Pastizal Inducido; ZU: Zona Urbana; BM: Bosque mesófilo de montaña; BT: Bosque templado; SBC: Selva Baja Caducifolia; M: Matorral. Elaboración propia.

Desde 1976 el matorral xerófilo ha estado presente en parches relativamente pequeños a comparación de los tipos de vegetación anteriores, por lo que el tamaño promedio cambió muy ligeramente de 7 ha a 6 ha. En correspondencia con la disminución en el número de parches, el coeficiente de variación también tuvo el mismo comportamiento, bajando de 183.86% a 113.97%.

No obstante, el borde promedio se redujo de 1, 537 m a 1, 508 m, experimentando la menor diferencia entre las dos fechas de estudio y entre todas las clases a nivel general, pero al mismo tiempo constató un mayor aislamiento entre los parches restantes.

La medida de forma fueron la más baja dentro de las coberturas naturales, revelando los parches menos complejos, de manera que el índice pasó de 1.66 a 1.77. El matorral xerófilo no es parte de las dos áreas naturales protegidas ya mencionadas

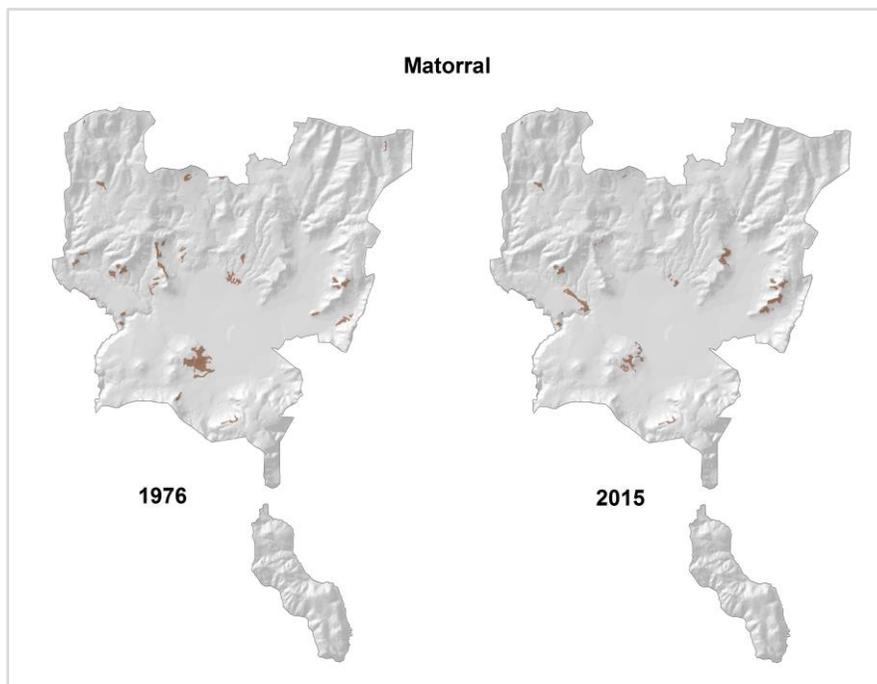


Figura 43. Fragmentación en la clase matorral, 1976 y 2015.
Nota: Elaboración propia.

Al considerar el área natural protegida Parque Ecológico y Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán, que comprende la mayor parte del territorio de Tenancingo, el número de parches en el caso del bosque mesófilo de montaña fue igual al reportado a nivel de clase para el municipio, es decir, pasó de 15 a 44; en el bosque templado la situación fue un poco diferente al cambiar de 41 a 62; en la selva caducifolia la diferencia fue de 15 a 19; por último para el matorral los parches eran 28 en 1976 y 21 en 2015.



Figura 44. Vista a Tenancingo desde la carretera Tenango - Tenancingo.
Nota: Toma propia.

3.3 Discusión

Las trayectorias de cambio de uso del suelo en el municipio de Tenancingo indican que la agricultura de riego fue la clase de mayor recepción de superficie durante el periodo 1976 -2015, lo cual se vio potenciado por el incremento de la práctica de la floricultura a través del establecimiento de invernaderos en zonas antes dedicadas a la agricultura de temporal, y que se relaciona con el estatus actual del municipio como uno de los principales productores y comercializadores de flor en el sur del Estado de México.

Debido a lo anterior, la agricultura de temporal, a nivel general, experimentó las mayores pérdidas en área, aunque también fue motivado por la expansión de las zonas urbanas, que después de la agricultura de riego, reportaron las mayores

ganancias en hectáreas (ha); esto se evidencia en los asentamientos concretos de San Martín Coapaxtongo y San Juan Xochiaca, así como en la contribución a la expansión de Tenancingo de Degollado, El Salitre, San Miguel Tecomatlán y La Trinidad. Dicha situación se sirve también del crecimiento de la población en poco más de 4 veces durante el periodo 1950 – 2010.

Cabe mencionar que, de acuerdo al Censo General de Población y Vivienda de 1970 (INEGI, /f) y comparando lo observado en la carta de uso de suelo y vegetación de 1976, la antes localidad rural de San Miguel Tecomatlán en esa fecha ya estaría cercana a los 2,500 habitantes, cifra a partir de la cual se consideraría como zona urbana.

Al tomar en cuenta todas las clases de vegetación forestal, la superficie total fue de 7, 093 ha en 1976 y de 6, 118 ha en 2015. La superficie correspondiente reportada hasta 2010 en el Plan Municipal de Desarrollo de Tenancingo, 2013 – 2015 (2013) era de 6, 792 ha, pero al comprar con los resultados del Inventario Forestal 2010 de la Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE, 2010), la diferencia es bastante considerable pues el área forestal señalada es de 7, 453 ha, mayor que la de 1976 de acuerdo a esta investigación.

No obstante, lo anterior tiene que ver con lo que ya se ha descrito previamente en el apartado de antecedentes, puesto que los métodos, objetivos, periodos de referencia y escalas tomados en cuenta no son los mismos; tan sólo la escala empleada por PROBOSQUE es 1:160, 000, por lo que hay un alto grado de generalización.

