

CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Informe Final Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa

Gerardo Antonio Ríos Sais

Medir la tasa y patrones de cambio de la vegetación natural a través del empleo de imágenes de satélite, en el APRN Cuenca Hidrográfica Río Necaxa, para obtener una línea base del estado actual de su cobertura forestal respecto a los usos del suelo en cada área, para establecer sitios prioritarios para la conservación, como herramienta de monitoreo y para la toma de decisiones.



Contrato 83100702

Núm. de ref. 10.9070.3-001.00

Diciembre/2012

Índice

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	1
ESTUDIOS DE TASA DE TRANSFORMACIÓN DEL HÁBITAT (TTH) EN ANP.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	9
ÁREA DE ESTUDIO.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
RESULTADOS	18
RECEPCIÓN DE IMÁGENES.....	18
CORRECCIÓN GEOMÉTRICA (ORTORECTIFICACIÓN)	24
DEFINICIÓN DE LA LEYENDA.....	25
CLASIFICACIÓN AUTOMATIZADA.....	27
INTERPRETACIÓN VISUAL	28
VALIDACIÓN CARTOGRÁFICA	30
GENERACIÓN DEL DATO HISTÓRICO.....	33
ÁREAS DE CAMBIO.	40
CAMBIO ACUMULADO DURANTE 1985-2010.....	50
TASA DE TRANSFORMACIÓN.....	54
CONCLUSIONES.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

Índice de tablas.

Tabla 1. Imágenes procesadas en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.	19
Tabla 2. Puntos de control generados para el Bloque 1 y 2.	25
Tabla 3. Uso del suelo y vegetación en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.	34
Tabla 4. Matriz de transición periodo 1985-2000.	41
Tabla 5. Matriz de dinámica de cambio periodo 1985-2000.	42
Tabla 6. Matriz de transición periodo 2000-2006.	44
Tabla 7. Matriz de dinámica de cambio periodo 2000-2006.	45
Tabla 8. Matriz de transición periodo 2006-2010.	47
Tabla 9. Matriz de dinámica cambio periodo 2006-2010.	48
Tabla 10. Matriz de transición acumulado periodo 1985-2010.	51
Tabla 11. Matriz de dinámica de cambio acumulado del periodo 1985-2010.	52
Tabla 12. Tasa de Transformación en la Cuenca Hidrológica del Río Necaxa.	54

Índice de figuras.

Figura 1. Ubicación de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	11
Figura 2. Imagen del sensor SPOT 2010.	20
Figura 3. Imagen del sensor SPOT 2006.	21
Figura 4. Imagen del sensor Landsat TM 2000.	22
Figura 5. Imagen del sensor Landsat TM 1985.	23
Figura 6. Clasificación supervisada de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	28
Figura 7. Puntos de verificación en campo en el APRN Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.	32
Figura 8. Uso de suelo y vegetación Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa 1985.	36
Figura 9. Uso de suelo y vegetación Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa 2000.	37
Figura 10. Uso de suelo y vegetación Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa 2006.	38
Figura 11. Uso de suelo y vegetación Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa 2010.	39
Figura 12. Áreas transformadas en el periodo 1985-2000.	43
Figura 13. Áreas transformadas en el periodo 2000-2006.	46
Figura 14. Áreas transformadas en el periodo 2006-2010.	49
Figura 15. Áreas transformadas en el periodo acumulado 1985-2010.	53
Figura 16. Tendencia en el comportamiento de la TTH y la superficie transformada en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.	55

Resumen

En los últimos años, los seres humanos hemos transformado los ecosistemas del mundo de una manera muy acelerada, debido entre otras razones, para cubrir las necesidades básicas de alimentación y vivienda. Lo anterior ha provocado fuertes alteraciones a las cubiertas del suelo, que es uno de los temas de mayor interés en las disciplinas ambientales. En México, estudiar la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio en las cubiertas del suelo, es una tarea prioritaria, por lo que es de vital importancia realizar estudios de dinámica espacio-temporal de uso del suelo, o también llamada Tasa de Transformación del Hábitat. Este tipo de estudios son considerados un elemento básico del diagnóstico para el ordenamiento territorial y para entender los mecanismos del proceso de deterioro de los ecosistemas, ya que permite caracterizar una región ofreciendo información sobre las modificaciones en la vegetación debido al uso humano. Para lo cual en el presente reporte el objetivo fue estimar la tasa de Transformación del Hábitat en el Área de Protección de los Recursos Naturales (APRN) Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, utilizando técnicas y herramientas de los Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota. Los periodos de estudio fueron 1985-2000, 2000-2006, 2006-2010 y el periodo acumulado de 1985-2010. Para cada fecha de análisis, se procesaron imágenes multiespectrales y pancromáticas del sensor Landsat y Spot5. El método empleado, fue el establecido en el *“Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México”*, elaborado por la Subdirección de Análisis de Información Espacial de la CONANP, ahora encargada de la Coordinación de Geomática. Para la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, se procesaron en total 4 imágenes del sensor Landsat y 3 imágenes del sensor Spot5. De acuerdo a los análisis en los periodos establecidos se encontró que el 50% del área tiene una cubierta Forestal, y aproximadamente el 47% corresponde a No Forestal, el resto son cuerpos de agua. Entre las principales causas para que las zonas forestadas fueran alteradas, se debió a la presencia de áreas agrícolas, los pastizales y las áreas impactadas por tala. El Bosque Mesófilo de Montaña fue el tipo de vegetación que mas superficie perdió, principalmente frente a áreas agrícolas y pastizales. En el periodo de 1985-2000 se obtuvo una Tasa de Transformación del Hábitat de 0.1299%, seguido del periodo del 2000-2006 con una tasa de cambio anual de 0.1176%, y el periodo de menor transformación fue el del 2006-2010 con un 0.0118% de tasa anual. El periodo acumulado (1985-2010) tuvo una tasa anual de 0.1080% .De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar una pérdida en la cobertura forestal a través del tiempo, principalmente dado por actividades antrópicas.

Introducción y Antecedentes

México presenta una situación compleja en cuanto a la conservación y manejo de los recursos naturales, lo que representa por un lado importantes oportunidades para el desarrollo, así como una mayor complejidad para el manejo de sus recursos (CONAFOR, 2011). Nuestro país está considerado mundialmente dentro de los 17 países megadiversos, ya que cuenta con un inventario biológico extenso el cual lo ubica entre los dos países con mayor número de ecosistemas y entre los cinco con mayor diversidad de especies en el mundo, representando el 12% de la biota mundial concentrado mayormente en el trópico húmedo (Mas *et al.*, 1996; PNUMA, 2005; CONABIO, 2009; IUCN, 2011). Esta riqueza biológica se debe en gran medida a la privilegiada ubicación geográfica que México posee entre la región Neártica y Neotropical.

Sin embargo, a pesar de contar con una gran diversidad los ecosistemas son muy susceptibles a los procesos de cambio y transformación del hábitat. Durante los últimos 50 años se han transformado los ecosistemas enormemente, este periodo en particular se caracteriza por una tasa muy alta de cambio en la cobertura de la vegetación y el uso del suelo (Challenger y Dirzo, 2009). De acuerdo a estimaciones presentadas por la FAO en 2010, México se encuentra entre los diez países con mayor pérdida neta anual de área de bosque, registrando una disminución importante en los bosques primarios en los últimos 20 años. En México, el 53% del área de bosque está clasificado como bosque primario, por lo que es considerado uno de los países con mayor superficie de estos bosques, y un 43% está representado por vegetación secundaria (CONAFOR, 2011; FAO, 2011).

De la superficie total del territorio nacional (196.4 millones de hectáreas), poco más del 33% (64.8 millones de hectáreas) está cubierto por selvas y bosques templados, el 37% está cubierto por ecosistemas áridos y otros tipos de vegetación, mientras que el 30% restante corresponde a usos principalmente agrícolas, pecuarios y zonas urbanas; de manera que estamos hablando que aproximadamente la tercera parte del país está cubierta por bosques y selvas (CONAFOR, 2011).

Una de las principales causas por la que gran parte de los cambios en el paisaje natural de México está siendo transformado a un ritmo alarmante, es debido a las actividades antrópicas, para satisfacer necesidades básicas de alimentación y vivienda. Algunos de esos cambios son provocados por las prácticas específicas de manejo y otros por las fuerzas sociales, políticas y económicas que controlan los usos del suelo (Bocco *et al.*, 2001).

El estado de la cubierta vegetal nos da un indicio del grado de conservación de los ecosistemas, siendo la cobertura vegetal (los atributos biofísicos de la superficie terrestre) y los usos del suelo (los distintos propósitos humanos con los que se aprovechan estos atributos) los factores que determinan el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Lambin *et al.*, 2001; Velázquez, *et al.* 2007). Los bosques y selvas ofrecen varios servicios al ecosistema ya que participan en el ciclo hidrológico, constituyen protección del suelo evitando la erosión y presentan un gran reservorio de información genética.

Al invadir y producir cambios en estos sistemas, surgen otros procesos de deterioro que entre los más importantes se encuentran la deforestación, fragmentación y la dinámica de cambio en el uso del suelo (Lambin *et al.*, 2001; CONAFOR, 2011), ya que constituyen la causa principal de otros eventos como la pérdida y alteración de la diversidad biológica y hábitat (Figuroa, 2008), el cambio climático a diferentes escalas (Chase *et al.* 2000), la degradación del suelo (erosión y pérdida de fertilidad), alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, la pérdida de los servicios ecosistémicos entre otros (Mas *et al.*, 1996; Lambin *et al.*, 2001; Velázquez *et al.* 2002; Figuroa, 2008; Cuevas, 2005; Velázquez y Larrazábal, 2011).

El impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas terrestres no se ha limitado a la explotación de los bosques y selvas, se debe de considerar como parte de los elementos de degradación de la vegetación natural el desmonte y la sustitución por cultivos, potreros o asentamientos humanos. En muchos casos, esos impactos directos van seguidos por la aplicación de malas prácticas de manejo forestal o agrícola, incluso sobrepastoreo, que han producido serios problemas de degradación del suelo (Sánchez *et al.*, 2009).

Ante la importancia de contar con información sobre el comportamiento y las tendencias de los procesos de degradación en los que intervienen factores ecológicos y socioeconómicos, surge la necesidad de realizar estudios sobre la pérdida de vegetación y la dinámica en la transformación en las coberturas y uso del suelo.

El cambio de cobertura y uso de suelo representa la modificación de los elementos biofísicos que interactúan sobre la superficie, o de las actividades que ahí se llevan a cabo; pues tanto cobertura como uso son dinámicos en tiempo y espacio. Una manera confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es a través del estudio de la dinámica espacio-temporal de uso del suelo, análisis del cambio en la cobertura y uso del suelo, o también llamada Tasa de Transformación del Hábitat (TTH).

Este tipo de estudios son considerados un elemento básico del diagnóstico para el ordenamiento territorial y para entender los mecanismos del proceso deterioro de los ecosistemas, ya que permite caracterizar una región ofreciendo información sobre las modificaciones en la vegetación debido al uso humano, así como la distribución e incremento (o decremento) de las tierras dedicadas a actividades antrópicas, ya sea productivas o como asentamientos humanos en un intervalo de tiempo en determinada porción de terreno (Castelán *et al.*, 2007; Velázquez, 2007). Éste análisis se ha mencionado ser de gran importancia para apoyar políticas encaminadas a disminuir o revertir el deterioro ambiental (Velázquez *et al.*, 2002).

La dinámica que se produce en el paisaje al cambiar el uso que se da al suelo a lo largo del tiempo, en términos conceptuales se puede ver como un flujo de terrenos que pasan de una cierta cobertura vegetal o forma de uso a otra (Sánchez *et al.*, 2009). La manera en que se rige esta dinámica depende de los tipos de cobertura involucrados, los mecanismos de sucesión ecológica y regeneración, los componentes físicos del entorno, las actividades económicas que se realizan, el contexto cultural de la población, los eventos meteorológicos y los desastres naturales. Su dinámica incluye procesos de pérdida y recuperación de cobertura y el balance final es la consecuencia de ganancias y pérdidas (Flamenco-Sandoval *et al.*, 2007).

En un estudio realizado por Sánchez y colaboradores (2009), reportan que de acuerdo a la información disponible hasta el año 2002, habría ocurrido una pérdida neta de hasta 103,289 km² de selvas húmedas; 94, 223 km² de selvas subhúmedas; 129,000 km² de bosques templados; 91,000 km² de matorrales xerófilos y más de 59, 000 km² de pastizales. La mayor parte de estas transformaciones ocurrió antes de los años setenta, pero en las últimas décadas se han seguido registrando pérdidas importantes. De permanecer constantes los procesos y ritmos de transformación, los ecosistemas que continuarán presentando disminuciones considerables en sus superficies son las selvas en primer lugar, los bosques templados en segundo lugar y los matorrales xerófilos en tercer lugar.

La expansión de las fronteras agrícola y pecuaria, ha sido el proceso más importante de transformación de los ecosistemas terrestres del país. La sustitución por pastizales para la actividad ganadera ha predominado en la zona de selvas húmedas, en tanto que la conversión a terrenos agrícolas ha sido más importante en las zonas de selvas subhúmedas, matorrales xerófilos y bosques templados (Sánchez *et al.*, 2009).

Debido a la creciente amenaza que enfrenta la diversidad ante el cambio de uso del suelo y otros procesos que afecten la biodiversidad y medio ambiente, la estrategia ha sido adoptar políticas de conservación que promuevan el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) para el disminuir el aceleramiento en la pérdida de coberturas vegetales (Halffter, 1994; Velázquez *et al.*, 2009; Velázquez y Larrázabal, 2011). En 2012, México cuenta con 174 áreas naturales de carácter federal que cubren 25,518,477 hectáreas. El 81% corresponde a superficie terrestre, mientras que un 19% a zonas marinas. Los parques nacionales constituyen la categoría más numerosa; sin embargo, las reservas de biosfera, representan el 50% de la superficie total protegida. El país se destaca a nivel mundial por ser uno de los que cuentan con el mayor número de áreas con declaratoria internacional (IUCN, 2011; CONANP, 2012).

Dentro de las mismas ANP, se presentan de igual forma procesos de degradación los cuales varían de un área a otra ya que la mayor parte de los bosques de México son propiedad de comunidades locales o ejidos (FAO, 2011). Gran parte de las ANP de México están sujetas a

ciertos grados de procesos de deterioro, que van desde la remoción de especies o recursos de manera selectiva, hasta la transformación del ecosistema (Figueroa, 2008).

Estudios de Tasa de Transformación del Hábitat (TTH) en ANP

De los primeros trabajos que fueron realizados para estimar la TTH, fue el Dirzo y García en 1992. Estos autores realizaron mapas de distribución de la selva tropical húmeda, de la parte norte de la Sierra de los Tuxtlas, Veracruz. Mediante mapas de cobertura vegetal para 1967, 1976 y 1986, muestran una intensa deforestación procedente de las tierras bajas, encontrándose la vegetación natural remanente, cada vez más restringida a los sectores más inaccesibles de las Sierras. De sus resultados se desprende que durante de 1967 a 1986 la vegetación sufrió una disminución considerable en un 56%. Las tasas anuales de selva remanente que es cortada por año fueron estimadas en un 4.2% para el periodo 1967–1976, y 4.3% para 1976–1986. Si estas tendencias se hubieran mantenido, para el año 2000 quedaría solamente un 8.7% de la selva original.

En el mismo año, se realizó un estudio sobre la evaluación de la deforestación, en el cual incluyeron datos sobre estimaciones de cambios de usos del suelo en 16 ANP de Chiapas. Dentro de las poligonales de las ANP, en cinco de las 16 ANP elegidas fue poco más del 50% el porcentaje ocupado por áreas transformadas y/o perturbadas (que incluyeron “selvas fragmentadas” y “bosques perturbados”). Entre los datos de tasas anuales de transformación o perturbación, las ANP que tuvieron los registros más altos fueron principalmente la reserva de la biosfera La Sepultura (3,848 ha/año), Montes Azules (593 ha/año) y El Triunfo (551 ha/año). Con base a los resultados obtenidos, concluyeron que es urgente iniciar una estrategia de conservación que permita garantizar el mantenimiento de la biodiversidad que se pretende conservar en las ANP de Chiapas (March y Flamenco, 1992).

Posteriormente Ben de Jong *et al.* 2003, estimaron los escenarios de cambios de uso del suelo de 1970 al 2000 para la Reserva El Ocote y áreas protegidas en la Selva Lacandona y sus respectivas áreas de amortiguamiento. Investigaron el efecto de diferentes factores sobre los procesos de cambio de uso del suelo como protección, cercanía a poblaciones y caminos. Para

esto, realizaron un análisis cartográfico a diversas escalas y con diferentes fuentes de información. Entre los resultados que encontraron, fue que buena parte del cambio se ha dirigido al establecimiento de pastizales, y por lo tanto una disminución alta de la biomasa en los últimos treinta años. Concluyen que existe una relación clara entre la densidad poblacional y el cambio en el uso del suelo, siendo que la tasa de cambio disminuye con la distancia de los asentamientos.

