



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA
FORESTAL DEL BOSQUE DE AGUA, DESDE
JILOTZINGO HASTA CHAPA DE MOTA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LIC. EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A:

DIANA MINERVA ÁNGELES MIRAMONTES



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSÉ LÓPEZ GARCÍA
LOS REYES IZTACALA.
EDO. DE MÉXICO 2018**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Gracias al apoyo del proyecto PAPIIT IN205215 “Evaluación de los cambios de cobertura forestal en Áreas Naturales Protegidas” fue posible la realización de este estudio.

*A mi familia y a Argenis, quienes siempre me apoyaron y
por ser una parte muy importante en mi vida, los amo.*

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVO.....	6
ANTECEDENTES	7
ÁREA EN ESTUDIO	8
<i>DELIMITACIÓN</i>	8
<i>LOCALIZACIÓN</i>	12
<i>FISIOGRAFÍA</i>	13
<i>GEOLOGÍA Y LITOLOGÍA</i>	14
<i>HIDROLOGÍA</i>	16
<i>Superficial</i>	16
<i>Subterránea</i>	16
<i>SUELOS</i>	18
<i>CLIMA</i>	20
<i>VEGETACIÓN</i>	23
<i>FLORA Y FAUNA</i>	25
<i>ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS</i>	27
METODOLOGÍA	29
- <i>PREPARACIÓN DEL MATERIAL DIGITAL</i>	29
- <i>CLASIFICACIÓN DE LA DENSIDAD DE COBERTURAS</i>	30
- <i>ZONIFICACIÓN FORESTAL</i>	35
RESULTADOS.....	37
- <i>ANÁLISIS DE LA COBERTURA FORESTAL</i>	37
- <i>Análisis por Área Natural Protegida</i>	44
- <i>Análisis por subcuencas</i>	48
- <i>Análisis por municipios</i>	52
- <i>Análisis del Parque Estatal Chapa de Mota periodo 1985-2015</i>	57
- <i>ZONIFICACIÓN FORESTAL</i>	65
DISCUSIÓN	69
- <i>CAMBIOS DE COBERTURA FORESTAL</i>	69
- <i>ZONIFICACIÓN FORESTAL</i>	77
CONCLUSIONES	79
LITERATURA CITADA	80

INTRODUCCIÓN

Los bosques son considerados ecosistemas "antropizados" debido a que su transformación comenzó desde la práctica de la agricultura, hace alrededor de 10,000 años y durante los últimos 5,000 años, se estima que se han perdido 1.8 mil millones de hectáreas de bosque en el mundo. En América, la pérdida de bosques a gran escala comenzó con la llegada de los europeos. Probablemente, el 75% de la superficie era forestal y declinó en 70% para inicios del siglo XX. De acuerdo con la CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) (2012), nuestro país está cubierto en un 33% de vegetación forestal arbolada, del cual, 21% es bosque templado (Challenger, 2003). Durante el siglo pasado, México fue uno de los países con mayores tasas de deforestación. Las causas son múltiples: programas de gobierno, tala ilegal, crecimiento urbano y ocupación del suelo. A partir del 2004, la tasa de deforestación en México ha disminuido considerablemente, gracias a los esfuerzos de instancias gubernamentales, así como el apoyo de algunas ONG (Organizaciones No Gubernamentales) y de comunidades.

Sin embargo, no sólo la deforestación es un indicador de la condición de los bosques, también lo es la densidad en la que se encuentra el dosel arbóreo. Por ejemplo, la cantidad y calidad de la luz que llegan a estratos más bajos del bosque, la cantidad de agua que se evapora o escurre y la temperatura local y del suelo se ven influenciados por esta (Spurr y Barnes, 1992).

El análisis de la cobertura boscosa a través de la interpretación de fotografías aéreas, permite la acertada discriminación de las diferentes densidades del dosel, por la alta resolución que ofrece (2m/pixel). De esta forma, por medio de la evaluación multitemporal, se pueden determinar 6 procesos de cambio de cobertura forestal, los cuales se pueden dividir en positivos y negativos. Dentro de éstos primeros se encuentran: a) la densificación, definida como el aumento en la densidad del dosel; b) la reforestación, que es el cambio de terreno deforestado a uno forestado y c) la forestación como cambio de ocupación del suelo no forestal, a terreno forestal. Este último proceso se da únicamente por reforestación. Los cambios negativos son la disminución de la densidad forestal; la deforestación, la cual se define como la remoción de todo el arbolado hasta el 10% o menos de cobertura y el cambio de uso de suelo (SEMARNAP, 1998; FRA, 2000) (Figura 1).

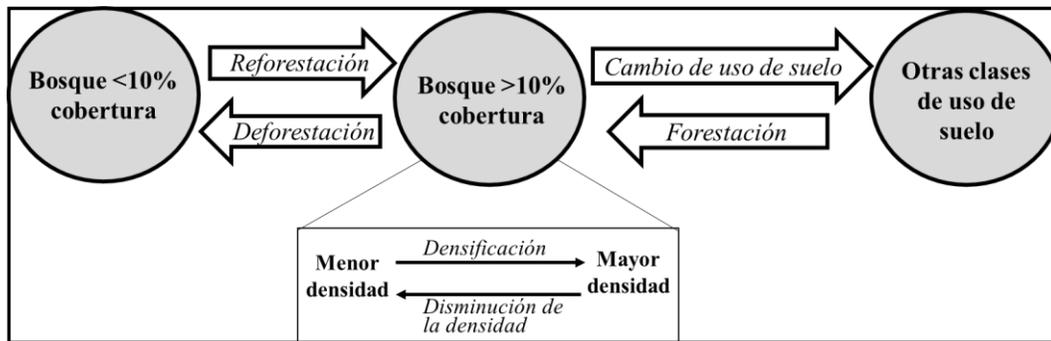


Figura 1. Diagrama de cambios en la cobertura del bosque. Modificado de (FRA, 2000).

La región denominada Bosque de Agua (Figura 2), es uno de los continuos forestales más extensos e importantes de la región central de México, por su proximidad con la Ciudad de México y las zonas metropolitanas de Toluca y Cuernavaca, y porque es fuente de aproximadamente el 70% del agua utilizada en estas ciudades (ECOBA, 2012). Abarca la Sierra de las Cruces y la Sierra de Ajusco-Chichinautzin. Este bosque, constituye uno de los pocos macizos forestales en buen estado de conservación en el centro de México. Debido a esto, en los últimos años ha tomado una gran relevancia gracias a la Iniciativa Bosque de Agua, encabezada por la ONG Conservación Internacional. Esta iniciativa pretende conservar los bosques y mejorar las prácticas de aprovechamiento de recursos naturales.

Conocer el estado de conservación y deterioro del Bosque de Agua, resulta de gran relevancia para asegurar la prevalencia de sus recursos naturales para las futuras generaciones.

OBJETIVO

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar los cambios de la cobertura forestal de una región dentro del Bosque de Agua, que incluye los municipios de Atizapán de Zaragoza, Chapa de Mota, Isidro Fabela, Jilotzingo, Jiquipilco, Morelos, Nicolás Romero, Oztolotepec, Temoaya, Tepotzotlán y Villa del Carbón, Estado de México, en el período de 1994 a 2015, así como definir zonas, de acuerdo a lo planteado por Moseley (1976) para parques nacionales, que por sus características y por sus cambios en la densidad forestal en ese período de tiempo, sea conveniente conservar o recuperar.



Figura 2. Localización del Bosque de Agua.

ANTECEDENTES

Los asentamientos humanos y más recientemente el desarrollo urbano, han provocado la pérdida de los ecosistemas naturales presentes en la zona central de México. Aproximadamente, el 29% de la superficie del Estado de México es bosque (INIFAP, 2014), el cual se ha visto afectado por los factores antropogénicos mencionados anteriormente. Durante el siglo pasado específicamente a partir de 1947, fue una de las entidades cuyos terrenos forestales considerados en ese tiempo como tierras ociosas sin valor, fueron desmontados con el propósito de volverlos "productivos" a través de la agricultura. El resultado de esta medida y la falta de control en la aplicación de ésta, fue el aumento en la pobreza y degradación de la zona (Castaños, 2015).

Dada la situación de degradación de los bosques en esas fechas, a finales de 1969, se acordó la creación de la PROTINBOS (Protectora e Industrializadora de Bosques). Gracias a los esfuerzos de conservación y aprovechamiento racional de los recursos de los bosques en 1976 se registró un aumento del 11.6% en la productividad de éste, respecto al año anterior. Posteriormente, éste organismo público descentralizado fue desintegrado para dar lugar a la PROBOSQUE (Protectora de Bosques del Estado de México), la cual se ha

enfocado a labores de conservación, más que de explotación, a diferencia de la PROTINBOS (PROBOSQUE, 2016). Otro instrumento implementado para la conservación y recuperación de los bosques, ha sido el establecimiento de las ANP (Áreas Naturales Protegidas). En el Estado de México hay 88 ANP, las cuales están bajo la administración de la CENAPAF (Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna) lo cual lo hace el estado con más ANP del país (CEPANAF, 2014).

Por otra parte, a nivel federal, el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), implementado en 2003 tiene como objetivo la preservación de los bosques templados y tropicales, incluyendo el bosque mesófilo. Parte del presupuesto se obtiene de otra cuota del cobro de agua. Los criterios que la CONAFOR, dependencia a cargo de este programa, toma en consideración para la elegibilidad para el pago, son: cobertura forestal mayor al 80% del total, superficie de entre 50 y 4,000 ha, localización en zonas críticas para recarga de acuíferos y vinculación con abastecimiento de agua a localidades (DOF, 2003). De acuerdo con la CONAFOR (2017), el 10% de la superficie forestal del Estado de México está bajo el esquema del PSAH, el cual comenzó a operar en este estado en el año 2007.

ÁREA EN ESTUDIO

Delimitación

El Bosque de Agua es una zona montañosa que abarca la Sierra de las Cruces y la Sierra de Chichinautzin y está cubierta de bosques templados en buen estado de conservación. Esta región boscosa fue delimitada de acuerdo al terreno con pendiente mayor a 8°, cuya vegetación fuera bosque templado, en el año 2015. Su delimitación se llevó a cabo en el programa ArcMap 10.2, a escala 1:10,000.

Para generar los datos de altitud y relieve, se descargaron de INEGI las cartas topográficas de E14A18, E14A28, E14A29, E14A38, E14A39, E14A48, E14A49, E14A58, E14A59, E14B41 y E14B51 (Figura 3) para extraer las curvas de nivel cada 20 metros. Con estas curvas se construyó un mapa hipsométrico y a partir del MDE (resolución 15m por pixel) generado con él, se hizo el mapa de pendientes (Figura 4).

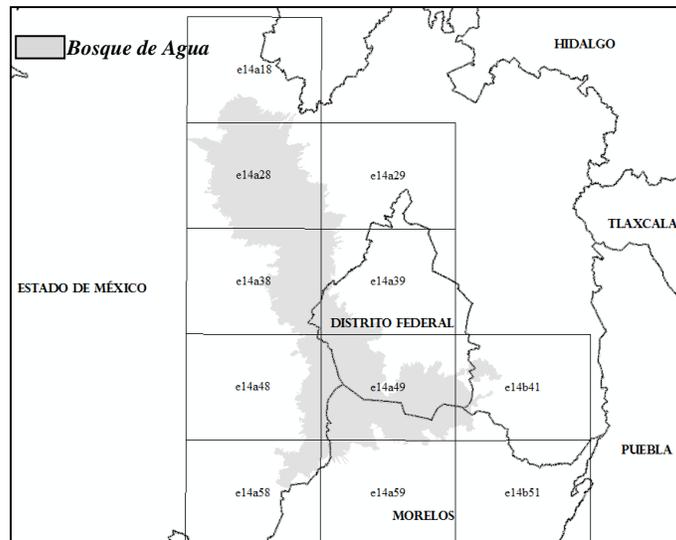


Figura 3. Índice de cartas topográficas.

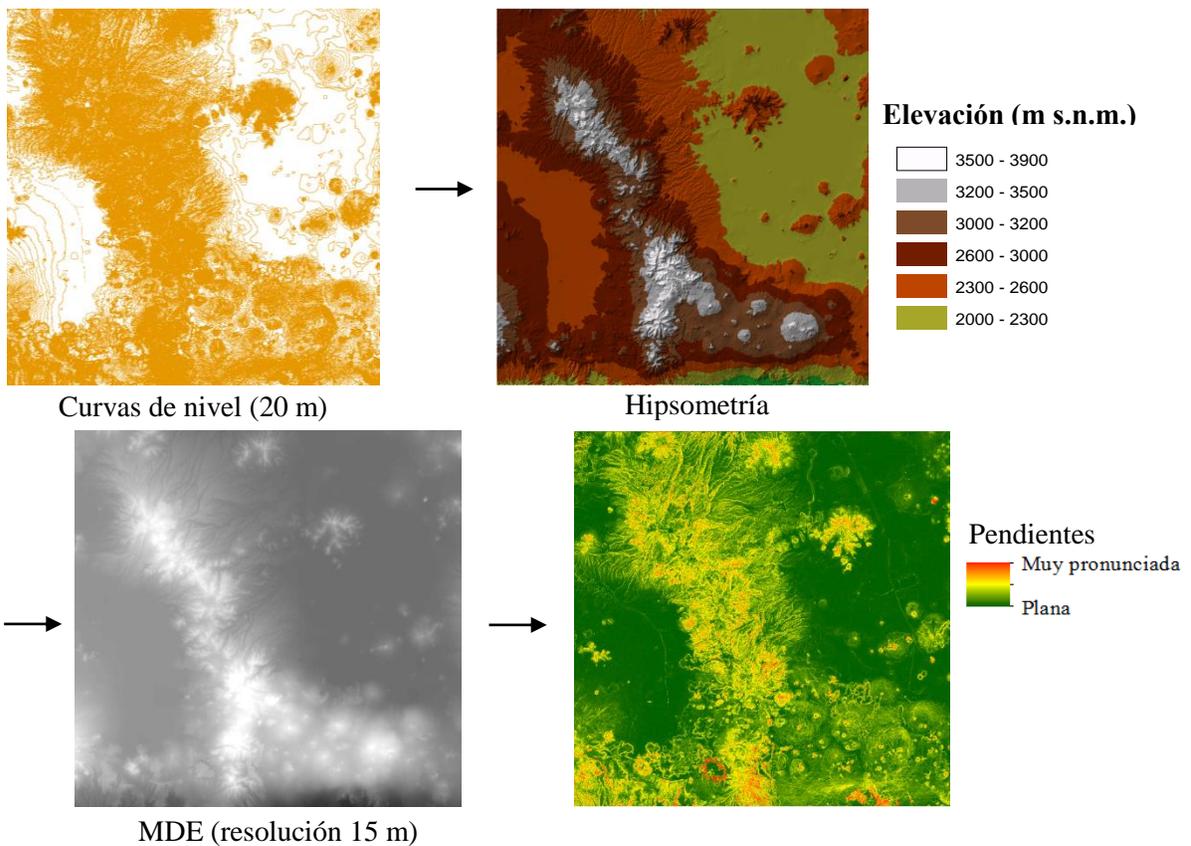


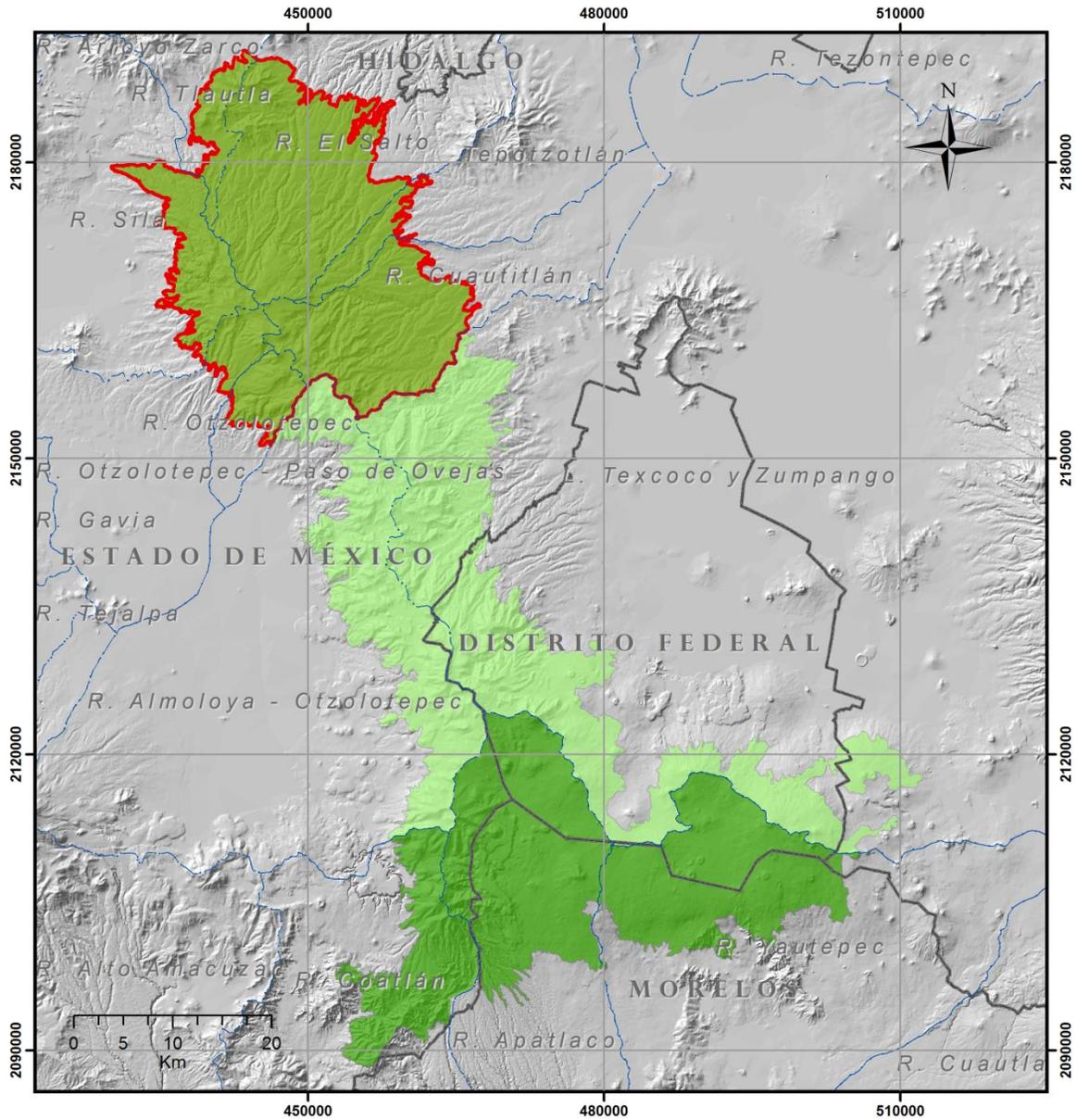
Figura 4. Productos generados para la obtención del mapa de pendientes (Fuente: INEGI,).

Posteriormente se hizo una reclasificación de éstas para obtener 6 categorías que se describen a continuación:

Cuadro 1. Clasificación del terreno con base en la pendiente (tomado del Information Technology Department, 2008).

Descripción del terreno	Ángulo de la pendiente
Plano	0-2°
Pendiente mínima	2-5°
Pendiente suave	5-8°
Pendiente moderada	8-15°
Pendiente moderada a pronunciada	15-30°
Pendiente muy pronunciada	>30°

Las zonas de bosque templado (Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2014) se incluyeron como parte del Bosque de Agua; en cuanto a las zonas que no tuvieran bosque, pero su terreno fuera preferentemente forestal (pendiente mayor a 8°), también fueron incluidas. La cota de los 2,600 m s.n.m. se consideró como límite inferior por las zonas asociadas a recarga de acuíferos (Peñuela-Arévalo, 2007), sin embargo la zona sur se encuentra a 1,900 msnm y se incluyó por la continuidad del bosque y lo accidentado del terreno. El polígono final del Bosque de Agua fue dividido en tres fracciones (Figura 5), siendo el límite entre ellas las subcuencas las cuales fueron tomadas de INEGI (2007).



Fracciones

- I
- II
- III

SIMBOLOGÍA

- Área en estudio
- Límite estatal
- Límite de subcuencas

Proyección Transversa de Mercator
 Datum WGS84
 Sistema de coordenadas UTM Zona 14N
 FUENTE: INEGI, 2007

Figura 5. Localización del área en estudio dentro del Bosque de Agua.

Localización

En el presente estudio, se analizó la fracción I, la cual se localiza en las coordenadas extremas 429982.856 en X, 2191399.648 en Y y 473083.547 en X, 2153458.322 en Y, huso 14, zona Q (Figura 6), en el Estado de México, incluye los municipios de Chapa de Mota, Villa del Carbón, Morelos, Jiquipilco, Nicolás Romero, Temoaya, Isidro Fabela, Oztolotepec, Jilotzingo y Atizapán de Zaragoza. El área total es de 77,580 ha.

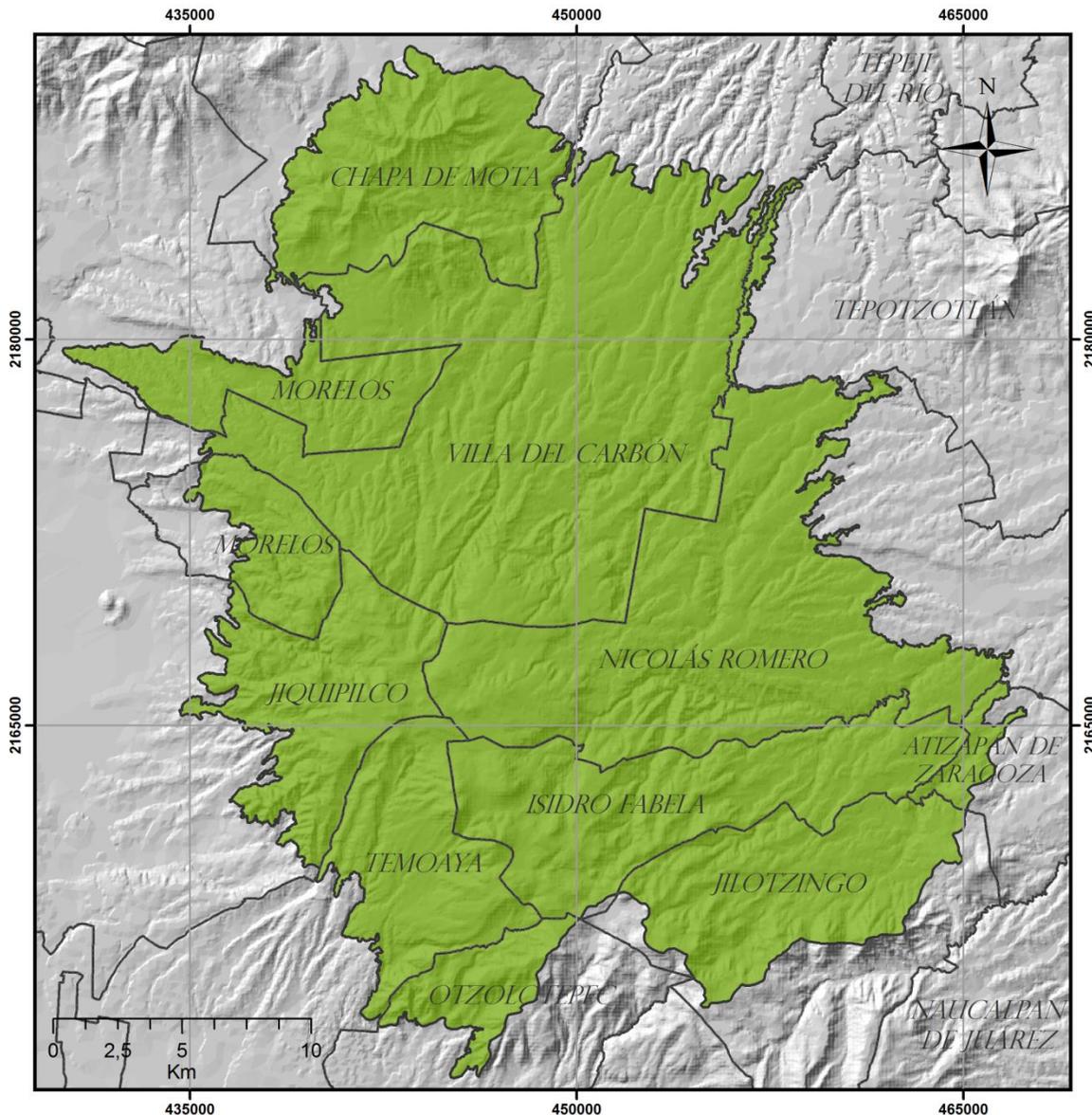


Figura 6. Municipios que abarcan el área en estudio.

Fisiografía

Esta región forma parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transversal (ENT) (Figura 7), formada en el Terciario Tardío. Se encuentra dentro de la subprovincia de Lagos y Volcanes del Anáhuac, que se caracteriza por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias (INEGI, 2001).

Se localiza en la zona norte de la Sierra de las Cruces, y se extiende hacia la zona montañosa del municipio de Chapa de Mota. A esta altura, ocupa parte del valle de Jilotepec, en la Sierra de Monte Alto y Monte Bajo (Brambila, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2005).

En la zona de estudio se encuentran los volcanes La Bufa, La Catedral e Iturbide (García *et al.*, 2008).