Como se aprecia en la Figura 21, otros de los principales procesos de cambio fueron la revegetación y la deforestación. En el primer caso, la superficie en la que anteriormente se llevaba a cabo alguna actividad económica y que ahora se halla ocupada por vegetación forestal suma 637 ha, y pudo deberse al abandono de la misma principalmente en terrenos antes dedicados a la agricultura de temporal y al pastizal inducido.

Un ejemplo de este tipo es el trabajo de Geri, Rocchini & Chiarucci (2010), en el que, como parte del análisis del paisaje del Mediterráneo, el bosque registró un incremento en su superficie debido a cambios socioeconómicos y al abandono del campo y las montañas, así como a la subsecuente colonización de la superficie anteriormente destinada a la agricultura por vegetación forestal, pero además a la plantación de coníferas.

Sin embargo, este requiere de acercamientos más cualitativos; Mateucci (2005) cita la investigación de Burgi y Turner del año 2002, en el que definieron procesos de cambio de uso del suelo, como el abandono de granjas, para explicar cambios de cubierta detectados, como el paso de agricultura a bosque. Posteriormente se hicieron hipótesis acerca de las condiciones que harían que los procesos definidos fueran causas factibles de los cambios observados. La comprobación de la hipótesis se hizo con información sobre características edáficas, densidad de población y estatus económico de las granjas.

Por otro lado, aun con esa cifra en revegetación las pérdidas de cobertura forestal condujeron a una tasa de deforestación de -0.4, que bien podría ser relativamente baja sobre todo por el periodo de 39 años referido y a que permanece un 86.91% de cobertura. Existe la posibilidad de que los cambios más importantes se suscitaran antes del periodo de estudio. Asimismo, el hecho de que la agricultura de riego y las zonas urbanas tuvieran gran parte de su expansión dentro de áreas previamente ocupadas por agricultura de temporal, influyó en esta cifra.

A través de actividades económicas como la agricultura, la ganadería y la urbanización, el hombre ha contribuido a la modificación del paisaje en el municipio de Tenancingo, con base en lo cual es posible describir su interacción con la naturaleza. El medio para establecer dichas actividades fue el cambio de uso del suelo y, cabe mencionar, diversas investigaciones suelen detenerse en el análisis de este proceso, desligándolo de otros. Pese a ello, entre las formas más evidentes del cambio de uso del suelo en el paisaje está, además de la deforestación, la fragmentación, a la que no siempre se le otorga la importancia necesaria.

Dentro de las ciencias ambientales, la fragmentación es una de las problemáticas causantes de la pérdida de recursos más frecuentes, pero también de las menos abordadas, lo que hace que sus efectos se desestimen o bien sean omitidos.

Así, el cambio de uso del suelo, que parte de las decisiones humanas y responden a factores demográficos, económicos y culturales, además de determinar en la extensión de la deforestación, influye en el número, tamaño y forma de los parches, atributos relativos a la fragmentación. Con la medición cuantitativa de esas características, es posible detectar y describir las maneras en que se ha presentado la intervención humana. Aunado a ello, éstas aportan valiosa información para la conservación de la biodiversidad, pues condicionan la cantidad y calidad de hábitat disponible.

En el entendido de que la fragmentación es un proceso complejo, guiado por diversas variables, es casi imposible encontrar dos paisajes en los que éstas y las trayectorias de cambio coincidan. Sin embargo, los paisajes de una región dada sujetos a la misma clase de procesos de desarrollo o explotación de recursos pueden tener patrones y efectos muy similares. Esto puede ser especialmente cierto en los municipios que, además de Tenancingo, componen el corredor florícola estatal, tales como Villa Guerrero, Zumpahuacán y Coatepec Harinas, en los que es evidente la modificación de la configuración del paisaje a través del establecimiento de invernaderos (Miranda, 1997).

De esta manera, si bien los resultados de deforestación no son considerablemente altos, los datos de fragmentación revelan otro panorama. Es importante decir que, debido al uso de mapas de uso de suelo y vegetación y a que en éstos cada clase es determinada en función de la dominancia, principalmente por motivos de escala, esto incide directamente en los resultados de las medidas correspondientes a las características de los parches, especialmente en las de usos de suelo.

Comenzando por las coberturas antrópicas, el número de parches aumentó, destacando el caso del pastizal inducido sobre todo en la isla Municipal San José Chalmita; el tamaño promedio decreció, a excepción de la zona urbana, pues en 1976 solo había un parche y consecuentemente éste se elevó.

Aunque se dice que los parches de usos del suelo, tienen formas más simples y tamaños más homogéneos que parches naturales, aquí entra en juego fuertemente lo expuesto sobre la determinación de cada clase en función de dominancia en los mapas de uso de suelo y vegetación. De tal suerte, que la agricultura de riego y la agricultura de temporal son los usos de suelo de mayor valor en el índice de forma, al compartir un gran número de bordes con coberturas naturales de alto valor en la misma medida.

Las zonas urbanas, por ejemplo, al estar más alejadas de los tipos de vegetación, y al tener un patrón de delimitación más rectangular, se hacen más regulares en su forma, exceptuando una de ellas al tener como parte de sus bordes el curso de una corriente de agua.

Ahora bien, los resultados en los tipos de vegetación confirman las 5 variables paisajísticas que cambian simultáneamente y que inciden sobre la supervivencia de las especies afectadas por el proceso de fragmentación mencionadas por Santos & Tellería (2006): pérdida regional en la cantidad de hábitat, una disminución del tamaño medio y un aumento del número de parches, un aumento de la distancia entre parches y de la relación perímetro superficie.

En el bosque mesófilo de montaña, el bosque templado y la selva baja caducifolia el número de parches aumentó, aunque en esta última no significativamente; en el caso del matorral los parches tuvieron una disminución debido a que varios de los presentes en 1976 se encontraban más expuestos a intervención humana, por lo que para 2015 ya no se registraron.

La mayor parte de la superficie total tanto del bosque mesófilo de montaña como del bosque templado y el matorral, se ha encontrado sobre la unidad de suelo andosol, y en menor medida sobre la unidad cambisol. Ambos suelos son generalmente buenos para la actividad agrícola, de modo que esta condición pudo influir en la división de parches originalmente grandes a más pequeños de 1976 a 2015 en estos tipos de vegetación, misma que, según los resultados de este trabajo, estuvo fuertemente relacionada con los dos tipos de agricultura presentes en el municipio.