En el 2006, Mas y colaboradores analizaron los cambios en el uso del suelo y vegetación entre 1972 y el año 2000 para el PN Nevado de Toluca. Obtuvieron cartografía digital mediante procesos de digitalización y fotointerpretación, esto lo procesaron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) identificando los procesos de disminución y/o incremento en la densidad de las zonas forestales. En el periodo estudiado un poco más del 20% de la superficie del ANP sufrió pérdidas principalmente de bosque de pino y oyamel. Concluyen que la metodología que emplearon resultó válida para obtener información detallada y con alto nivel de precisión.

Para ese mismo año se realizó un estudio en la reserva de la biosfera Pantanos de Centla, en el cual identificaron y cuantificaron la variación espacial de los tipos de vegetación y usos del suelo durante 1990 y 2000. Generaron bases geográficas digitales referentes a geología, edafología, hidrología, temperaturas mínimas, temperaturas máximas, precipitación, vías de comunicación y localidades, la cual fue almacenada en un SIG. Realizaron también la clasificación de imágenes Landsat, generando mapas de vegetación y usos del suelo para 1990 y 2000. De los resultados obtenidos mostraron que las tasas de cambio estimadas fueron del 6.06% para la selva de pucté y de 34.96% para selva de tinto; en tanto que hubo una tasa de incremento de 1.15% para el manglar, 0.72% para las comunidades de hidrófitas y un 27.82% para el pastizal. Concluyeron que los cambios encontrados se relacionaron con la presencia de carreteras pavimentadas, localidades y canales, siendo éstos últimos los que más afectaron a la tasa de cambio (Guerra y Ochoa, 2006).

Otro trabajo sobre TTH fue el realizado por Durán y colaboradores (2007), en el cual se analizaron los procesos de cambio en las coberturas de la vegetación comparando áreas

donde se realiza un manejo forestal comunitario bien organizado (10 ejidos de Guerrero y 12 ejidos de Quintana Roo) versus el mantenimiento de la vegetación nativa en 67 ANP de México. Estos ejidos fueron seleccionados a partir del buen manejo colectivo de sus bosques durante casi dos décadas. Para realizar el análisis de procesos de cambio en las coberturas de vegetación y usos del suelo, cruzaron mapas digitales de dos fechas distintas. Encontraron que los ejidos, lograron conservar alrededor de 95.1% de la cobertura de vegetación nativa, mientras que las ANP mantuvieron el 98.8% de dicha cobertura entre 1993 y 2000. En las ANP las coberturas de vegetación nativa tendieron a decrecer, mientras que las áreas con usos antropogénicos aumentaron. Concluyeron que los dos grupos de ejidos analizados han adoptado sus propios modelos de zonificación de sus territorios y, de esta manera, tienen mayor influencia en los procesos de cambio, tanto positivos como negativos. Mientras que los procesos de cambio en las ANP siguen un modelo más impredecible, no necesariamente relacionado con su categoría de protección.

Más recientemente nos encontramos la investigación realizada en la reserva de la biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo publicada en 2010. En dicho trabajo se evaluaron los cambios de cobertura del suelo durante el periodo de 1973 a 2006, utilizando clasificación supervisada e interpretación visual de imágenes satelitales Landsat y Spot de la cual obtuvieron mapas de cambio para ambas fechas. Reportaron que la cobertura con mayor superficie ocupada fue el matorral con un 70.3% (para 1973) y un 62.3% (para 2006); mientras que el 87.81% del área total del ANP no presentó cambios en el periodo estudiado. Concluyeron que la mayor parte de los cambios se localizaron en áreas bajo influencia directa de las actividades humanas, siendo el pastizal la cobertura con la mayor tasa de crecimiento (Vázquez-Cuevas *et al.*, 2010).

Durante el 2011 se publicó un estudio en el que evaluaron la efectividad de las ANP para contener los procesos de cambio de uso del suelo y vegetación. El estudio fue basado en datos de 44 ANP de México en los que se cuantificó el porcentaje de superficie transformada (ST) en 2002 y su tasa de cambio entre 1993 y de 2002, y fueron comparadas las tasas de cambio observadas en las ANP, en las áreas circundantes de cada área y en sus respectivas ecorregiones. Entre sus resultados se puede mencionar que las tendencias generales observadas en los análisis de efectividad muestran que las ANP fueron efectivas para prevenir

el cambio de uso del suelo en el periodo de tiempo estudiado. Mencionan que algunas ANP están bajo una presión de cambio particularmente alta, como la reserva de la biosfera Los Tuxtlas y Barranca de Metztitlán, así como el parque nacional Cofre de Perote, los cuales ameritan atención especial para detener o revertir estos procesos. Concluyen que la efectividad de las ANP y su relación con factores ambientales, económicos, políticos y sociales constituye un problema de investigación complejo (Figueroa *et al.*, 2011).

Otro estudio fue el realizado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y el Instituto de Ecología A. C. (INECOL) en el PN Pico de Orizaba, Veracruz. En él reportan un análisis multitemporal del uso del suelo y vegetación en el periodo 2003-2011 con la finalidad de detectar cambios y estimar la tasa de transformación mediante teledetección. Mencionan que los tipos de vegetación dominantes son el bosque de pino, bosque de oyamel y la pradera de alta montaña. Reportan que la superficie de cambios detectados fue de ≈ 750 hectáreas, durante el periodo de estudio se perdieron 679.2 hectáreas de bosque de pino y bosque de pino secundario, que fueron transformadas a pastizal y área agrícola, y 73.1 hectáreas fueron áreas incendiadas. Concluyen que las tasas de cambio obtenidas son “relativamente bajas” pero coinciden con otros estudios para la zona. Mencionan que probablemente ampliando el periodo de análisis se obtenga una perspectiva más completa de los cambios de uso del suelo y vegetación (CONANP e INECOL, 2011).

Por último, se tiene el estudio realizado en el 2011 en la reserva de la biosfera Mariposa Monarca la cual es bien conocida por sus altas tendencias de pérdida y degradación del bosque principalmente en su zona núcleo. Realizaron un análisis comparativo de los años 2003, 2005, 2007 y 2009 para mostrar el proceso de degradación y deforestación del ANP, sus posibles causas y sus tendencias de cambio a través del tiempo. Entre sus resultados reportan que hubo cambios en la cobertura forestal pero no en el uso del suelo, siendo que para el periodo de 2003 al 2009, aproximadamente 2,152 hectáreas fueron alteradas por el proceso de deforestación, y de ese total, 165 hectáreas sufrieron cambios a través del tiempo. Concluyeron que hay una tendencia a disminuir las perturbaciones en el ANP debido a la promoción de actividades productivas y trabajo social en el área así como los pagos por servicios ambientales (López, 2011).

Cómo puede observarse son cada vez más frecuentes los estudios que reportan la tasa de transformación del hábitat en las ANP y en otras áreas de importancia biológica. Es urgente que se implementen medidas de mitigación para revertir y/o mantener dichos procesos que inevitablemente seguirán sucediendo.

Justificación

En México, estudiar la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo es una tarea prioritaria (Bocco *et al.*, 2001). La conversión de vegetación original a otro tipo de uso causado principalmente por actividades antropogénicas, es un tema clave en varias disciplinas ambientales. Ante esta situación es necesario realizar estudios que documenten la tasa de transformación del hábitat en los paisajes para que podamos conocer las causas que detonan ese cambio y eventualmente apoyar a los gestores en la búsqueda de alternativas para tomar medidas de mitigación y entonces revertir dichos procesos (Velázquez y Larrazábal, 2011).

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo, proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada. Mediante el uso de los SIG y la Percepción Remota (PR), se puede evaluar el análisis de cambio de uso de suelo en un lugar en específico, determinando la dinámica de los usos del suelo y la vegetación a través del tiempo.

Dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa se encuentran obras hidráulicas destinadas a la producción de energía y luz eléctrica que proporciona alumbrado a la Ciudad de México y otras grandes poblaciones. La cuenca ha sido integrada dentro de los sitios RAMSAR denominada “Sistema de represas y corredores biológicos de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa” (CONABIO, 2011); mientras que la CONABIO (MIA, 2004) menciona que en esta zona se genera el 3% de la energía hidroeléctrica del país de ahí la importancia de la conservación de la cuenca.

Los bosques que cubren parte de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa son un elemento importante que determina el régimen constante de los manantiales y arroyos cuyas aguas son aprovechadas para la producción de energía eléctrica. De no conservarse la vegetación forestal que cubre la cuenca del mencionado río, se determinaría un cambio en el clima de la región, al carecerse de la cubierta vegetal sobrevendría la acción erosiva de los agentes físicos sobre los terrenos inclinados, habiendo acarreo de abundantes materiales a los vasos de almacenamiento en perjuicio de su buena conservación y funcionamiento (UACH e INE, 2001).

Por lo que el objetivo general del proyecto es:

Estimar la Tasa de Transformación del Hábitat en el Área de Protección de los Recursos Naturales (APRN) Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, en el Corredor Biológico Bosque Mesófilo de Montaña, y en la Sierra de Tamaulipas, utilizando Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota.

Objetivo Particular del presente reporte es:

Estimar la Tasa de Transformación del Hábitat en el Área de Protección de los Recursos Naturales (APRN) Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, utilizando Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota.

Área de Estudio

Una de las políticas que desarrolló el Gobierno Federal durante la gestión del Presidente Lázaro Cárdenas, fue la de asegurar el buen funcionamiento de las obras hidráulicas destinadas a la producción de energía eléctrica las cuales representaban para el país una de las más grandes fuentes de trabajo. Por tal motivo, fue decretada como Zona Protectora Forestal Vedada a los terrenos que delimitan la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (CHRN) el 20 de Octubre de 1938, uno de los importantes sitios generadores de energía hidroeléctrica del país. Posteriormente, para el 9 de Septiembre del 2002 fue publicado en el DOF su

recategorización a Área Natural Protegida de competencia federal con la categoría de Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) (DOF 1938, 2002).

La CHRN se encuentra entre las coordenadas extremas $20^{\circ} 14' 55''$ y $20^{\circ} 03' 46''$ de latitud norte y $98^{\circ} 13' 39''$ y $97^{\circ} 51' 07''$ de longitud oeste (Figura 1).

Se ubica en los estados de Hidalgo y Puebla, constituida por los municipios de Acaxochitlán y Cuautepéc de Hinojosa para Hidalgo; y Ahuazotepec, Chiconcuautla, Huauchinango, Jopala, Juan Galindo, Naupan, Tlaola, Xicotepéc, Zacatlán y Zihuateutla para el estado de Puebla (INEGI, 2010; SIMEC 2012). La zona tiene una superficie total de 41,692 has, el estado de Hidalgo contribuye con un 23% de cobertura, mientras que un 77% pertenece al estado de Puebla, siendo el municipio de Huauchinango el que tiene mayor representación de superficie con un 46% del total.

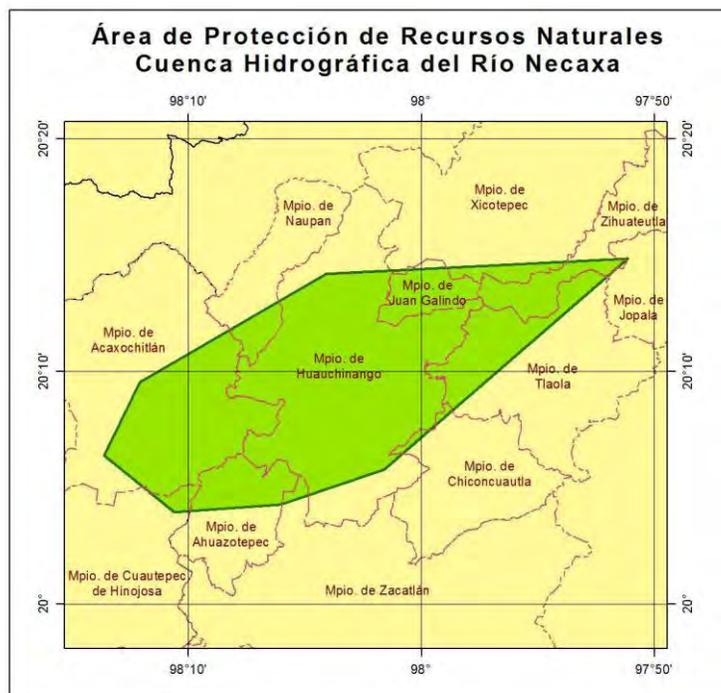


Figura 1. Ubicación de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa

La porción poblana de la CHRN se encuentra dentro de tres regiones fisiográficas: la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico y la Llanura Costera del Golfo. Presenta una variación

altitudinal de oriente a poniente que abarca desde los 560 m.s.n.m. hasta los 2,323 m.s.n.m., desplegando además planicies y valles intermontanos (INAFED, 2009 en Cerón-Carpio *et al.* 2012).

El clima en la zona de estudio está determinado en gran medida por la cercanía de la CHRN al Golfo de México, ya que donde se localizan la Cuenca del Río Necaxa es en la Sierra Madre Oriental, lo que constituye una barrera que intercepta los vientos húmedos provenientes del Golfo de México, que al chocar con esta Sierra y elevarse producen lluvias. Dependiendo de la altitud hay variaciones en la cantidad de precipitación, a altitudes en la parte media ocurren las mayores precipitaciones pluviales y conforme aumenta o disminuye la altitud de la sierra la lluvia disminuye (UACH e INE, 2001).

En la parte alta del área se presenta un clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano y en la parte baja el clima es semicálido subhúmedo con precipitación estival e influencia de neblina durante todo el año. Las temperaturas máximas oscilan entre los 24°C y 30°C, y se presentan en la porción oriente de la zona, para disminuir gradualmente conforme se avanza hacia el poniente. Las temperaturas mínimas oscilan entre los 3° y los 15°C. La precipitación media durante el periodo mayo-octubre oscila entre 200 y los 2,300 mm. Los días con lluvia apreciable son entre 60 y 119 mm (INEGI, 2005 en Cerón-Carpio *et al.* 2012).

En cuanto al tipo de rocas presentes en la zona predominan los basaltos (en la porción poniente y en una franja central de la porción centro-oriente) y las calizas (hacia la porción oriente, centro-norte y centro sur). En ésta última porción también están las lutitas, las cuales son el tercer tipo de roca más abundante en el área, y que se localizan compartiendo su distribución con las rocas calizas en la región norponiente del área (Cerón-Carpio *et al.* 2012).

La Cuenca presenta una transición entre el Bosque Templado y el Bosque Mesófilo de Montaña, por lo que aunque presenta una predominancia del bosque de pino encino, manifiesta también elementos del bosque de niebla o de montaña; de igual forma hay presencia de vegetación inducida. Las especies del Bosque Mesófilo más representativas son: *Cyathea mexicana*, *Alsophylla sp.*, *Liquidambar styraciflua*, *Carpinus caroliniana*, *Clethra quercifolia* y *Meliosma alba* entre otras. La mayor parte de la vegetación existente son Tulares

de *Typha dominguensis*, en algunas áreas se han detectado *Eichhornia crassipes* que es una especie invasora y peligrosa para los lagos si se extiende mucho. También se pueden observar Juncaceas y Cyperaceas; además de otras especies de la familia Polygonaceae, de la familia Ranunculaceae, de las Brassicaceae, de las Equisetaceae, de las Maranthaceae, de la Lythraceae y también algunas Lemnaceae (Flores, 2007).

En cuanto a la presencia de fauna silvestre que presenta alguna categoría de riesgo de acuerdo a la NOM-059, se tiene que en el área se registran cinco especies de anfibios, siete de reptiles, 21 de aves y seis de mamíferos (CONANP 2009 en CONABIO 2011).

Entre sus principales presiones y amenazas están la explotación no planificada de recursos forestales (maderables y no maderables), erosión y degradación de suelos e impactos por producción de energía (SIMEC, consulta en 2012). De acuerdo a la clasificación del INEGI en el 2005, en la zona hay un complejo mosaico de zonas perturbadas tanto con vegetación secundaria como con áreas de vegetación conservada, aunado a la presencia de zonas de pastizales, áreas agrícolas, zonas urbanas y localidades menores. El 47% de la superficie de la zona se dedica a la agricultura de temporal siendo el maíz, café, algunos frutales y plantas de ornato los principales cultivos (Cerón-Carpio *et al.* 2012).