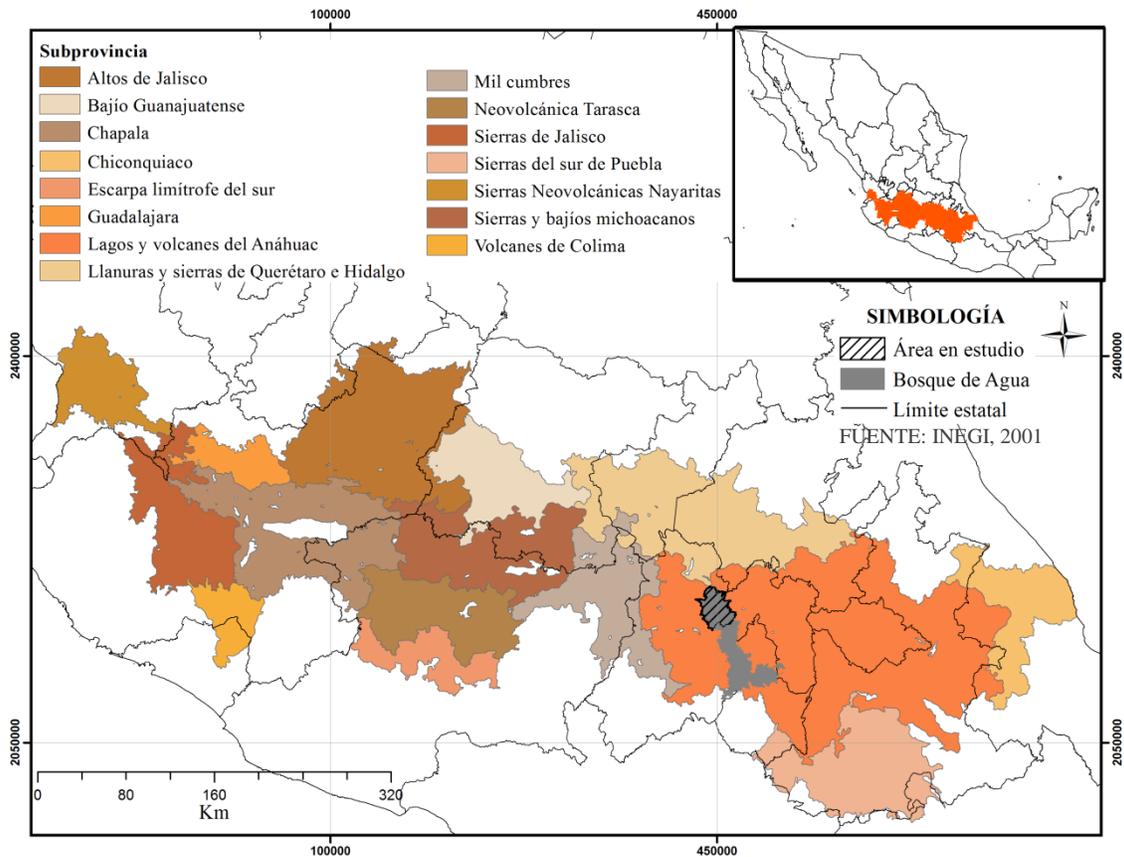


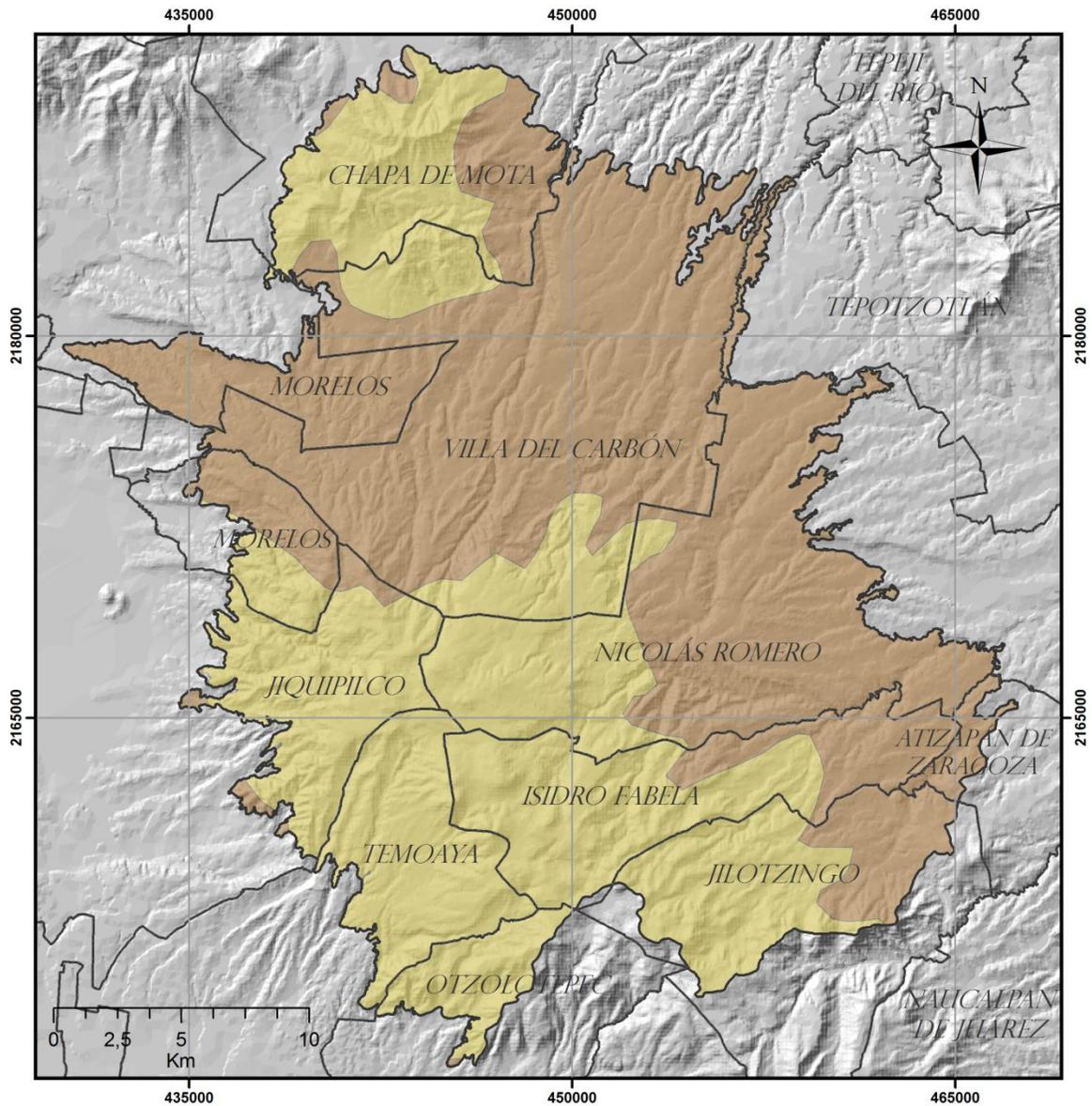
Figura 7. Fisiografía del Eje Neovolcánico Transversal y subprovincias fisiográficas. Fuente: INEGI (*op cit.*).

Geología y litología

La Sierra de las Cruces, se formó en su mayor parte durante el Plioceno Tardío y el Pleistoceno Temprano. Está constituido principalmente de materiales ígneos como derrames de lava, extrusión de domos, flujos piroclásticos de detritos y lodos, y de depósitos de avalanchas de escombros (García *et al.*, *op. cit.*). Los depósitos de piroclastos son principalmente brechas y tobas (García, 2008). Los tipos de roca que hay se pueden dividir en volcanoclásticas e ígneas extrusivas básicas (Figura 8). Las rocas volcánicas se encuentran sobre rocas calcáreas y calcareoarcillosas del Cretácico (ESIA, 2010).

La actividad volcánica del Eje Neovolcánico Transversal, comenzó aproximadamente 7 millones de años atrás. Este vulcanismo se ve caracterizado por los conos cineríticos, volcanes escudo, flujos de lava fisurales y secuencias de mesetas (Osete *et al.*, 2000).

En la zona más antigua de la Sierra de las Cruces, las rocas andesíticas del tipo hornblenda, se encuentran fracturadas y presentan poca compactación. Al cubrir el suelo, estas rocas reducen la permeabilidad (Sugiura, 2005). De esta forma, el agua circula al interior de las rocas "cortándolas" a través de grietas. El drenaje que se desarrolla en este tipo de roca, es dendrítico.



Tipo de roca

- Volcanoclástico
- Ígnea extrusiva básica

SIMBOLOGÍA

- Límite del área en estudio
- Límite municipal

Proyección Transversa de Mercator
 Datum WGS84
 Sistema de coordenadas UTM Zona 14N
 FUENTE: INEGI, 2005

Figura 8. Tipos de roca en La zona en estudio. Los dos tipos son de origen ígneo.

Hidrología

Superficial

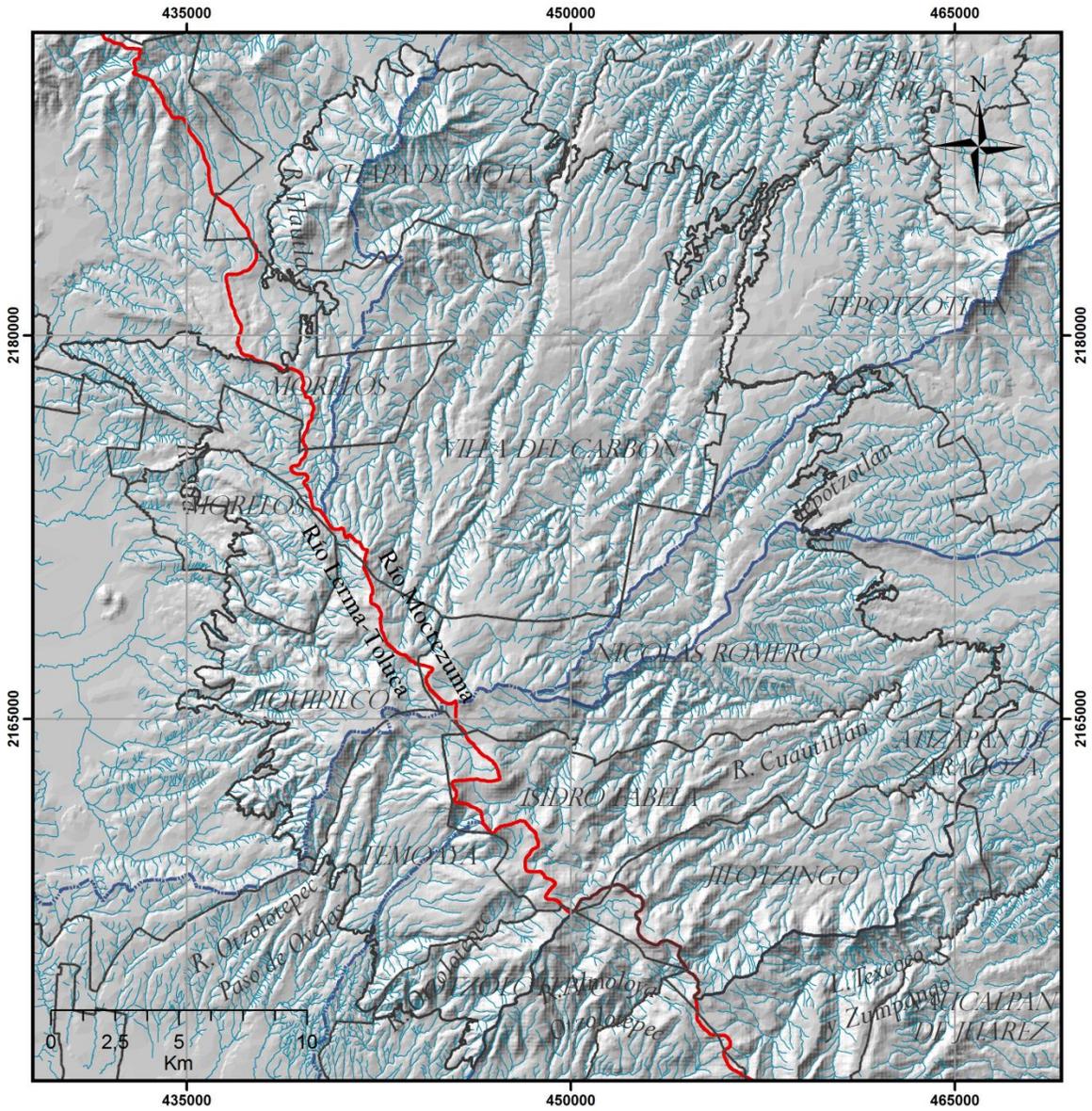
La zona de estudio se encuentra entre la cuenca del Lerma-Toluca al oeste y la del río Moctezuma, al este. En la primera se localizan las subcuencas del río Sila, del río Oztolotepec, río Oztolotepec-Paso de Oveja y en la segunda las subcuencas del río Tlautla, de Tepotzotlán, río Cuautitlán y del río El Salto (Figura 9). Estas subcuencas constituyen las cabeceras hídricas, que dan lugar a múltiples ríos.

De las partes altas surgen numerosas corrientes de agua perenes e intermitentes. Los ríos y arroyos perenes dentro de la zona son el río Solanos, arroyo La Concepción, Xinte, arroyo Grande, arroyo Chiquito, arroyo El Pescado, río San Jerónimo, río El Salto, río Los Sabios, arroyo Piedra Azul, arroyo Verde, río El Oro, río Agua Blanca, río San Bartolo, arroyo La Carreta, río Los Ajolotes, arroyo Paso de las Muelas, arroyo La Piedra, arroyo México, río San Pedro, arroyo Barranca Seca, río Las Palomas, arroyo Tres Hojuelos, río Frío, río Pozo Hondo, arroyo La Ceniza y río San Rafael. Las corrientes intermitentes por su parte, llegan a sumar más de 3,000, formando un drenaje muy denso (INEGI-INECONAGUA, 2007).

En total, se encuentran poco más de 1,600 manantiales distribuidos en los municipios de Jilotzingo (80), Isidro Fabela (290), Temoaya (127), Oztolotepec (145), Villa del Carbón (577), Nicolás Romero (162) y Jiquipilco (258) (IEECC, 2017). Por último, de acuerdo a INEGI (2014) hay 39 presas cuya agua tiene origen en el área en estudio, y todas se encuentran en operación.

Subterránea

Debido a que en la zona en estudio presenta permeabilidad media a alta (INEGI, 2000), el escurrimiento superficial se intensifica. Como se mencionó en el apartado de ***Litología y geología***, las rocas andesíticas hornblendas son las que reducen la permeabilidad del terreno.



- SIMBOLOGÍA**
- Límite de cuencas
 - - - - Límite de subcuencas
 - Corrientes de agua
 - Límite del área en estudio
 - Límite municipal

Proyección Transversa de Mercator
 Datum WGS84
 Sistema de coordenadas UTM Zona 14N
 FUENTE: INEGI-INE-CONAGUA, 2007.

Figura 9. Cuencas, subcuencas y principales corrientes de agua del área de estudio.

Suelos

Los suelos principales de la zona en estudio son el Andosol (64.39%), Luvisol (31.72%) y el Feozem (3.43%). Otros tipos de suelos presentes, son el Cambisol, Fluvisol, Planosol y Vertisol que en conjunto suman el 0.43% (Figura 10) (INEGI, 2006).

Los andosoles son suelos desarrollados, que son de origen volcánico, compuestos principalmente de ceniza. Estos suelos retienen mucha humedad, contienen alta cantidad de fósforo por lo que no son aptos para cultivo y generalmente son de color oscuro (FAO, 2007). Los luvisoles son ricos en arcilla, bajo contenido de nutrientes debido a la lixiviación (Cabrero y López, 1989). Los suelos tipo feozem contienen altas cantidades de materia orgánica y nutrientes, son poco profundos y tienen buen drenaje; se recomienda que siempre esté provisto de vegetación por ser inestables (CentroGeo, 2017).

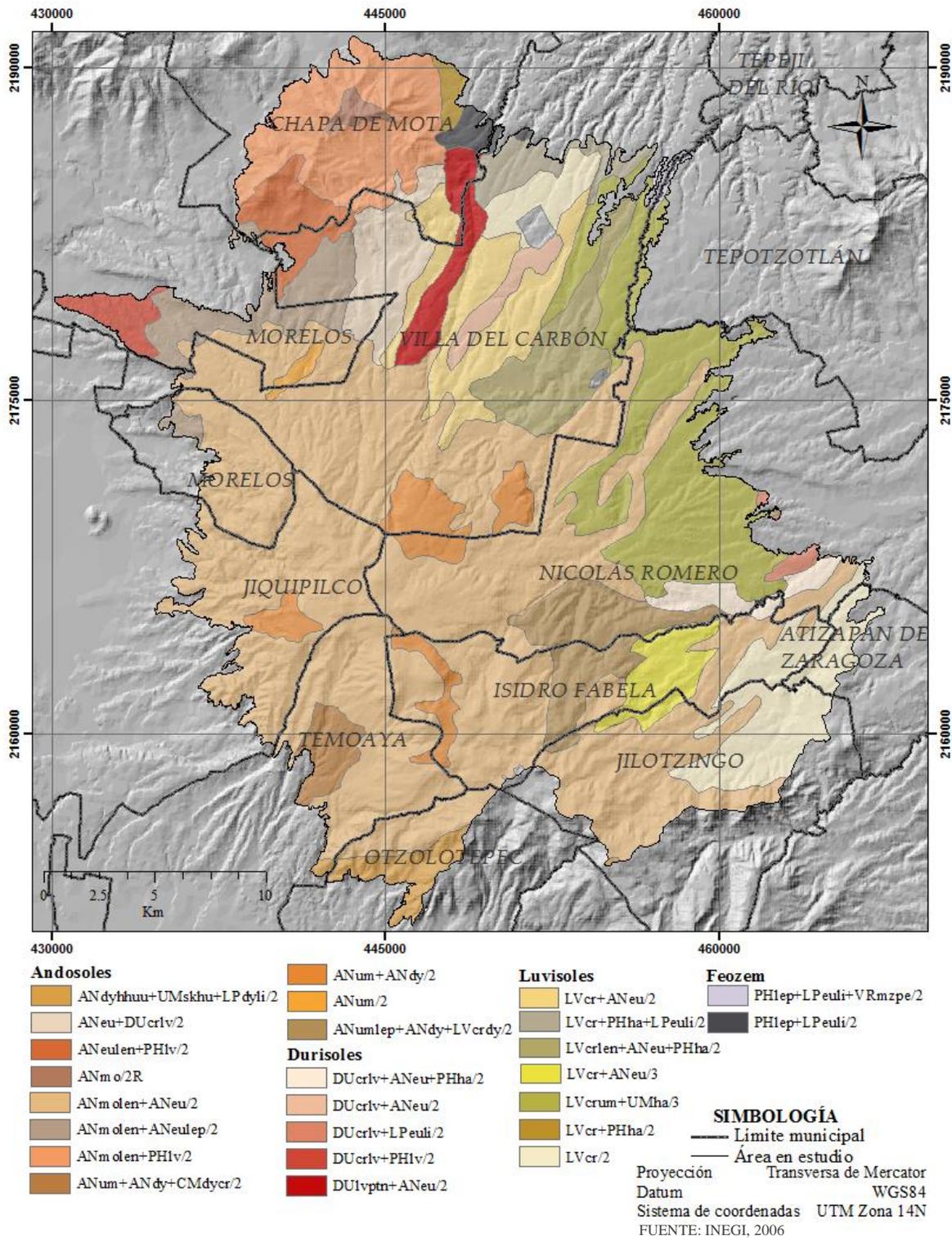
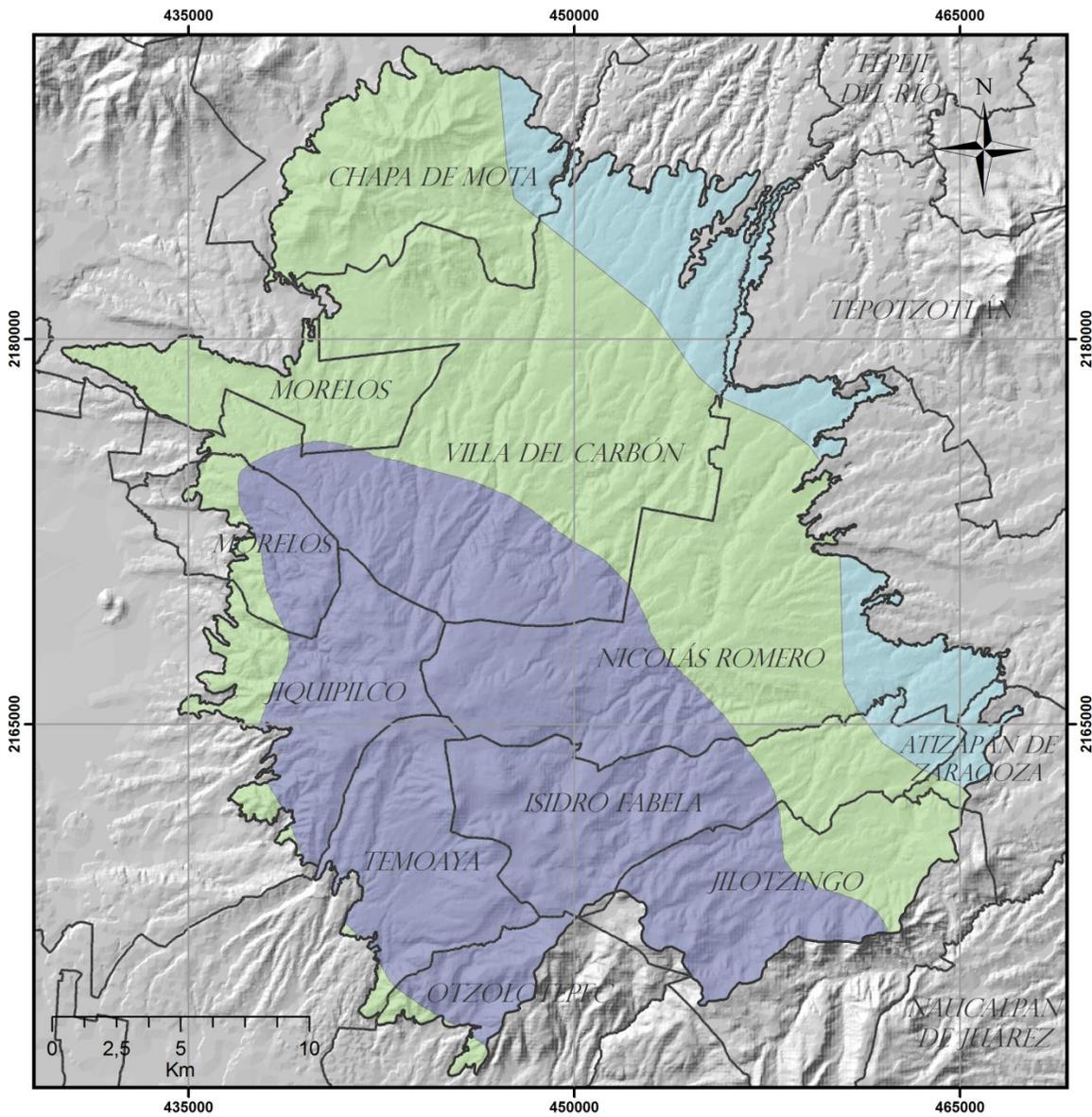


Figura 10. Tipos de suelo dominantes en la zona en estudio.

Clima

En el área de estudio, existen 3 tipos de clima (Figura 11). El primero es C(w1), que corresponde a templado subhúmedo, con lluvias en verano. Es el más seco de los subhúmedos y la temperatura media anual va de los 12 a los 18°C. Se distribuye entre los 2,400 y 2,800 m s.n.m. A mayor altitud, se encuentra el clima C(w2), que presenta el mismo rango de temperaturas que el C(w1), pero es más húmedo. El tercer tipo de clima es el Cb'(w2). Éste es semifrío y se presenta en las partes más alta de la zona en estudio. La temperatura media anual es de entre 5 y 12°C y la precipitación total anual es de entre 200 y 1,800 mm (INEGI, 2010).

A continuación se muestran los diagramas ombrotérmicos con datos de tres estaciones meteorológicas dentro del área en estudio. La de menor altitud se localiza en la parte oriente del área en estudio, en el municipio de Nicolás Romero, a 2,430 m de elevación. En esta, la temperatura media anual va de los 12.4 a 17.6°C, siendo el mes más frío enero, y los más cálidos mayo y junio. La mayor precipitación se presenta en julio y el mes más seco es diciembre. La precipitación normal anual es de 898 mm (Figura 12).



Tipo de clima

- C(w1)
- C(w2)
- Cb'(w2)

SIMBOLOGÍA

- Límite del área en estudio
- Límite municipal

Proyección Transversa de Mercator
 Datum WGS84
 Sistema de coordenadas UTM Zona 14N
 FUENTE: INEGI, 2010

Figura 11. Climas. Los climas C(w1) y C(w2) son templados subhúmedos y el Cb'(w2), semifrío. Éste último se encuentra en la parte más elevada de la zona, alrededor de los 3,700 m.

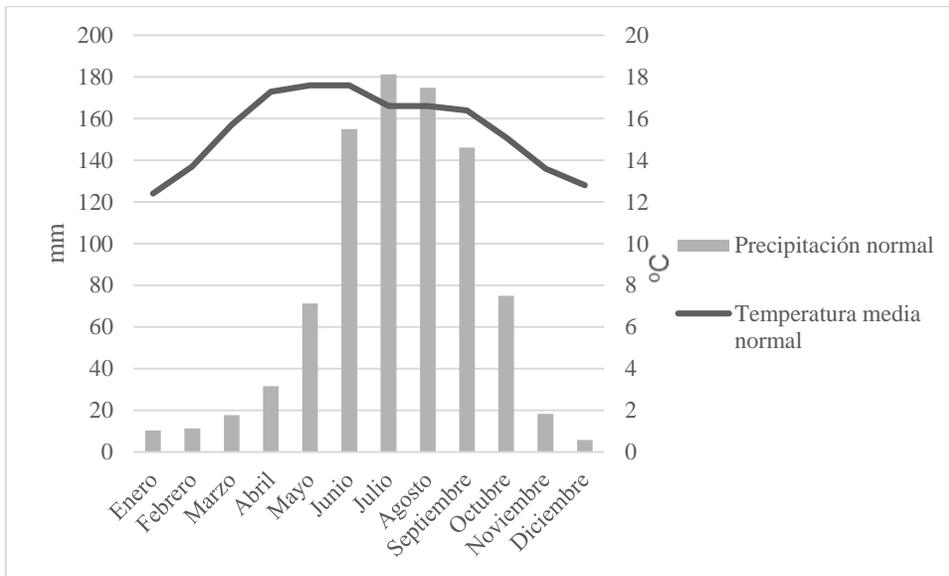


Figura 12. Diagrama ombrotérmico Estación Colonia Vicente Guerrero (Localización: 462800 en X, 2166765 en Y, zona 14Q; altitud: 2,430 m).

En una zona más alta, a 2,890 m s.n.m. y en el municipio de Villa del Carbón, se encuentra la estación meteorológica, Monte de Peña. Los valores que ésta reporta de temperatura media normal van de los 12°, en enero y diciembre, a los 16.4°C en mayo. El mes más lluvioso es agosto, con precipitación de 227.9 mm; en contraste, el mes en el que menos llueve es marzo, con 12 mm de precipitación (Figura 13).

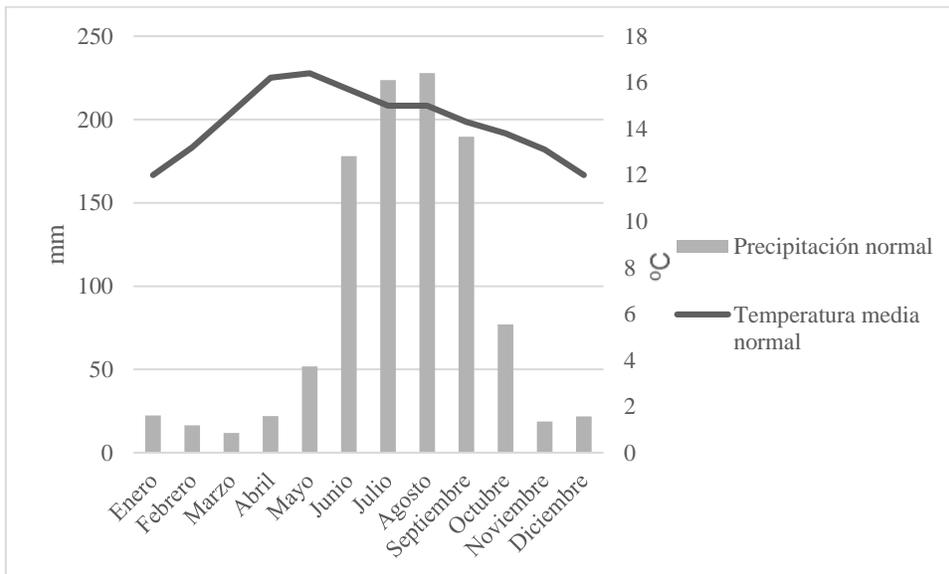


Figura 13. Diagrama ombrotérmico Estación Monte de Peña (Localización: 442632 en X, 2181911 en Y, zona 14Q; altitud: 2,890 m).

Por último, se presentan los datos de la estación meteorológica Presa Iturbide, la cual se encuentra en el municipio de Isidro Fabela a 3,290 m s.n.m., que ya corresponde al clima Cb'(w2). En esta área, la temperatura media normal del mes más frío es de 6.3°C, en el mes de diciembre. El mes con mayor temperatura media normal es mayo, con 10.9°C. Por otra parte, la precipitación media va de 14.5 a 304.9 mm, en diciembre y julio, respectivamente (Figura 14).