En cuanto a la selva baja caducifolia que domina en la Isla Municipal San José Chalmita, ésta se halla sobre la unidad de suelo leptosol, reconocido como un importante recurso para el pastoreo, característica que coincidió con los motivos por los que esta clase redujo el tamaño de sus parches en ese lugar.

Ya que en los 4 tipos de vegetación hubo también una disminución en la medida de tamaño promedio, significa que el número de especies que pueden albergar los parches se hace también menor; al mismo tiempo esta reducción los hace más propensos a la actuación del hombre, como sucedió con el matorral. Esto es muy probable que ocurra sobre todo con los nuevos parches en el bosque mesófilo de montaña y el bosque templado, pues en su mayoría son menos a 10 hectáreas.

Correspondiendo a las dos medidas anteriores, el coeficiente de variación de tamaño se elevó y el borde promedio disminuyó, lo cual habla de un mayor aislamiento de los parches, dificultando la movilidad y contribuyendo a la pérdida de especies locales, además de la alteración los procesos ecosistémicos y consecuentemente de los servicios ambientales que son capaces de proveer.

En cuanto al índice de forma medio, omitiendo el bosque mesófilo de montaña debido a que los nuevos parches tiene formas comparativamente más regulares, se incrementó. No obstante, el bosque mesófilo de montaña y el bosque templado son los tipos de vegetación con mayor valor en el índice en ambos años de estudio, situación que los que puede llevar a mayor influencia de la matriz o del efecto borde, al haber una relación perímetro / área mayor y deteriorando aún más la calidad del hábitat disponible para las respectivas especies.

Probablemente esa es la razón por la que algunos de los parches más irregulares de 1976 que eran alargados, en 2015 se aprecian más delgados, pues tenían más lados expuestos para la expansión de la actividad agrícola principalmente. A la vez, es necesario considerar que varios parches de vegetación forestal son contiguos, volviéndolos más resistentes a influencias de la matriz, al poseer estructuras similares.

Los efectos en los procesos físicos derivados del índice de forma son mayores por un gran contraste entre la matriz y el hábitat. Las matrices agrícolas alteran drásticamente las condiciones microclimáticas de los parches forestales, aumentando la insolación, intensidad lumínica, evaporación, de la exposición al viento y a diversos agentes contaminantes.

En los procesos bióticos, favorece la invasión de los parches por especies generalistas, afectando la supervivencia de las especies directamente afectadas a través de interacciones como la depredación o la competencia por los recursos, además de sus potenciales funciones ecosistémicas como la polinización o la dispersión de semillas, generando cadenas de extensiones locales (Santos & Tellería, 2006).

En el caso particular del paisaje en Tenancingo, la matriz puede ser identificada como agrícola, al combinar tanto la agricultura de riego como la agricultura de temporal, toda vez que es el uso de suelo mejor conectado y de mayor presencia en el territorio y al que se debe la mayor parte de la fragmentación en el territorio (ver Figura 45).

Existe una destacada de tendencia en el aumento del número de parches de usos de suelo como la agricultura de riego, la agricultura de temporal y el pastizal inducido al interior de zonas forestales, ésta debe ser de especial atención pues dichos parches pueden crecer contribuyendo a la deforestación y fragmentación. La forma más común en la que se presentan estos parches corresponde a la agricultura de riego, y es con espacios destinados a la floricultura, sobre todo en zonas aledañas a la localidad de Santa Ana Ixtlahuatzingo y al parche de mayor tamaño del bosque mesófilo de montaña, ubicado en el noroeste.

Los resultados pueden ser comparables en cierta medida con los obtenidos por la SEMARNAT (2013), en los que los ecosistemas forestales más fragmentados según su tamaño de México para el año 2007 fueron el bosque mesófilo de montaña y el bosque templado, seguidos por las selvas.