Entre las superficies ocupadas por la agricultura existen pequeños relictos de bosques parcialmente conservados. Cerca del 48% está cubierto por Bosques de Pino (BP), Bosque de Encino (BQ), Bosque de Pino-Encino (BPQ), Bosque Mesófilo de Montaña (BMM), Selva Mediana Subcaducifolia (SMS), Selva Mediana Subperenifolia (SMSub) y por Pastizal (P). Tanto el BMM, SMS y SMSub presentan un mayor grado de perturbación, ya que el 12.8% del BMM está asociado a vegetación secundaria, y solamente el 1.7% se encuentra conservado. Las zonas boscosas mejor conservadas se localizan en cañadas de difícil acceso, el 16% restante corresponde a pastizales cultivados e inducidos, bosque cultivado y asentamientos humanos, de los cuales el más grande se encuentra en el municipio de Huachinango (Cerón-Carpio *et al.* 2012).

Materiales y Métodos

De acuerdo con los términos de referencia establecidos para el desarrollo de este trabajo, se utilizó el método que se especifica en el “Protocolo para la evaluación del Uso de Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México”, elaborado por la Subdirección de Análisis de Información Espacial de la CONANP (CONANP, 2007), y que contiene los procedimientos para obtener datos de las cubiertas del suelo a partir de imágenes de satélite, de acuerdo al método híbrido o mixto, que incluye técnicas de tratamiento digital y de interpretación visual (Paniagua, 2009; Paniagua *et al.*, 2011).

El diseño de leyenda de las cubiertas del suelo, se genera a partir de la capa de uso de suelo y vegetación serie IV (INEGI, 2009); y la descripción de las clases, se hace de acuerdo al Diccionario de Datos de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2007), en el que los tipos de vegetación se agrupan por formaciones vegetales para formar entidades. De ser requerido, se realizan algunas modificaciones, por ejemplo, no se especifican los tipos de agricultura (nómada, temporal, humedad y de riego), sólo se categoriza como áreas agrícolas. Por otra parte, en los trabajos de validación de la información generada, es posible agregar clases que debido a la escala trabajada el INEGI no las incluye, pero con apoyo del personal de las Direcciones de ANP, y especialistas del área, es viable hacer los cambios necesarios.

El tratamiento digital de las imágenes, incluye los procesos de corrección geométrica, así como la clasificación automatizada e interpretación visual. Para este último proceso se hace una conversión de datos raster a formato vectorial, donde a las capas se les elimina el área mínima cartografiable, se generan las tablas de atributos, se ajustan los límites del área de estudio y finalmente se redelimitan las fronteras entre categorías que pudieran presentar errores de categorización generados por el proceso de clasificación automatizada. En esta etapa, también se pueden eliminar elementos registrados por el sensor, como nubes y

sombras, con el apoyo del registro histórico. En formato vectorial, se realiza una validación topológica para garantizar que las capas no tengan errores de etiqueta, polígonos dobles o empalmados, sin valor, entre otros.

Estas técnicas para la extracción de información a partir de insumos de percepción remota, generalmente se aplican por separado, algunos autores han realizado comparaciones para determinar cual es mejor al momento de asignar categorías, los tiempos para obtener resultados, la exactitud de los datos, entre otros (Ramírez y Zubieta 2005; Mas 2000). El método híbrido, que incluye el tratamiento digital de los insumos, la clasificación automatizada para la extracción de datos, y la interpretación visual de las imágenes de satélite, resaltan las ventajas, potencializando las virtudes y reduciendo las limitaciones que se presentan cuando se manejan estas técnicas por separado (Chuvienco, 2008; Paniagua, 2009; Paniagua *et al.*, 2011).

Teniendo el dato de las cubiertas del suelo a partir de las imágenes de satélite de la fecha más reciente, se realiza la validación a partir de distintas fuentes de información (verificación directa en campo, talleres con el personal CONANP y gente local, fuentes de información con mayor resolución espacial), además de contar con el apoyo del personal del área, quien en base al conocimiento propio, aportan observaciones a la capa preliminar y se realizan las modificaciones pertinentes.

Para la generación del dato histórico de las cubiertas del suelo (Fechas: 1, 2, 3, 4), se utiliza el método de interpretación interdependiente (FAO, 1996, 2001), el cual se basa en la modificación de los límites entre categorías de una capa base en relación con lo observado en imágenes de otras fechas. Los datos la dinámica de cambio en las cubiertas del suelo se presenta en la matriz de transición que propuso Ramírez y Zubieta (2005).

Con las capas de uso de suelo y vegetación multifecha, se re-categorizan en dos grandes grupos: Forestal y No Forestal, tomando como referencia la superficie del polígono que

delimita al área de estudio, para posteriormente calcular la tasa de transformación, a partir de la fórmula de la FAO (1996,2001):

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

Donde:

- δ= Tasa de Transformación
- S1 = Superficie Forestal, al inicio del periodo
- S2 = Superficie Forestal, al final del periodo
- n = Número de años entre las dos fechas

Haciendo uso de la matriz de tipo de transición (Ramírez y Zubieta 2005), se obtienen los datos de tipo de cambio, se genera la matriz de dinámica de cambio y finalmente se construyen los mapas de tipo de cambio y cambio acumulado.

Ramírez y Zubieta, 2005

		Uso de Suelo y Vegetación Fecha 2												TOTAL 1	
		Clases	B1	B2	B...n	Bp1	Bp2	Bp...n	A1	A2	A...n	U	Agua		
Uso de Suelo y Vegetación Fecha 1	B1														
	B2		B												
	B...n														
	Bp1														
	Bp2					Bp									
	Bp...n														
	A1														
	A2								A						
	A...n														
	U											U			
	Agua												Agua		
TOTAL 2															

- Deforestación
- Perturbación
- Recuperación
- Revegetación
- Crecimiento urbano
- Cambios en el nivel de :
- B Vegetación conservada sin cambio
- Bp Vegetación perturbada sin cambio
- A Usos agropecuarios sin cambio
- O Otras cubiertas sin cambio

Diseño de la Matriz de Transición. Los datos se ordenan de mayor a menor grado de antropización de la cubierta, excepto el agua. B = Vegetación Primario (Bosque-Selvas Densos); Bp= Vegetación Secundaria (Bosque-Selva perturbado); A= Usos Agropecuarios; U= Zona Urbana; Agua = Cuerpos de Agua (lagos, lagunas, ríos, etc.).

Las categorías de la matriz son:

- **Deforestación.** Pérdida del arbolado, denso o abierto, por cambio a usos no forestales.
- **Perturbación.** Pérdida o aclarado del arbolado sin cambio en el uso de suelo.
- **Recuperación.** Restablecimiento de arbolado denso sobre áreas perturbadas, aclaradas o de vegetación arbustiva.
- **Revegetación.** Establecimiento de vegetación secundaria por abandono de parcelas agrícolas, pecuarias o vegetación recuperada después de algún evento de rápida transformación sobre la cobertura vegetal (áreas afectadas por incendios, deslaves, inundaciones, entre otros).
- **Rotación.** Se refiere a cambios debidos al manejo “crónico” de terrenos con usos antrópicos y eventos extraordinarios que implica modificaciones en las actividades que ya se estaban realizando.
- **Crecimiento urbano.** Incremento de la superficie ocupada por áreas habitacionales o industriales.
- **Cambios en nivel del agua.** Aumento o descenso en el nivel de los cuerpos de agua.
- **Vegetación conservada sin cambio.**
- **Vegetación perturbada sin cambio.**
- **Usos agropecuarios sin cambio.**
- **Otras cubiertas sin cambio**

Cabe mencionar que no se realiza la descripción de las últimas cuatro categorías (Vegetación conservada sin cambio, Vegetación perturbada sin cambio, Usos agropecuarios sin cambio y otras cubiertas sin cambio), debido a que los autores no incluyen la misma en su artículo. En este señalan que las primeras cuatro clases son las que presentan cambio relativos a las cubiertas forestales (Deforestación, Perturbación, Recuperación y Revegetación).

A partir de la matriz de tipo de transición, se construye la matriz de dinámica de cambio, la cual muestra las diferencias entre categorías dentro del periodo. Las ganancias se representan con un valor positivo, mientras las pérdidas con el signo negativo. Con esta matriz, se validan las hectáreas transformadas dentro del periodo, y se calcula la superficie modificada por año.

Resultados

Recepción de imágenes

Para la generación de datos en el análisis de la tasa de transformación del hábitat, fue necesario contar con imágenes de satélite del sensor LANDSAT TM y ETM+, así como SPOT5. En el caso de LANDSAT, fue posible acceder a los datos por medio del portal *Global Land Cover Facility* de la NASA. Para las imágenes SPOT5, se realizó la solicitud por medio de la Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática de la CONANP, quien cuenta con el gestor oficial ante la Estación de Recepción México de la Constelación SPOT (ERMEX). Las imágenes que se requirieron se muestran en la Tabla 1.

La organización de la tabla, indica cada fecha de análisis como bloques. El Bloque 1 corresponde a la fecha de análisis más reciente, en este caso 2010 con dos imágenes SPOT5 (Figura 2). El Bloque 2 solo tiene una imagen SPOT5 para el año 2006 (Figura 3); el Bloque 3, son dos imágenes LANDSAT ETM+ del año 2000 (Figura 4); y por último el Bloque 4 cuenta con dos imágenes LANDSAT TM, una del año 1985 que tiene un cubrimiento aproximado del área del 95%, y otra del año 1989 (Figura 5), que únicamente fue necesaria para cubrir un 5%, de esta manera la fecha del bloque 4 será de acuerdo a la imagen que mayor superficie cubre el área.

Tabla 1. Imágenes procesadas en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.

CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO NECAXA					
SPOT5	K/J	Fecha	Modo	Resolución espacial en metros	% Cobertura del área de estudio en la imagen
Bloque 1	590/310	29-dic-10	Multiespectral	10	95%
			Pancromática	2.5	
	590/309	29-dic-10	Multiespectral	10	5%
			Pancromática	2.5	
Bloque 2	590/310	01-mar-06	Multiespectral	10	100%
			Pancromática	2.5	
LANDSAT	Path-Row	Fecha	Modo	Resolución espacial en metros	% Cobertura del área de estudio en la imagen
Bloque 3	26-46	21-mar-00	Multiespectral	30	95%
			Pancromática	15	
	25-46	06-sep-00	Multiespectral	30	5%
			Pancromática	15	
Bloque 4	26-46	31-ene-85	Multiespectral	30	95%
	25-46	26/10/1989	Multiespectral	30	5%

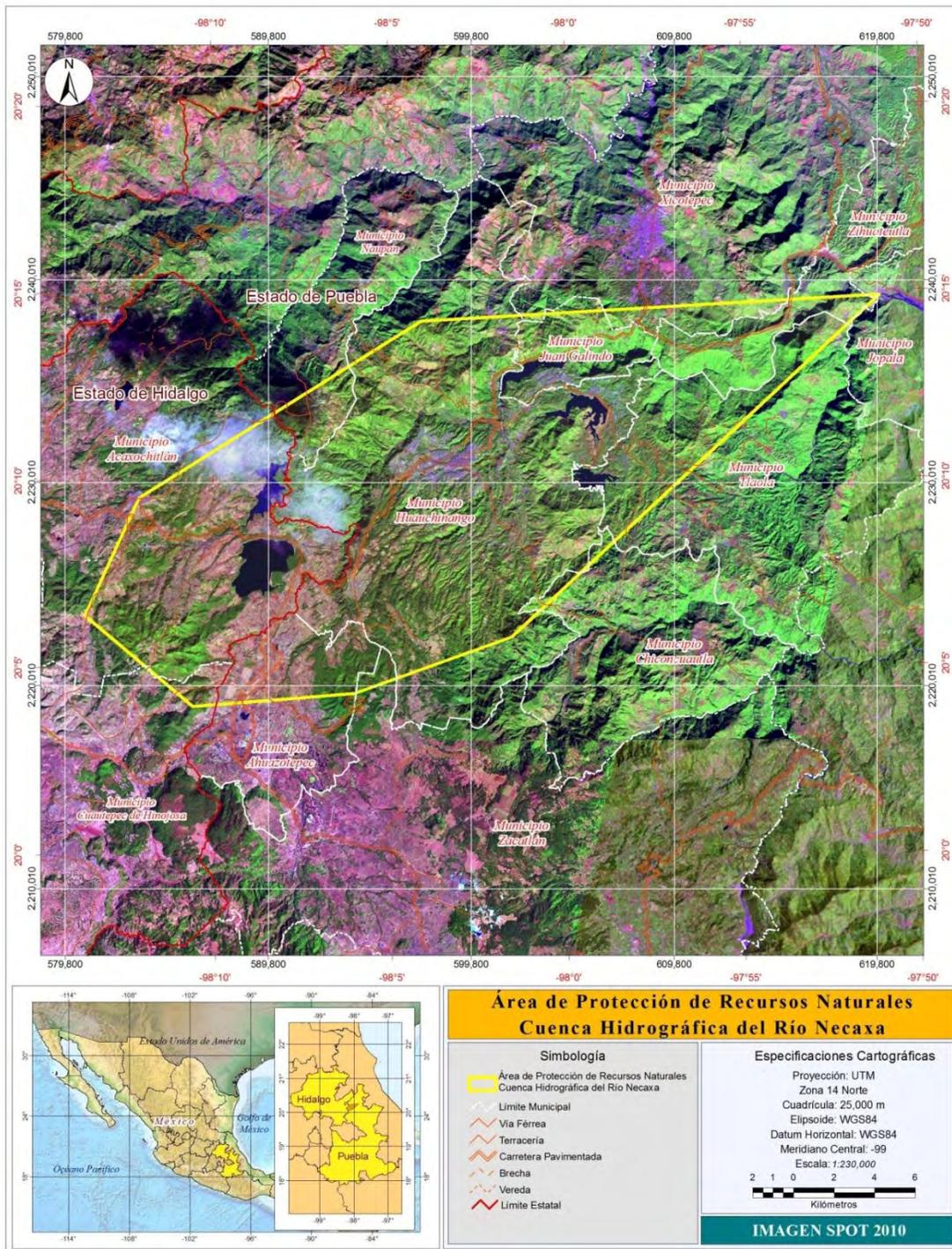


Figura 2. Imagen del sensor SPOT 2010.

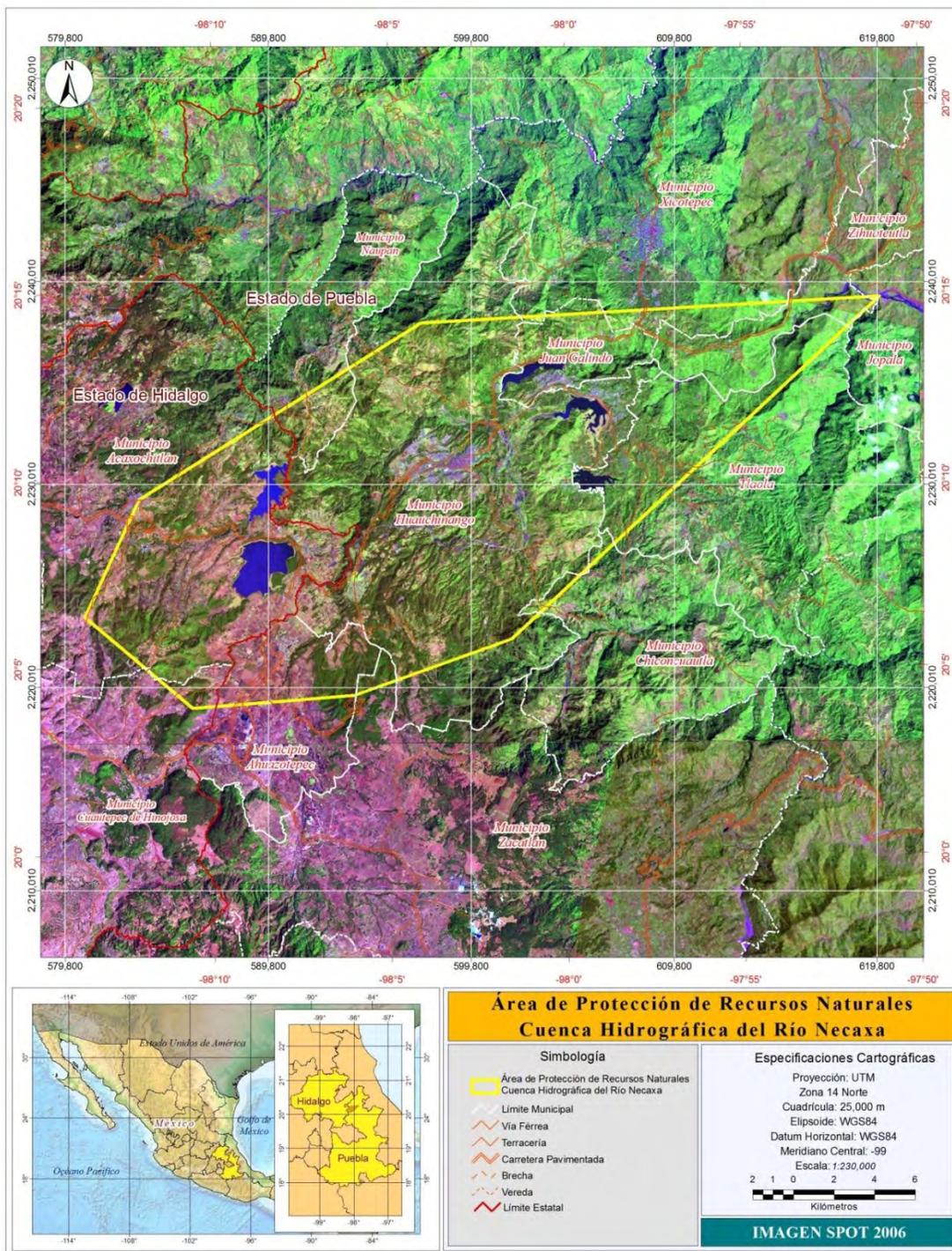


Figura 3. Imagen del sensor SPOT 2006.