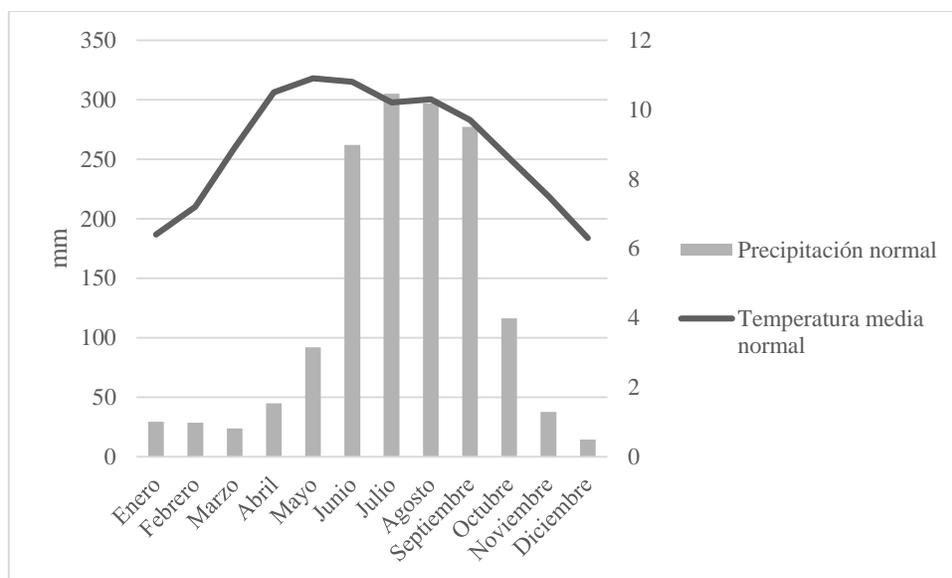


Figura 14. Diagrama ombrotérmico Estación Presa Iturbide (Localización: 451303 en X, 2159477 en Y, zona 14Q; altitud: 3,290 m).

Vegetación

El tipo de vegetación predominante son los bosques templados. De acuerdo al Inventario Nacional Forestal y de Suelos (2014) hay alrededor de 51,000 ha de bosques en la zona: Bosque de oyamel (29.29%), bosque de pino (7.62%), bosque mixto (30.52%), bosque de encino (26.56%). También incluye el bosque cultivado, que se refiere a las forestaciones, que abarca el 5.99% de la superficie (Figura 15) (INEGI, 2011).

El bosque de oyamel, es el que tiene una distribución más restringida, ya que se desarrolla entre los 2,400 y 3,600 msnm. Su desarrollo requiere de condiciones como alta humedad, precipitación e insolación. Aparecen en su mayoría en suelos profundos

ligeramente ácidos y de origen volcánico. Los árboles que lo componen, alcanzan alturas de hasta 50m. La agricultura ha provocado que se pierdan grandes extensiones de este tipo de vegetación, sobre todo en las masas forestales con baja densidad de cobertura (Rzedowski, 2005). Esta comunidad presenta ecotono con el bosque de pino. En el límite superior con masas casi puras de *Pinus hartwegii* y en el inferior con otras especies del mismo género.

En general, el bosque de pino se puede encontrar desde los 300 m s.n.m., hasta los 4,000, aunque la mayoría aparece entre los 1,500 y 3,000 m. Se distribuye más ampliamente en las serranías, de clima templado y semifrío. Los suelos en donde se desarrollan son profundos de alto contenido de materia orgánica y generalmente de origen volcánico. Aunque pueden llegar a tener deficiencia de algunos minerales, el área en estudio, al encontrarse dentro del Eje Neovolcánico Transversal, es uno de los lugares con más taxa del género *Pinus*, con 23 en total (Eguiluz, 1982).

Asociado al bosque de pino se encuentra el bosque de encino, que en su mayoría se distribuye entre los 1,200 y 2,800 m s.n.m., aunque se les puede encontrar desde el nivel del mar hasta los 3,100 m, en regiones de clima templado y semihúmedo. Este tipo de vegetación se puede establecer en suelos poco desarrollados y profundos (Rzedowsky, *op. cit*). Se encuentran en forma de arbustos o árboles, donde algunos son caducifolios. En serranías, como el área en estudio, los bosques de encino son densos y muy altos. Estos dos tipos de vegetación, al encontrarse en sitios favorables para el desarrollo de cultivos como maíz, frijol, papa, haba, entre otros, son susceptibles a ser sustituidos por estos. Al representar un importante patrimonio natural para el País, estos ecosistemas deben de ser conservados y usados racionalmente (Miranda y Hernández, 1963).

Flora y fauna

Los géneros de flora que se llegan a encontrar incluyen algunas plantas parásitas de pinos y encinos como *Arceuthobium* y *Cladocolea*; herbáceas como *Fragaria mexicana*, *Potentillam*, *Gomphrena*, *Ranunculus*, *Cardamine*, *Sedum*, *Alchemilla*, *Rubus*, *Calliandra*, *Mimosa*, *Astragalus*, *Cologania obovata*, *Dalea*, *Lathyrus*, *Lotus*, *Lupinus*, *Phaseolus*, *Trifolium*, *Vicia sativa*, *Euphorbia*, arbustos del género *Cotoneaster*, *Cercocarpus*, *Crataegus mexicana*, *Holodiscus pachydiscus*, *Prunus*, *Rosa canina*, *Calliandria*, *Rubus*, *Mimosa* y árboles del género *Prunus*, *Mimosa*, *Quercus*, *Pinus* y *Abies* (Rzedowski, *op. cit.*).

La fauna más representativa de los bosques son la rata canguro (*Dipodomys*), el gato montés (*Felis silvestris*), la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), zorrillo (Mephitidae), coyote (*Canis latrans*), mapache (*Procyon lotor*). Como especies amenazadas se encuentran el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), y la mascarita transvolcánica (*Geothlypis speciosa*) (GEM, 2009).

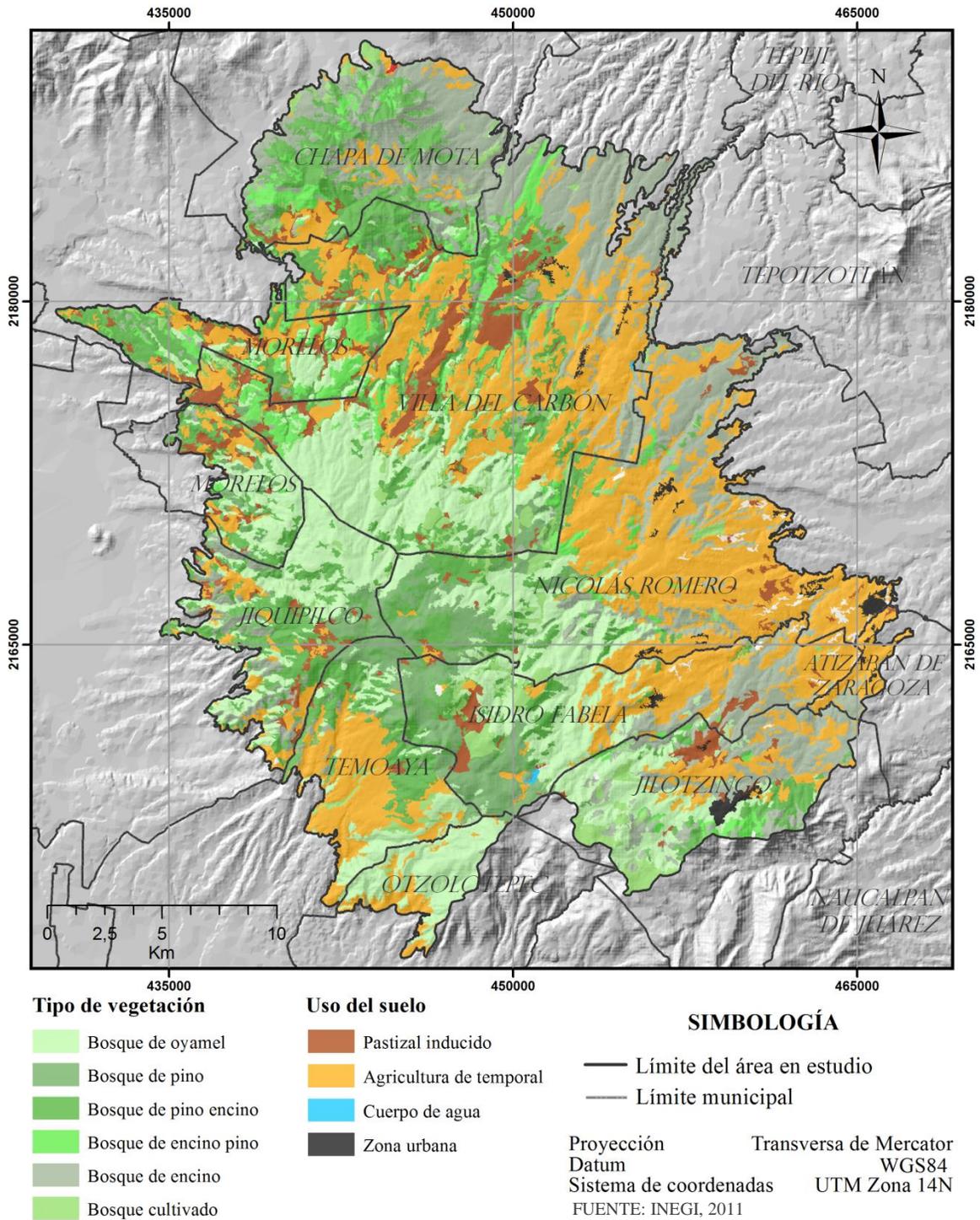


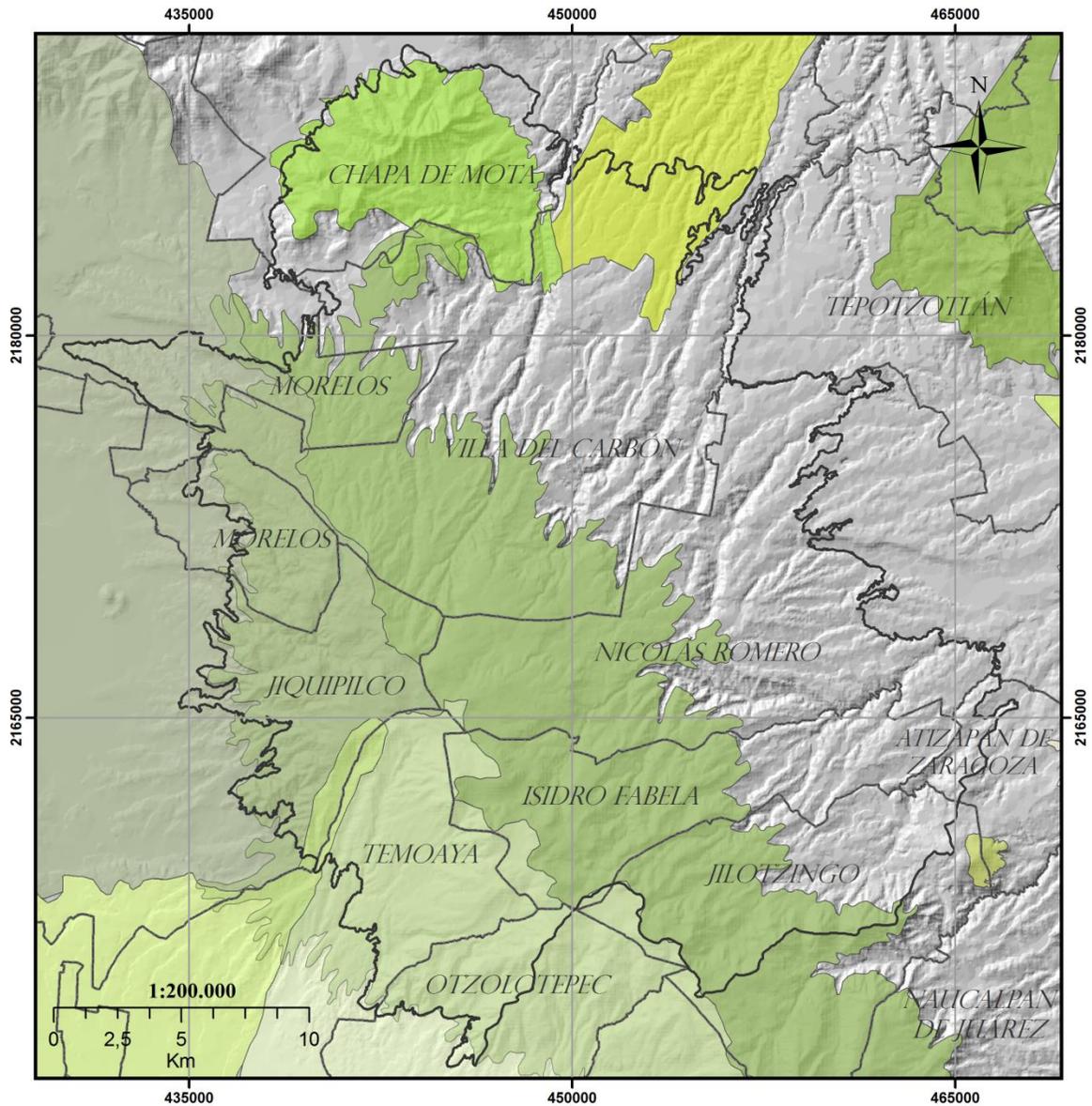
Figura 15. Tipos de vegetación y usos del suelo. Fuente: INEGI, 2011.

Áreas Naturales Protegidas

El área del presente estudio incluye los Parques Estatales Chapa de Mota y parte de la zona norte del Parque Ecológico, Turístico y Recreativo Zempoala La Bufa (Centro Otomí), los Santuarios del Agua y Forestales Presa Taxhimay (sólo la zona sur), la porción noreste del Subcuenca Tributaria Presa Antonio Alzate, Subcuenca Tributaria Arroyo Sila y Subcuenca Tributaria río Mayorazgo-Temoaya (Cuadro 2 y Figura 16). Todas estas ANP son de carácter estatal y representan una gran importancia tanto por su biodiversidad, como por los servicios ambientales de los que provee (Durán-Medina, *et al.*, 2007).

Cuadro 2. ANP dentro del área en estudio.

NOMBRE	MUNICIPIO	CATEGORÍA DE MANEJO	FECHA DECRETO	Ha TOTALES	Ha dentro de Bosque de Agua fracc. I
Parque Estatal Chapa de Mota	Chapa de Mota	Parque Estatal	26/05/1977	6364	6.122,76
Parque Ecológico, Turístico y Recreativo Zempoala La Bufa, denominado Parque Otomí – Mexica del Estado de México	Isidro Fabela, Jilotzingo, Nicolás Romero, Villa del Carbón, Jiquipilco, Lerma, Ocoyoacac, Otzolotepec, Temoaya, Xonacatlán, Huixquilucan, Naucalpan, Capulhuac, Xalatlaco, Tianguistenco, Ocuflán, San Bartolo, Morelos, Huitzilac	Parque Estatal	08/01/1980	72.027,56	38,414,23
Santuario del Agua y Forestal Presa Taxhimay	Villa del Carbón	Parque Estatal	12/05/2006	8.256,69	2.460,86
Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río Mayorazgo-Temoaya	Lerma, Xonacatlán, Otzolotepec, Temoaya, Jilotzingo, Nicolás Romero e Isidro Fabela	Parque Estatal	12/05/2006	53.476,79	7.423,02
Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Arroyo Sila	Atlacomulco, Ixtlahuaca, Jiquipilco, Jocotitlán, Morelos y Villa del Carbón	Parque Estatal	12/05/2006	25.224,79	9.758,43
Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Presa Antonio Alzate	Almoloya de Juárez, Jiquipilco, Temoaya y Toluca	Parque Estatal	12/05/2006	11.540,93	732,16



Áreas Naturales Protegidas

Parques Estatales

- Santuario del Agua y Forestal Presa Taxhimay
- Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Arroyo Sila
- Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Presa Antonio Alzate
- Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río Mayorazgo-Temoaya
- Chapa de Mota
- Sierra de Tepozotlán

Zona Sujeta a Conservación Ecológica

- Espíritu Santo (Cerro de Chiluca)

Parque Ecológico Turístico y Recreativo

- Zempoala - La Bufa "Otomí-Mexica"

SIMBOLOGÍA

- Límite del área en estudio
- Límite municipal

Proyección Transversa de Mercator
 Datum WGS84
 Sistema de coordenadas UTM Zona 14N
 FUENTE: CONANP, 2009

Figura 16. Áreas Naturales Protegidas en la fracción I del Bosque de Agua.

METODOLOGÍA

-Preparación del material digital

Se utilizaron imágenes SPOT6 del 2015, las cuales fueron solicitadas a la ERMEX-SPOT (Estación de Recepción México-SPOT) a través de una gestora del Instituto de Geografía, UNAM. Para este trabajo, se utilizó la imagen pancromática cuya resolución es de 1.5m/pixel. Se solicitaron a INEGI un total de 13 ortofotos de 1993 y 1994 (Figura 17), con resolución de 2m por pixel. Adicionalmente, a través de la PROBOSQUE, se obtuvieron ortofotos de 1985, correspondientes al Parque Estatal Chapa de Mota (Figura 18). Tanto las imágenes SPOT como las ortofotos fueron reproyectadas al sistema UTM, zona 14N, con Datum WGS84.

Las imágenes SPOT se georreferenciaron usando el BaseMap de ESRI (Imagery). Posteriormente el mosaico resultante de las ortofotos (tanto de 1985 como 1994) fue georreferenciado con las imágenes SPOT con el software ERDAS Imagine (Leica Geosystems, Atlanta, EUA). Se ejecutó un APM (Automatic Point Matching) para la generación automática de puntos de referencia, una vez obtenidos los puntos se procedió a calcular el límite de tolerancia de error (LTE) con la siguiente fórmula:

$$\text{LTE} = (\text{SD} * 2) + \text{RMSE}$$

El valor del LTE obtenido se redondeó al número menor inmediato y en la tabla desplegada del APM, los valores de Error mayores al LTE fueron eliminados. Posteriormente el APM se volvió a ejecutar. Este proceso se repitió dos veces, para disminuir el error cuadrático medio RMSE (Hexagongeospatial.fluidtopics.net, 2017). El método de remuestreo usado fue la convolución cúbica.

Para obtener las Áreas Naturales Protegidas del área en estudio se descargó de la página web de la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) el archivo shape de las ANP a nivel nacional (CONANP, 2009) para extraer sólo las que abarcan el área de este estudio. En el caso de los Santuarios del Agua y Forestales Presa Alzate y Arroyo

Sila se notó una disparidad entre los límites, por lo que se recurrió a revisar el decreto de cada una, de donde se tomaron las coordenadas extremas para volver a hacer cada polígono.

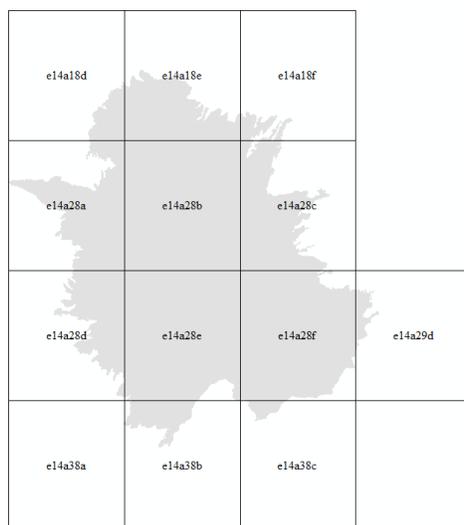


Figura 17. Índice de ortofotos solicitadas de 1993 y 1994.

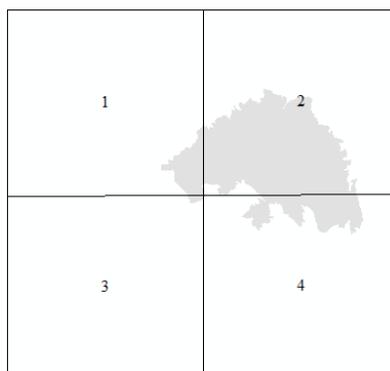


Figura 18. Cubrimiento de las ortofotos de 1985 del Parque Estatal Chapa de Mota..

-Clasificación de la densidad de coberturas

Se determinaron 6 categorías de densidad de cobertura forestal (Cuadro 3) y otras 6 no forestales (Cuadro 3), las cuales se digitalizaron a una escala de 1:5,000, siendo el área mínima cartografiada (AMC) 625m² para las áreas deforestadas y las no forestales. Para las densidades de cobertura forestal, el AMC fue de 0.7 ha, ya que por definición el bosque es aquella superficie arbolada mayor a 0.5 ha de extensión (FRA, 2015). Sin embargo, después

de una estandarización en la digitalización, se observó que el área mínima que se podía discriminar con confiabilidad en pantalla de las diferentes densidades del bosque era de 0.7 ha.

Cuadro 3. Categorías de densidad de cobertura forestal.

Clave	Tipo de cobertura	% cobertura forestal
1	Muy cerrada	>100
2	Cerrada	75 – 100
3	Semicerrada	50 – 75
4	Semiabierta	25 – 50
5	Abierta	10 – 25
6	Deforestada	<10

De acuerdo a los tipos de vegetación del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INIFAP, 2014), se extrajeron recuadros de 1 ha de las imágenes SPOT5 para generar la gráfica de densidades de la cobertura total, como sugieren Moncayo y colaboradores (1970) por tipo de vegetación arbórea correspondiente a las categorías aquí utilizadas (Figura 19).

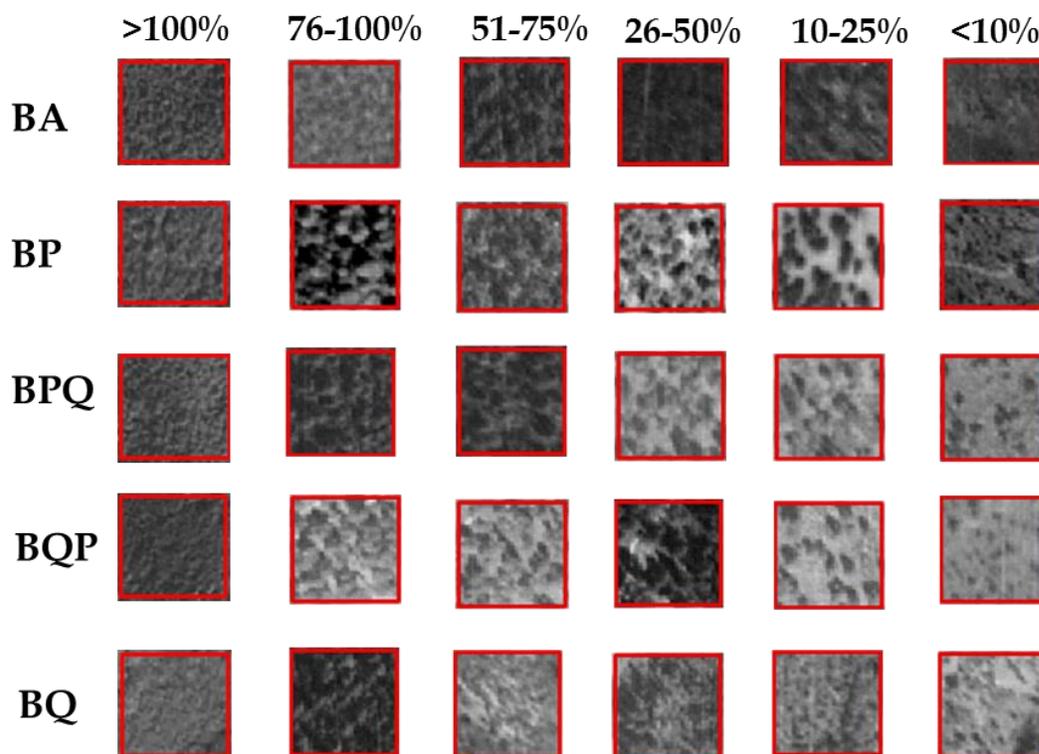


Figura 19. Gráfica de densidades por tipo de vegetación. Escala 1:10,000. BA) Bosque de *Abies*; BP) Bosque de Pino; BPQ) Bosque de pino-encino; BQP) Bosque de encino-pino; BQ) Bosque de encino.

Además, se etiquetaron los demás tipos de cobertura no forestal de la siguiente manera:

Cuadro 4. Coberturas no forestales.

Clave	Tipo de cobertura
7	Pastizal
8	Agricultura
9	Asentamientos humanos
10	Cuerpos de agua
11	Erosión/Sin vegetación aparente
12	Infraestructura

El primer año del que se digitalizó la cobertura, fue el 2015, ya que las imágenes SPOT5 que se usaron ya estaban ortorrectificadas y corregidas atmosféricamente. Una vez terminado este año, se sacó una copia del archivo shape y se le agregó otro campo etiquetado como 1994. A este nuevo campo se le copiaron todas las etiquetas del 2015 y se editó para sólo modificar los polígonos cuya cobertura hubiera cambiado. Lo anterior, con el fin de evitar falsos cambios por cambios en el trazo de los polígonos y mantener las etiquetas de origen. Como ejemplo de lo anterior, se presenta la interpretación de los dos años por separado, de la que resultan falsos cambios (Figura 20).

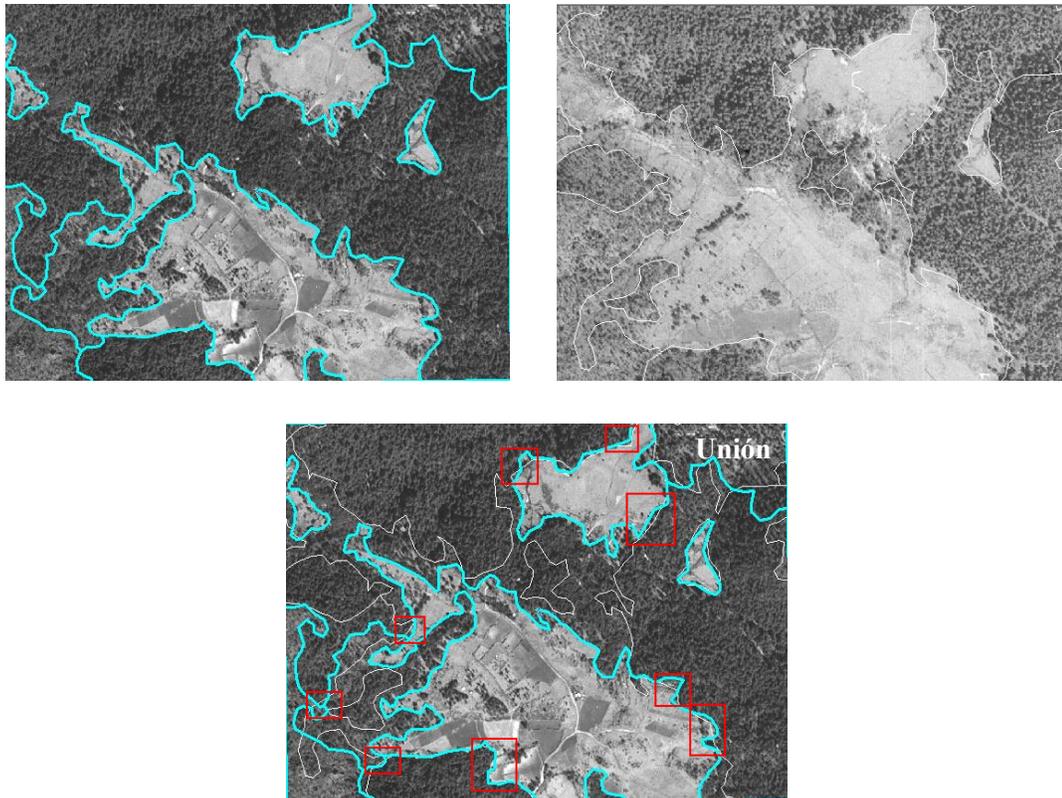


Figura 20. Polígonos trazados independientemente. Al momento de hacer el cruce, se generan múltiples polígonos que indicarían cambio, sin embargo, no hay tal. De esta forma, si el análisis se concluye, el área resultante de cambio resulta errónea (ejemplos: recuadros rojos).