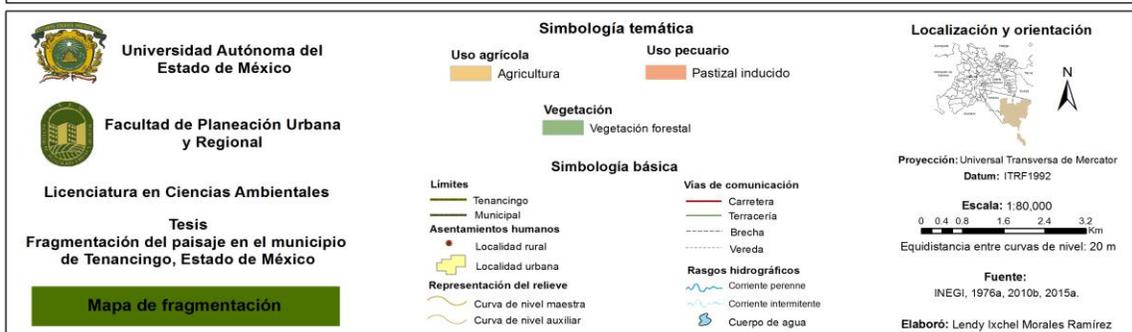
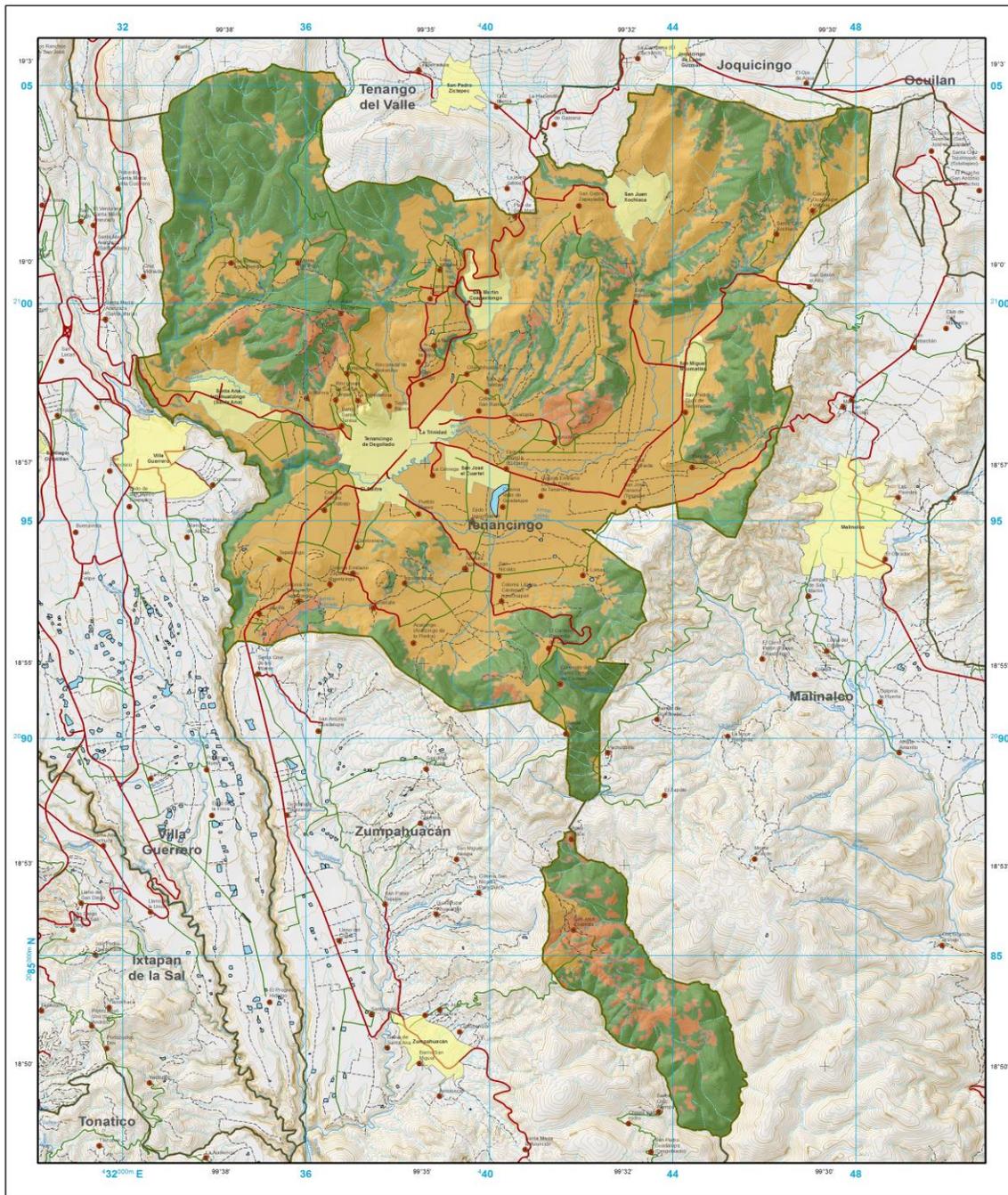


Figura 45. Mapa de fragmentación.

Finalmente, el incluir datos sobre marginación es relevante, pues al ser un municipio con al menos 40 localidades, entre ellas tres urbanas, con alto grado de marginación, esta condición impacta en las decisiones de la población sobre su entorno, como por ejemplo en la necesidad de obtener beneficios inmediatos y el desmonte en zonas forestales para la agricultura y la ganadería, así como el consumo de leña y el uso de prácticas tradicionales agropecuarias que podrían derivar en incendios, causas tanto de deforestación como de fragmentación (CONAFOR, 2001).

Asimismo, aun cuando las áreas naturales protegidas de Tenancingo, Parque Nacional Desierto del Carmen y el Parque Estatal Ecológico, Recreativo y Turístico Hermenegildo Galeana no cuentan con programa de manejo, la superficie forestal en ambas se mantenido prácticamente intacta. Estos resultados son comparables con los obtenidos por León Garay y Gutiérrez Fernández (2014), en los que se observa bajos niveles de fragmentación en un área equivalente a éstas. Por lo anterior es recomendable tener esta situación en cuenta en futuros ordenamientos de territorio en el municipio, pues le confiere un carácter conservacionista.

Conclusiones

Los cambios producidos en el periodo de estudio de 39 años, de 1976 a 2015, en la vegetación evidenciaron que el paisaje en el municipio de Tenancingo es modelado por factores antrópicos (usos de suelo), volviéndolo cada vez más heterogéneo.

De acuerdo a la matriz de transición elaborada, la agricultura de riego es el uso de suelo que mayor de superficie ganó en el periodo de estudio, a la vez que la agricultura de temporal es el que más pérdidas presentó, en gran medida motivadas por el primero y por el establecimiento de invernaderos para practicar la floricultura, actividad de gran importancia en el municipio y que tiene una tendencia al alza. En el caso de los tipos de vegetación, el bosque mesófilo de montaña fue el que sufrió una reducción más significativa en área.

Por otro lado, en cifras absolutas sopesando tanto ganancias como pérdidas, la mayor tasa de cambio positivo corresponde a la zona urbana con 6.4%, seguida de la agricultura de riego con 1.2%. Las tasas de deforestación revelaron que el matorral es la vegetación que pierde más superficie al inicio de cada año transcurrido, con -1.1%. El bosque templado ocupa el segundo lugar con una tasa de -0.4%. A nivel general, la deforestación es baja al permanecer un 86.91% de cobertura forestal hasta 2015.

Las medidas para cuantificar la estructura del paisaje, derivadas de la ecología del paisaje, sirvieron para analizar el proceso de fragmentación en Tenancingo, además de permitir el seguimiento de su avance en el periodo de estudio; la información obtenida de los mapas de uso de suelo y vegetación, así como de la matriz de transición, permitieron identificar los posibles conductores del mismo.

Así, las medidas aplicadas tanto a nivel de paisaje como de clase, en relación a tamaño, borde, forma y diversidad, coincidieron en un aumento de este proceso en el área de estudio y en una mayor heterogeneidad de sus componentes.

El comportamiento general, detectado entre 1976 y 2015, que sugiere esto, es un mayor valor en el número de parches, en el coeficiente de variación el índice

promedio de forma, además de un menor valor en tamaño y borde promedio en la mayoría de los tipos de vegetación; encontrando como causas principales de la fragmentación del paisaje en el municipio las actividades agropecuarias y la urbanización.