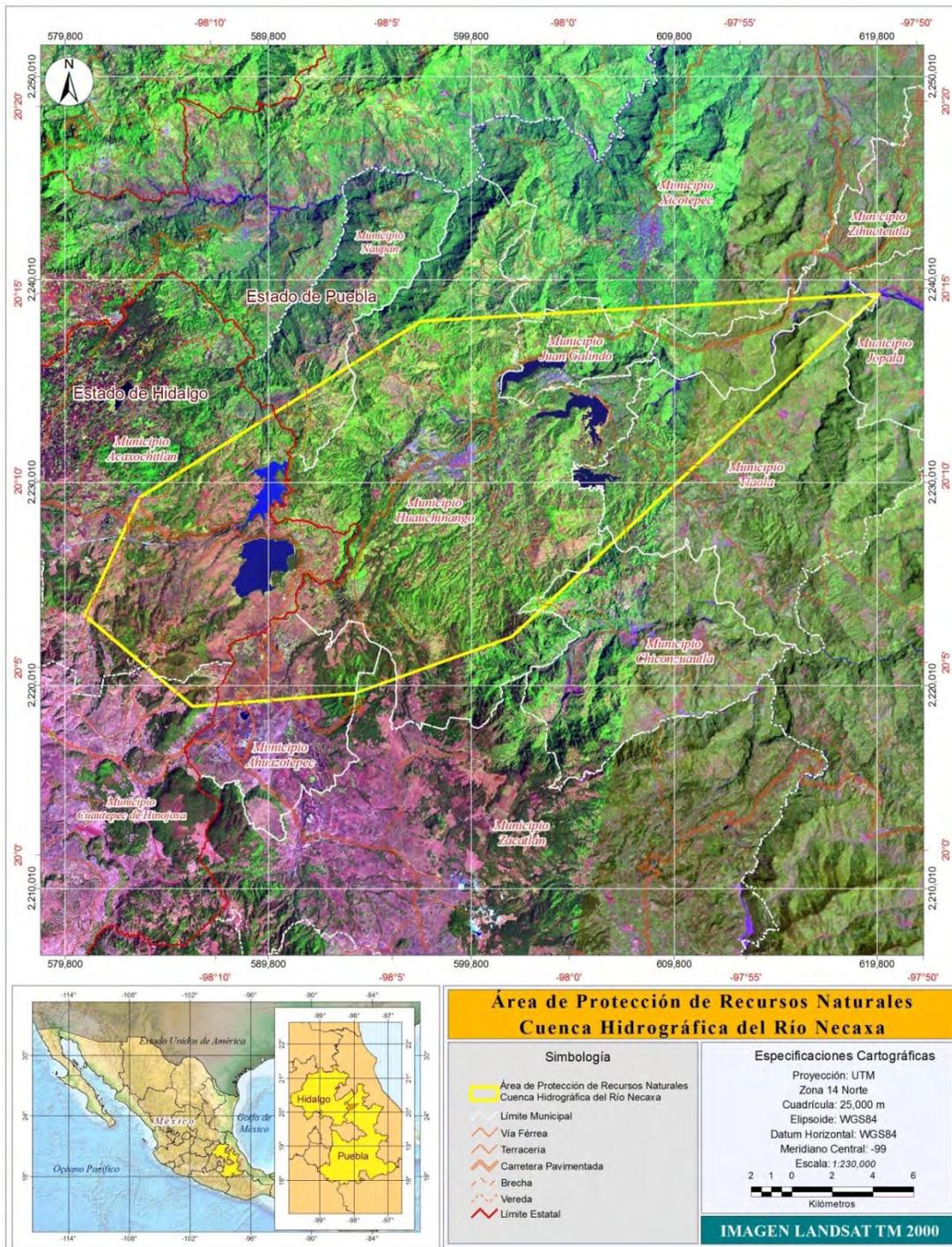


Figura 4. Imagen del sensor Landsat TM 2000.

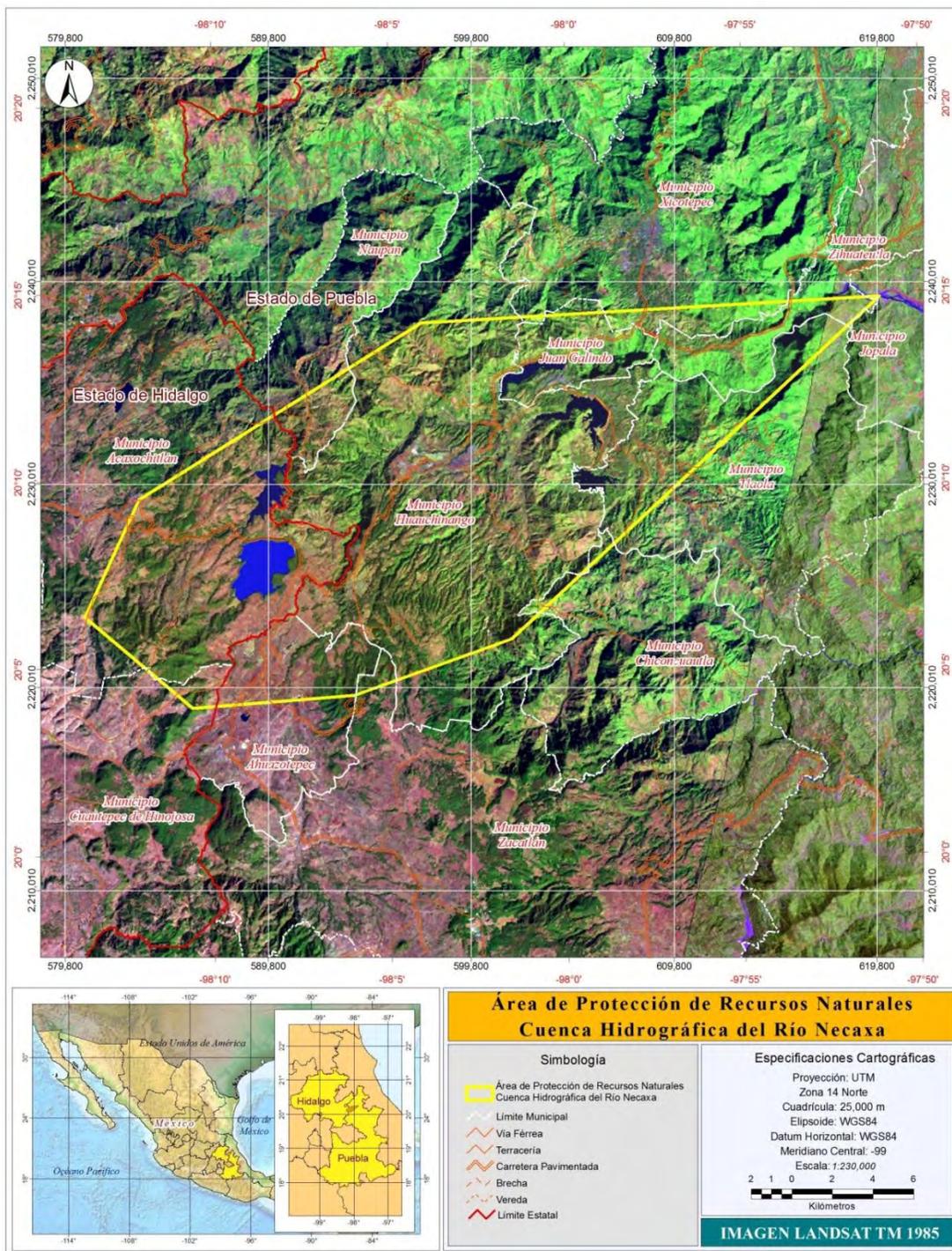


Figura 5. Imagen del sensor Landsat TM 1985.

Corrección geométrica (Ortorectificación)

Para este proceso, fue necesario descargar del portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 2.0) (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx>). Se definió una caja con las coordenadas extremas del área de estudio y se procedió a la descarga. Los parámetros cartográficos del CEM 2.0, están definidos en coordenadas reales, por lo cual el primer paso es proyectar a unidades métricas.

Por otra parte, se realizó un realce espacial a las bandas multiespectrales de las imágenes Landsat ETM+, con apoyo de la banda pancromática correspondiente a cada imagen, generando un producto multiespectral con una resolución espacial de 15 metros. El último insumo, fue el dato de las efemérides de las tomas del sensor SPOT5, las cuales se encuentran integradas en el archivo metadato de cada escena.

Para la generación de puntos de control terrestre (GCP, por sus siglas en inglés), con valores en X, Y y Z, se utilizó el módulo *Leica Photogrammetry Suite* (LPS) de ERDAS Imagine. En función del nivel de procesamiento de las imágenes SPOT5, y del ángulo de incidencia de la toma, se buscó que el promedio de los residuales estuviera cercano a 1 píxel.

La tabla 2 muestra para los Bloques 1 y 2, los GCP generados para cada imagen, multiespectral y pancromática, los cuales varían de 15 a 46 en función a las condiciones de las imágenes. Así como el Error Medio Cuadrático (RMS), el cual muestra que en todos los casos fue inferior a 1.

Tabla 2. Puntos de control generados para el Bloque 1 y 2.

CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO NECAXA						
	K/J	Fecha	Modo	Resolución espacial en metros	GCP	RMS
Bloque 1	590/310	29-dic-10	Multiespectral	10	46	0.85
			Pancromática	2.5	18	0.66
	590/309	29-dic-10	Multiespectral	10	22	0.96
			Pancromática	2.5	20	0.66
Bloque 2	590/310	01-mar-06	Multiespectral	10	15	0.44
			Pancromática	2.5	16	0.55

Definición de la leyenda

Se definieron las clases de acuerdo a la carta de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI Serie IV (INEGI 2009), y la descripción de las mismas, se realizó de acuerdo al Diccionario de Datos de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2007), con las modificaciones pertinentes. La descripción de las clases de acuerdo al Diccionario fueron las siguientes:

Área agrícola.- Área en la que el suelo es utilizado para la realización de labores agrícolas. Incluye todo tipo de agricultura dentro de esta categoría (riego, temporal, humedal, seco, riego eventual).

Área impactada por deslave.- Áreas con evidencias de la remoción del material original, esto debido a eventos naturales extraordinarios (lluvias intensas). En el análisis de las imágenes multitemporales, para la primer fecha existe cubierta forestal o algún uso de suelo, para la siguiente fecha, dicha cubierta o uso, ha sido modificado por la remoción de los materiales, dejando totalmente al descubierto.

Área impactada por tala.- Áreas con evidencias del efecto de las actividades humanas relacionadas con la tala forestal. En el análisis de las imágenes multitemporales, para la

primer fecha existe cubierta forestal, para la siguiente fecha, dicha cubierta ha sido modificado por la actividad de tala sobre los bosques.

Asentamientos humanos.- Ciudades, pueblos, rancherías, localidades, que sean evidentes a las imágenes de satélite.

Infraestructura.- Se entiende como cualquier área construida, vialidades, parques urbanos, fábricas, viveros, entre otros.

Pastizal.- Se desarrolla al eliminarse la vegetación original (bosque, selva, matorral, otros), o en áreas agrícolas abandonadas.

Bosque de pino cultivado.- Plantaciones de árboles de la especie *Pinus patula*, establecidas con diferentes fines: uso forestal, control de erosión, recreación entre otros.

Área sin vegetación aparente.- Áreas desprovistas de vegetación o con una cobertura vegetal extremadamente baja. La ausencia de vegetación es determinada por condiciones naturales: clima muy árido, salinas, bancos de material acumulado, playas, etc.

Bosque de encino.- Bosques formados por especies de encinos (género *Quercus*), distribuidos ampliamente.

Bosque de pino.- Bosque de coníferas (género *Pinus*) de amplia distribución en climas templado.

Bosque de pino-encino.- Bosque mixto de pinos y encinos. Se distribuye en casi todas las montañas. Las combinaciones de especies tanto de encino como de pino van a depender del suelo y altitud.

Bosque mesófilo de montaña.- Bosque denso y alto en zonas templadas húmedas o en condiciones topográficas con humedad alta y con una composición florística característica

Selva mediana subperennifolia.- Comunidad vegetal arbórea de 20 a 30 m de altura. Del 25 al 50% de los árboles pierden el follaje durante la época seca.

Vegetación secundaria.- Estado sucesional de la vegetación. Se indica alguna fase de vegetación secundaria cuando hay algún tipo de indicio de que la vegetación original fue eliminada o perturbada a un grado en el que ha sido modificada profundamente. Puede encontrarse vegetación secundaria arbórea, arbustiva y herbácea.

Clasificación automatizada

Apegados a lo descrito en el “Protocolo para la evaluación del Uso de Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México” (CONANP, 2007), se debe de realizar la clasificación automatizada de las imágenes de fecha más reciente (Bloque 1). Para lo anterior, se utilizó la técnica de clasificación supervisada, pues a partir de la información existente (Cartas de Uso de Suelo y Vegetación INEGI Serie IV), es posible determinar las categorías con las que se realizará el análisis de muestras, para posteriormente generar las firmas espectrales.

Debido a la complejidad de la zona de estudio (relieve, vegetación, cubiertas del suelo, etc.), fue necesario realizar una clasificación general, en la cual no fue posible llegar a mucho detalle de separación entre las categorías:

- Áreas Agropecuarias
- Asentamientos Humanos
- Áreas Forestales 1
- Áreas Forestales 2
- Áreas Forestales 3
- Áreas Forestales 4
- Cuerpos de Agua

En la Figura 6, se puede observar el resultado de este primer proceso de clasificación automatizada. En color azul se identifican las presas, en verde limón y verde oscuro las áreas forestales, en café los asentamientos humanos, y por último, en color amarillo las actividades agropecuarias.

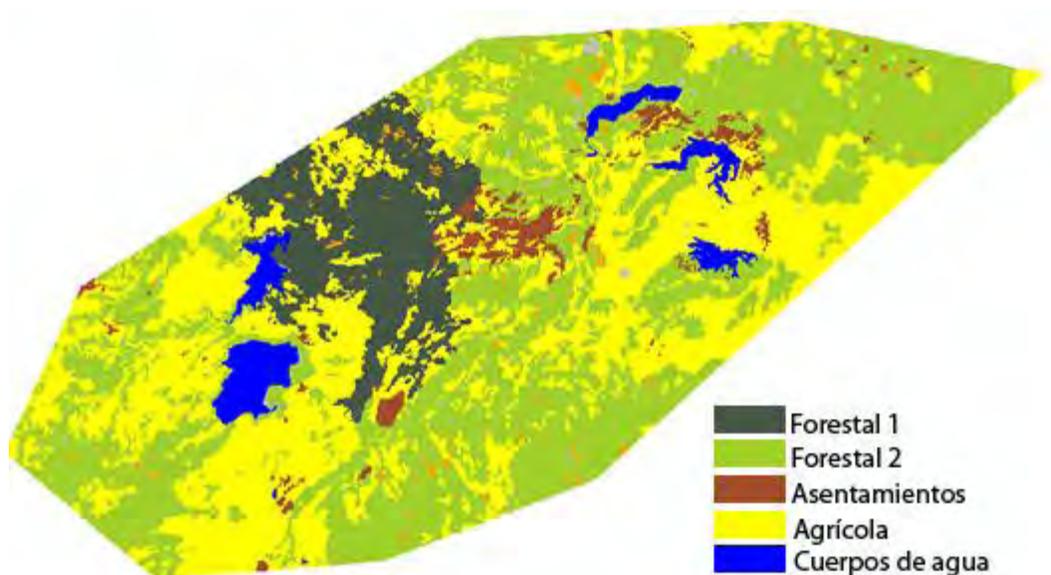


Figura 6. Clasificación supervisada de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.