Antes de comenzar en análisis de cambios, se aplicó un análisis de topología, para descartar errores de sobreposición y de espacios vacíos entre polígonos. En ArcCatalog, se creó una Personal Database (1), donde se agregó un "Feature Dataset"(2), al cual se le importaron los shapes (feature class) de 2015 y de 1994 (3). Posteriormente, en la geodatabase, se hizo la topología (4) con las reglas "Must not overlap" y "Must not have gaps"(5). La topología resultante se agregó a ArcMap (6) y se desplegó la tabla de resumen, donde se vieron los errores encontrados. Una vez localizados, se corrigieron para proceder al análisis de cambios (Figura 21).

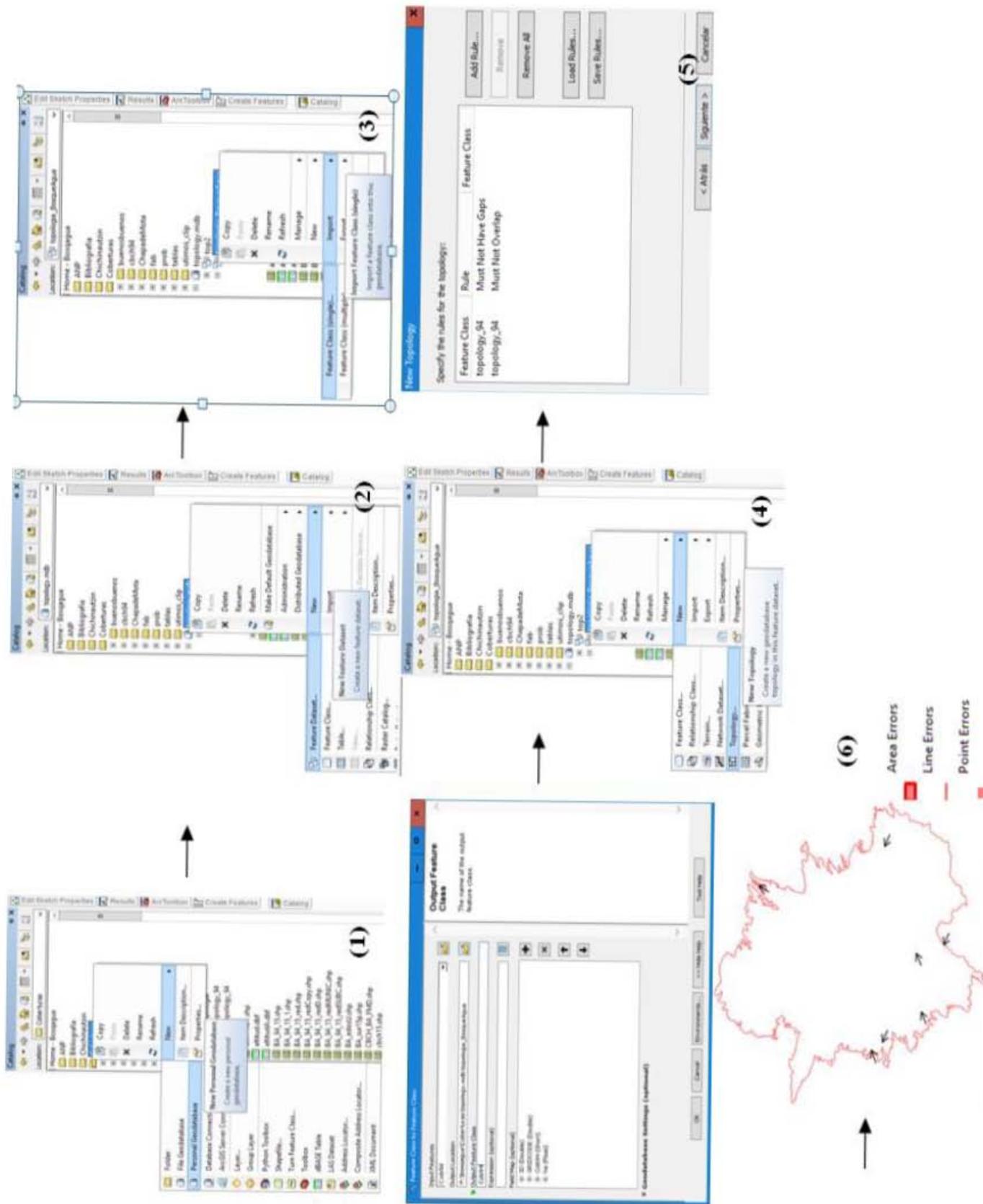


Figura 21. Pasos para crear una topología en ArcGIS.

Se utilizó la herramienta *Union* para unir los shaples sin errores de topología. La tabla de atributos del archivo shape resultante, se exportó a Excel y se insertó una tabla dinámica para generar la matriz de confusión, siguiendo el esquema que se presenta en el cuadro 5. De esta matriz se derivan los procesos de cambio y el área de no cambio.

Cuadro 5. Esquema de la matriz de confusión utilizada y procesos de cambio.

Coberturas		2015							Total general
		Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura	
1994	Muy cerrada								
	Cerrada								
	Semicerrada								
	Semiabierta								
	Abierta								
	Deforestado								
	Agricultura								
	Otras coberturas no forestales								
Total general									

Procesos
Densificación
Reforestación
Forestación
Disminución de la densidad
Deforestación
Cambio de uso de suelo
No cambio

Para la matriz de confusión, las coberturas no forestales (Cuadro 4) se agruparon en una sola categoría a excepción de la agricultura. Esto, debido a que esta es la cobertura no forestal predominante y en la que más cambios se observaron, por lo que se creyó conveniente distinguirla.

-Zonificación forestal

Con base en la clasificación de las coberturas de ambos años, se procedió a hacer una zonificación del área en estudio basada en las categorías definidas por la FAO (Moseley *et al.*, 1976) para la zonificación de parques naturales, con algunas modificaciones para adecuarla a las condiciones del área en estudio. Se incluyó la categoría de aprovechamiento

sustentable de los ecosistemas, y la de asentamientos humanos y zona urbana. A continuación de describe cada zona:

Zona Intangible: Se caracteriza por tener mínimos impactos por las actividades humanas a lo largo de los años. En ella no se permiten actividades que destruyan los recursos naturales ni el uso público. Se incluyeron los bosques muy cerrados y cerrados, que hayan tenido pocos cambios.

Zona primitiva: Al igual que la zona intangible ha sido poco modificada por el hombre pero sí permite el uso público para recreación. Los bosques muy cerrados y cerrados con algún grado de fragmentación, formaron parte de esta zona.

Zona de recuperación/restauración: Consiste en las áreas que se convirtieron en bosques abiertos o áreas deforestadas y las áreas que en el periodo de tiempo se forestaron.

Zona de uso extensivo: Son áreas que mantienen componentes naturales pero que han sido alterados en algún grado por las actividades humanas. La cobertura arbórea es en su mayoría media a semicerrada y continua. Con ella, se pretende mantener el ambiente natural minimizando el impacto de las actividades antrópicas.

Zona de uso intensivo: Es aquella que ha sufrido alteraciones degradantes, pero permite el uso público y la instalación de infraestructura como cabañas, debiendo tener un mantenimiento constante para evitar su perturbación. Los centros ecoturísticos se asignaron con esta categoría.

Zona cultural: Zonas de importancia arqueológica, histórica o de recursos culturales contemporáneos. Las actividades permitidas se reducen a contemplación y educación.

Zona especial: Áreas requeridas para el manejo del parque, tales como alojamiento para empleados, mantenimiento, plantas eléctricas y torres de comunicación.

Zona de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas: Todas las áreas agrícolas y pecuarias.

Zona de asentamientos humanos y zona urbana.

Se estableció una correlación de la zonificación con la densidad de cobertura forestal, para establecer una zonificación para 1994 y otra para 2015, para identificar zonas de cambio.

RESULTADOS

-Análisis de la cobertura forestal

Para el año 1994, la cobertura boscosa (>10%) representaba el 60.34% del área en estudio. De este porcentaje 27,988 ha correspondieron a bosque cerrado (76-100%) que fue la cobertura dominante. Le siguió la agricultura con 21,292 ha y la cobertura muy cerrada (<100%) con 13,112 ha. Para 2015, el bosque aumentó al 67% del total del área. Se obtuvo que la cobertura cerrada siguió siendo la dominante y aumentó 5,741 ha, es decir, incrementó el 20%. Por otra parte, la cobertura que más disminuyó fue la deforestada, que se redujo el 50%, pasando de 6,636 ha a 3,330 ha. Otra cobertura que tuvo una pérdida importante, fue la semiabierta (26-50%), con 488 ha menos respecto a 1994, que significa el 46.38% de esta.

El Cuadro 7 se muestra el área de cada cobertura por año y su diferencia, donde los números positivos representan ganancia de terreno, mientras los negativos, pérdidas.

Cuadro 7. Superficie de las categorías de cobertura forestal y no forestal para 1994 y 2015, y su diferencia.

Cobertura	Hectáreas		Diferencia
	1994	2015	
Muy cerrada	13,112	13,588	476
Cerrada	27,988	33,729	5,741
Semicerrada	3,952	3,581	-371
Semiabierta	1,052	564	-488
Abierta	710	526	-184
Deforestada	6,636	3,330	-3,306
Agricultura	21,292	19,525	-1,767
Otras coberturas no forestales	2,839	2,736	-103

En el mapa de coberturas de 1994 (Figura 22), se puede apreciar que la masa boscosa más grande se encuentra distribuida entre los municipios de Morelos, Villa del Carbón,

Jiquipilco, Nicolás Romero e Isidro Fabela, aunque tiene grandes manchones de terreno deforestado en su interior. El extremo norte, en el municipio de Chapa de Mota, también hay una masa de bosque importante, que contiene terrenos agrícolas.

En el caso de la cobertura de 2015 (Figura 23), se siguen presentando estas grandes porciones de bosque, aunque se distingue que los manchones deforestados que estaban inmersos en la más grande, se redujeron de tamaño.

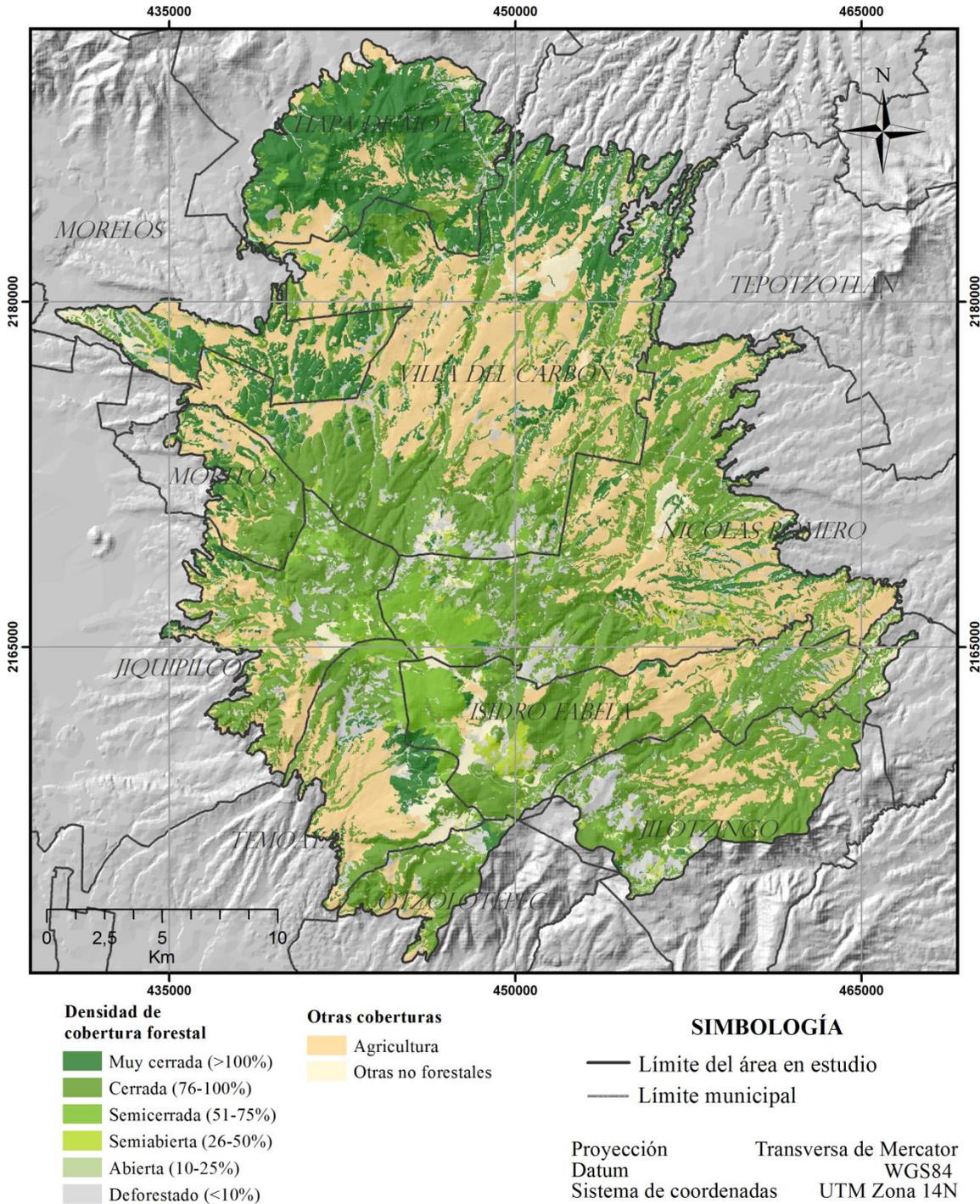


Figura 22. Predominan las coberturas cerradas (>75%), aunque las áreas no forestales también abarcan un área importante. En la porción centro-oeste se aprecian grandes áreas deforestadas.

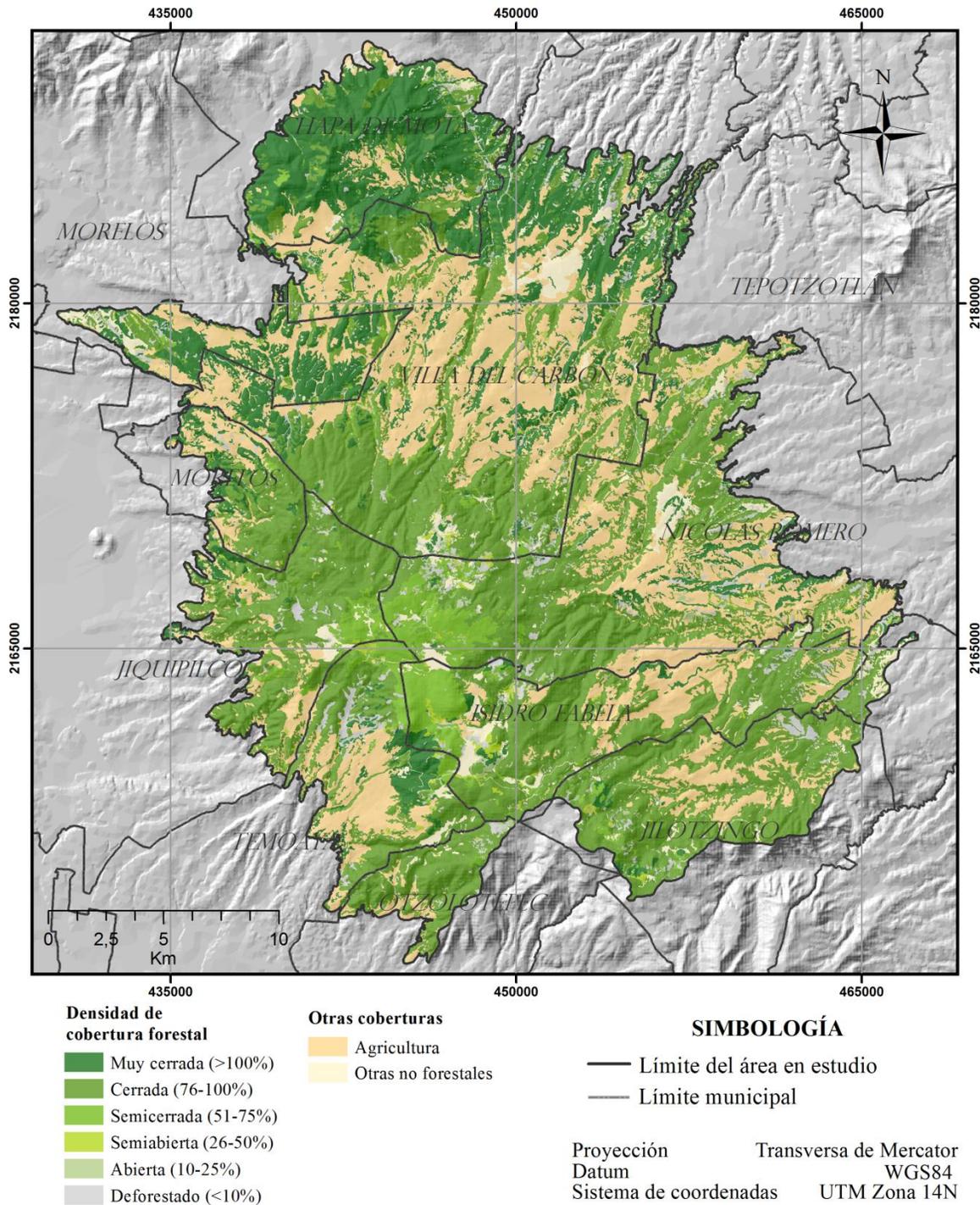


Figura 23. Al igual que en el mapa anterior, domina la cobertura cerrada (76-100%). Ahora se observa que las áreas deforestadas del centro-oeste se han reducido considerablemente, así como las áreas no forestales.

El cruce de estas coberturas para realizar el análisis de cambios, arrojó que de 1994 al 2015, un total de 11,327 ha tuvieron algún cambio en su cobertura, lo que representa el 14.59% de la zona en estudio. De este porcentaje, el 11.26% fueron cambios de recuperación y 3.34% de perturbación.

Las recuperaciones se debieron principalmente a la reforestación, proceso que sumó 3,783 ha. Las áreas reforestadas dieron lugar en su mayoría a bosque con densidad de cobertura cerrada con 2,731 ha. Seguido de la reforestación, se encuentra la forestación aunque esta se vio casi igualada con la densificación, con 2,492 y 2,459 ha, respectivamente. La mitad de la forestación ocurrió en tierras destinadas a agricultura y provocó el incremento de cobertura cerrada en 1,255 ha. Por último, las coberturas que más se densificaron fueron la semicerrada y la semiabierta; en conjunto ambas originaron 1,496 ha de cobertura cerrada. Como se mencionó anteriormente, esta cobertura fue la que más aumentó en el periodo evaluado con 5,741 ha más.

En cuanto a los procesos de perturbación, la disminución de la densidad de cobertura fue el proceso principal con 1,566 hectáreas, de las cuales 966 corresponden a cambio de cobertura muy cerrada a cerrada. El cambio de uso de suelo representó 622 ha. En este aspecto, la agricultura ganó 423 ha, principalmente derivado de la disminución de bosque cerrado y áreas deforestadas. De igual forma, esta última cobertura fue la que más perdió (119 ha) para dar lugar a otras coberturas no forestales, donde destacan los asentamientos humanos, que le restaron área a la agricultura y a la cobertura cerrada 59 y 41 ha, respectivamente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Matriz de cambios en la cobertura forestal en el área en estudio (1994-2015).

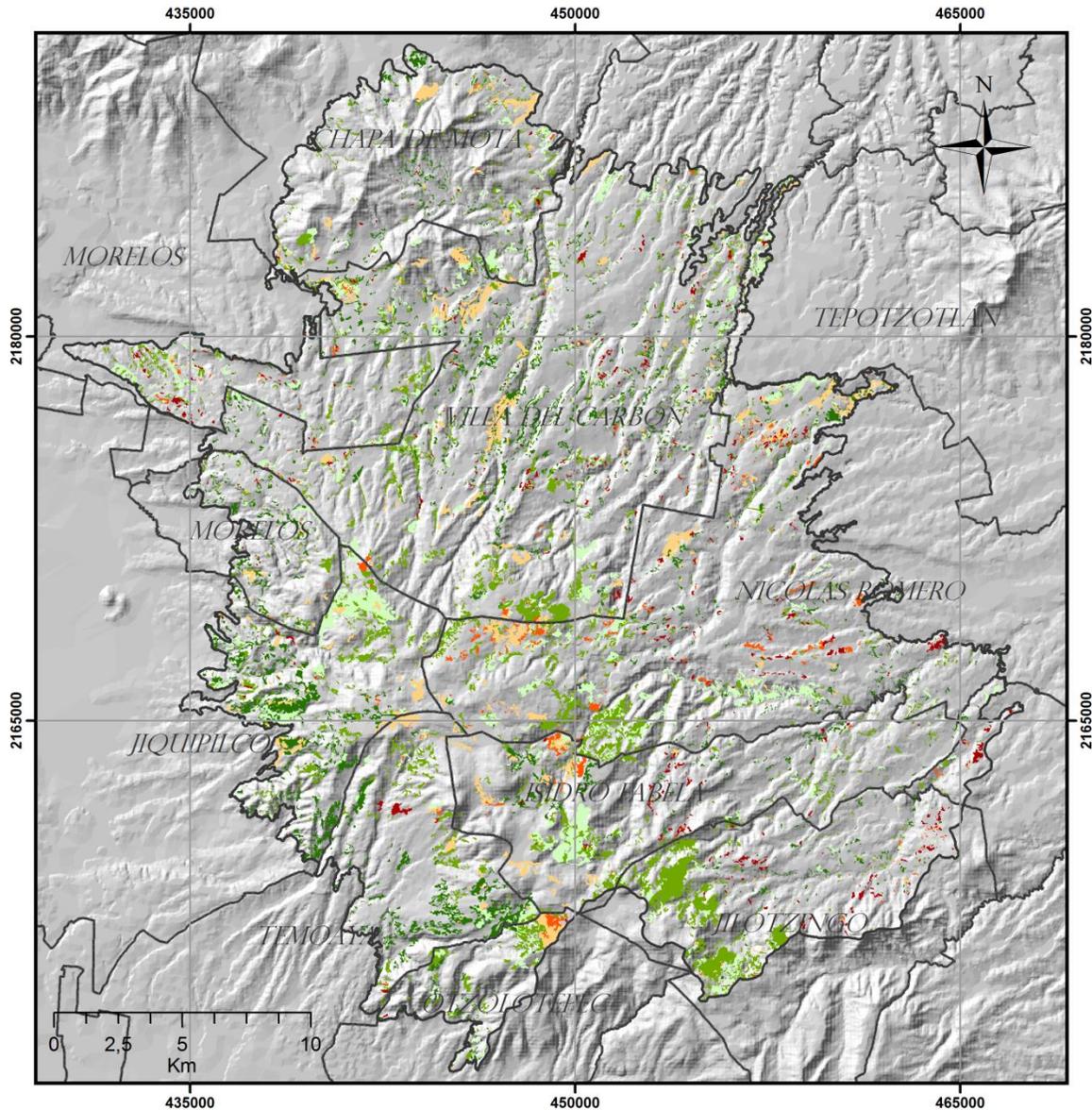
Categorías		2015								Total general
		Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura	Otras coberturas no forestales	
1994	Muy cerrada	11,978	966	30	7	8	52	64	6	13,112
	Cerrada	300	26,818	320	89	28	210	170	53	27,988
	Semicerrada	127	857	2,761	83	27	65	17	14	3,952
	Semiabierta	112	639	34	191	9	34	30	3	1,052
	Abierta	45	291	42	10	244	43	29	4	710
	Deforestado	563	2,731	251	109	129	2,622	113	119	6,636
	Agricultura	444	1,255	96	58	72	273	19,029	64	21,292
	Otras coberturas no forestales	17	172	46	17	9	32	74	2,472	2,839
	Total general	13,588	33,729	3,581	564	526	3,330	19,525	2,736	77,580

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	2,459	8,734	3.17	11.26	7.92
Reforestación	3,783		4.88		
Forestación	2,492		3.21		
Disminución de la densidad	1,566	2,593	2.02	3.34	
Deforestación	404		0.52		
Cambio de uso de suelo	622		0.80		

Por su parte las coberturas no forestales que no incluyen a la agricultura, sumaron 21,292 ha para 1994, redujeron su superficie en 1,767 ha para el 2015. De estas, el pastizal representó 1.537 ha (1.98%) del total y también disminuyó. En cuanto a los asentamientos humanos, en proporción, fue la que más aumentó su superficie. Estas áreas se localizan en su mayoría en la parte oriente de la zona en estudio.

Los bosques densos corresponden a la porción oriente del área en estudio y a las zonas montañosas. Para 2015 se puede apreciar que disminuye considerablemente la cobertura deforestada, sobre todo en la porción centro (Figuras 22 y 23).

La parte donde se observa más perturbación es la oriente, donde predominan la deforestación y el cambio de uso de suelo. Además, se observan polígonos grandes de disminución de la densidad de cobertura forestal a lo largo de toda el área en estudio (Figura 24).



Procesos de cambio
Recuperación

- Forestación
- Reforestación
- Densificación

Perturbación

- Cambio de uso de suelo
- Deforestación
- Disminución de la densidad

SIMBOLOGÍA

- Límite del área en estudio
- Límite municipal

Proyección Transversa de Mercator
Datum WGS84
Sistema de coordenadas UTM Zona 14N

Figura 24. La región poniente es donde se observan más recuperaciones (en verde) a diferencia de la oriente, donde predominan la deforestación y el cambio de uso de suelo.

- Análisis por Área Natural Protegida

Durante 1994 en todas las ANP del área en estudio dominó la cobertura boscosa, a excepción del Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Presa Antonio Alzate, en la cual las coberturas no forestales y deforestadas sumaron 370 ha, mientras el bosque representó 362 ha. Para 2015 en todas las ANP aumentó el bosque y en todos los casos la agricultura fue la cobertura que más superficie perdió. En consecuencia, los procesos dominantes fueron de recuperación (Figura 25).

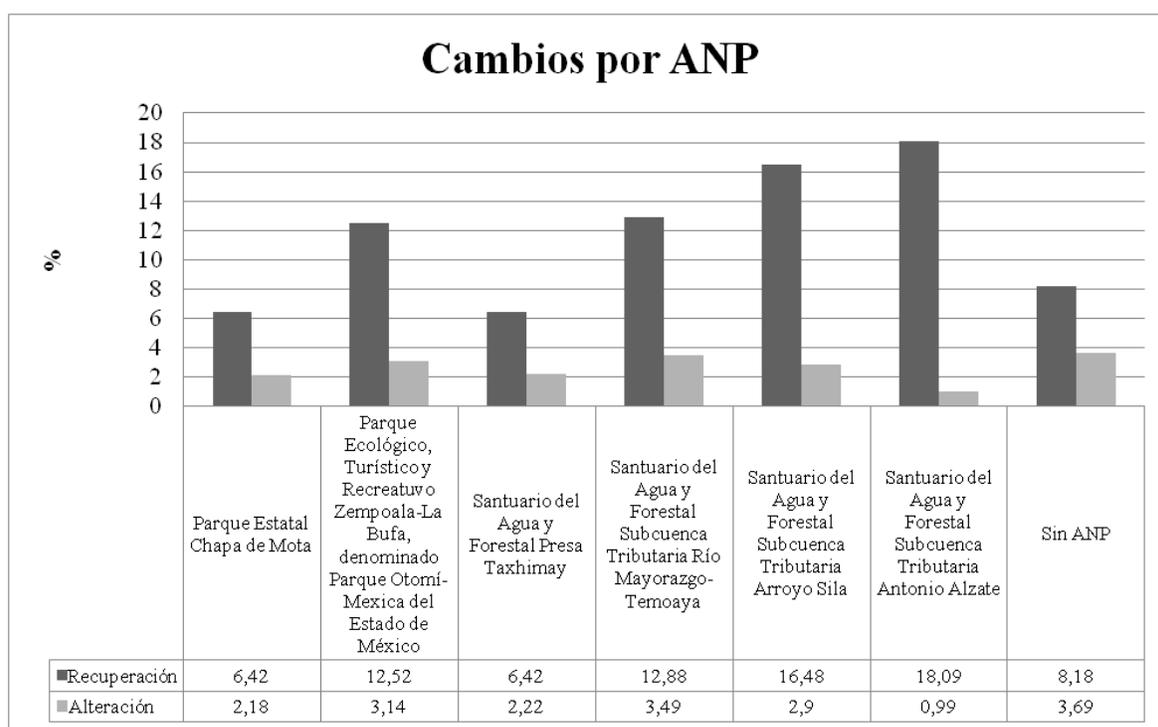


Figura 25. Gráfica de porcentajes totales de recuperación y perturbación de cada ANP.