En el caso de los tipos de vegetación, al aumentar el número de fragmentos se revela una pérdida de conectividad importante, sobre todo para el bosque mesófilo de montaña y el bosque templado, los cuales presentaban originalmente parches con terminaciones alargadas y que se han vuelto más delgados o bien, han sido divididos. En correspondencia, hay un menor tamaño promedio los hace más propensos a la intervención humana, como sucedió específicamente con el matorral, al registrarse menos parches en 2015 que en 1976. Una mayor complejidad en los parches puede ser otro incentivo para la presión antrópica.

No se puede perder de vista que los alcances de este trabajo tienen algunas limitaciones que van desde la asignación de las clases consideradas en la leyenda de los mapas de uso de suelo y vegetación, especialmente el correspondiente a 2015, fecha para la que no se realizó verificación de campo. Asimismo, la escala de la investigación, 1: 50, 000, pierde poder predictivo en sitios más específicos del municipio en donde las formas en que se presenta la fragmentación y sus efectos pueden ser muy diferentes. Además, las medidas relacionadas al proceso pueden variar o en su caso enriquecerse con otras, si se calculan en softwares distintos a Patch Analyst.

Tampoco se debe obviar el hecho de que los parches determinados son sólo una simplificación de la heterogeneidad real que hay en el paisaje y que tanto el tipo como el número de clases considerados condicionan los resultados obtenidos de la aplicación de las medidas de fragmentación.

Ya que los ecosistemas forestales están en un menor o mayor grado fragmentados (o lo estarán), es necesario que el proceso tenga más cabida en estudios específicos y que además sea incluido en la legislación. Como la revisión de ésta lo indica, aun no es un concepto que se incluya explícitamente en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2014), que en México es la encargada de

distribución de competencias en materia de regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de los recursos forestales y el suelo. Si bien considera el cambio de uso del suelo, la deforestación y la degradación, deja de lado una las principales amenazas a la biodiversidad.

En este sentido, es además apremiante la elaboración de los programas de manejo de las áreas naturales protegidas Parque Nacional Desierto del Carmen y el Parque Estatal Ecológico, Recreativo y Turístico Hermenegildo Galeana, Parque Ecológico y Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán halladas en el territorio municipal, sobre todo porque en las dos primeras los niveles de fragmentación son muy bajos y es deseable que esta tendencia se mantenga y su funcionamiento sea más óptimo.

Por lo anterior, cuando se trata de la evolución en el tiempo del paisaje, la fragmentación es uno de los procesos más evidentes en éste, sin embargo, comparado con el cambio de uso de suelo y la deforestación, no siempre se le otorga la importancia necesaria.

Este proceso es un potente indicador del subsistema natural que sirve para la caracterización y ordenamiento del territorio y que además complementa a otros indicadores como, precisamente, el cambio de uso de suelo, las tasas de deforestación, la relación cobertura natural/cobertura antrópica o la extensión de la frontera agrícola, por mencionar algunos de los presentes en el trabajo de Prieto-Prieto et al. (2004).

Siguiendo esta línea, para tareas de conservación y ante la contundente amenaza que representa la fragmentación para la biodiversidad, no sólo basta con conocer la superficie remanente de vegetación, sino que es esencial detectar el grado de continuidad que presenta, así como las características ya mencionadas de los parches. Es por ello que internacionalmente se incluye este proceso como parte de la degradación forestal al evaluar la integridad de los ecosistemas.

Badii y Landeros (2006) resaltan la importancia de promover programas para el manejo racional de estos ecosistemas, encaminados a la reducción de los efectos

negativos de la fragmentación, en donde un primer paso es la medición científica, como en el caso del presente trabajo, para después conducir a estrategias de mejoramiento de los paisajes afectados.

Finalmente, conviene citar nuevamente a Mateucci (2005), quien sugiere que las asociaciones surgidas de la comparación de patrones estructurales y funcionales son exploratorias y sirven para generar hipótesis sobre las relaciones causales, las que deben investigarse con datos independientes.

Referencias

- Aguilera Benavente, F. (2010). Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía*, 30(2), 9-29. Obtenido de <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/AGUC1010220009A/30701>
- Badii, M., Flores, A., Foroughbakhch, R., & Quiroz, H. (1998). Bases teóricas de conservación biológica. *Calidad ambiental*, 3(12), 10-13. Obtenido de https://repositorio.itesm.mx/ortec/bitstream/11285/573509/1/DocsTec_1079.pdf
- Badii, M. H. & Landeros J. (2006). Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad. *International Journal of Good Conscience*, 2(1), 26-38
- Bocco, G. (1998). Naturaleza y Sociedad. Escalas de espacio y tiempo. *CIENCIAS*, 51-59.
- Bustamante, R., & Grez, A. (1995). Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ciencia y ambiente*, 6(2), 58-63. Obtenido de http://www.iebchile.cl/otras_publicaciones/RBustamante/Bustamante_Grez_1995_Ambient_Desarr.pdf
- Casa A., G. (1997). *Climas del Estado de México*. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Colegio de Postgraduados, s/f. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. México: Colegio de Postgraduados.
- Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF). (2014). *Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas Estado de México*. Obtenido de <http://areasnaturales.edomex.gob.mx/>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Tenancingo (1504), Estado de México*. México: Autor. Obtenido de http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR_1501.pdf
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2001). *Programa Estratégico Forestal para México 2025*. México: Autor. Obtenido de <http://faolex.fao.org/docs/pdf/mex144186.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2009). *Fragmentación*. Obtenido de <http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/fragmentacion.html>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2012). *Índices de marginación*. Recuperado el 14 de junio de 2014, de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010
- De León Mata, G., Pinedo Álvarez, A., & Martínez Guerrero, J. (2014). Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la