Interpretación visual

Las capas en formato raster generadas de la clasificación supervisada del Bloque 1 (2010), se organizaron en un mosaico temático, el cual se transformó a formato vectorial. Este proceso se realizó en Arcinfo 9.3, en donde se eliminó el área mínima cartografiable, se ajustaron a los

límites del área, se suavizaron los arcos, se generaron los atributos de la capa y se revisaron posibles errores topológicos.

La interpretación visual se realizó en Arcinfo 9.3, donde se pusieron de trasfondo las imágenes SPOT5 del Bloque 1, a las cuales se les aplicó el algoritmo de realce espacial en ERDAS Imagine, obteniendo imágenes multiespectrales con una resolución espacial de 2.5 metros de la banda pancromática. El despliegue para la interpretación visual, se hizo con el falso color 4-3-1, 4-3-2 y 1-2-3, buscando el mayor contraste entre las categorías de los usos del suelo y las cubiertas forestales.

En base a los criterios de textura, forma, tamaño, brillo, color, estructura y contexto espacial, se pudieron resolver algunos problemas que en el tratamiento digital generaron notables dificultades. Por mencionar algunos, la separación de asentamientos humanos, la distinción entre los tipos forestales, la separación de actividades agrícolas y áreas con otras actividades, entre otros.

Aunado a lo anterior, con apoyo de las imágenes históricas se pudo interpretar lo que está cubierto por nubes, sombras, así como el ruido de la bruma y neblina.

Validación cartográfica

La CONANP y GIZ convocaron a los distintos actores del proyecto a una reunión para la revisión de avances el día 15 de mayo del año en curso. Entre los convocados, estuvo personal de la Dirección del Área de Protección de Recursos Naturales Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, el Director del área propuesta Corredor Biológico Bosque Mesófilo de Montaña, personal de SEMARNAT del estado de Hidalgo, entre otros.

En dicha reunión el personal de la Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática de la CONANP, presentó el método establecido en el “Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México” (CONANP 2007). Durante la reunión se resolvieron dudas en relación a los procedimientos dentro de la metodología.

También se presentaron los avances generados para Sierra de Tamaulipas, Cuenca Hidrológica del Río Necaxa y el Corredor Biológico Bosque Mesófilo de Montaña. Posteriormente, como parte de los procedimientos de verificación de las capas de las cubiertas del suelo, se realizó un ejercicio de validación con personal de las Direcciones, en este caso de Necaxa y Bosque Mesófilo. Con base al conocimiento de los distintos participantes, y apegados a la leyenda de trabajo, se lograron identificar áreas con discrepancia entre las categorías, de lo cual se tomaron anotaciones y marcas en mapas impresos para su posterior procesamiento. Finalmente, se establecieron los acuerdos de colaboración para la realización de los trabajos de campo para la verificación de la cartografía generada.

Particularmente para la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, se realizó un levantamiento de puntos con observaciones de campo en la salida realizada los días 30 de julio y 01 de agosto. Se contó con la colaboración del Geog. Ignacio Paniagua Ruiz -Jefe de Departamento de la Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática de la CONANP-, el Ing. José Pérez López -Técnico Operativo de la Dirección del Área-, y el Ing. Andrew Hart, que trabaja como voluntario del programa Cuerpos de Paz de los Estados Unidos.

Para el trabajo de campo, la Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática, facilitó el equipo *GPSmap GARMIN 76CSx*, una estación de trabajo móvil y un conversor de energía de 12 a 110 volts. La Dirección del ANP, prestó una camioneta diesel para el recorrido, y los gastos generados por la salida fueron cubiertos por ésta consultoría, todo esto apegado a lo acordado en la reunión del 15 de mayo.

Durante el recorrido, se lograron registrar 54 puntos georeferenciados con su respectivo archivo fotográfico (*ver Catálogo digital como archivo anexo*), así como el reconocimiento de las categorías de acuerdo los comentarios de los ingenieros José Pérez y Andrew Hart (Figura 7).

Con el dato de registro en campo, y los apuntes generados de la reunión del 15 de mayo, se realizaron las modificaciones pertinentes a la capa de uso de suelo y vegetación del 2010 (Bloque 1).

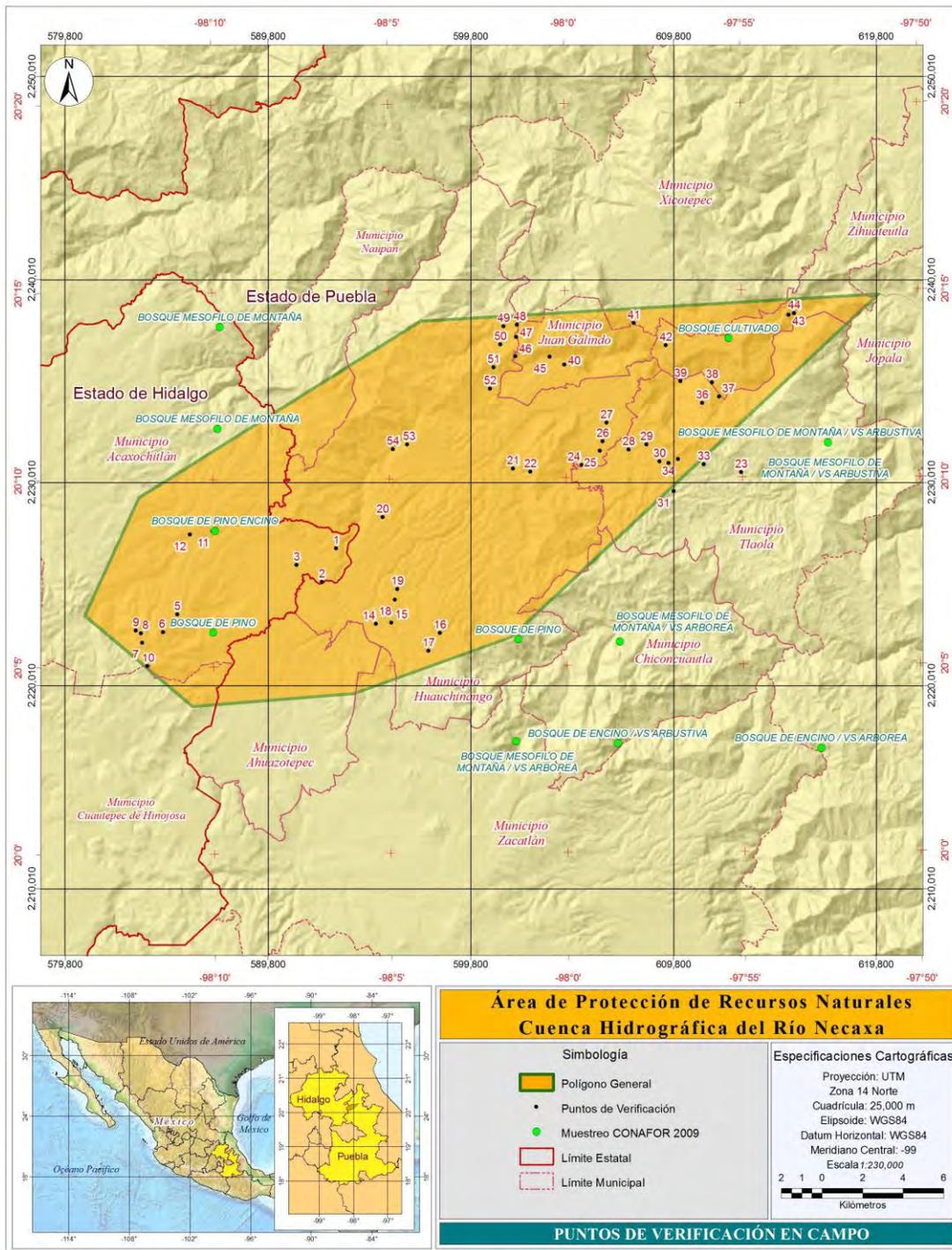


Figura 7. Puntos de verificación en campo en el APRN Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.

Generación del dato histórico.

Con la capa de uso de suelo y vegetación del Bloque 1, se utilizó el método de interpretación interdependiente de la FAO (1996, 2001), y usando las imágenes SPOT5 del Bloque 2 con un realce espacial a 2.5 metros, se modificaron los límites de las categorías de acuerdo a los rasgos encontrados en dichas imágenes.

El mismo procedimiento se utilizó para generar el Bloque 3, pero utilizando de base los vectores del Bloque 2 y las imágenes de satélite del sensor Landsat ETM+ con el realce espacial a 15 metros. El bloque 4, se obtuvo a partir de los vectores del Bloque 3, y las imágenes LANDSAT TM del año 1985 y 1989. La diferencia en el tamaño del pixel de cada uno de los insumos (SPOT, LANDSAT TM y ETM+), podría presentar problemas al momento de delimitar las categorías, sin embargo, si se mantiene la escala de interpretación, únicamente se delimitan las áreas con un cambio evidente en las cubiertas del suelo. Los resultados de superficie por categoría para cada fecha, se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Uso del suelo y vegetación en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.

Uso de Suelo y Vegetación	1985		2000		2006		2010	
	HA	%	HA	%	HA	%	HA	%
FORESTAL								
Área sin Vegetación Aparente	287	0.68	287	0.68	287	0.68	287	0.68
Bosque de Encino/vs	677	1.61	664	1.58	667	1.58	667	1.58
Bosque de Pino/vs	2,118	5.03	2,200	5.22	2,193	5.21	2,224	5.28
Bosque de Pino-Encino/vs	10,321	24.50	10,161	24.12	10,046	23.85	10,069	23.90
Bosque Mesófilo de Montaña/vs	5,558	13.19	5,243	12.44	5,188	12.32	5,137	12.19
Selva Mediana Subperennifolia/vs	1,995	4.73	1,985	4.71	1,974	4.68	1,962	4.66
Bosque de Pino/vs(Cultivado)	274	0.65	280	0.66	318	0.76	318	0.76
Subtotal	21,230	50.39	20,820	49.42	20,673	49.07	20,664	49.05
NO FORESTAL								
Área Agrícola	15,063	35.75	15,052	35.73	15,046	35.71	15,038	35.69
Área Impactada por Deslave	2	0.00	2	0.00	8	0.02	8	0.02
Área Impactada por Tala	45	0.11	53	0.13	87	0.21	71	0.17
Asentamientos Humanos	1,230	2.92	1,290	3.06	1,290	3.06	1,290	3.06
Infraestructura	19	0.04	22	0.05	37	0.09	83	0.20
Pastizal	3,215	7.63	3,564	8.46	3,662	8.69	3,650	8.66
Subtotal	19,574	46.46	19,983	47.43	20,130	47.78	20,140	47.80
OTROS								
Cuerpo de Agua	1,326	3.15	1,326	3.15	1,326	3.15	1,326	3.15
Subtotal	1,326	3.15	1,326	3.15	1,326	3.15	1,326	3.15
TOTAL	42,129	100	42,129	100	42,129	100	42,129	100

De acuerdo con la tabla anterior, se puede observar que del total de la superficie de Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, cerca del 50% corresponde a las categorías forestales, siendo el Bosque de Pino-Encino, el que mayor representación tiene en todos los bloques. Resalta la categoría de bosque de pino, que para el año 1985 contaba con 2,118 hectáreas, las cuales aumentan 106 hectáreas para el año 2010; así mismo el bosque de pino cultivado, que en la fecha más antigua tenía 274 hectáreas, y para el año 2010 aumenta a 318 hectáreas. Para el año 1985, el grupo forestal cubría el 50.39% del área (21,230 hectáreas), reduciendo al 49.05% en el año 2010, siendo una diferencia de 566 hectáreas que tuvieron algún tipo de transformación.

Para el grupo No forestal, en el año 1985 se tenían 19,574 hectáreas con alguna categoría relacionada con actividades humanas o afectación debida a eventos naturales. Para el año 2010, crece esta superficie hasta 20,140 hectáreas. Las áreas agrícolas son las que mayor extensión cubren en todos los bloques, sin embargo para el año 2010, pierde 25 hectáreas en relación al año 1985. Las áreas caracterizadas como pastizal, aumentan 435 hectáreas durante el periodo total de análisis, lo que es, que del 7.63% de 1985, aumente al 8.66% en 2010. Finalmente las áreas impactadas por tala, pasan de 45 hectáreas en 1985, a casi el doble en 2006 con 87 hectáreas, pero para 2010 se reduce a 71 hectáreas.

Los mapas de las cubiertas del suelo por fecha, se pueden observar en las Figuras 8, 9, 10 y 11:

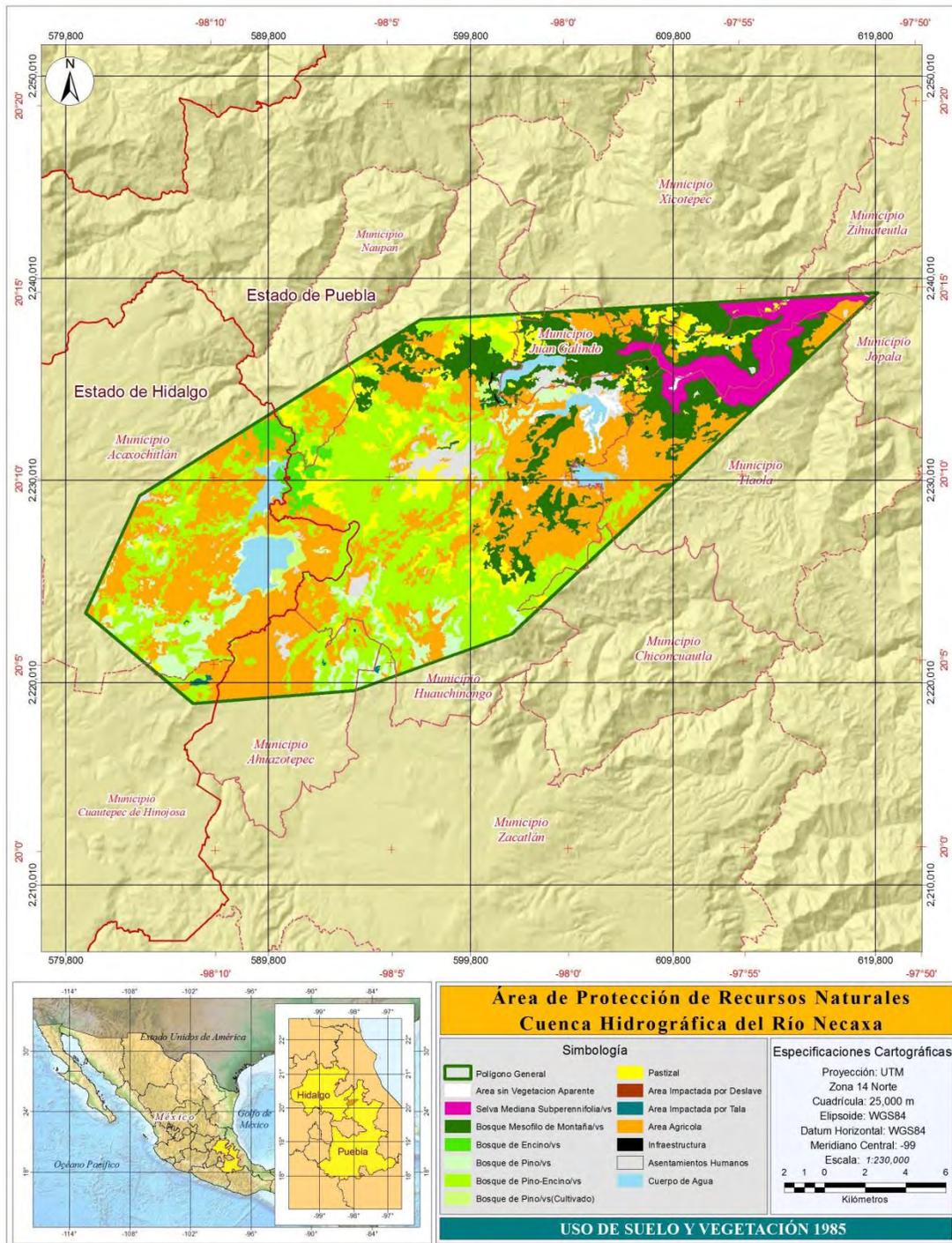


Figura 8. Uso de suelo y vegetación Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa 1985.