A continuación, se expondrán dos ejemplos del análisis de cambio; el primero será de la ANP que más recuperación tuvo (Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Antonio Alzate) y el segundo, de la ANP con mayor porcentaje de perturbación (Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria río Mayorazgo-Temoaya).

En el Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Antonio Alzate en 1994, la cobertura con más superficie fue la cerrada (340 ha). Le siguió la agricultura con 325 ha. El bosque cerrado aumentó 68 ha para el 2015 y aunque la agricultura siguió siendo la segunda cobertura dominante, disminuyó 105 ha.

En cuanto a los procesos de cambio, la forestación fue el dominante, mediante el cual 94 ha de agricultura pasaron a ser bosque con densidad mayor al 10%. De estas 94 ha, 55 correspondieron a bosque cerrado. El resto de las forestaciones se debieron al cambio de pastizal a cobertura cerrada y semicerrada. Los otros dos procesos de recuperación (reforestación y densificación) tuvieron casi las mismas hectáreas, 12 y 13 ha, respectivamente. Derivado de estos procesos, la cobertura cerrada fue la que más aumentó. El único proceso de perturbación que se presentó fue la disminución de la densidad del bosque y fue de categoría cerrada a semicerrada, con 7.23 ha (Cuadro 9).

Cuadro 9. Matriz de cambios en la cobertura forestal del Santuario del Agua y Forestal Antonio Alzate.

Coberturas del Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Presa Antonio Alzate		2015								Total general
		Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura	Otras coberturas no forestales	
1994	Cerrada	0	333	7	0	0	0	0	0	340
	Semicerrada	0	6	7	0	0	0	0	0	14
	Semiabierta	0	0	0	2	0	0	0	0	2
	Abierta	0	1	5	0	0	0	0	0	6
	Deforestado	0	11	0	2	0	9	0	0	21
	Agricultura	2	55	26	10	2	10	220	0	325
	Otras coberturas no forestales	0	1	1	0	0	0	0	21	24
	Total general	2	408	46	14	2	19	220	21	732

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	12	132	1.64	18.03	17.08
Revegetación	13		1.78		
Forestación	107		14.62		
Disminución de la densidad	7	7	0.96	0.96	
Deforestación	0		0.00		
Cambio de uso de suelo	0		0.00		

Las forestaciones se llevaron a cabo en grandes extensiones, lo que dio lugar a que el bosque tuviera mayor continuidad (Figura 26).

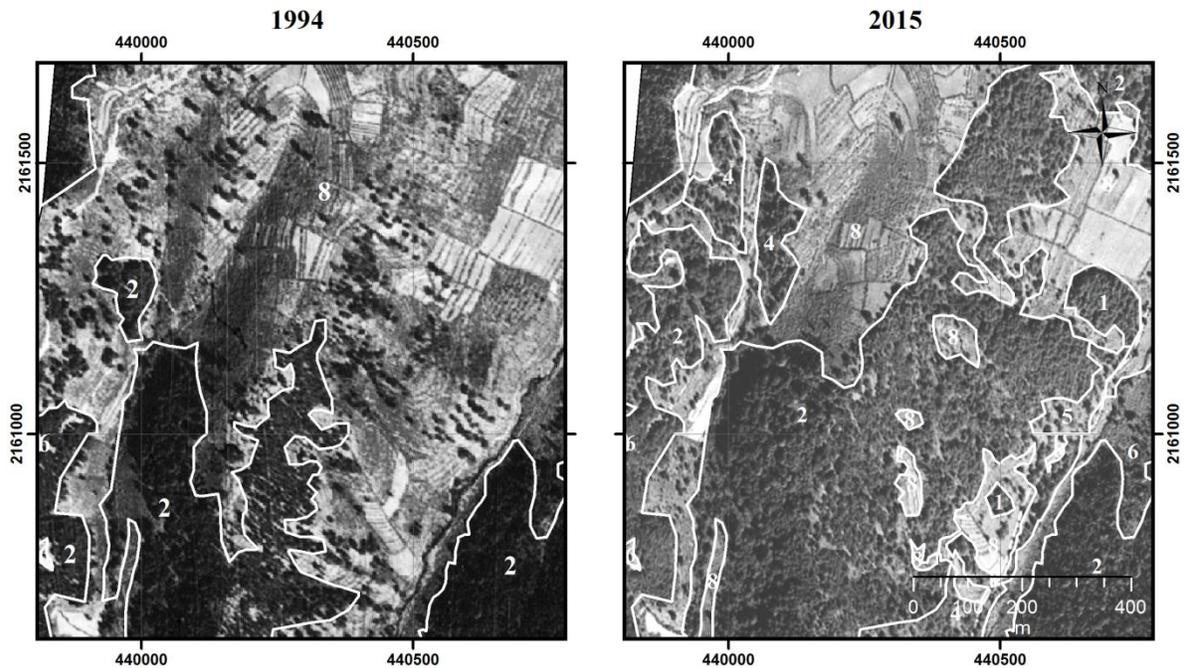


Figura 26. En 1994 se aprecia la mayoría del recuadro como área agrícola. Hay algunos manchones de árboles que se densifican y una gran parte de la agricultura se foresta.

Por otra parte, como ya se mencionó el Santuario del Agua y Forestal Subcuenca río Mayorazgo- Temoaya, fue el ANP con mayor porcentaje de perturbación con 3.49%, que representan 292 ha.

La mayoría de estas alteraciones se debieron a disminuciones en la densidad de la cobertura con 192 ha. En general este proceso no fue grave ya que los cambios se dieron de una categoría a la inmediata inferior, por ejemplo, se dieron en su mayoría de cobertura muy cerrada a cerrada. La deforestación le siguió, restándole a la cobertura cerrada 34 ha y a la semiabierta lo mismo (Cuadro 10).

Respecto a los procesos de recuperación, que en general fueron los dominantes, destacan la forestación con 407 ha y la reforestación 403 ha. En los dos casos, la cobertura beneficiada de estos procesos fue la cerrada, que aumentó 554 ha.

Cuadro 10. Matriz de cambios en la cobertura forestal del Santuario del Agua y Forestal Subcuenca río Mayorazgo-Temoaya.

Coberturas	2,015								Total general
	Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura	Otras coberturas no forestales	
1,994	557	92	0	0	0	0	0	0	648
Muy cerrada	17	2,611	47	21	0	34	2	0	2,731
Cerrada	8	51	747	28	0	2	0	0	835
Semicerrada	7	35	0	23	4	34	0	0	69
Semiabierta	0	25	0	2	19	2	0	0	48
Abierta	93	274	15	6	15	300	26	0	731
Deforestado	44	169	6	12	4	33	1,623	2	1,892
Agricultura	1	111	15	6	2	3	56	272	468
Otras coberturas no forestales	727	3,367	830	97	45	376	1,707	274	7,423
Total general									

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	145	955	1.95	12.87	8.94
Reforestación	403		5.43		
Forestación	407		5.48		
Disminución de la densidad	192	292	2.59	3.93	
Deforestación	72		0.97		
Cambio de uso de suelo	28		0.38		

En la Figura 27, se presenta un ejemplo de la deforestación proceso por el cual se perdieron 72 ha. Las densidades de bosque más afectadas fueron la cerrada y la semiabierta, ambas con 34 ha menos.

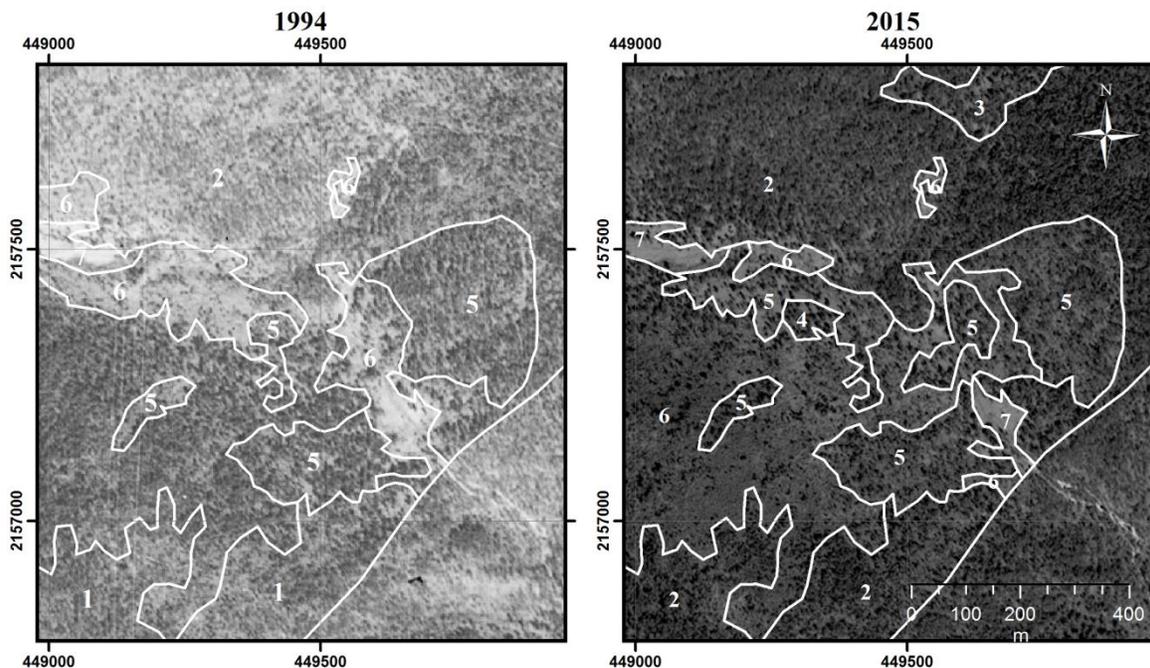


Figura 27. Deforestación en el Santuario del Agua y Forestal río Mayorazgo-Temoaya.

- Análisis por subcuencas

En todos los casos predominaron las recuperaciones. Los porcentajes presentados son relativos de acuerdo al área que cubre cada una dentro del área en estudio (Cuadro 13).

Cuadro 11. Superficies totales y relativas de las subcuencas dentro de la zona en estudio.

Subcuenca	Superficie total (ha)	Sup. dentro de la zona en estudio	
		Hectáreas	Porcentaje
Río Cuautitlán	38,487	21,492	55.84 %
Río El Salto	85,633	30,068	35.11 %
Río Otzolotepec	8,345	4,467	53.53 %
Río Otzolotepec-Atlacomulco	113,443	3,603	3.18 %
Río Sila	63,821	9,925	15.55 %
Río Tepetzotlán	42,002	3,799	9.04 %
Río Tlautla	50,725	4,227	8.33 %

En ambos años, la cobertura dominante fue la cerrada, con dos excepciones: la subcuenca del río Tlautla y la del río El Salto. En la primera, la cobertura principal fue la muy cerrada; en la segunda, la agricultura dominaba en 1994 lo cual cambió para 2015, cuando ésta redujo su superficie y la cobertura cerrada pasó a ser la cobertura de más extensión. En los demás casos, la agricultura ocupaba el segundo lugar en área ocupada.

Las recuperaciones dominaron en todos los casos, siendo la subcuenca del río Sila con el mayor porcentaje de estos procesos (16.31%), y fue casi igualada por la subcuenca del río Otzolotepec, con 16.08% de superficie recuperada. En contraste, la subcuenca que más perturbación presentó, fue la del río Tepetzotlán, con el 4.14% (Figura 28).

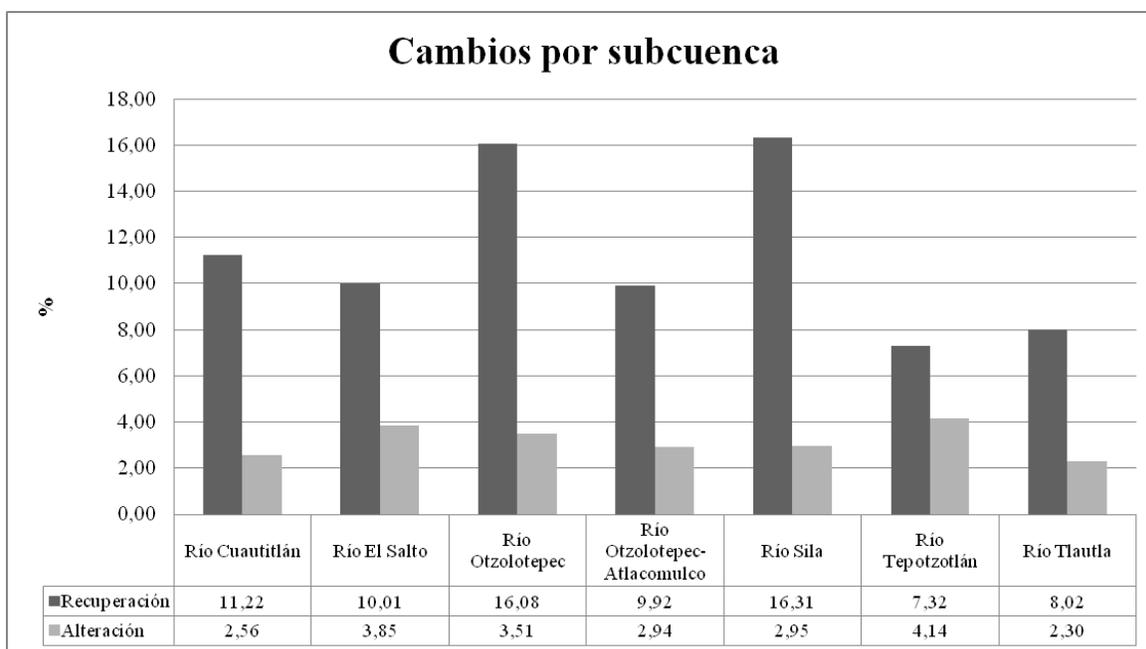


Figura 28. Gráfica de cambios en la densidad de la cobertura forestal por subcuenca.

A continuación se analizaron los procesos en específico de la subcuenca del río Sila, que fue la de mayor recuperación y de la subcuenca del río Tepetzotlán, que tuvo más perturbación. La subcuenca del río Sila presentó 16.31% de recuperación y 2.95% de perturbación. La mayoría de las recuperaciones fueron debidas a la forestación con el 6.22% del total. Se ganaron mediante este proceso 356 ha de bosque cerrado, que fue el dominante. En la matriz de cambios (Cuadro 12) se observa que la agricultura fue la superficie más forestada. Si bien las densificaciones también representaron un área importante con 530 ha, no fueron cambios muy abruptos, ya que la mayoría (360 ha de 530), se dieron de una categoría de densidad a otra, es decir, de cerrado a muy cerrado, de semicerrado a cerrado, de semiabierto a semicerrado y de abierto a semicerrado.

Cuadro 12. Matriz de cambios en la cobertura forestal de la subcuenca del río Sila.

Coberturas Subcuenca Río Sila	2015								Total general
	Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierto	Abierta	Deforestado	Agricultura	Otras coberturas no forestales	
Muy cerrada	1,483	93	6	3	2	7	6	2	1,602
Cerrada	70	3,382	67	7	3	18	8	1	3,555
Semicerrada	15	280	391	4	1	3	5	0	700
Semiabierto	42	69	9	13	1	3	3	0	142
Abierta	15	25	1	1	18	7	10	1	79
Deforestado	78	357	5	12	20	276	17	16	780
Agricultura	81	352	33	17	21	84	2,165	0	2,753
Otras coberturas no forestales	0	4	19	0	0	6	0	285	315
Total general	1,785	4,563	532	57	66	405	2,213	305	9,925

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	530	1,618	5.34	16.31	13.35
Revegetación	471		4.75		
Forestación	618		6.22		
Disminución de la densidad	188	293	1.89	2.95	
Deforestación	38		0.39		
Cambio de uso de suelo	67		0.68		

En seguida, se muestra un ejemplo (Figura 29) donde áreas que estaban destinadas a agricultura en 1994, en 2015 se convirtieron en bosque cerrado (76-100%). Se puede apreciar lo accidentado del terreno en estas partes, lo que representa que debieron ser preferentemente forestales.

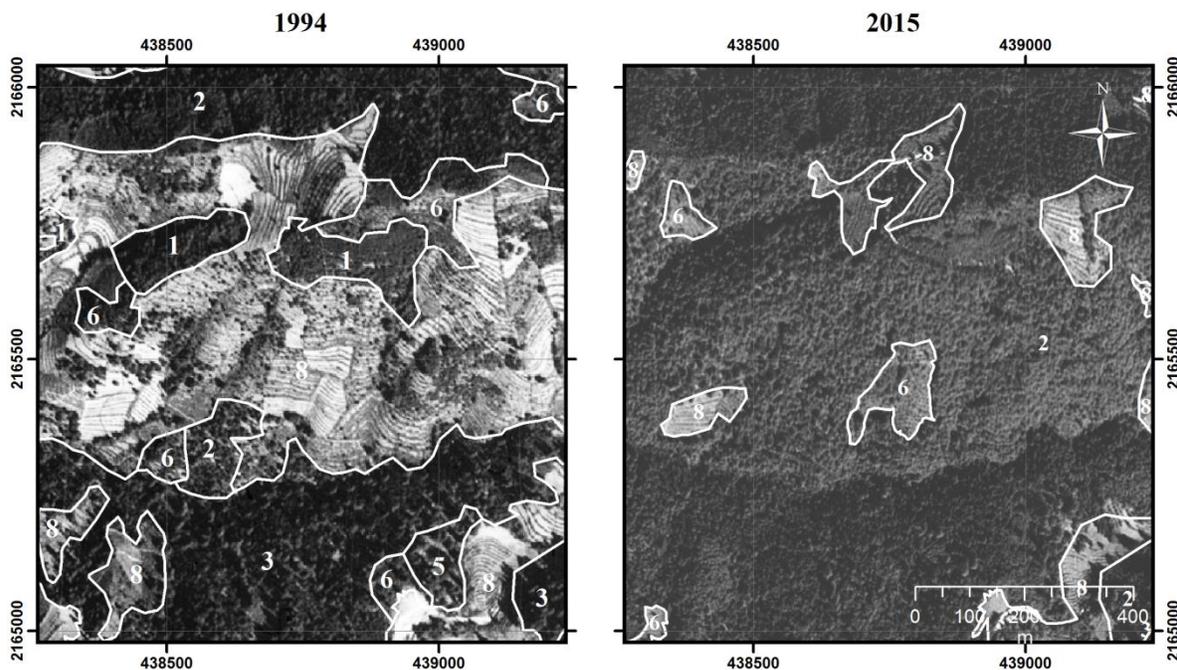


Figura 29. Forestación en la subcuenca del río Sila.

Por otra parte, la subcuenca del río Tepotzotlán, fue la que más porcentaje de perturbación presentó, aunque como se mencionó anteriormente, dominó la recuperación y en específico la forestación. En cuanto a las alteraciones la disminución de la densidad predominó, aunque no se consideró como un cambio grave, ya que la mayoría ocurrió en cobertura muy cerrada que pasó a cerrada. La deforestación fue el proceso de perturbación

que le precedió; 25 ha de bosque cerrado se perdieron, así como 6 de bosque abierto y 4 de bosque muy cerrado (Cuadro 13).

Cuadro 13. Matriz de cambios en la cobertura forestal de la subcuenca del río Tepetzotlán.

Coberturas Subcuenca Río Tepetzotlán		2015							Total general	
		Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura		Otras cob. no fo
1994	Muy cerrada	96	73	11	0	0	4	3	0	187
	Cerrada	0	1,925	3	1	3	25	11	6	1,974
	Semicerrada	0	46	39	0	0	0	1	0	85
	Semiabierta	0	17	1	10	0	0	1	0	30
	Abierta	0	8	6	0	13	6	2	1	36
	Deforestado	0	80	5	1	2	108	2	4	202
	Agricultura	7	55	6	1	4	27	930	5	1,037
	Otras cob. no forestales	0	2	0	0	1	6	0	238	247
Total general	103	2,206	72	13	24	176	950	254	3,799	

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	78	278	2.06	7.32	3.18
Revegetación	89		2.34		
Forestación	111		2.93		
Disminución de la densidad	91	157	2.39	4.14	
Deforestación	35		0.92		
Cambio de uso de suelo	31		0.82		

El cambio de uso de suelo representó el 0.82% de los cambios y desplazó mayormente a la cobertura cerrada. La cobertura que se mantuvo casi sin cambios fue la muy cerrada, que sólo aumentó 84 ha (Cuadro 14). Por último, el cambio de uso de suelo se presentó casi en su totalidad para dar lugar a agricultura (Figura 30).

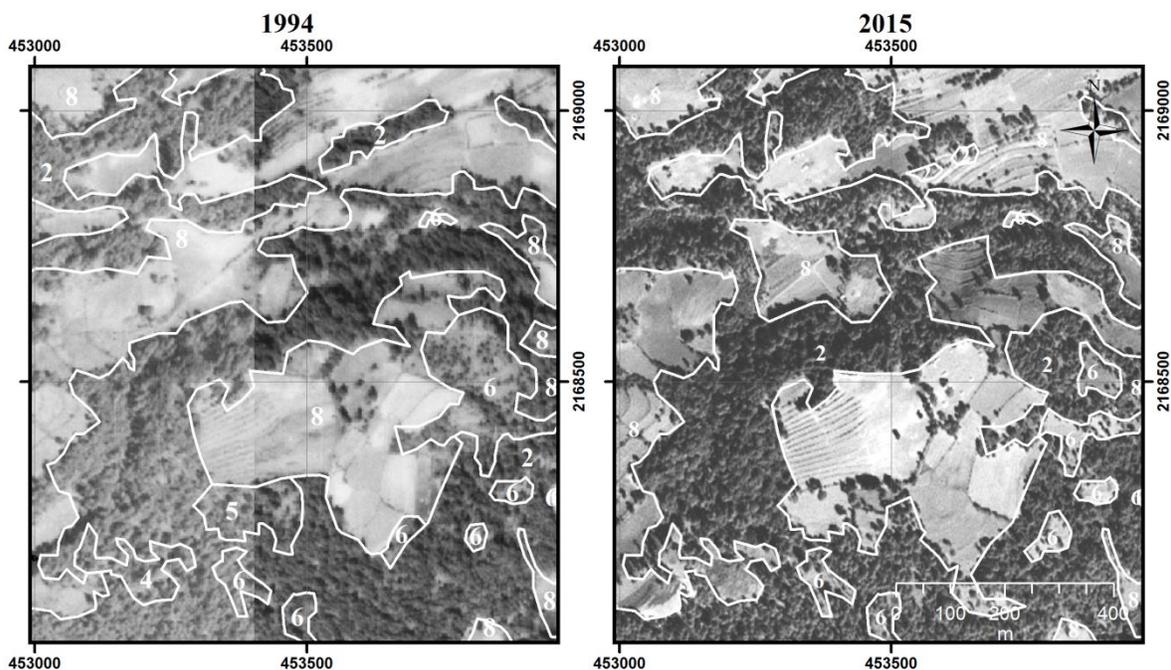


Figura 30. Áreas forestales fueron desmontadas para convertirlas en campos agrícolas. Si bien había áreas poco densas, se observaba cierta continuidad en el bosque.

- Análisis por municipios

Los municipios con más cobertura boscosa tuvieron, fueron Nicolás Romero, Jilotzingo y Oztolotepec, en 1994 al igual que en 2015. De la misma forma que en los análisis anteriores, los 11 municipios (Cuadro 14) presentaron más recuperaciones que alteraciones (Figura 31).

Cuadro 14. Superficies totales y relativas de los municipios dentro de la zona en estudio.

Municipio	Superficie total (ha)	Sup. dentro de la zona en estudio	
		Hectáreas	Porcentaje
Atizapán de Zaragoza	8,596	682	7.93
Chapa de Mota	29,201	7,050	24.14
Isidro Fabela	7,967	7,919	99.40
Jilotzingo	11,637	6,098	52.40
Jiquipilco	27,502	5,656	20.57
Morelos	23,567	5,929	25.16
Nicolás Romero	23,240	14,950	64.33
Oztolotepec	11,227	1,884	16.78
Temoaya	18,797	4,912	26.13
Tepetzotlán	20,696	346	1.67
Villa del Carbón	30,317	22,156	73.08

Jiquipilco fue el municipio con mayor recuperación, con el 22.03%, junto con Tepetzotlán. Este último a pesar de esto, fue el municipio que tuvo mayor grado de perturbación. Otros municipios con alto porcentaje de perturbación, fueron Oztolotepec y Nicolás Romero, con el 5.04% y 4.72%, respectivamente.

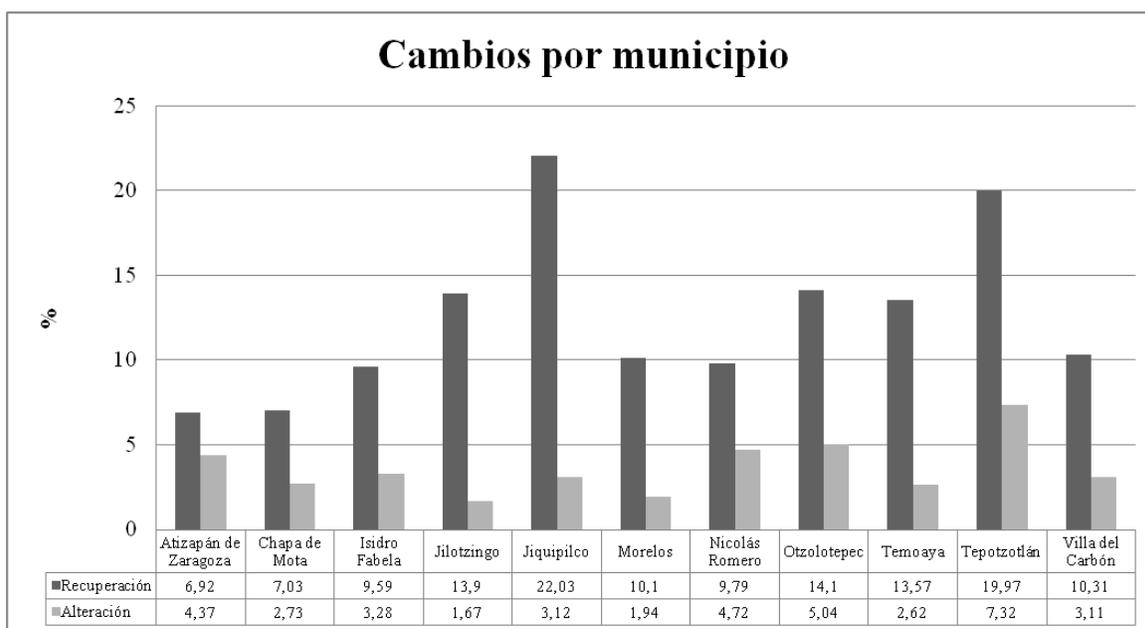


Figura 31. Gráfica de cambios en la densidad de la cobertura forestal por municipio.