- Zarca, México. *Investigaciones geográficas*(84), 42-53. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n84/n84a5.pdf>
- Decreto del Parque Estatal Ecológico, Recreativo y Turístico Hermenegildo Galeana. (1980). *Periodico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de México*. Estado de México. Obtenido de http://portal2.edomex.gob.mx/cepanaf/areas_naturales_protegidas/decretos/groups/public/documents/edomex_archivo/cepanaf_pdf_galeana.pdf
- Decreto del Parque Ecológico y Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán. (1981). *Periodico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de México*. Estado de México. Obtenido de http://portal2.edomex.gob.mx/cepanaf/areas_naturales_protegidas/decretos/groups/public/documents/edomex_archivo/cepanaf_pdf_zumpahuacan.pdf
- Decreto del Parque Nacional Desierto del Carmen o de Nixcongo. (1942). *Diario Oficial*. México. Obtenido de https://simec.conanp.gob.mx/pdf_decretos/62_decreto.pdf
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010) Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Obtenido de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010
- Facultad de Planeación Urbana y Regional (FaPUR). (2011). *Licenciatura en Ciencias Ambientales*. Obtenido de <http://www.uaemex.mx/fapur/ProgEstLicCieAmb.html>
- Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). (2010). *Deforestación*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2013, de http://www.wwf.org.mx/wwfmex/prog_bosques_deforestacion.php
- Forman, R. (1995). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10(3), 133-142. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/1c15/77b4520d6baadb01857877b9714f6858873d.pdf>
- Galicia, L., García, A., Gómez, L., & Ramírez, M. (2007). Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Ciencia*, 58(4), 50-59. Obtenido de http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=135
- García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 20(2), 1-10. Obtenido de <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/18>
- Geria, F., Rocchinib, D., & Chiaruccia, A. (2010). Landscape metrics and topographical determinants of large-scale forest dynamics in a Mediterranean landscape. *Landscape and Urban Planning*, 95, 46–53.

- Giannuzzo, A. N. (2010). Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental. *Sci. stud.*, 8(1), 129-56. Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-31662010000100006
- Gómez, D. (2004). *Recuperación de espacios degradados*. Madrid: Mundi Prensa.
- Guevara S., S., Laborde D., J., & Sánchez Ríos, G. (2004). La deforestación. En S. Guevara S., J. Laborde D., & G. Sánchez-Ríos (Edits.), *LOS TUXTLAS, El paisaje de la Sierra* (págs. 85-109). México: Instituto de Ecología, A.C., Unión Europea. Obtenido de <http://www1.inecol.edu.mx/paisaje/documentos/PDFs/5%20La%20Deforestaci%C3%B3n%20p%C3%A1g%2085-1.pdf>
- Gurrutxaga, M., & Lozano, P. (2006). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Polígonos. Revista de Geografía*(16), 35-54. Obtenido de <http://revpubli.unileon.es/ojs/index.php/poligonos/article/view/410/363>
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* (4a ed.). México: McGrawHill.
- Hernández, M. O. (2007). Entre la competitividad local y la competitividad global: floricultura comercial en el Estado de México. *Convergencia*, 14(45), 111-160. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/conver/v14n45/v14n45a6.pdf>
- Herrera, J. (2011). El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. *Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 20(2), 21-34. Obtenido de <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/20/14>
- Herrerías Diego, Y., & Benítez-Malvido, J. (2005). Consecuencias de la fragmentación de los ecosistemas. En Ó. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez, & D. Azuara (Edits.), *Temas sobre restauración ecológica* (págs. 113-126). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Instituto de Información e Investigación Geográficadel Estado de México (IGCEM). (2013). *Estadística Básica Municipal. Tenancingo*. Obtenido de <http://iiigecem.edomex.gob.mx/recursos/Estadistica/PRODUCTOS/AGENDAESTA/DISTICABASICAMUNICIPAL/ARCHIVOS/Tenancingo.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1975). *Carta Geológica. Claves: E14A48 y E14A58, escala: 1:50 000*. Obtenido de http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=260&ulang=e
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1976a). *Carta de Uso del Suelo y Vegetación y Carta Edafológica. Claves: E14A48 y E14A58, escala: 1:50 000*. Obtenido de http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=260&ulang=e

sR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=260&ulang=e

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1976b). *Carta Edafológica. Claves: E14A48 y E14A58, escala: 1:50 000*. Obtenido de http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=260&ulang=e

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010a). *Compendio de información geográfica municipal 2010. Tenancingo. México*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010b). *Marco Geoestadístico 2010 versión 5.0 A (Censo de Población y Vivienda 2010)*. Obtenido de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/M_Geoestadistico.aspx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). *México en cifras. Información nacional, por entidad federativa y municipios. Tenancingo*. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=15>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015a). *Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Claves: E14A48 y E14A58, escala: 1:50 000*. Obtenido de http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=260&ulang=e

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015b). *Red Hidrográfica escala 1:50 000, edición 2.0*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/Topografia/Descarga.aspx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015c). *Diccionario Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. Obtenido de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s.f). *Censos y conteos de población y vivienda*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx>

Lambin, E., Geist, H., & Lepers, E. (2003). Dynamics of Land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Reviews*(28), 205-241. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/228597446_Dynamics_of_Land-use_and_land-cover_change_in_tropical_regions

Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., . . . Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, 261-269. Obtenido de

http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/referencias/lambin_LUCC_myths.pdf

Lanly, J.-P. (2003). *Los factores de la deforestación y de la degradación de los bosques*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/MS12A-S.HTM>

León Garay, D., & Gutiérrez Fernández, F. (2014). Reconocimiento del estado actual del paisaje del municipio de Gutiérrez (Cundinamarca), mediante el uso de indicadores de ecología del paisaje. *Revista de Tecnología*, 13(1), 63-72. Obtenido de http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen13_numero1/08_articulo6_rev-tec-vol13-num1.pdf

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. (2013). Diario Oficial de la Federación. México. Obtenido de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/26_LeyGeneralDeDesarrolloForestalSustentable.pdf

Luna Soria, H. (2009). *Modelación de la deforestación y cambio de uso de suelo de la selva baja caducifolia en dos municipios del noroeste del pacífico mexicano*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Matteucci, S. (1998a). La cuestión del patrón y la escala en la ecología de paisajes y de la región. En S. Matteucci, & G. Buzai, *Sistemas Ambientales Complejos: herramientas de análisis espacial* (1a ed., págs. 219-248). Buenos Aires: EUDEBA.

Matteucci, S. (1998b). La cuantificación de la estructura del paisaje. En S. D. Matteucci, & G. D. Buzai, *Sistemas Ambientales Complejos: herramientas de análisis espacial* (págs. 271-191). Buenos Aires: EUDEBA.