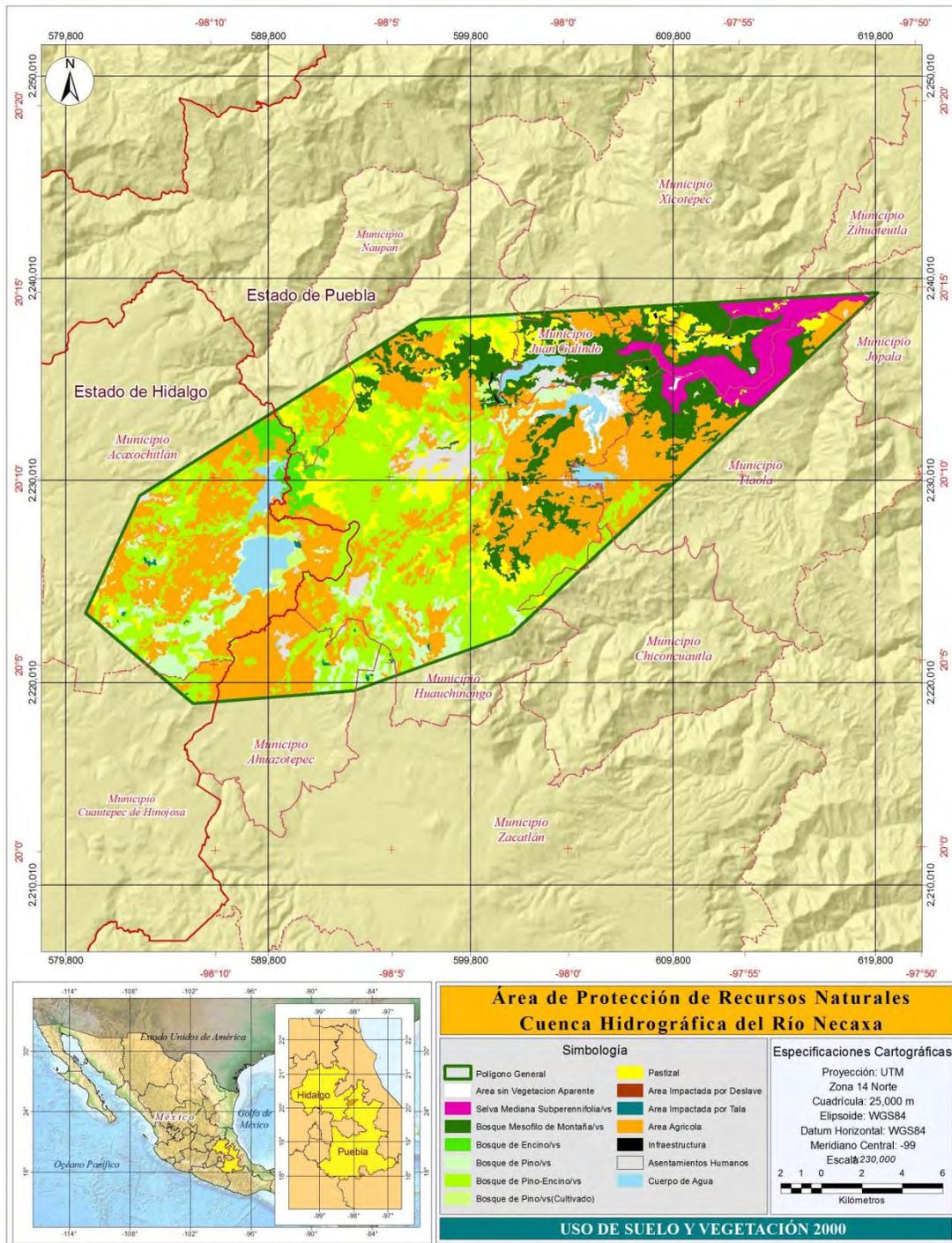


Figura 9. Uso de suelo y vegetación Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa 2000.

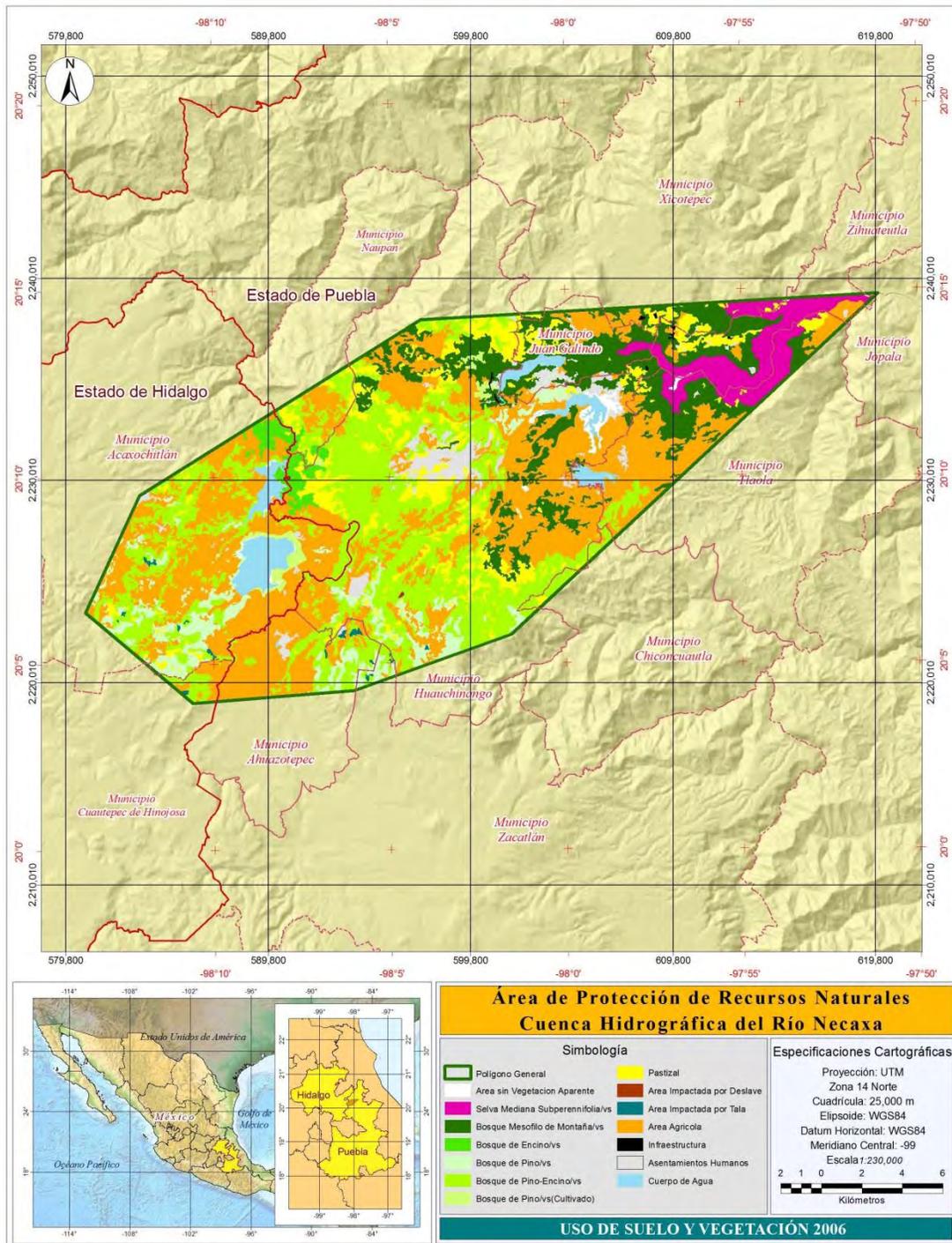


Figura 10. Uso de suelo y vegetación Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa 2006.

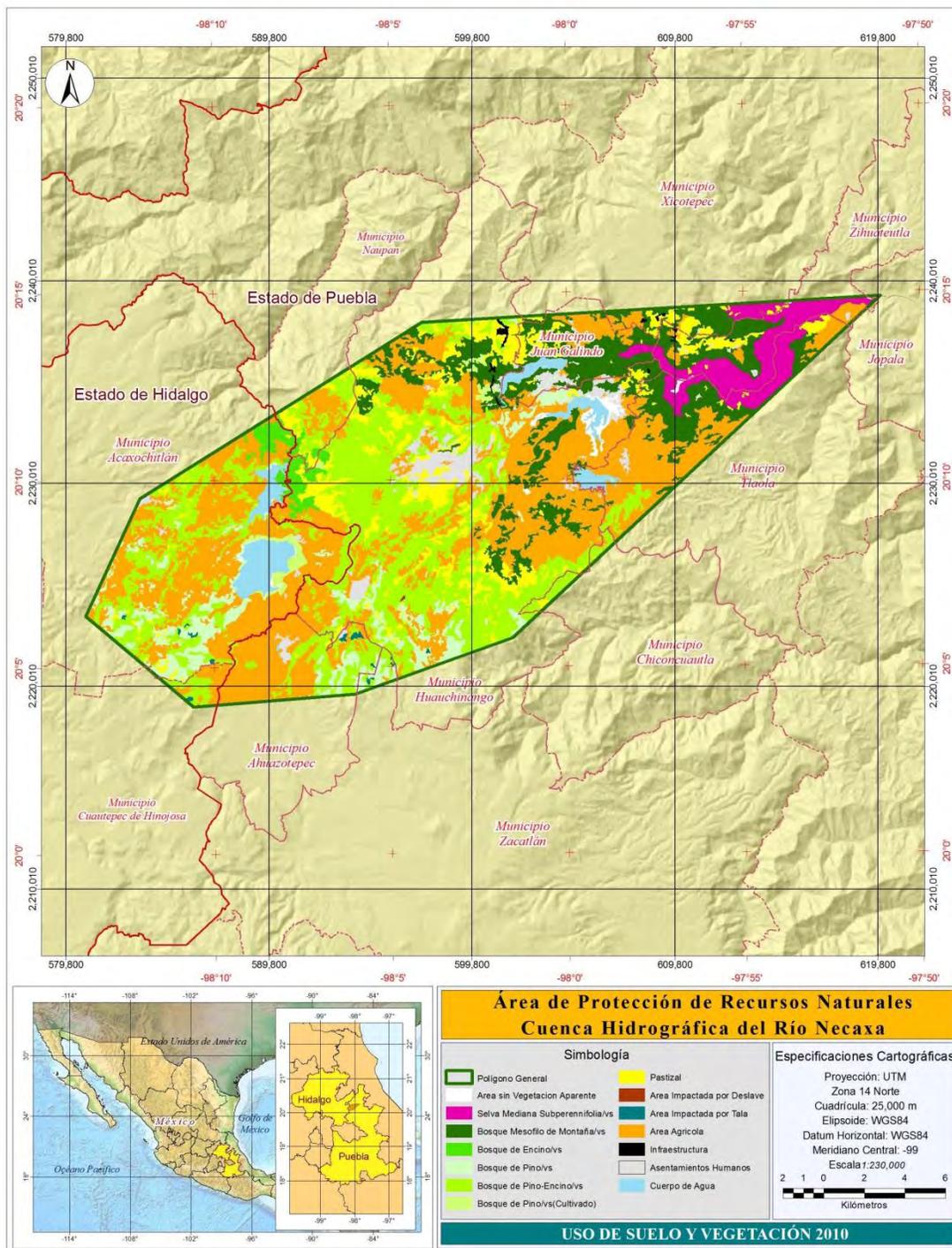


Figura 11. Uso de suelo y vegetación Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa 2010.

Áreas de cambio.

Utilizando las herramientas de análisis espacial de los Sistemas de Información Geográfica, se generaron los datos de tipo y dinámica de cambio, organizando los Bloques de acuerdo a los siguientes periodos:

- Bloque 2 - Bloque 1 (2006-2010)
- Bloque 3 - Bloque 2 (2000-2006)
- Bloque 4 - Bloque 3 (1985-2000)
- Bloque 4 - Bloque 1 (1985-2010)

De los resultados obtenidos, se generaron matrices para caracterizar el tipo de cambio (Ramírez y Zubieta 2005), y se espacializaron en mapas de tipo de cambio.

La Tabla 4, muestra el tipo de cambio para el periodo 1985-2000, donde a partir del total de las 668 hectáreas que fueron transformadas, 170 hectáreas corresponden a áreas agrícolas, 448 hectáreas a pastizales, 46 hectáreas a zonas impactadas por tala y 4 hectáreas corresponden a los asentamientos humanos. Por otro lado, se registraron 257 hectáreas que presentaron algún nivel de revegetación incluyendo las categorías de Bosque de Pino (145 hectáreas), Bosque de Pino-Encino (86 hectáreas), Bosque Mesófilo de Montaña (11 hectáreas) y el Bosque Cultivado (15 hectáreas).

También se puede observar que los asentamientos humanos están creciendo, lo que ocasiona que las áreas agrícolas y los pastizales pierdan superficie. Finalmente, para este periodo de 15 años, 13 hectáreas cambiaron de ser un Bosque de Pino-Encino con Vegetación Secundaria en 1985, a un Bosque de Pino con Vegetación Secundaria en el 2000.

Tabla 4. Matriz de transición periodo 1985-2000.

Matriz de tipo de Cambio Necaxa 1985-2000	Área sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino/vs	Bosque de Pino/vs	Bosque de Pino- Encino/vs	Bosque Mesófilo de Montaña/vs	Selva Mediana Subperennifolia/vs	Bosque de Pino/vs(Cultivado)	Área Agrícola	Área Impactada por Deslave	Área Impactada por Tala	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal	Cuerpo de Agua	Total 1985
Área sin Vegetación Aparente	287														287
Bosque de Encino/vs		664											13		677
Bosque de Pino/vs			2,042					44		4			28		2,118
Bosque de Pino-Encino/vs			13	10,075				14		33	4		183		10,321
Bosque Mesófilo de Montaña/vs					5,232			112					214		5,558
Selva Mediana Subperennifolia/vs						1,985							10		1,995
Bosque de Pino/vs (Cultivado)							264			9					274
Área Agrícola			102	50	11			14,856			33		12		15,063
Área Impactada por Deslave									2						2
Área Impactada por Tala			8	27				2		8					45
Asentamientos Humanos											1,230				1,230
Infraestructura												19			19
Pastizal			35	9			15	25			22	4	3,104		3,215
Cuerpo de Agua														1,326	1,326
Total 2000	287	664	2,200	10,161	5,243	1,985	280	15,052	2	53	1,290	22	3,564	1,326	42,129

La dinámica de cambio del periodo 1985-2000 (Tabla 5), indica que el Bosque Mesófilo de Montaña es el más afectado, pues de 1985 al año 2000, pierde 101 hectáreas con las categorías de área agrícola y 214 hectáreas con pastizal. El Bosque de Pino-Encino secundario, gana 36 hectáreas a las áreas agrícolas, pero pierde alrededor de 180 hectáreas con Pastizal. Cabe resaltar que el Bosque de Pino con Vegetación Secundaria, aumentó 70 hectáreas dentro del periodo, y el Bosque Cultivado se vio afectado por la tala, pero gana 15 hectáreas a zonas de pastizales. Por lo anterior, se perdieron durante el periodo de 15 años (1985-2000) un total de 410 hectáreas de categorías forestales, siendo en promedio 27 hectáreas transformadas al año.

Tabla 5. Matriz de dinámica de cambio periodo 1985-2000.

Matriz de dinámica de Cambio Necaxa1985-2000	Área Agrícola	Área Impactada por Deslave	Área Impactada por Tala	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal
Área sin Vegetación Aparente						
Bosque de Encino/vs						-13
Bosque de Pino/vs	58		4			7
Bosque de Pino-Encino/vs	36		-5	-4		-174
Bosque Mesófilo de Montaña/vs	-101					-214
Selva Mediana Subperennifolia/vs						-10
Bosque de Pino/vs(Cultivado)			-9			15
Subtotal	-7	0	-10	-4	0	-388

Total de cambio en el periodo HA 410

Total por año HA 27

En la Figura 12, se pueden observar en color naranja aquellas áreas en donde se dio un proceso de deforestación, mientras que las áreas en verde, corresponden a aquellas áreas en donde se presenta un proceso de revegetación y las de color café las de rotación. Las zonas que presentaron deforestación estuvieron distribuidas casi de manera homogénea en los límites del polígono. Las zonas de revegetación se distribuyeron dentro del polígono al Este del municipio de Acaxochitlán en Hidalgo y al Sur del municipio de Huachinango, Puebla. En cuanto a las áreas donde se presentó rotación se puede observar en el mapa se encuentran en parte del municipio de Huachinango, Puebla.