En Jiquipilco el proceso dominante fue la forestación (Cuadro 15) donde en total 532 ha fueron forestadas, la mayoría (353 ha) pasaron a ser coberturas cerradas. La densificación con 377 ha, fue el segundo proceso más dominante. En este caso, 293 ha de la cobertura semicerrada pasaron a ser cobertura cerrada. Por último, la reforestación se dio casi en su totalidad para dar lugar a bosque cerrado. Los cambios de perturbación fueron menores; de las 177 ha de bosque alteradas, 146 se debieron a disminución de la densidad del bosque, dando como resultado una ligera disminución de la cobertura muy cerrada y cerrada, que pasaron a una categoría inferior de densidad.

Cuadro 15. Matriz de cambios en la cobertura forestal del municipio de Jiquipilco.

Coberturas de Jiquipilco	2015								Total general
	Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura	Otras coberturas	
1994 Muy cerrada	189	70	6	0	0	2	1	0	268
Cerrada	24	2,613	58	5	0	13	3	0	2,718
Semicerrada	1	293	309	7	0	2	1	0	613
Semiabierta	4	29	9	5	0	0	0	0	46
Abierta	0	18	0	0	12	0	0	0	31
Deforestado	12	315	4	2	0	127	3	6	470
Agricultura	19	349	50	20	13	49	832	0	1,334
Otras coberturas	0	4	22	0	0	6	0	145	178
Total general	250	3,691	459	39	26	200	840	151	5,656

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	378	1,243	6.68	21.98	18.84
Reforestación	333		5.89		
Forestación	532		9.41		
Disminución de la densidad	146	177	2.58	3.14	
Deforestación	17		0.30		
Cambio de uso de suelo	14		0.25		

En 1994 ya se observan algunas forestaciones (Figura 32), que junto con otras posteriores dieron lugar a bosques cerrados en 2015. Se puede apreciar que en este caso, las forestaciones se llevaron a cabo por manchones. De igual forma, una parte muestra una ligera densificación de bosque semicerrado a cerrado.

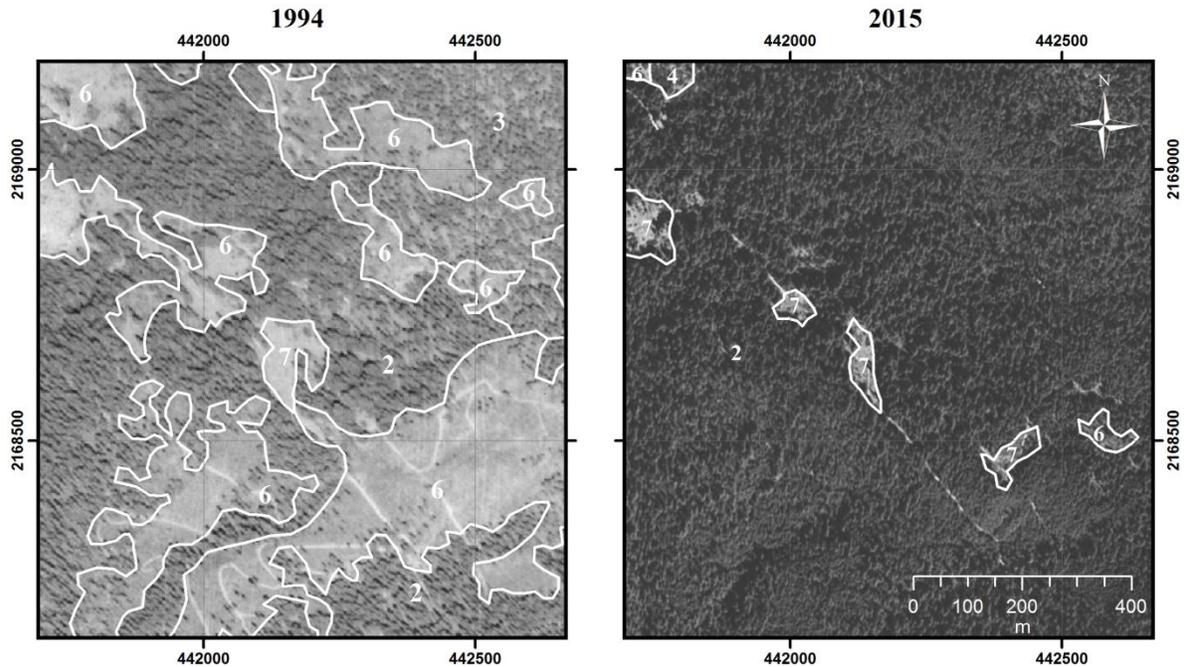


Figura 32. Desde 1994 se observan forestaciones que aparentemente, no llevaban mucho tiempo de haber sido hechas (marcadas como deforestado, porque la altura de los árboles no es suficiente para asignarle una densidad de bosque). Para 2015 llegan a ser coberturas cerradas.

En contraste, el municipio de Nicolás Romero, fue uno de los que presentó mayor porcentaje de perturbación. Dentro de los procesos de perturbación destaca la disminución de la densidad de cobertura. Derivado de este proceso, la cobertura muy cerrada perdió aproximadamente 222 ha, la cerrada 125 y la semicerrada 28 ha. Siguiendo con las alteraciones, la deforestación desplazó 81 ha de bosque cerrado, la mitad de las hectáreas totales que se deforestaron. Este municipio se caracterizó por ser el que más cambio de uso de suelo presentó. De las 135 ha que tuvieron este proceso, 42 correspondieron a bosque cerrado y 36 a muy cerrado, que fueron los que más hectáreas perdieron por esto. Asimismo, el bosque cerrado perdió otras 25 ha que dieron lugar a asentamientos humanos (Cuadro 16).

El proceso más sobresaliente en este periodo fue la reforestación., donde 667 ha de superficie deforestada se volvió bosque, de las cuales, 577 pasaron a ser de cobertura cerrada. La matriz de cambios muestra que la cobertura dominante es la cerrada en ambos años.

Cuadro 16. Matriz de cambios en la cobertura forestal del municipio de Nicolás Romero.

Coberturas de Nicolás Romero		2015							Total general	
		Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura		Otras coberturas no forestales
1994	Muy cerrada	792	206	15	0	2	31	36	3	1,085
	Cerrada	55	5,635	91	13	21	82	42	25	5,964
	Semicerrada	1	158	1,004	22	7	45	5	0	1,240
	Semiabierta	17	208	5	36	0	16	2	0	284
	Abierta	1	81	16	0	80	19	5	1	202
	Deforestado	34	577	36	14	6	526	12	5	1,209
	Agricultura	41	135	8	7	11	33	4,097	7	4,340
	Otras coberturas no forestales	2	3	5	0	1	6	3	606	627
	Total general	942	7,002	1,180	92	129	756	4,202	646	14,950

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	542	1,461	3.63	9.77	5.06
Reforestación	667		4.46		
Forestación	252		1.69		
Disminución de la densidad	377	705	2.52	4.72	
Deforestación	193		1.29		
Cambio de uso de suelo	135		0.90		

En el ejemplo (Figura 33) se muestra el cambio de uso de suelo en este municipio, que es considerado el proceso de perturbación más grave. El bosque cerrado y muy cerrado fueron los más afectados a causa de este proceso. Los remanentes de estos bosques se fueron reduciendo de tamaño.

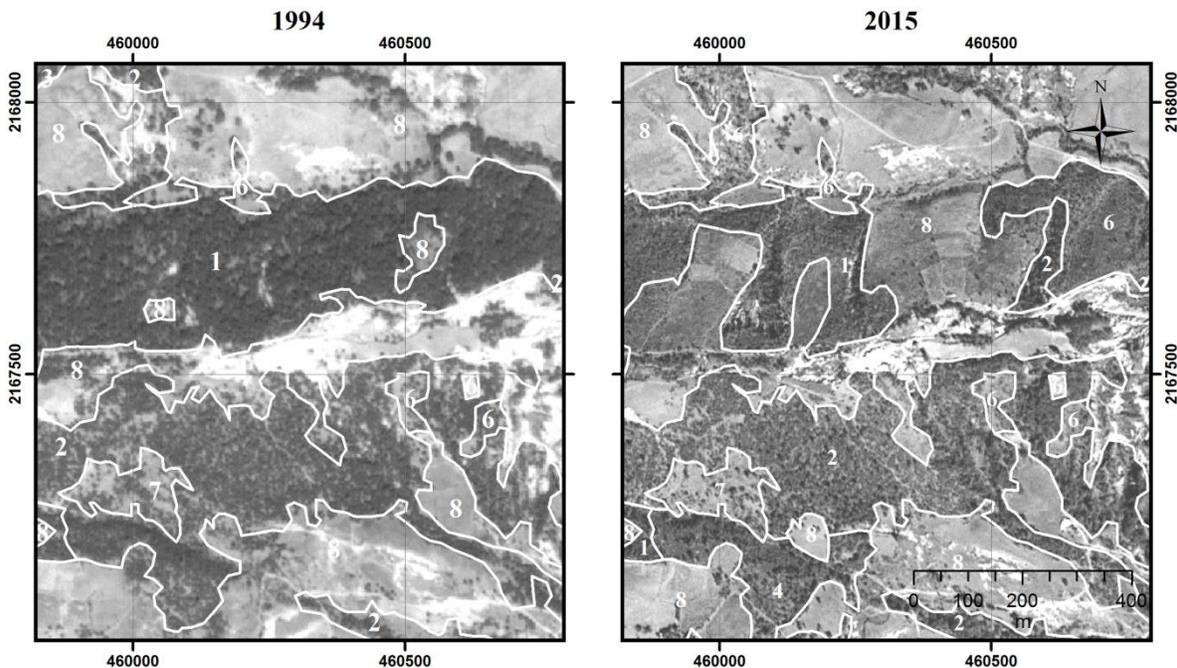


Figura 33. Se fueron reduciendo las áreas forestales para convertirse en zonas agrícolas.

- Análisis del Parque Estatal Chapa de Mota periodo 1985-2015

Como se describió en la metodología, se extendió el análisis del Parque Estatal Chapa de Mota de 1985 al 2015. Dado que el parque se ubica en el extremo norte del Bosque de Agua (Figura 34), se decidió tomar el polígono completo para su análisis.



Figura 34. Localización del Parque Estatal Chapa de Mota, respecto al polígono del Bosque de Agua.

En los tres años evaluados la cobertura muy cerrada dominó. De 1985 a 1994 aumentó 442 ha y de 1994 a 2015 disminuyó apenas 47 ha. La cobertura cerrada, por su parte, fue aumentando hasta llegar a las 1,086 ha, volviéndose la segunda cobertura dominante en 2015. En los años anteriores se mantuvo debajo de la agricultura y en 1985, sólo por debajo del deforestado. Adicionalmente, las otras coberturas no forestales fueron aumentando poco a poco y su incremento total fue de 30 ha, correspondientes en su mayoría a asentamientos humanos (Cuadro 17).

Cuadro 17. Hectáreas de cada cobertura, por año.

Cobertura	Hectáreas		
	1985	1994	2015
Muy cerrada	3,926	4,368	4,321
Cerrada	634	689	1,068
Semicerrada	128	116	61
Semiabierta	35	5	6
Abierta	31	23	13
Deforestado	746	297	147
Agricultura	793	770	646
Otras coberturas no forestales	73	96	103

En la zona centro del Parque se concentra la agricultura la cual fue disminuyendo en el periodo evaluado, dándole más continuidad al bosque. En cuanto a las zonas deforestadas, se puede observar que en 1985 ocupaban una extensión importante a lo largo del Parque. Asimismo, el bosque domina en las partes altas y accidentadas (Figura 35). Para 1994, el manchón deforestado más grande (cuadro rojo, Figura 35) desaparece casi en su totalidad, además de que las áreas deforestadas disminuyen su tamaño considerablemente (Figura 36). En cuanto a la extensión agrícola y no forestal mantienen la misma distribución. En 2015 siguen reduciéndose las áreas deforestadas y ahora comienzan a disminuir en pequeñas porciones, las zonas agrícolas, dando lugar a más bosques cerrados (75-100%) y muy cerrados (100%) (Figura 37).

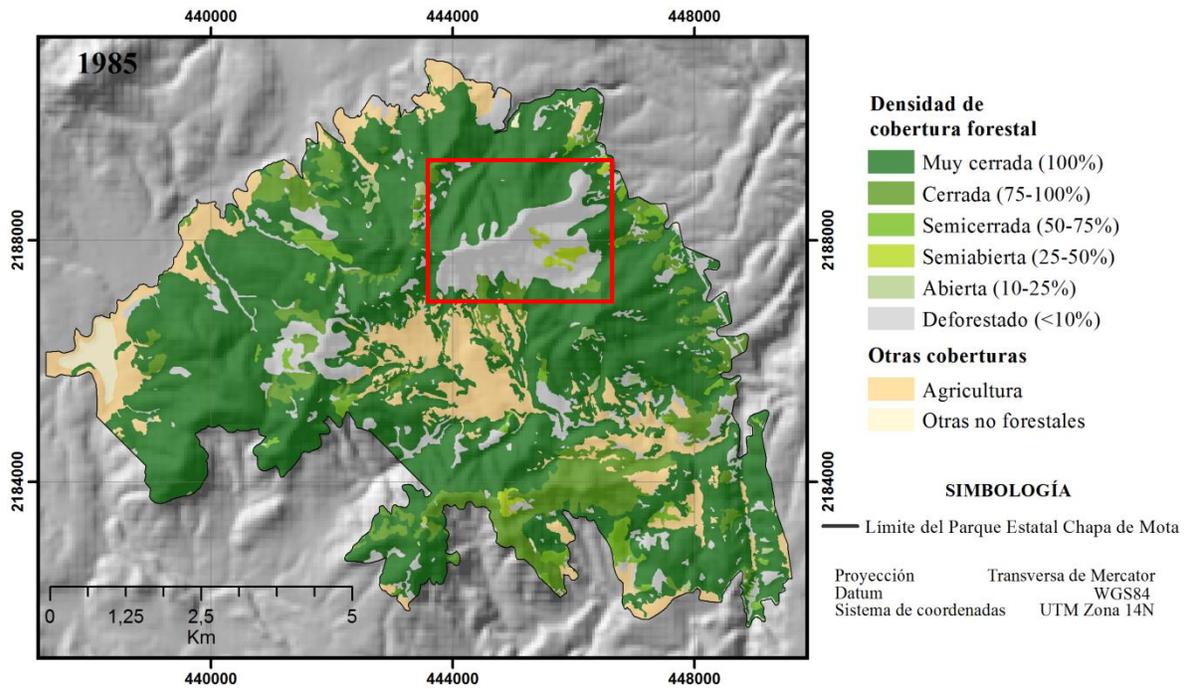


Figura 35. Coberturas de 1985 en el Parque Estatal Chapa de Mota.

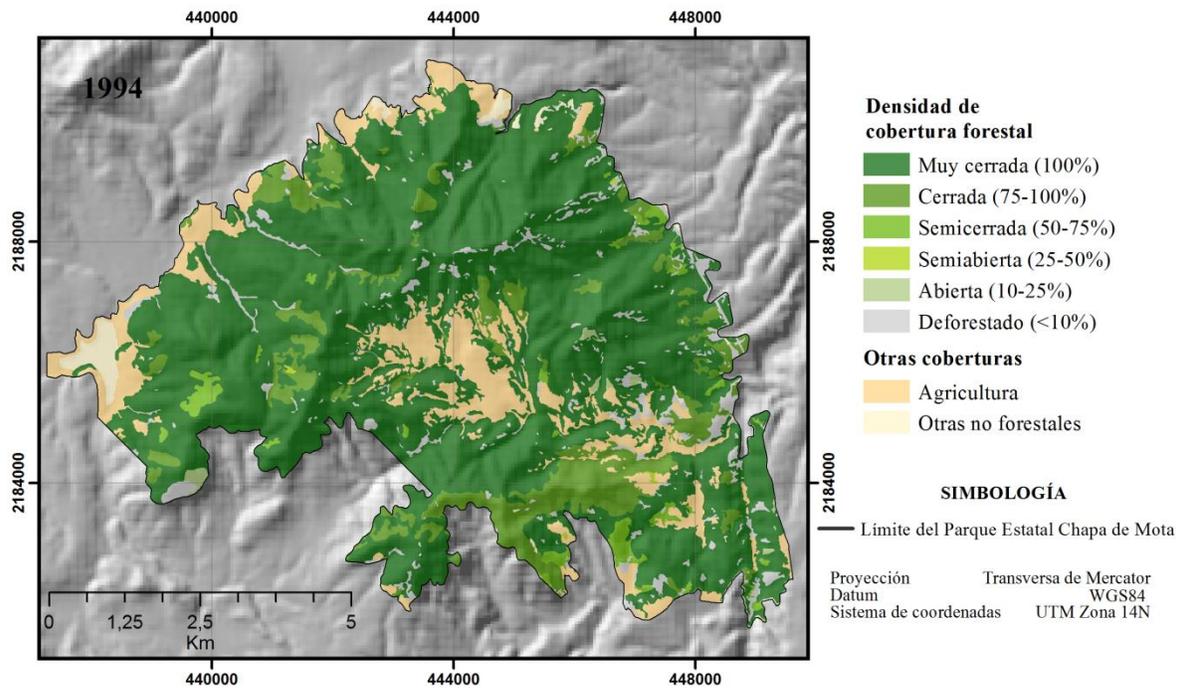


Figura 36. Coberturas de 1994 en el Parque Estatal Chapa de Mota.

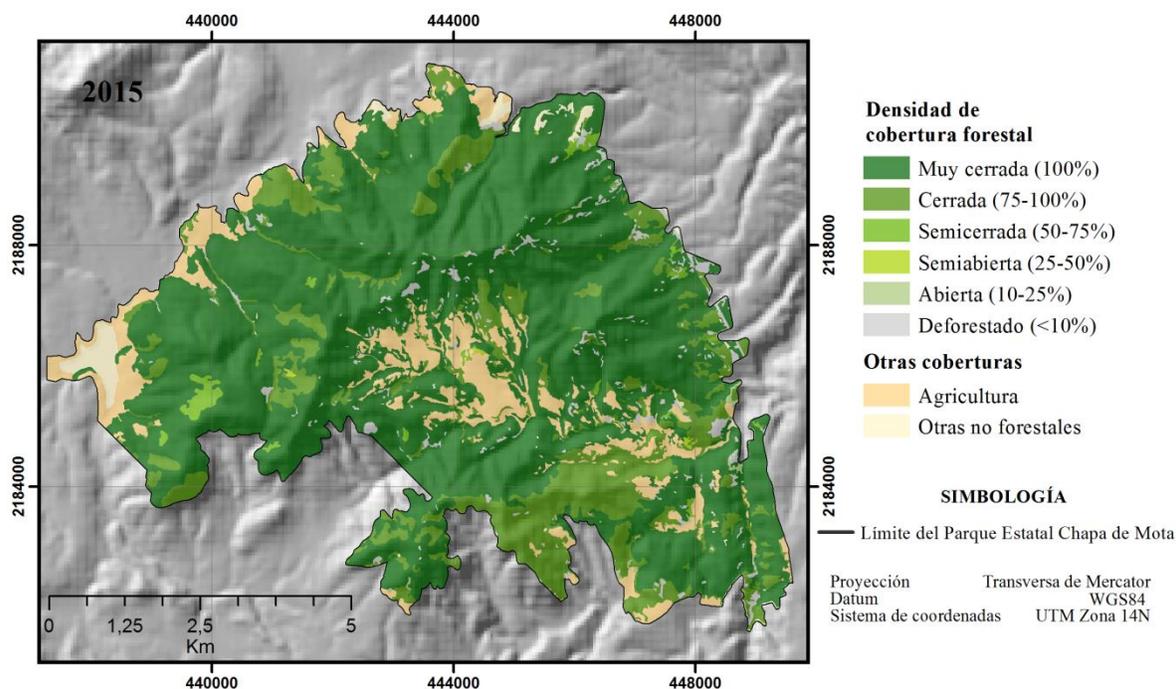


Figura 37. Coberturas de 2015 en el Parque Estatal Chapa de Mota.

El porcentaje de cambio de 1985-1994 fue del 11%, mientras que de 1994-2015, fue del 8.6%. En ambos casos predominó la recuperación. Para 1994 la reforestación, el proceso dominante; 401 ha pasaron de ser cobertura deforestada, a cobertura muy cerrada. El total de hectáreas reforestadas fue de 427. En segundo lugar se encuentra la densificación, que fue media, ya que fueron los bosques semicerrados y semiabiertos los que aumentaron su densidad para convertirse en bosque muy cerrado. Las alteraciones, representaron el 1.9% de los cambios. De estas, el cambio más importante se presentó de cobertura deforestada a agricultura, con 24 ha (Cuadro 18).

Cuadro 18. Cuantificación de cambios del Parque Estatal Chapa de Mota (1985-1994).

Coberturas Parque Estatal Chapa de Mota	1994								Total general
	Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura	Otras coberturas no forestales	
1985									
Muy cerrada	3,856	15	29	0	9	16	1	0	3,926
Cerrada	1	632	0	0	0	1	0	0	634
Semicerrada	36	9	80	1	0	2	0	0	128
Semiabierta	28	6	0	0	0	1	0	0	35
Abierta	15	2	1	0	13	0	0	0	31
Deforestado	401	20	4	2	0	271	24	23	746
Agricultura	30	5	2	3	1	6	745	0	793
Otras coberturas no forestales	1	0	0	0	0	0	0	0	72
Total general	4,368	689	116	5	23	297	770	96	6,364

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	98	573	1.55	9.01	7.11
Reforestación	427		6.71		
Forestación	48		0.76		
Disminución de la densidad	53	121	0.84	1.90	
Deforestación	20		0.31		
Cambio de uso de suelo	48		0.76		

Para el periodo 1994 a 2015, la reforestación sigue siendo el proceso dominante, gracias a este proceso, la cobertura cerrada aumenta a 1,068 ha. De esta forma, la cobertura deforestada disminuye a la mitad del área que tenía en 1994. Las forestaciones aumentaron considerablemente respecto al periodo anterior, la mayoría de estas dieron lugar a bosques cerrados. De los procesos de perturbación, dominó la disminución de densidad forestal, con 121 ha. De estas, 112 ha de bosque muy cerrado se convirtieron a bosque cerrado (Cuadro 19). El cambio de uso de suelo y la deforestación fueron mínimos ya que sólo 9 y 6 ha tuvieron este tipo de cambio. El cambio de uso de suelo se dio para aumentar la agricultura.

Cuadro 19. Matriz de cambios en la cobertura forestal del Parque Estatal Chapa de Mota (1994-2015).

Coberturas Parque Estatal Chapa de Mota		2015							Total general	
		Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura	Otras coberturas no forestales	Total general
1994	Muy cerrada	4,253	112	0	0	0	1	1	0	4,368
	Cerrada	22	654	8	1	0	2	1	0	689
	Semicerrada	0	72	43	0	0	0	1	0	116
	Semiabierta	2	2	0	1	0	0	0	0	5
	Abierta	0	19	1	0	1	2	0	0	23
	Deforestado	31	118	4	1	8	129	4	2	297
	Agricultura	12	91	4	2	3	12	637	8	770
	Otras coberturas no forestales	0	0	0	0	0	1	1	94	96
	Total general	4,321	1,068	61	6	13	147	646	103	6,364

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	119	407	1.87	6.39	4.26
Reforestación	162		2.55		
Forestación	126		1.97		
Disminución de la densidad	121	136	1.91	2.13	
Deforestación	6		0.09		
Cambio de uso de suelo	9		0.14		

En el periodo 1985-1994, los cambios se presentaron en grandes extensiones y muy localizados, en cambio, los de 1994-2015, aparecen como pequeños manchones distribuidos a lo largo de todo el parque (Figura 38).

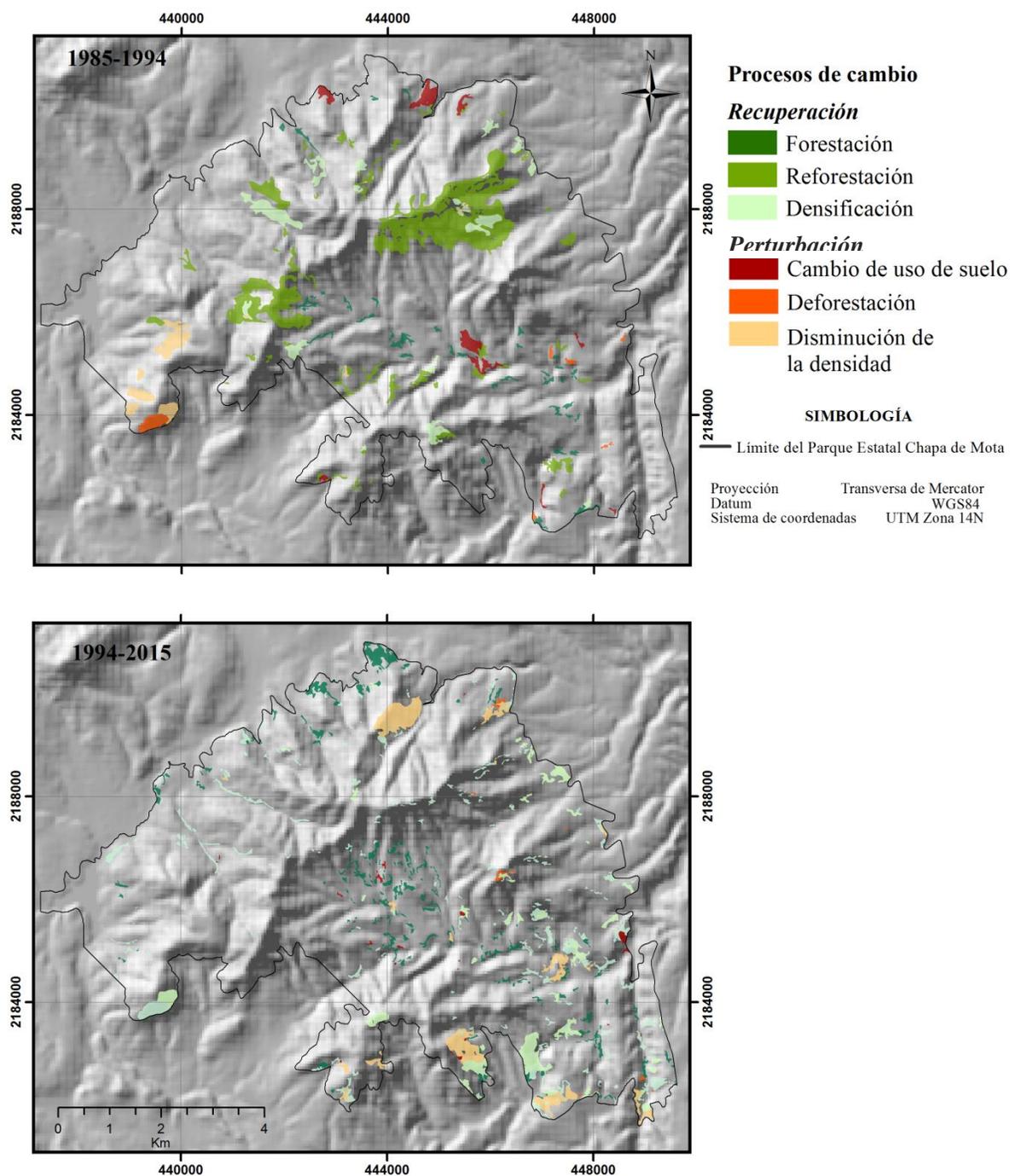


Figura 38. Cambios en los periodos 1985-1994 y 1994-2015 en el Parque Estatal Chapa de Mota.

En la comparación final de 1985-2015, el resultado es que el bosque (densidad de cobertura >10%) ganó 715 ha que representan el 11.23% del Parque Estatal. La categoría deforestada fue la que más disminuyó con un total de 599 ha perdidas, para quedar en 147 ha de superficie en 2015. Por su parte la agricultura perdió 147 ha que dieron lugar en su mayoría a bosque cerrado y muy cerrado. Por último, las otras coberturas no forestales ganaron 30 ha, siendo la erosión y el pastizal los que aumentaron (Cuadro 20).