Matteucci, S. (2004). *Los índices de configuración del mosaico como herramienta para el estudio de las relaciones patrón-proceso*. Memorias del primer seminario argentino de geografía cuantitativa. Gustavo D. Buzai compilador.

Matteucci, S., & Silva, M. (2005). Selección de métricas de configuración espacial para la regionalización de un territorio antropizado. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*(5), 180-202. Obtenido de <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/65/233>

McGarigal, K., & Marks, B. (1995). *Fragstats. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. USDA Forest Service General Technical Report, Portland, OR.

McNeely, J. (2002). La biodiversidad forestal a nivel del ecosistema: ¿cuál es el lugar de la población? *Unasylva*, 53(209), 10-15. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y3582s/y3582s00.pdf>

Metternicht, G. (2006). Consideraciones acerca del impacto de Google Earth en la valoración y difusión de los productos de georrepresentación. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*(6), 1-10. Obtenido de http://geofocus.rediris.es/2006/Editorial_2006.pdf

- Miller, G. T. (2007). *Ciencia ambiental. Desarrollo sostenible. Un enfoque integral* (8va ed.). México: Thomson.
- Miranda, A. 1997. Deforestación y fragmentación del hábitat: consecuencias ecológicas sobre la fauna de mamíferos de la selva tropical estacional. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ecología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. B033. México, D.F.
- Monroy-Vilchis, O. (2003). Principios generales de biología de la conservación. En Ó. Sánchez, E. Vega, E. Peters, & O. Monroy-Vilchis (Edits.), *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México* (págs. 107-116). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Nebel, B. J., & Wright, R. T. (1999). *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible* (6a ed.). Madrid: Prentice Hall.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe Nacional, México*. Roma: Autor. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/013/al567S/al567S.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1999). *The Future of Our Land – Facing the Challenge*. Obtenido de <http://www.env-edu.gr/Documents/The%20Future%20of%20Our%20Land%20-%20Facing%20the%20Challenge.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *La FAO, los bosques y el cambio climático*. Roma, Italia: Autor. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i2906s.pdf>
- Palacio-Prieto, J., Sánchez-Salazar, M., Casado Izquierdo, J., Propin Frejomil, E., Delgado Campos, J., Velázquez Montes, A., . . . Márquez Huitzil, R. (2004). *Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio*. México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE).
- Peralta Rivero, C., Torrico Albino, J., A. Vos, V., Galindo Mendoza, M., & Contreras Servín, C. (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. *Ecología en Bolivia*, 50(2), 91-114. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v50n2/v50n2_a03.pdf
- Plan Municipal de Desarrollo de Tenancingo 2013-2015. (2013). *Gaceta Municipal*. México. Obtenido de <http://www.ipomex.org.mx/ipo/portal/tenancingo/desarrolloMun/2013.web>
- Pontius, Jr., R., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*(101), 251-268. Obtenido de http://www2.clarku.edu/~rpontius/pontius_etal_2004_aee.pdf

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). (2011). *Salvar los bosques requiere un cambio en el estilo de vida*. Recuperado el 12 de septiembre de 2013, de <http://www.pnuma.org/dmma/Bosques.php>
- Protectora De Bosques del Estado De México (PROBOSQUE). (2010). *Inventario Forestal 2010*. México: Autor. Obtenido de http://probosque.edomex.gob.mx/inventario_forestal
- Quiroz Ortuño, Y. (2010). Los SIG como herramienta para la toma de decisiones en la solución de problemas ambientales y dentro de la formación profesional en ciencias ambientales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 14, 33-40. Obtenido de http://www.utm.mx/edi_anteriores/temas41/2NOTAS_41_2.pdf
- Rempel, R., D. Kaukinen, & A.P. Carr. (2012). *Patch Analyst and Patch Grid*. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.
- Santos, T., & Tellería, J.L. (2006) Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Revista Ecosistemas*. 15 (2).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2013). *La floricultura, actividad con gran potencial en Edomex*. México: Autor. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/delegaciones/edomex/boletines/2013/noviembre/Documents/B0692013.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015). *Floricultura actividad económica mas importante del sector agropecuario en el Edomex*. México: Autor. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/edomex/BOLETINES/2015/febrero/Documents/B0162015.PDF>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (s.f.). *Sistema de información ambiental: Tenancingo*. Obtenido de <http://www.edomexico.gob.mx/medioambiente/mapa/htm/consulta.asp>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Edición 2012*. México: Autor. Obtenido de http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf
- Serrano Pérez, E. (2010). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México*. Obtenido de <http://e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM15mexico/municipios/15088a.html>
- Simula, M. (2009). *Hacia una Definición de Degradación de los Bosques: Análisis Comparativo de las Definiciones Existentes*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/k6217s/k6217s00.pdf>
- Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas Estado de México (SEANPEM). (s.f.). *Parques Estatales. Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán*. Obtenido de http://areasnaturales.edomex.gob.mx/datos_generales_tena_mali_zumpa

- Takaki Takaki, F. (2011). *Información Básica para la Construcción de la Tasa de Deforestación*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/rne/docs/Pdfs/Mesa3/20/FranciscoTakaki.pdf>
- Torres Rojo, J. (2004). *Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal en América Latina. Informe Nacional México*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Troll, C. (2010). Ecología del Paisaje. *Investigación Ambiental*, 2(1), 94-105. Obtenido de <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/view/106/76>
- Turner, M., Gardner, R., & O'Neill, R. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. United States of America: Springer.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (s/f). *Licenciatura en Ciencias Ambientales*. Obtenido de http://www.cuaed.unam.mx/ciencias_ambientales/
- Velázquez, A., & Bocco, G. (2003). La ecología del paisaje y su potencial para acciones de conservación de ecosistemas templados de montaña. En Ó. Sánchez, E. Vega, E. Peters, & O. Monroy-Vilchis (Edits.), *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México* (págs. 175-193). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Velázquez, A., Nuñez Hernández, J., Couturier, S., & Bocco Verdinelli, G. (2011). *Propuesta Metodológica para Normar la Evolución de la Evaluación de la Tasa de Deforestación y Degradación Forestal en México*. México: Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS). The Nature Conservancy (TNC). Centro Geo y CIGA Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Vila, J., Varga, D., Llausás, A., & Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Doc. Anál. Geogr.*, 48, 151-166. Obtenido de http://web2.udg.edu/aigua/material/Conceptos%20y%20m%C3%A9todos%20fundamentales%20en%20ecolog%C3%ADa%20del%20paisaje_DAG_48_2006.pdf
- Zurita, A., Badii, M., Guillen, A., Lugo Serrato, O., & Aguilar Garnica, J. (2015). Factores Causantes de Degradación Ambiental. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 10(3), 1-9.