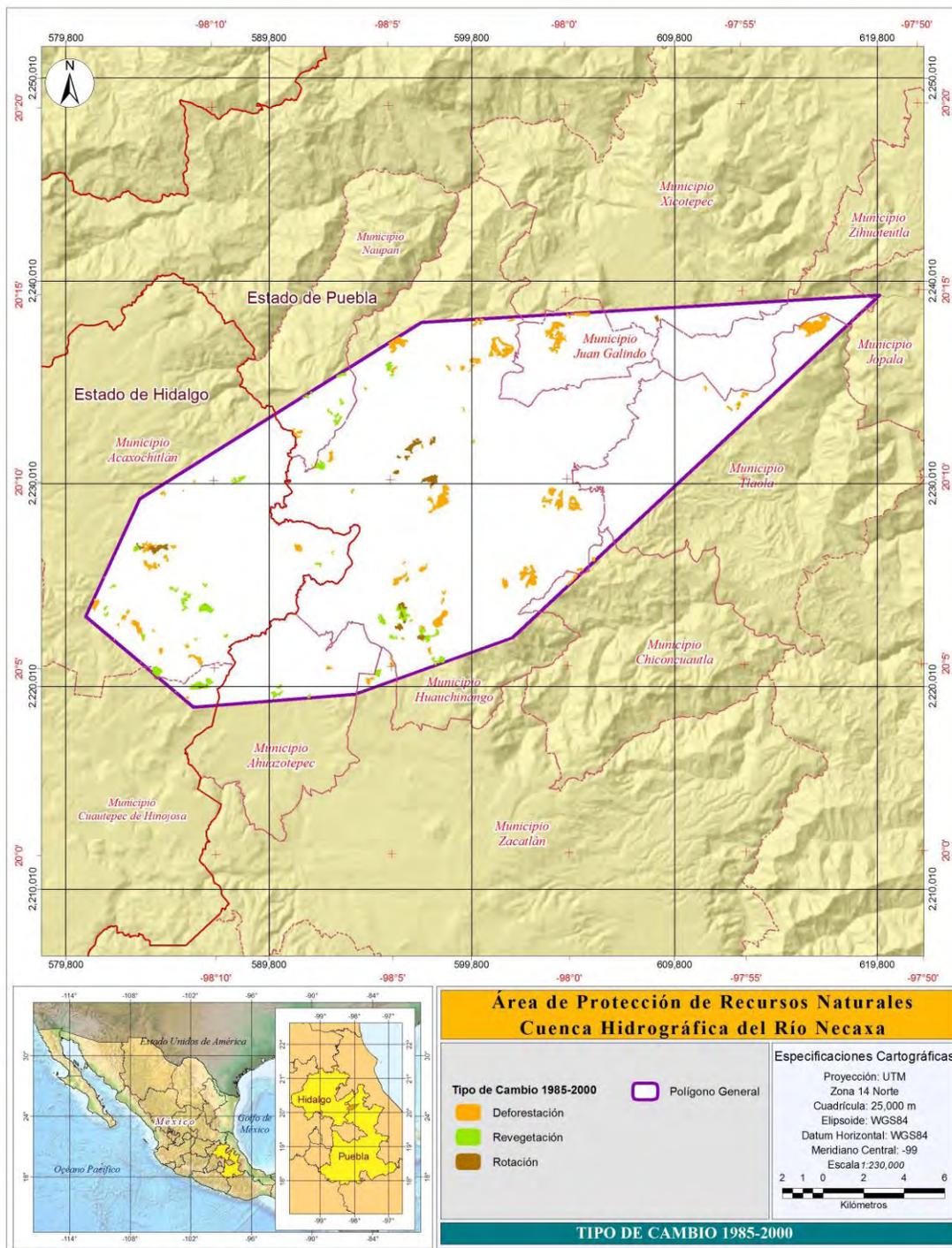


Figura 12. Áreas transformadas en el periodo 1985-2000.

Para el periodo 2000-2006 (Tabla 6), la deforestación se presenta para 237 hectáreas, en las categorías de Bosque de Pino-Encino secundario por la tala (52 hectáreas) y Pastizal (161 hectáreas). Hubo una revegetación de 92 hectáreas en distintas categorías forestales, incluyendo de Bosque de Pino con Vegetación Secundaria (31 hectáreas), Bosque Cultivado (29 hectáreas), Bosque de Pino-Encino con Vegetación Secundaria (27 hectáreas), Bosque de Encino con Vegetación Secundaria (3 hectáreas) y Bosque Mesófilo de Montaña (2 hectáreas). La matriz muestra la perturbación de 22 hectáreas de Bosque Mesófilo de Montaña que fue transformado a Bosque Cultivado.

Tabla 6. Matriz de transición periodo 2000-2006.

Matriz de tipo de Cambio Necaxa 2000-2006	Área sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino/vs	Bosque de Pino/vs	Bosque de Pino- Encino/vs	Bosque Mesófilo de Montaña/vs	Selva Mediana Subperennifolia/vs	Bosque de Pino/vs(Cultivado)	Área Agrícola	Área Impactada por Deslave	Área Impactada por Tala	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal	Cuerpo de Agua	Total 2000
Área sin Vegetación Aparente	287														287
Bosque de Encino/vs		664													664
Bosque de Pino/vs			2,162	0						6			31		2,200
Bosque de Pino-Encino/vs				10,020				1	5	46			90		10,161
Bosque Mesófilo de Montaña/vs					5,186		22	2	1			2	29		5,243
Selva Mediana Subperennifolia/vs						1,974							11		1,985
Bosque de Pino/vs (Cultivado)							267	13							280
Área Agrícola		3	11	4				15,029				6			15,052
Área Impactada por Deslave									2						2
Área Impactada por Tala			2	5			9			35			2		53
Asentamientos Humanos											1,290				1,290
Infraestructura												22			22
Pastizal			18	18	2		20	2				6	3,498		3,564
Cuerpo de Agua														1,326	1,326
Total 2006	287	667	2,193	10,046	5,188	1,974	318	15,046	8	87	1,290	37	3,662	1,326	42,129

La matriz de dinámica de cambio para el periodo 2000-2006 (Tabla 7), indica que los cambios más representativos son para las clases de pastizales, pues en 2006 registraron un aumento de 104 hectáreas, afectando principalmente al Bosque de Pino-Encino con Vegetación Secundaria, pero pierde 20 hectáreas con el Bosque Cultivado. Para el Bosque Mesófilo de Montaña, se registra una pérdida de un poco más de 30 hectáreas. El Bosque de Pino-Encino

con Vegetación Secundaria, también se ve afectado por actividades de tala en 40 hectáreas. Por último, el Bosque de Pino con Vegetación Secundaria, registra un avance sobre las actividades agrícolas, con 11 hectáreas. Durante este periodo de 6 años, se perdió un total de 146 hectáreas de categorías forestales, transformándose en promedio 24 hectáreas al año.

Tabla 7. Matriz de dinámica de cambio periodo 2000-2006.

Matriz de dinámica de Cambio Necaxa2000-2006	Área Agrícola	Área Impactada por Deslave	Área Impactada por Tala	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal
Área sin Vegetación Aparente						
Bosque de Encino/vs	3					
Bosque de Pino/vs	11		-4			-14
Bosque de Pino-Encino/vs	2	-5	-41			-72
Bosque Mesófilo de Montaña/vs	-2	-1			-2	-27
Selva Mediana Subperennifolia/vs						-11
Bosque de Pino/vs(Cultivado)	-13		9			20
Subtotal	2	-7	-35	0	-2	-104

Total de cambio en el periodo HA 146

Total por año HA 24

En la Figura 13 se observa el mapa que representa las áreas transformadas de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa del periodo 2000-2006. Las zonas de color naranja muestran deforestación, las áreas en verde representan las áreas de revegetación y las de color café las de rotación. En este periodo de análisis se pueden observar que las áreas de deforestación y revegetación principalmente distribuidas en los límites del polígono en el municipio de Acaxochitlán, Hgo. y en Huachinango, Puebla. Es importante mencionar que en la parte que le corresponde al municipio de Tlaola, no se presentó ningún tipo de transformación en el periodo de análisis.

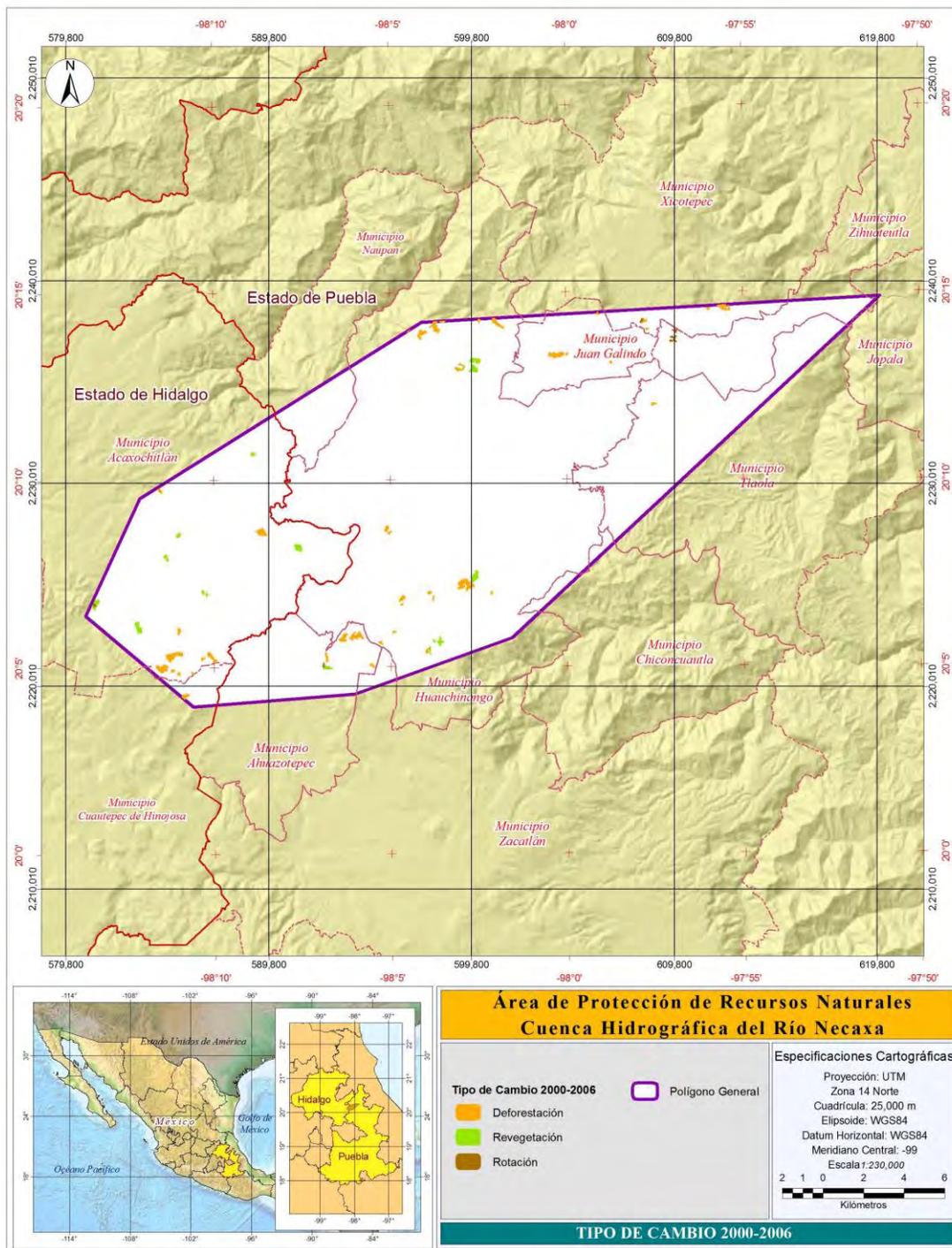


Figura 13. Áreas transformadas en el periodo 2000-2006.

En el periodo 2006-2010 (Tabla 8), la matriz de transición muestra que 144 hectáreas se deforestaron, los cambios más evidentes corresponden a los pastizales con 94 hectáreas y a la infraestructura con 22 hectáreas, seguida por áreas impactadas por la tala con 17 hectáreas, las áreas agrícolas con 9 hectáreas y solamente 1 hectárea corresponde a aquellas zonas impactadas por deslaves. En cuanto a lo que se refiere a la revegetación, se encontró un total de 136 hectáreas, las cuales 58 hectáreas corresponden al cambio de Pastizal a Bosque de Pino con Vegetación Secundaria, y el resto (78 hectáreas) son la transformación al Bosque de Pino-Encino con Vegetación Secundaria.

Tabla 8. Matriz de transición periodo 2006-2010.

Matriz de tipo de Cambio Necaxa 2006-2010	Área sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino/vs	Bosque de Pino/vs	Bosque de Pino- Encino/vs	Bosque Mesófilo de Montaña/vs	Selva Mediana Subperennifolia/vs	Bosque de Pino/vs(Cultivado)	Área Agrícola	Área Impactada por Deslave	Área Impactada por Tala	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal	Cuerpo de Agua	Total 2006
Área sin Vegetación Aparente	287														287
Bosque de Encino/vs		667													667
Bosque de Pino/vs			2,166							7			20		2,193
Bosque de Pino-Encino/vs				9,991				1		10		13	30		10,046
Bosque Mesófilo de Montaña/vs					5,137			9	1			9	32		5,188
Selva Mediana Subperennifolia/vs						1,962							12		1,974
Bosque de Pino/vs (Cultivado)							318								318
Área Agrícola				17				15,028					1		15,046
Área Impactada por Deslave				2					7						8
Área Impactada por Tala				33						54					87
Asentamientos Humanos											1,290				1,290
Infraestructura												37			37
Pastizal				58	26								24	3,554	3,662
Cuerpo de Agua														1,326	1,326
Total 2010	287	667	2,224	10,069	5,137	1,962	318	15,038	8	71	1,290	83	3,650	1,326	42,129

En la matriz de dinámica de cambio del periodo 2006-2010 (Tabla 9), el Bosque Mesófilo de Montaña pierde 51 hectáreas, principalmente con los Pastizales (32 hectáreas). El Bosque de Pino con Vegetación Secundaria recuperó 37 hectáreas, mientras que los Bosques de Pino-Encino con Vegetación Secundaria, ganaron 41 hectáreas en zonas que habían sido impactadas por la tala, deslaves y áreas agrícolas; sin embargo perdieron 18 hectáreas debido

principalmente por la creación de infraestructura (13 hectáreas). En este periodo de 4 años, se perdieron en total 10 hectáreas de categorías forestales.

Tabla 9. Matriz de dinámica cambio periodo 2006-2010.

Matriz de dinámica de Cambio Necaxa2006-2010	Área Agrícola	Área Impactada por Deslave	Área Impactada por Tala	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal
Área sin Vegetación Aparente						
Bosque de Encino/vs						
Bosque de Pino/vs			-7			37
Bosque de Pino-Encino/vs	17	2	22		-13	-5
Bosque Mesófilo de Montaña/vs	-9	-1			-9	-32
Selva Mediana Subperennifolia/vs						-12
Bosque de Pino/vs(Cultivado)						
Subtotal	8	1	15	0	-22	-12

Total de cambio en el periodo HA 10

Total por año HA 2

En la Figura 14 se puede observar el mapa de las áreas transformadas en Necaxa durante el periodo del 2006-2010. En verde se encuentra representada las zonas de revegetación, en naranja las zonas afectadas por la deforestación y el café son las áreas de rotación. Durante este periodo de análisis se aprecian varias zonas de revegetación y deforestación al Oeste del polígono del APRN; así como una zona de deforestación y rotación al Norte del área.

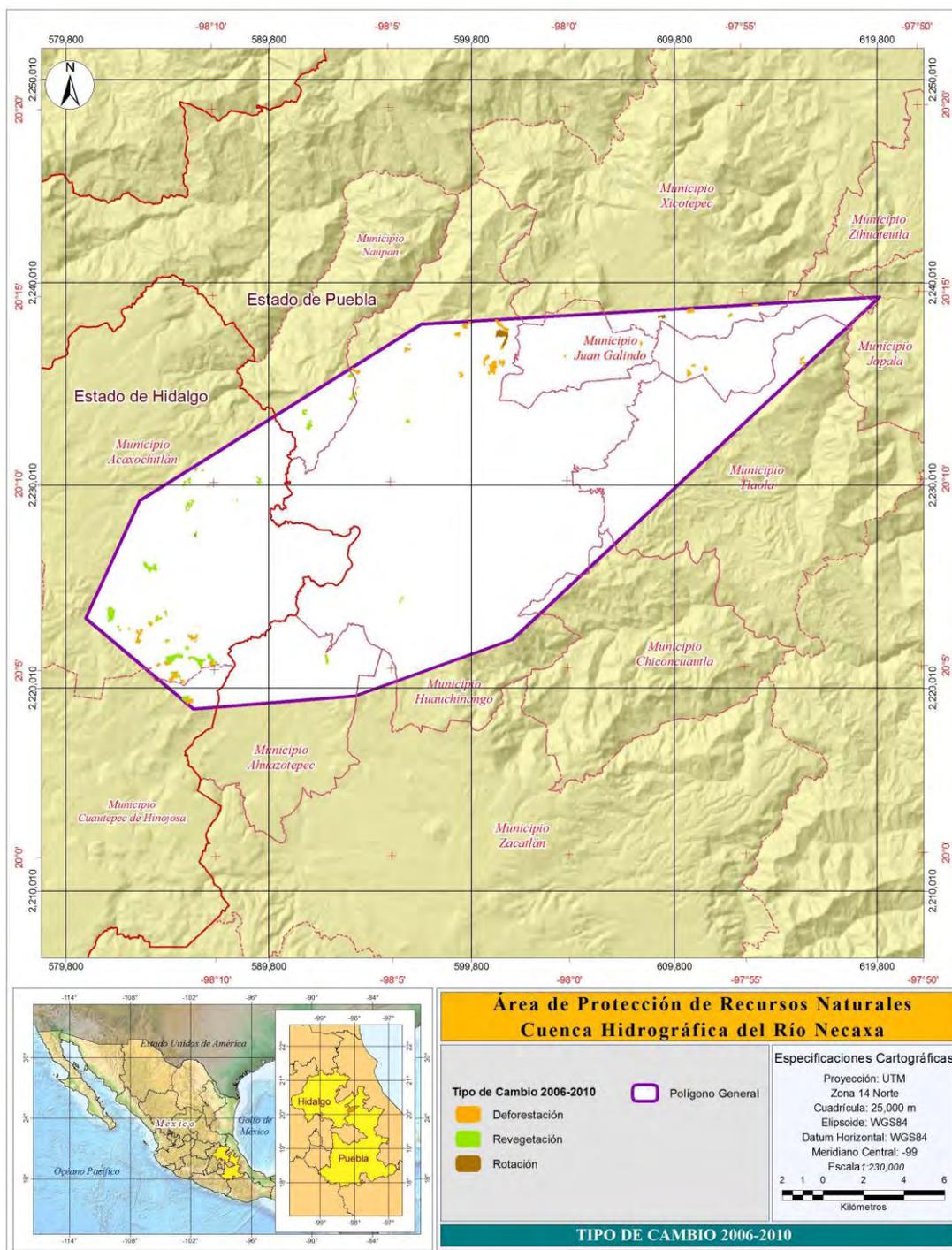


Figura 14. Áreas transformadas en el periodo 2006-2010.