Cuadro 20. Matriz de cambios en la cobertura forestal del Parque Estatal Chapa de Mota (1985-2015).

Coberturas PE Chapa de Mota		2015								Total general
		Muy cerrada	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Deforestado	Agricultura	Otras coberturas no forestales	
1985	Muy cerrada	3,759	47	6	1	1	2	3	0	3,926
	Cerrada	68	51	2	0	0	0	0	0	634
	Semicerrada	74	7	5	0	0	0	0	0	128
	Semiabierta	44	5	7	3	1	1	2	0	35
	Abierta	66	2	1	0	3	1	0	0	31
	Deforestado	597	13	8	3	7	114	9	2	746
	Agricultura	154	7	4	4	3	20	631	8	793
	Otras coberturas no forestales	0	0	0	0	0	1	1		94
	Total general	4,321	1,068	61	6	13	147	646	103	6,364

Proceso	Hectáreas	Hectáreas totales	%	% total	Diferencia %
Densificación	274	1,095	4.31	17.21	15.98
Revegetación	628		9.87		
Forestación	193		3.03		
Disminución de la densidad	58	78	0.91	1.23	
Deforestación	4		0.06		
Cambio de uso de suelo	16		0.25		

Los ejemplos que se presentan en esta serie de tiempo, muestran los procesos dominantes que fueron la forestación y la reforestación. Poco a poco se observa que el bosque va ganando terreno y termina siendo más continuo para el 2015 (Figura 39).

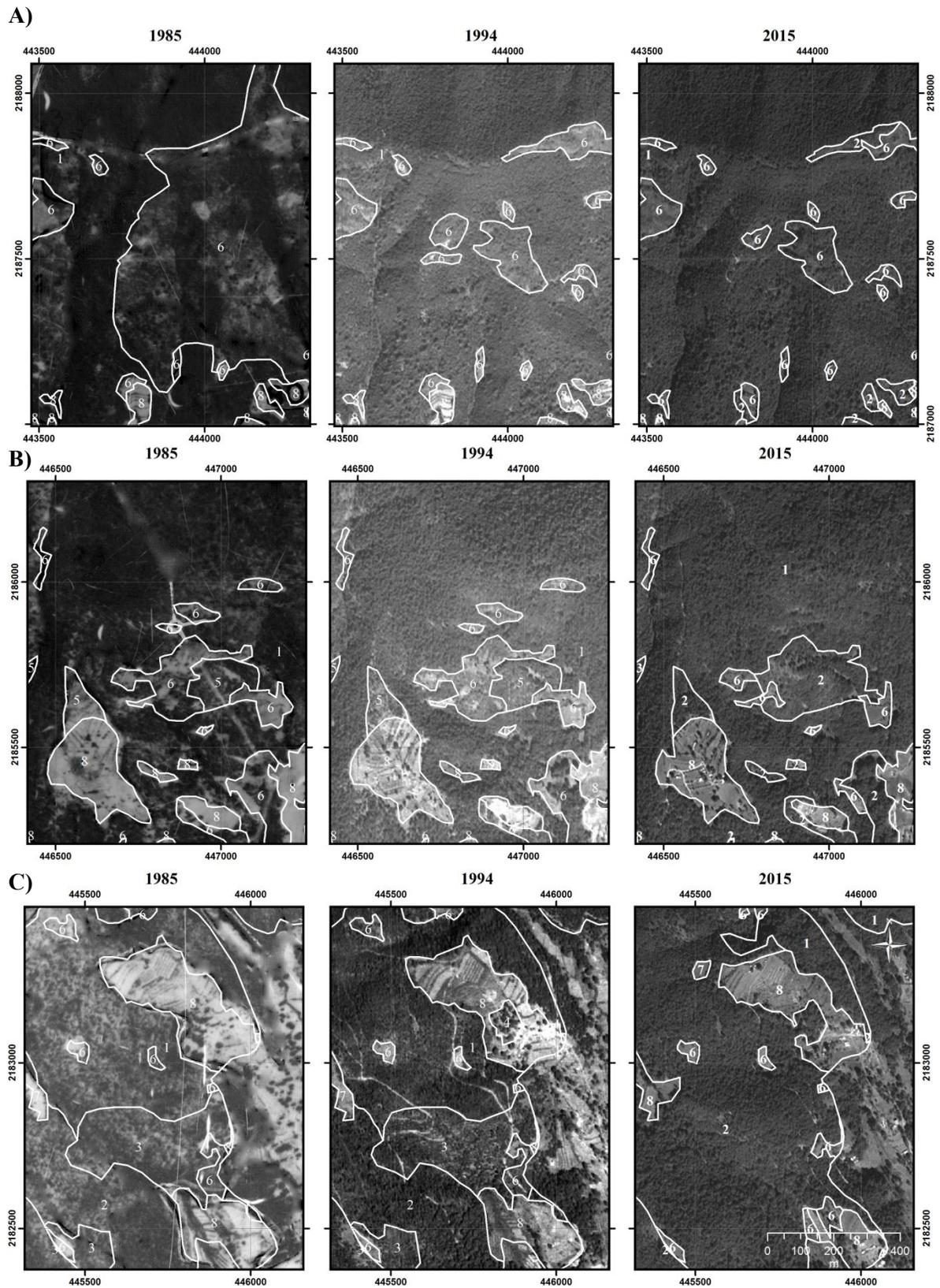


Figura 39. Comparación entre 1985, 1994 y 2015. Procesos de cambio: A) Reforestación; B) Forestación; C) Forestación y densificación.

Al igual que en los casos anteriores, se analizó la cobertura por municipio. El Parque Estatal Chapa de Mota se encuentra en su mayoría en el municipio del mismo nombre (83%) y la parte restante en el municipio de Villa del Carbón.

En el municipio de Villa del Carbón en el primer periodo hubo muy pocas alteraciones (0.52%), a diferencia de Chapa de Mota, que tuvo el 2.08%. En el siguiente periodo esto cambia y para Villa del Carbón el 7.25% de los cambios corresponden a alteraciones. Las alteraciones en este primer municipio, se debieron principalmente al cambio de uso de suelo (Figura 40).

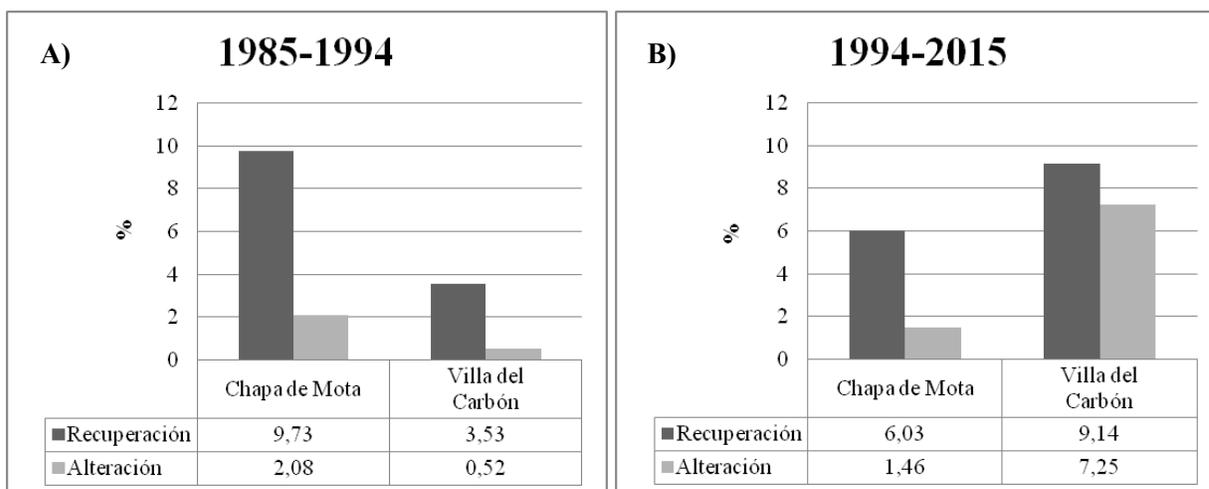


Figura 40. Recuperaciones y alteraciones en ambos periodos, por municipio.

- Zonificación forestal

De las 9 zonas, la intangible fue la dominante con 33,290 ha (42.91%), seguida de la de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, que incluye todas las áreas agrícolas y pecuarias, que suman 15,039 ha y representa el 19.38% (Cuadro 21). En general en los dos años de estudio cada zona tuvo pocos cambios en su superficie. La descripción de cada zona dentro del área en estudio se presenta a continuación:

1. Zona Intangible: Esta zona comprende áreas de bosque cuyas coberturas muy cerradas y cerradas son dominantes y se han mantenido desde 1994. Se identificaron 5 secciones con esta categoría que se ubican en las zonas con relieve más accidentado. La zona más importante en extensión pertenece al macizo montañoso de Sierra de las Cruces, con una superficie de 21,479 ha. La segunda zona, localizada al norte del área en estudio y perteneciente en su mayoría al Parque Estatal Chapa de Mota, tiene una extensión de 8,786 ha. Las otras 3 secciones suman 3,023 ha.

2. Zona primitiva: Se caracteriza por los bosques localizados al oriente del área en estudio, los cuales tienen bastante cercanía con la zona metropolitana del Valle de México. Estas zonas, en su mayoría están bien conservadas y tienen bajo grado de fragmentación. La zona primitiva tuvo una ganancia de 219 ha, debido a diversas forestaciones en la zona de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas (Figura 41).

3. Zona de recuperación/restauración: Consiste en las áreas que se convirtieron en bosques abiertos o áreas deforestadas y las áreas que se empezaron a forestar. Se mantuvo estable, sólo perdió 12 hectáreas las cuales pasaron a ser zona de uso intensivo. Esta zona de cambio se localiza en la parte sur del polígono.

4. Zona de uso extensivo: Se incluyeron los remanentes de bosque aledaños a zonas de asentamientos humanos o agrícolas. También se incluyó la presa Iturbide, ubicada en Jilotzingo y el bosque circundante, que cuenta con zonas de campamento. La Presa Benito Juárez en Villa del Carbón también se incluyó como parte de la zona de uso intensivo.

5. Zona de uso intensivo: Se incluyeron algunos centros ecoturísticos con cabañas como Presa Del Llano y Llano de Lobos, ambos en el municipio de Villa del Carbón y Presa Capoxi, en Jilotzingo.

6. Zona cultural: Contiene el centro ceremonial Otomí, perteneciente al Parque Ecoturístico y Recreativo Otomí Zempoala-La Bufa.

7. Zona de uso especial: Aledaña al centro ceremonial Otomí, es donde se encuentran los servicios de mantenimiento de la zona cultural.

8. Zona de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas: Son todas las áreas agrícolas y pecuarias. De 1994 a 2015, esta zona perdió 559 ha. De estas, 300 pasaron a ser asentamientos humanos y zonas urbanas y 219 a zona primitiva.

9. Zona de asentamientos humanos: En proporción fue el área que más aumentó de superficie. En 1994 contaba con 1,151 ha y en 2015 aumentó a 1,598 ha. En 1994 representaban el 1.48% del área en estudio, en 2015 aumentaron a 2.06%, desplazando a la zona intangible (0.03%), la primitiva (0.05%), la de uso extensivo (0.12%) y a la de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas (0.39%). Las zonas que aumentaron se localizan en la parte oriente específicamente en los municipios de Villa del Carbón, Atizapán de Zaragoza y Jilotzingo (Figura 40).

Cuadro 21. Superficie de cada zona en 1994 y 2015 y su diferencia. Los números negativos indican pérdida de superficie.

Zona	Hectáreas		Diferencia hectáreas
	1994	2015	
Intangible	33,330	33,290	-40
Primitiva	12,143	12,362	219
Recuperación	11,976	11,964	-12
Uso extensivo	3,633	3,252	-81
Uso intensivo	16	41	26
Cultural	12	12	-12
Uso especial	3	3	0
Aprovechamiento sustentable de los ecosistemas	3,333	3,252	-81
Asentamientos humanos	1,151	1,598	447

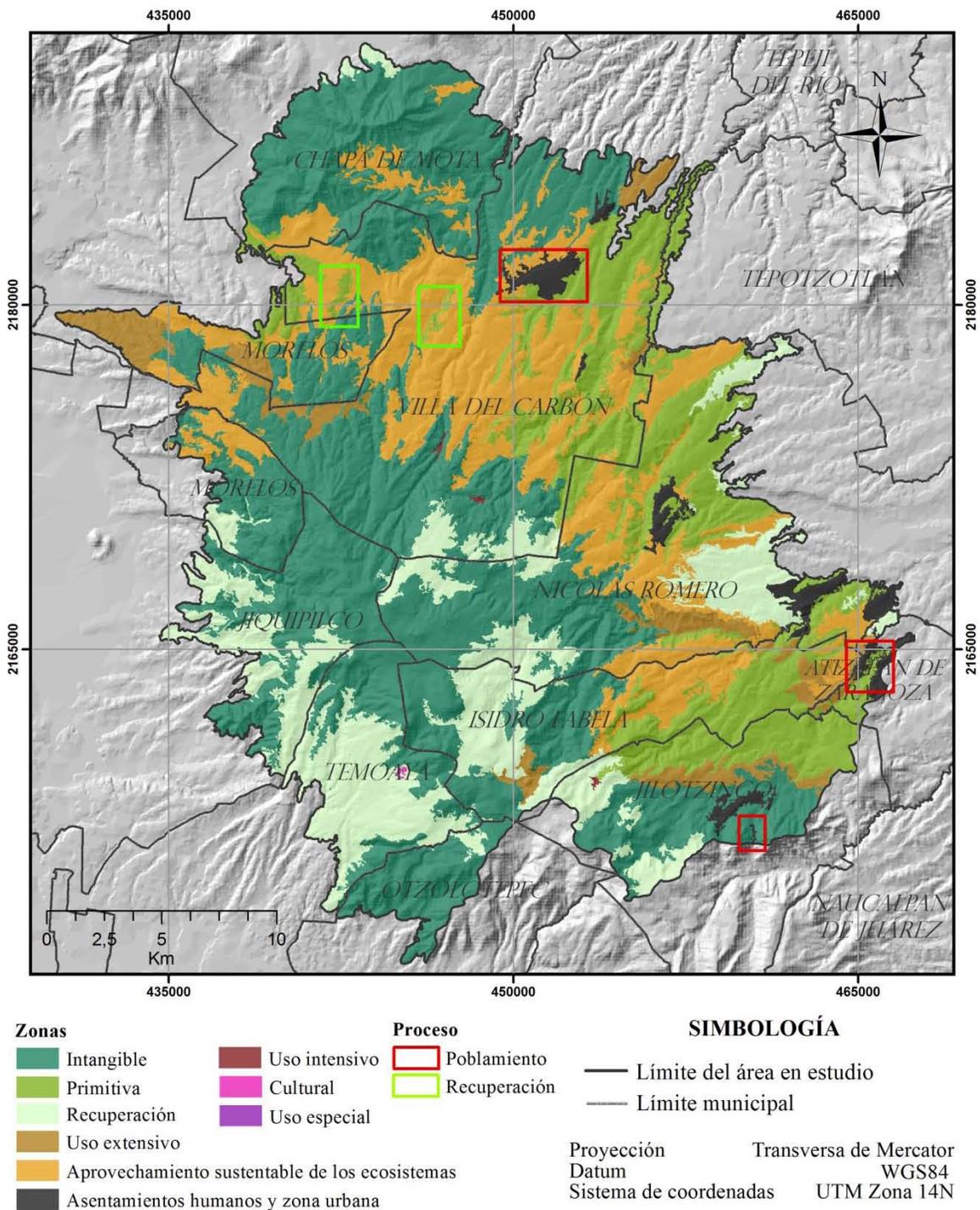


Figura 41. Zonificación. Categorías tomadas y modificadas de Moseley, 1976.

DISCUSIÓN

-Cambios de cobertura forestal

Según la FAO (2016) se considera a México como un país con pocos cambios en la superficie de áreas boscosas y de cultivo, en el período de 2000-2010, lo cual contrasta con lo registrado en esta investigación para el área de estudio; el 14.59% del área presentó cambios positivos o negativos. De acuerdo a lo reportado por Ramírez (2001), Rodríguez y Pereda (2012), Cabello (2016) y Domínguez (2016), el promedio de cambio de la cobertura forestal en bosques templados de diferentes zonas del País, va de 1.6% a 8.59% en aproximadamente el mismo periodo.

Los resultados presentados, muestran que en cualquier nivel (general, por ANP, municipio y subcuena), la recuperación domina, sobre todo la reforestación, que indica que probablemente las áreas deforestadas o las parcelas agrícolas abandonadas se han regenerado naturalmente dando lugar a bosque.

Desde el 2006, el Gobierno del Estado de México, a través de la PROBOSQUE y la CONAFOR, han destinado recursos para el programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) a ejidos con superficie boscosa en buen estado de conservación (Cuadro 22). A continuación se muestran los ejidos en el área en el estudio que han sido beneficiarios de este programa.

Cuadro 22. Ejidos que han sido beneficiarios del PSAH en el área en estudio.

Año	Ejidos	Ha totales
2007	7	1,063
2008	15	2,566
2009	15	3,055
2011	13	2,290
2012	16	3,459
2013	16	3,524
2014	15	2,553
2015	15	3,156

En total hay 34 ejidos en el área en estudio (Figura 42), y la mayoría se han visto beneficiados por el programa de Pago por Servicios Ambientales, que entró en operación en el 2007 (Figura 43).

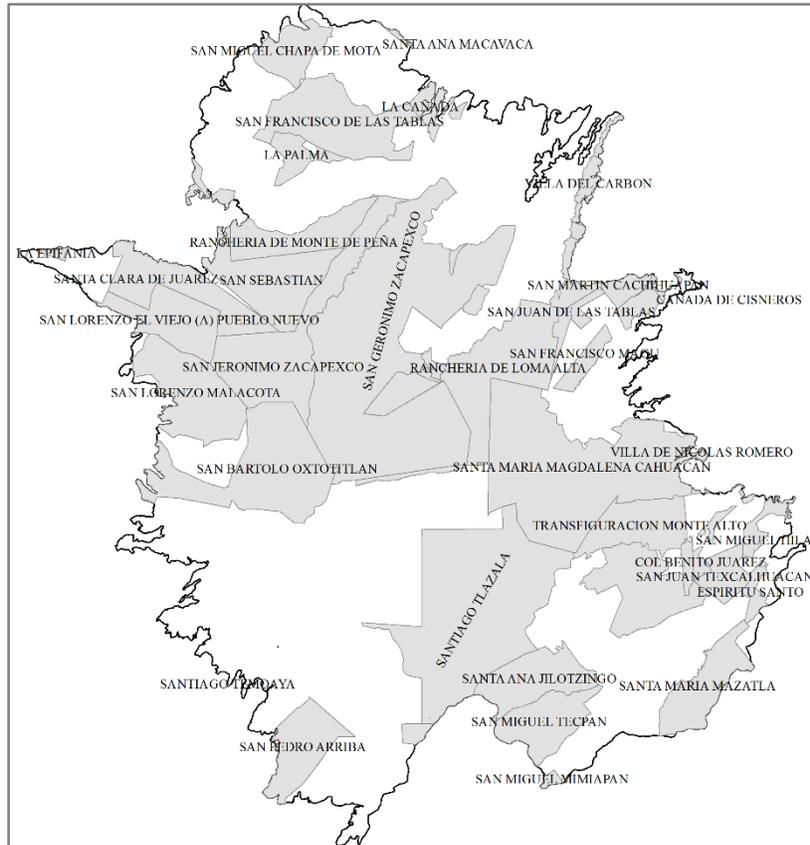


Figura 42. Ejidos del área en estudio.

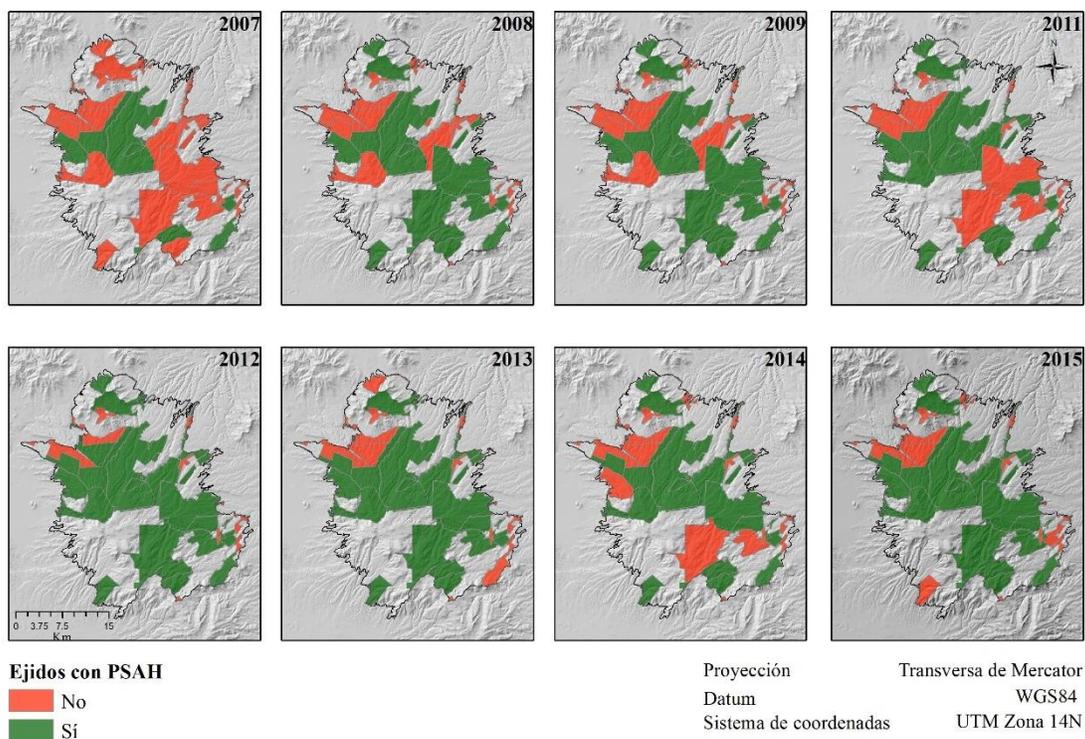


Figura 43. Ejidos con PSAH en el periodo 2007-2015. Fuente: PROBOSQUE (2017b).

En segundo lugar, los programas de reforestación han contribuido bastante a estas recuperaciones (2,492 ha). Al igual que el PSAH los programas de reforestación iniciaron en el 2006, tanto por parte del gobierno federal, como del estatal. Adicionalmente, la CEPANAF a la única ANP a la que ha destinado árboles para reforestación de 2007 a 2008, ha sido el Parque Otomí-Mexica, con 45,000 ejemplares de *Cupressus lindleyii*, *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* (CEPANAF, 2017).

Sin embargo, es importante aclarar que un bosque cultivado no tiene la misma calidad que un bosque natural, además de que se debe de considerar que las forestaciones, que también representaron un porcentaje importante de recuperación, se deben de realizar preferentemente con especies propias del lugar.

En el mapa de reforestaciones se observa cómo desde el 2006 empezó a incrementar el apoyo para estas acciones (Cuadro 23 y Figura 44). Las reforestaciones se encuentran principalmente en la parte media del área en estudio.

Cuadro 23. Reforestaciones en el área en estudio, periodo 2006-2015. Fuente: PROBOSQUE, 2017b

Año	Reforestaciones	Ha totales
2006	6	35
2007	21	309
2008	26	591
2010	26	390
2011	20	370
2012	17	378
2013	26	331
2014	23	431
2015	17	390

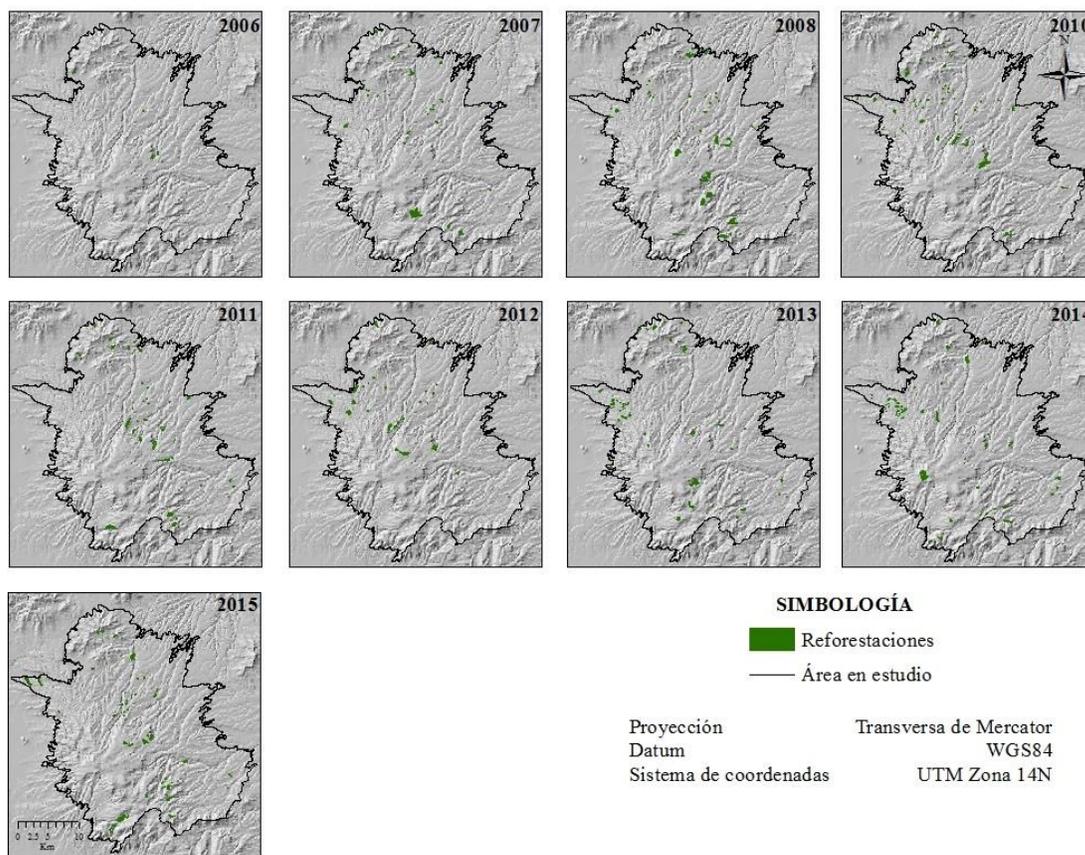


Figura 44. Polígonos reforestados por el Gobierno del Estado de México, en la zona en estudio en el periodo 2006-2015. Fuente: PROBOSQUE (2017).

Al hacer una relación entre las parcelas reforestadas y los ejidos bajo el esquema de PSAH, se observa que es en estos en donde más reforestaciones ha habido. Destacan el ejido San Jerónimo Zacapexco, Santiago Tlazala y Santa Magdalena Cahuacán, que han participado en casi todas las convocatorias del PSAH desde el 2007. Es también en estas zonas donde el bosque ha recibido menos alteraciones y donde se encuentran concentrados gran parte de los bosques cerrados. Algunos de los polígonos reforestados señalados por PROBOSQUE no coinciden con los digitalizados en este estudio. Esto podría deberse a la diferencia temporal o bien a la baja sobrevivencia de los árboles plantados.

Además de los programas de reforestación, a partir del 2009 el Estado de México se integró al Programa de Desarrollo Forestal Comunitario, que pretende involucrar a ejidatarios y comunidades en el manejo y cultivo del bosque, así como fortalecer el capital social. El área estudiada se encuentra en una de las regiones con mayor número de proyectos generados en el Estado de México a través de este programa (SEMARNAT, 2017). Las recuperaciones del bosque son atribuibles también a él y a que desde 1999 en el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México se incluyen políticas ambientales de protección, conservación, restauración y aprovechamiento (GEM, 1999; SMA, 2006).