Anexos

Anexo 1: Grado e índice de marginación por localidad del municipio de Tenancingo, 2010.

| Clave de localidad | Localidad | Índice de marginación | Grado de marginación | Índice de marginación (0 a 100) |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|
| 1 | Tenancingo de Degollado | -1.2318 | Bajo | 4.8732 |
| 2 | Acatzingo (Acatzingo de la Piedra) | -0.4434 | Alto | 11.1321 |
| 3 | San Antonio Agua Bendita | 0.4583 | Alto | 18.2904 |
| 4 | El Carmen (El Desierto del Carmen) | -0.6050 | Alto | 9.8491 |
| 5 | Cruz Vidriada | -0.8856 | Medio | 7.6217 |
| 6 | Chalchihuapan | -0.9412 | Medio | 7.1800 |
| 7 | Colonia Guadalupe Victoria | -0.3626 | Alto | 11.7736 |
| 8 | Gualupita | -0.8624 | Medio | 7.8053 |
| 9 | Ixpuchiapan | -0.2784 | Alto | 12.4419 |
| 10 | Ejido de Tenería (El Llano) | -1.2431 | Bajo | 4.7837 |
| 11 | Monte de Pozo | 0.2559 | Alto | 16.6838 |
| 12 | Francisco Zarco | -0.9419 | Medio | 7.1745 |
| 13 | Los Morales | -0.4514 | Alto | 11.0684 |
| 15 | Pueblo Nuevo | -0.6989 | Alto | 9.1036 |
| 16 | Quetzalapa | -0.8834 | Medio | 7.6392 |
| 17 | El Salitre | -1.2801 | Bajo | 4.4892 |
| 18 | San José Chalmita | 0.6822 | Alto | 20.0681 |
| 19 | San José Tenería (Tenería) | -1.1335 | Bajo | 5.6535 |
| 20 | San Juan Tetitlán | -0.6625 | Alto | 9.3928 |
| 21 | San Martín Coapaxtongo | -0.3628 | Alto | 11.7716 |
| 22 | San Nicolás | -0.4286 | Alto | 11.2496 |
| 23 | San Simonito | -0.2658 | Alto | 12.5419 |
| 24 | Santa Ana Ixtlahuatzingo (Santa Ana) | -0.6486 | Alto | 9.5032 |
| 25 | Santa Cruz Xochiaca | -0.4100 | Alto | 11.3971 |
| 26 | Santa Teresita Acatzingo | -0.7021 | Alto | 9.0785 |
| 27 | San Miguel Tecomatlán | -1.1278 | Bajo | 5.6983 |
| 30 | Tepalcatepec | -0.7885 | Alto | 8.3923 |
| 31 | Tepetzingo | -0.9470 | Medio | 7.1341 |
| 32 | Tepoxtepec | -0.2591 | Alto | 12.5950 |
| 33 | Terrenate | -0.4614 | Alto | 10.9890 |

| Clave de localidad | Localidad | Índice de marginación | Grado de marginación | Índice de marginación (0 a 100) |
|--------------------|---|-----------------------|----------------------|---------------------------------|
| 34 | La Trinidad | -1.1329 | Bajo | 5.6579 |
| 35 | San Juan Xochiaca | -0.7985 | Alto | 8.3129 |
| 36 | San Gabriel Zepayautla | -0.8367 | Medio | 8.0097 |
| 37 | Rinconada de Santa Teresa | -0.2457 | Alto | 12.7016 |
| 39 | Rinconada de Atotonilco | -0.6403 | Alto | 9.5685 |
| 40 | La Compuerta | -0.2357 | Alto | 12.7808 |
| 42 | Colonia Ejército del Trabajo | -1.4261 | Muy bajo | 3.3306 |
| 43 | Colonia Emiliano Zapata Ejido de Tenancingo | -1.0978 | Bajo | 5.9367 |
| 44 | La Lagunilla | -1.1176 | Bajo | 5.7795 |
| 45 | La Loma | 0.0574 | Alto | 15.1081 |
| 46 | La Mesita | -0.6376 | Alto | 9.5900 |
| 47 | Plan de San Martín | -0.5758 | Alto | 10.0806 |
| 51 | Tierra Blanca | -0.6610 | Alto | 9.4041 |
| 52 | Plan de Guadalupe | -0.3947 | Alto | 11.5185 |
| 53 | San Pedro Ejido Tecomatlán | -0.9005 | Medio | 7.5034 |
| 55 | Colonia San Francisco Tepetzingo | -1.2229 | Bajo | 4.9434 |
| 57 | Colonia Emiliano Zapata Ejido Tepetzingo | -0.5697 | Alto | 10.1289 |
| 58 | Colonia Morelos | -0.7578 | Alto | 8.6357 |
| 59 | Agua Bendita | 1.6228 | Muy alto | 27.5349 |
| 60 | Colonia San Ramón | -1.0476 | Medio | 6.3354 |
| 61 | Agua Dulce | 1.4798 | Muy alto | 26.3994 |
| 62 | Colonia Valle de Guadalupe | -1.1978 | Bajo | 5.1429 |
| 63 | Ejido Ixpuchiapan | -0.7957 | Alto | 8.3348 |
| 65 | La Providencia | -0.3496 | Alto | 11.8766 |
| 67 | La Ocotalera | -0.2419 | Alto | 12.7320 |
| 68 | Barrio Santa Teresa | -0.8696 | Medio | 7.7481 |
| 69 | Colonia Lázaro Cárdenas Ixpuchiapan | -0.3802 | Alto | 11.6339 |
| 71 | La Ciénega | -1.1504 | Bajo | 5.5191 |
| 72 | San Diego | -1.1200 | Bajo | 5.7603 |
| 73 | San José el Cuartel | -1.2367 | Bajo | 4.8339 |

Fuente: CONAPO, 2012.