De acuerdo con Pineda y colaboradores (2009), el área en estudio fue de las que más pérdidas de bosque registraron en el periodo de 1999-2002 a nivel estatal. Los cambios se atribuyen al crecimiento agrícola y pecuario y a la cercanía a comunidades, mayormente indígenas con alto grado de marginación, cuyo sueldo promedio es de menos de un salario mínimo y que explotan los recursos forestales. El período que ellos evaluaron sirve para conocer los procesos intermedios en el periodo 1994-2015. Con esa información se podría deducir que hasta el 2002 al menos, el bosque estaba siendo alterado gravemente y que para 2015, se revirtió esta tendencia. Sin embargo, hace falta información respecto a si ese cambio se debe a aplicación de políticas de conservación o a modificaciones en las prácticas de conservación y explotación forestal llevada a cabo por la población del lugar.

Otro factor relacionado con la pérdida del bosque aunque en menor medida, es la cercanía a vías de comunicación; Mas *et al.* (1996) reporta que, a menor distancia de éstas, la deforestación es mayor. Adicionalmente Agrawal (1995) atribuye en gran parte la condición de los bosques y los recursos en general, a los arreglos institucionales y su

efectividad. Como ya se mencionó, las políticas ambientales implementadas y los diferentes programas para recuperar el bosque, han dado resultados para el aumento de la superficie boscosa dentro del área en estudio.

Los incendios forestales, también son un factor que modifica el bosque. Con datos desde el 2006, se documenta la incidencia de este fenómeno (Cuadro 24). La zona en donde más incendios se han presentado del 2006 a la fecha (2017) es la oriente, donde el bosque está aledaño a las áreas agrícolas y a los asentamientos humanos (Figura 45).

Cuadro 24. Incendios totales en el área en estudio, en el periodo 2006-2017. Fuente: PROBOSQUE, 2017.

Año	Número	Ha afectadas
2006	180	538
2007	62	141
2008	215	516
2009	227	659
2010	148	269
2011	335	897
2012	88	173
2013	270	573
2014	68	97
2015	31	40
2016	188	405
2017	100	189

De acuerdo a PROBOSQUE (Chávez, 2011), los municipios de Villa del Carbón y Nicolás Romero constituyen "zonas de alto riesgo" por la gran cantidad de incendios que presentan. Las causas principales son la época de sequía y la quema provocada para ampliar la zona agrícola. Esta zona es la que mayor cambio de uso de suelo a terreno agrícola tiene en toda el área en estudio. De estos incendios, sólo el 1.8% provoca la pérdida de arbolado, ya que la mayoría son superficiales (SMA, 2008). En su reporte diario de incendios, PROBOSQUE indica que el pasto es el más afectado, del cual se quemaron 1,341 ha en total. Los arbustos le siguieron en superficie perdida con 2,199 ha y en cuanto a los renuevos se perdieron 338 ha. El único año que registró pérdida de árboles adultos fue el 2009, en total se afectaron 0.5 ha de ellos. Aunque no se reporten afectaciones graves a los árboles adultos,

los incendios han ocurrido en zonas cercanas a ellos y en caso de realizar malas prácticas de quema, el fuego se puede propagar a los bosques.

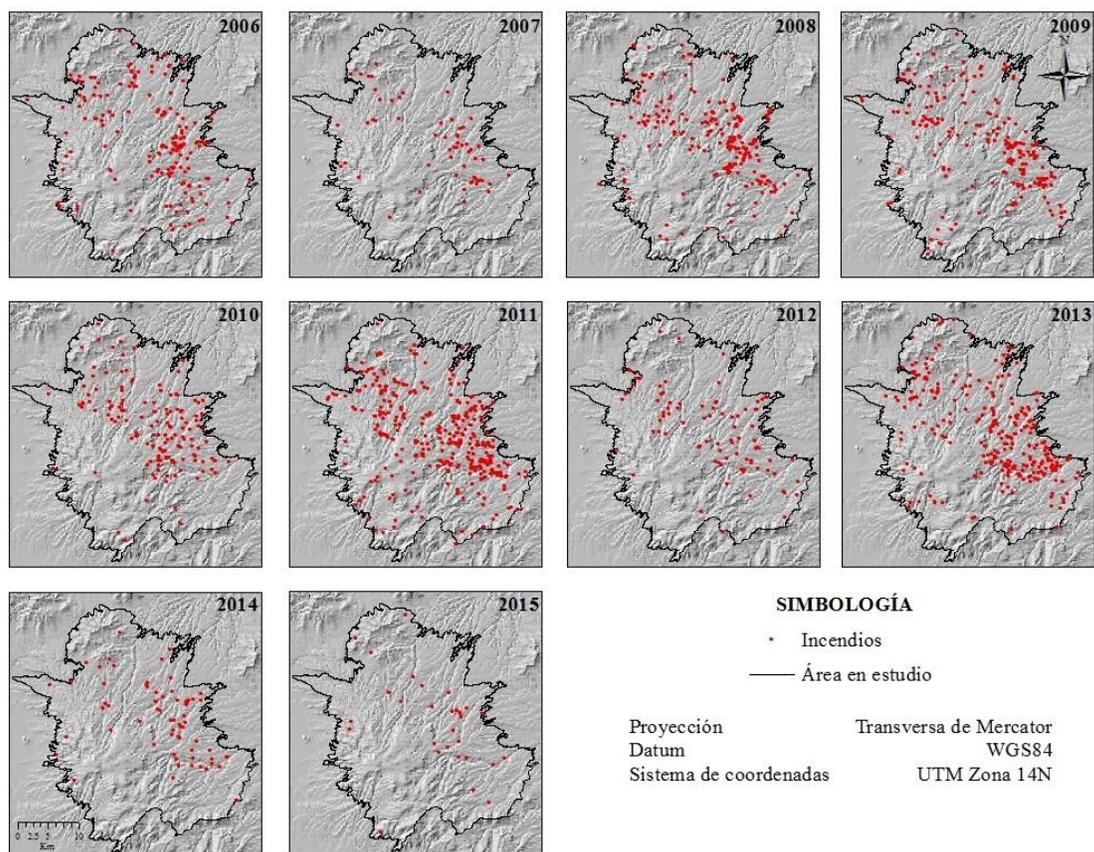


Figura 45. Incendios en el período 2006-2017 dentro de la zona en estudio. Fuente: PROBOSQUE (2017c).

Se pueden localizar dos grandes zonas con gran incidencia de incendios: una localizada en el área agrícola del municipio de Morelos y Villa del Carbón, y la otra igualmente en las áreas agrícolas del municipio de Nicolás Romero, Isidro Fabela y Jilotzingo. En contraste, las zonas con poca incidencia de este fenómeno se localizaron en las partes montañosas, como el Parque Estatal Chapa de Mota y el Parque Estatal Otomí-Mexica.

Siguiendo con los procesos de perturbación, se tiene que en el área en estudio 1,011 ha de bosque muy cerrado y cerrado disminuyeron su densidad, mientras el resto de las densidades que atravesaron este mismo proceso sumaron 550 ha. Este proceso puede estar

influenciado por el clareo de los bosques, una práctica de manejo forestal o bien, por competencia, mediante el llamado “principio de autoclareo”. Este principio dice que mientras mayor tamaño tengan los árboles, menos cantidad de ellos hay por unidad de área, ya que los recursos se van limitando (Gracia, 2013).

Por otra parte, hasta la fecha, de las 6 ANP (Cuadro 1) dentro de la zona en estudio, sólo 3 cuentan con un plan de manejo publicado: Parque Estatal denominado “Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río San Lorenzo”, el Parque Ecológico, Turístico y Recreativo Zempoala La Bufa, denominado Parque Otomí – Mexica del Estado de México y el Parque Estatal denominado “Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río Mayorazgo-Temoaya” (CEPANAF, *op. cit.*). Este dato es preocupante, tomando en cuenta que son áreas de alta diversidad biológica y de recarga de acuíferos y requieren un manejo adecuado para hacer un uso razonable de sus recursos. A pesar de esto, como se mencionó anteriormente predomina la recuperación del bosque.

No obstante, no se puede tomar sólo la densidad de la cobertura forestal como indicador de recuperación; si bien se puede inferir el estado del bosque a través de esta variable, no deja de ser importante evaluar las especies que lo componen, su estado y la calidad del suelo. Como ejemplo de lo anterior está la zona de pastizales inducidos de los municipios de Nicolás Romero y Villa del Carbón, la cual empezó a ser desmontada desde la década de los 70's (INEGI, 1985), y si bien se han llevado a cabo unas cuantas forestaciones, una porción importante presenta un grado fuerte de erosión del suelo, sin considerar los asentamientos humanos ni minas (Bolaños *et al.*, 2016).

A pesar de no haber tenido muestreo de campo, la separación de las densidades de cobertura del bosque fue acertada, ya que la interpretación visual ofrece un índice de confiabilidad mayor al que se obtiene mediante el procesamiento de imágenes de satélite (Mas *et al.*, 2009). La escala de trabajo (1:5,000) permite distinguir los criterios de la fotointerpretación para el análisis de las coberturas estudiadas.

- Zonificación forestal

La zona intangible es la dominante con un total de 33,290 ha. En su mayor parte, se mantuvo sin cambios de 1994 al 2015. Por definición, esta área debería mantenerse sin modificaciones, sin embargo, perdió 40 ha, de las cuales 20 se convirtieron a asentamientos humanos. Estos están localizados en el municipio de Jilotzingo en las localidades Barrio Las Manzanas y Santa María Mazatla. Este cambio podría considerarse alarmante, ya que la zona intangible tiene mucho valor para la conservación. Las otras 20 ha, se convirtieron en zona de uso intensivo y extensivo, 6 y 14 ha, respectivamente. La zona de uso intensivo corresponde a la presa Capoxi, que además cuenta con una granja acuícola. Esta presa se inauguró en el 2011 y sus alrededores que estaban deforestados, fueron forestados por parte de PROBOSQUE (PROBOSQUE, 2017). En cuanto a la zona de uso extensivo, es un remanente de bosque que se localizó cerca de la localidad de Santa María Mazatla, en el municipio de Jilotzingo.

La zona de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas se redujo a causa de las forestaciones, que permitieron que se añadieran dos nuevas secciones de la zona primitiva en 2015. Es así que la zona primitiva aumentó 219 ha, quedando en 2015 en 12,362 ha. La zona primitiva tiene la función de servir como amortiguamiento para la zona intangible. Al localizarse junto a los asentamientos humanos y a las zonas agrícolas, es difícil que se pueda mantener "intocable" por su fácil acceso. Las cuatro secciones más importantes de la zona primitiva que representan casi el 15% de la zona en estudio, están destinadas como zona de producción de acuerdo a la zonificación forestal de la CONAFOR, junto con todo lo que se encuentra afuera de las ANP Parque Estatal Chapa de Mota y Otomí-Mexica incluso, el bosque más denso lo han catalogado como zona de producción alta, lo cual implica que es objeto de aprovechamiento forestal maderable y no maderable (CONAFOR, 2017b). En cambio, las políticas ambientales de la SMA (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México) (SMA, 2006), definen esta parte como zona de protección.

A pesar de esto último, presentó una cantidad considerable de cambio de uso de suelo ya fuera para destinarlo a agricultura o a asentamientos humanos. Los bosques de la zona primitiva son de encino por lo que tienen un alto valor por su biodiversidad.

También de acuerdo a la SMA, el área correspondiente al Parque Estatal Otomí-Mexica, está destinada a conservación. Sin embargo, las zonas de recuperación dentro del Parque no están consideradas como tal. Las zonas mencionadas anteriormente, requieren de especial atención ya que tiene un alto grado de fragmentación, además de localizarse a 3,200 msnm, donde debería permanecer inalterable de acuerdo a los lineamientos de la CONAFOR para la zonificación forestal (DOF, 2011).

Por último, el crecimiento de los asentamientos humanos y la zona urbana es inminente. El poblamiento en la zona en estudio se dio en mayor parte en zonas de agricultura, sin embargo, como se mencionó anteriormente también lo hubo en la zona intangible y primitiva. A partir del 2001, la Ley de Asentamientos Humanos del Estado de México establece que los planes de desarrollo urbano deben de estar acorde "con la topografía del área, el paisaje, los recursos naturales y las condiciones ambientales existentes" y que se deben proteger los bosques, cuerpos de agua, cauces y manantiales, para no comprometer su prevalencia (Gobierno del Estado de México, 2001). Sin embargo, en años recientes el crecimiento del Condado de Sayavedra, localizado en el municipio de Atizapán de Zaragoza, ha ido desplazando al bosque que se encuentra catalogado como zona primitiva, además de localizarse en zona no urbanizable debido a que el terreno presenta pendientes de entre el 15 y 25% (Plan de Desarrollo Municipal de Atizapán de Zaragoza 2016-2018, 2016).

Otro ejemplo de esta situación, se da en el municipio de Jilotzingo en la localidad San Luis Acayucan, donde parte del área intangible también fue poblada. Esta porción se encuentra dentro de la zona de conservación del ANP Parque Otomí-Mexica. De acuerdo al plan de manejo de esta última, no se permite la construcción de infraestructura de este tipo en la zona de conservación (Gaceta del Gobierno del Estado de México, 2009).

CONCLUSIONES

En el periodo analizado (1994-2015) en el área en estudio, la reforestación fue el proceso dominante seguido de la forestación. De acuerdo a lo investigado, los programas de gobierno y las políticas ambientales, han sido implementados en los últimos años para evitar la pérdida de los bosques. Respecto a las alteraciones, la disminución de la densidad del bosque fue la que más porcentaje obtuvo, sin embargo, fue una perturbación ligera. La vocación forestal del área en estudio permite que se desarrolle la agricultura, ya que sus suelos son ricos en materia orgánica, por lo que el crecimiento de la frontera agrícola es una amenaza para el bosque. De las coberturas no forestales, la agricultura fue la que más superficie tuvo y la que más cambió. Además, el aumento de las zonas urbanas, que es inminente, también ha alterado el bosque.

La evaluación de la cobertura boscosa es una parte muy importante para el manejo de los recursos forestales. Conocer la distribución y cantidad de bosque de manera precisa como se pudo obtener en este estudio, además de sus cambios, permite identificar zonas de especial atención, como las zonas de recuperación y zonas de monitoreo para evitar su pérdida, como la zona intangible entre las otras áreas de gestión. La importancia del Bosque de Agua como zona de recarga de acuíferos y fuente de agua para las presas de las zonas bajas, es una de las razones para seguir estudiando esta región y seguir implementando acciones para la conservación y uso razonable de sus recursos.

El trabajo de campo complementaría de manera importante los resultados obtenidos en esta investigación, ya que aspectos como las especies que componen el bosque en los tres estratos (herbáceo, arbustivo y arbóreo), la calidad del suelo y el estado de los individuos, indicarían si el bosque realmente está bien conservado o está bajo alguna perturbación. Sin embargo, la zona es considerada de alto riesgo por la incidencia de delitos y desafortunadamente, no hay condiciones para realizar el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

- Acero, N., J. Hoth y M. Honzak, 2016. Mapeo y evaluación del papel de la infraestructura verde para mejorar la capacidad de infiltración para guiar los esfuerzos de conservación y restauración en Bosque de agua y suelo de conservación: Identificación de áreas de mayor capacidad de infiltración en el Bosque de Agua y Suelo de Conservación. Conservación Internacional-México y The Nature Conservancy. Elaborado para Conservación Internacional-México, TNC, Fundación Gonzalo Río Arronte, FEMSA y Fundación Kaluz.
- Agrawal, A. (1995). *Population pressure resource degradation: an oversimplistic equation?*. *Unasylva*, 46(2). 50–58.
- Anta S., Contreras H., Toledo C. (1995). Los procesos de deterioro de bosques, suelos, biodiversidad y aguas continentales en México. Santiago CEPAL. México.
- Bolaños M., Paz F., Cruz C., Argumedo J., Romero V., de la Cruz J. (2016). *Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo*. *Terra Latinoamericana*, 34. 271-288.
- Brambila R. (2008). *Congregaciones del siglo XVI en Chapa de Mota, Estado de México*. *Estudios de cultura Otopame*, 6. 35-57.
- Cabello E. (2016). Cambio de cobertura forestal en el área de protección de los recursos naturales, cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec. Tesis de Licenciatura. UNAM. México.
- Cabrero M., López C. (1989). *Civilización en el norte de México*. UNAM. 358 pp.
- Castaños L.J. (2015). La propiedad y participación campesina forestal en México: Época precolombina-1973. En Torres M. (editor) 2015. *Desarrollo forestal comunitario: La política pública*. CIDE. México.
- CENAPAF (Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna). (2014). *Áreas Naturales Protegidas del Estado de México*. Disponible en: [http://conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema_nacional/documentos/A_NPL/Mex/SUPERFICIE_PARQUES_JUNIO_2014.pdf]. Consultado el 10 de agosto del 2016.

- CEPANAF. (2017). Reforestación en las Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. Disponible en: [www.cinu.mx/minisitio/Bosques/docs/aliciaespinogarcia.pdf] Consultado el 2 de mayo de 2017.
- CentroGeo. Ciberatlas. Disponible en: [http://mapas.centrogeo.org.mx/ciberatlas/chapala/lagoyentorno/paisa_ecolo/feozem.htm] Consultado el 18 de mayo de 2017.
- CONANP. (2009). Base de datos geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales y del Distrito Federal. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/anpe09gw.png Consultado el 10 de agosto del 2016.
- Challenger A. (2003). Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En O. Sánchez, E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (editores), *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*, México. INE.
- Chávez S. (2011, 11 de febrero). Estado de México, primer lugar nacional en incendios forestales. *La Jornada*. p. 41.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2012). Inventario Nacional Forestal y de Suelos México 2004-2009. México.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2017). Prensa. Disponible en: [https://www.gob.mx/conafor/prensa/incorporan-19-mil-hectareas-del-edomex-al-programa-pago-por-servicios-ambientales]. Consultado el 6 de mayo del 2017.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2017b). Sistema Nacional de Información Forestal: Zonificación. Disponible en: [http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/mapas-zonificacion-forestal/186-zonificacionforestal]. Consultado el 11 de mayo de 2017.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2003). Acuerdo que establece las reglas de operación para el otorgamiento de pagos del Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos. México.

- DOF. (2011). Acuerdo por el que se integra y organiza la Zonificación Forestal. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5221940&fecha=30/11/2011
- Domínguez I. (2016). Cambios de cobertura forestal en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Durán-Medina, E., Mas, J. F. y Velázquez, A. (2007). Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. En: *Los bosques comunitarios de México: manejo sustentable de paisajes forestales*, México: David Bray y Deborah Barry.
- ECOBA (Estrategia de Conservación Bosque de Agua). (2012). Estrategia Regional para la Conservación del Bosque de Agua. J. Hoth (Editor). Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P., Fundación Biósfera del Anáhuac, A.C. y Pronatura México, A.C. México.
- Eguiluz T., (1982). *Clima y distribución del género Pinus en México*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 7 (38). 30-44.
- ESIA (Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN). (2010). Estudio geológico del conjunto urbano Lomas de Tepojaco, Cuautitlán Izcalli, Edo. Mex.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Roma.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). State of the World's Forest 2016. Forest and agriculture: land-use changes and opportunities. Roma.
- FRA (Forest Resources Assessment Programme). (2000). On definitions of forest and forest change. FAO. Roma.
- FRA. (2015). Documento de Trabajo de la Evaluación de los Recursos Forestales No. 180. Términos y definiciones. FAO.
- Gaceta del Gobierno del Estado de México. (2009). *Resumen Ejecutivo del Programa de Conservación y Manejo del Parque Ecológico, Turístico y Recreativo Zempoala-La Bufa, denominado "Parque Estatal Otomí"*, 64.

- García M. (2008). Efecto de la deforestación en la hidrología del sur y oeste de la Ciudad de México, 1973-2002. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. México.
- García-Palomo A., Zamorano J., López-Miguel C., Galván-García A., Carlos-Valerio V., Ortega R. y Macías J.L. (2008). *El arreglo morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México Central*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 25. 158-178.
- GEM (Gobierno del Estado de México). (1999). Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México. Secretaría de Medio Ambiente. México.
- GEM (Gobierno del Estado de México). (2001). Ley de Asentamientos Humanos del Estado de México. México.
- GEM (Gobierno del Estado de México) (2009). *La Diversidad Biológica del Estado de México. Estudio de Estado*. México.
- Gorte R.W. (2007). Carbon Sequestration in Forests. CRS Report for Congress RL31432. Congressional Research Service.
- Gracia C. (2013). Ecología forestal: Estructura, funcionamiento y producción de las masas forestales. Disponible en: [www.ub.edu/ecologia/carlos.gracia/PublicacionesPDF/Interacciones_masa.pdf]. Consultado el 27 de abril de 2017.
- Gutiérrez J., Trejo O., Castillo R., Avilés P., Cruz S., Camacho S., Castañeda J. (2005). Estado de México: Identidad Estatal. Limusa. México, Distrito Federal.
- Hexagongeospatial.fluidtopics.net. (2017). *Documentation Portal*. Disponible en: [https://hexagongeospatial.fluidtopics.net/book#!book;uri=1d2b29b31b09e59a778ba5980ab5f5d7;breadcrumb=5cd5bd6b4039c5ac47f0a21ea18e6507-507e3d9459594973a58c9d2c942c473b-484a09500d6f6185b9b63830a1845a73-4ecd8936f914fdb653a7a393e0a484da-437d3354f79b437edcfb495259ca7a2d]. Consultado el 27 de enero de 2017.
- IEECC (Instituto Estatal de Energía y de Cambio Climático). 2017. Disponible en: http://ieecc.edomex.gob.mx/trabajo_campo. Consultado el 03 de febrero de 2017.
- INEGI. (1983). Carta de hidrología superficial E14-2. Serie I. Escala 1:250,000.
- INEGI. (1985). Carta de uso de suelo y vegetación E14-2. Serie I.

- INEGI. (2000). Carta hidrológica de aguas subterráneas imagen digital escala 1:1,000,000.
- INEGI. (2001). Carta de subprovincias fisiográficas E14-2. Serie I.
- INEGI. (2001). Carta geológica, escala 1:250,000.
- INEGI. (2006). Carta edafológica, continuo nacional, escala 1:250,000. Serie II.
- INEGI-INE-CONAGUA. (2007). Mapa de cuencas hidrográficas de México (escala 1: 250 000). Producto cartográfico derivado de la obra primigenia INE (2003) "Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250,000.", elaborada por Priego A.G., Isunza E., Luna N. y Pérez J.L.
- INEGI. (2010). Carta de climas, escala 1:1,000,000.
- INEGI. (2011). Carta de uso de suelo y vegetación, continuo nacional. Serie V.
- INEGI. (2014). Cartas topográficas escala 1:50,000 clave E14A18, E14A28, E14A29, E14A38, E14A39, E14A48, E14A49, E14A58, E14A59, E14B41, E14B51.
- INIFAP. (2014). Inventario Nacional Forestal y de Suelos: Estado de México. México.
- Information Technology Department. (2008). AG Land Valuation. Manual en línea. Disponible en [\[http://maps.showmeboone.com/viewers/AS_Ag_Land_Review/SupportDocsforApp/073_CHAPTER73AGLAND_II.pdf\]](http://maps.showmeboone.com/viewers/AS_Ag_Land_Review/SupportDocsforApp/073_CHAPTER73AGLAND_II.pdf). Consultado el 03 de febrero de 2017.
- Mas J.F., Sorani V., Álvarez R. (1996). *Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación*. Investigaciones Geográficas, número especial 5. 49-57.
- Mas J.F., Velázquez A., Couturier S. (2009). *La evaluación de los cambios de cobertura/uso de suelo en la República Mexicana*. Investigación Ambiental, 1. 23-39.
- Miranda, F., y E. Hernández X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 28. 29-179.
- Moncayo F., Estrada F. y Pérez C. (1970). Manual para uso de fotografías aéreas en dasonomía. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. México.
- Moseley J., Thelen K., Miller K. (1976). National parks planning: a manual with annotated examples. FAO. Roma.

- Osete M., Ruiz-Martínez V., Caballero C., Galindo C., Urrutia-Fucugauchi J., Tarling D. (2000). *Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, Mexico: palaeomagnetic and radiometric evidence*. *Tectonophysics*, 318. 201-215.
- Peñuela-Arévalo L. (2007), Proceso de recarga–descarga de agua subterránea en zonas receptoras de pago por servicio ambiental hidrológico, Sierras Nevada y Las Cruces–México, tesis de Maestría, Instituto de Geofísica, UNAM, México.
- Pineda N., Bosque J., Gómez M., Plata W. (2009). *Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación*. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 69. 33-52.
- Plan Municipal de Atizapán de Zaragoza 2016-2018. (2016). H. Ayuntamiento de Atizapán. Disponible en: [<http://www.atizapan.gob.mx/DOCUMENTOS/gacetas/PDM%202016-2018.pdf>]. Consultado el 9 de junio del 2017.
- PROBOSQUE. (2016). Antecedentes. Disponible en: [<http://probosque.edomex.gob.mx/antecedentes>]. Consultado el 10 de agosto de 2016.
- PROBOSQUE. (2017). Reforestaciones en el Estado de México 2007-2017. Metepec: Secretaría de Medio Ambiente.
- PROBOSQUE. (2017b). Apoyos otorgados a los municipios de Chapa de Mota, Atizapán, Nicolás Romero, Villa del Carbón. Isidro Fabela, Temoaya, Oztolotepec, Morelos, Jiquipilco y Jilotzingo por el Programa de Pago por Servicios Ambientales 2007-2017. Metepec: Secretaría de Medio Ambiente.
- PROBOSQUE. (2017c). Incendios en el Estado de México 2007-2017. Metepec: Secretaría de Medio Ambiente.
- Ramírez I. (2001). *Cambios en las cubiertas del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971-1994-2000*, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 45. 39-55.
- Reyes I., (2014). *Una ojeada a la clasificación del suelo*. *ContactoS*, 91. 30-40.

- Rodríguez F., Pereda S. (2012). *La dinámica espacial de los ecosistemas del estado de Durango*. Ra Ximhai, 8(2). 93-98.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores. (2005). Flora fanerogámica del Valle de México. 2° edición. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro (Michoacán).
- SEMARNAP. (1998). Diagnóstico de la deforestación en México. México, pp. 10
- SEMARNAT. (2013). Informe de la situación del medio ambiente en México. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición 2012. México.
- SEMARNAT. (2017). Consulta Temática: Desarrollo Forestal Comunitario. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_RFORESTA11_02&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce. Consultado el 20 de abril de 2017.
- SMA (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México). (2006). Políticas Ambientales. Disponible en: [http://sma.edomex.gob.mx/cuidaelmedioambiente_documentos_de_consulta]. Consultado el 25 de abril de 2017.
- SMA (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México). (2008). Incendios forestales en el Estado de México y sus emisiones a la atmósfera. Gobierno del Estado de México. México. Disponible en [http://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma_pdf_incendio_fores.pdf]. Consultado el 7 de junio del 2017.
- SMN (Sistema Meteorológico Nacional). (2017). Normales climatológicas por estación (1951-2010): Estado de México. Disponible en: [http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=189&tmpl=component]. Consultado el 17 de abril de 2017.
- Spurr S. H, Barnes B. V. (1992). *Forest Ecology*. 3° edición. Ronald Press. Nueva York, EUA.
- Sugiura Y. (2005). Y atrás quedó la Ciudad de los Dioses: Historia de los asentamientos en el Valle de Toluca. Instituto de Investigaciones Antropológicas. UNAM. México.

- Villarelo J. (1911). Las Aguas Subterráneas en el borde meridional de la cuenca de México. Instituto Geológico de México. México.