Cambio Acumulado durante 1985-2010.

La descripción de resultados del tipo de cambio para el periodo completo (1985-2010), se presenta en la Tabla 10. En 25 años se presenta una deforestación de 918 hectáreas, siendo la categoría de Pastizal (619 hectáreas), Área Agrícola (197 hectáreas) y Área impactada por Tala (67 hectáreas), las que mayor presión ejercen. De las 619 hectáreas que ahora son los pastizales, 277 hectáreas anteriormente eran Bosque de Pino-Encino con Vegetación Secundaria, 261 hectáreas eran Bosque Mesófilo de Montaña con Vegetación Secundaria y el resto correspondían a Bosque de Pino con Vegetación Secundaria (35 hectáreas), Selva Mediana Subperennifolia con Vegetación Secundaria (33 hectáreas) y Bosque de Encino con Vegetación Secundaria (13 hectáreas).

En cuanto a la revegetación se encontró que se ve reflejada en 352 hectáreas, principalmente por las categorías de Bosque de Pino con Vegetación Secundaria (173 hectáreas) y Bosque de Pino-Encino con Vegetación Secundaria (142 hectáreas). De las 173 hectáreas que presentaron revegetación a Bosque de Pino/Encino, anteriormente 112 hectáreas correspondían a áreas agrícolas, 53 hectáreas eran pastizal y 8 hectáreas correspondían a áreas impactadas por tala. El Bosque Mesófilo de Montaña con Vegetación Secundaria, sufrió perturbación en 35 hectáreas que fueron transformadas a Bosque Cultivado (Tabla 10).

Tabla 10. Matriz de transición acumulado periodo 1985-2010.

Matriz de tipo de Cambio Necaxa 1985-2010	Área sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino/vs	Bosque de Pino/vs	Bosque de Pino- Encino/vs	Bosque Mesófilo de Montaña/vs	Selva Mediana Subperennifolia/vs	Bosque de Pino/vs(Cultivado)	Área Agrícola	Área Impactada por Deslave	Área Impactada por Tala	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal	Cuerpo de Agua	Total 1985
Área sin Vegetación Aparente	287														287
Bosque de Encino/vs		664											13		677
Bosque de Pino/vs			2,023	0				46		14			35		2,118
Bosque de Pino-Encino/vs			28	9,926				16	4	53	4	14	277		10,321
Bosque Mesófilo de Montaña/vs					5,127		35	122	2			11	261		5,558
Selva Mediana Subperennifolia/vs						1,962							33		1,995
Bosque de Pino/vs (Cultivado)							261	13							274
Área Agrícola		3	112	71	11			14,815			33	6	13		15,063
Área Impactada por Deslave									2						2
Área Impactada por Tala			8	29				2		4			2		45
Asentamientos Humanos											1,230				1,230
Infraestructura												19			19
Pastizal			53	42	0		23	25			22	33	3,016		3,215
Cuerpo de Agua														1,326	1,326
Total 2010	287	667	2,224	10,069	5,137	1,962	318	15,038	8	71	1,290	83	3,650	1,326	42,129

En la Tabla 11, los resultados de la dinámica de cambio para el periodo 1985-2010, muestran que el Bosque Mesófilo de Montaña perdió 386 hectáreas, principalmente por pastizal (261 hectáreas) y Áreas Agrícolas (112 hectáreas), el resto se le atribuye a la creación de infraestructura y a las áreas impactadas por deslaves. El Bosque de Pino con Vegetación Secundaria, ganó 85 hectáreas, primordialmente hacia las áreas agrícolas; mientras que el Bosque de Pino-Encino con Vegetación Secundaria, perdió 234 hectáreas con pastizal, pero ganó 55 a las áreas agrícolas. En total, se perdieron 566 hectáreas forestales en el periodo, lo que significa que de 1985 a 2010, se modificaron en promedio 23 hectáreas al año.

Tabla 11. Matriz de dinámica de cambio acumulado del periodo 1985-2010.

Matriz de dinámica de Cambio Necaxa1985-2010	Área Agrícola	Área Impactada por Deslave	Área Impactada por Tala	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal
Área sin Vegetación Aparente						
Bosque de Encino/vs	3					-13
Bosque de Pino/vs	67		-6			18
Bosque de Pino-Encino/vs	55	-4	-24	-4	-14	-234
Bosque Mesófilo de Montaña/vs	-112	-2			-11	-261
Selva Mediana Subperennifolia/vs						-33
Bosque de Pino/vs(Cultivado)	-13					23
Subtotal	0	-6	-30	-4	-25	-501

Total de cambio en el periodo HA 566

Total por año HA 23

En la Figura 15 se pueden observar las zonas de cambio acumulado en el periodo de 1985-2010. En color amarillo se muestran las áreas transformadas hasta 1985, las áreas de cambio se representan con un tono marrón, naranja oscuro y naranja que representan la pérdida o cambio negativo. Mientras que la revegetación o cambios positivos se representa con en diversos tonos en verde. Se puede notar que los cambios negativos son mayores a los cambios positivos por lo que existe una tendencia a la transformación de los tipos de vegetación a usos del suelo para actividades antrópicas.

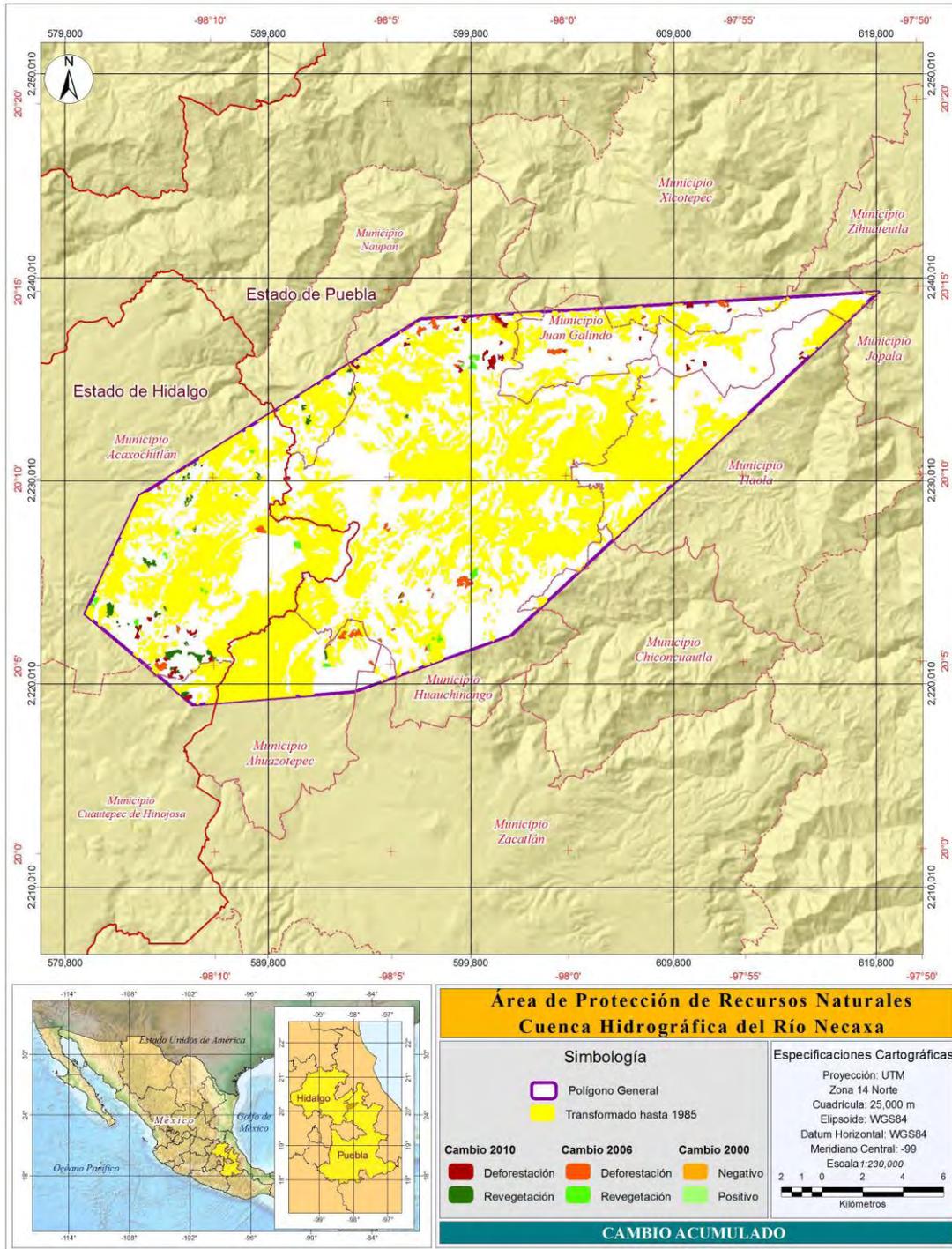


Figura 15. Áreas transformadas en el periodo acumulado 1985-2010.

Tasa de Transformación.

La Tasa de Transformación del Hábitat más alta fue durante el periodo de 1985-2000 con 0.1299% y 27 hectáreas transformadas por año, seguida del 2000-2006 con 0.1176% y 24 hectáreas transformadas al año, y mucho más baja la tasa durante el periodo del 2006-2010 con 0.0118% y 2 hectáreas transformadas por año. La tasa del periodo acumulado (1985-2010) fue de 0.1080% con 23 hectáreas transformadas por año (Tabla 12).

Tabla 12. Tasa de Transformación en la Cuenca Hidrológica del Río Necaxa.

Período	Superficie Forestal al inicio del periodo (S1)	Superficie Forestal al final del periodo (S2)	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año	Cambio Acumulado
1985-2000	21,229.59	20,819.77	409.82	15	0.0013	0.1299	27	409.82
2000-2006	20,819.77	20,673.35	146.42	6	0.0012	0.1176	24	556.24
2006-2010	20,673.35	20,663.58	9.78	4	0.0001	0.0118	2	566.02
1985-2010	21,229.59	20,663.58	566.02	25	0.0011	0.1080	23	566.02

En la figura 16 se muestra la gráfica de tendencia de la TTH y de superficie transformada. Se puede observar que de 1985 hasta el 2006, la superficie transformada tiene un aumento constante, sin embargo de 2006 a 2010, aparentemente se mantiene estable. La línea de tendencia de la TTH, mantiene un comportamiento continuo a la baja.

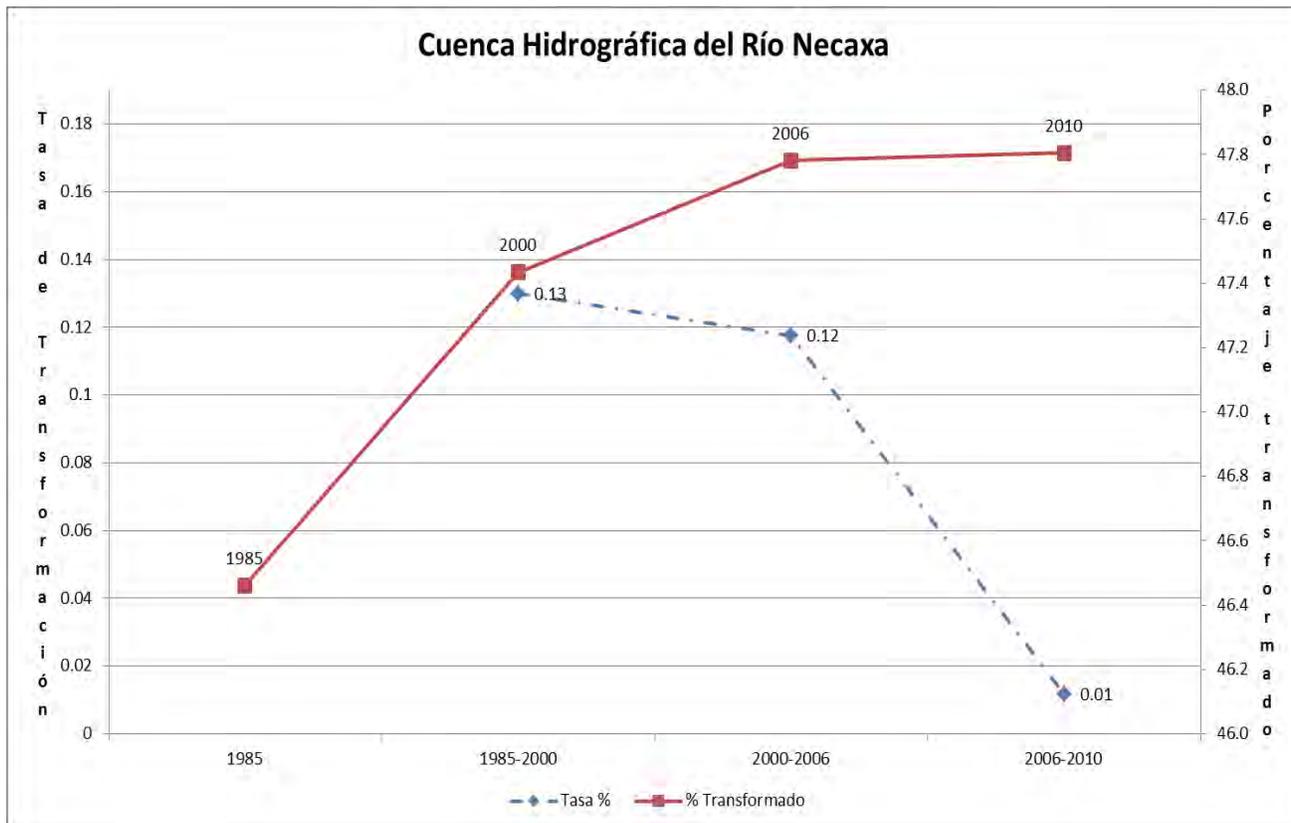


Figura 16. Tendencia en el comportamiento de la TTH y la superficie transformada en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.

Conclusiones

- El cambio de uso del suelo es uno de los problemas más serios y complejos debido a la diversidad de aspectos naturales, económicos, sociales y políticos que implica. Las actividades antropogénicas son reconocidas como la principal causa que altera el territorio a tasas y escalas inesperadas. En este reporte se realizó la evaluación de la Tasa de Transformación del Hábitat en áreas de importancia biológica y que han sufrido cambios en su composición debido principalmente a las actividades antrópicas.
- Una manera confiable para medir el grado de conversión, es a través del estudio de la dinámica espacio-temporal de uso del suelo o Tasa de Transformación del Hábitat (TTH), ya que permite conocer las modificaciones en la vegetación a través del tiempo.
- El empleo de las técnicas y herramientas de los Sistemas de Información Geográfica y la Percepción Remota, fueron elementales para espacializar datos de ubicación y cambio de las cubiertas del suelo.
- El método empleado en el presente reporte, ha demostrado ser versátil, ya que puede ser aplicado a diferentes escalas con diferentes sensores multiespectrales, ideal por las características de las áreas de estudio. También ha servido para la estandarización y sistematización de procedimientos en la generación de información espacial reciente e histórica de las cubiertas del suelo. Éste tipo de métodos minimiza las debilidades de las técnicas de clasificación automatizada y de la interpretación visual cuando se utilizan por separado, potencializando las virtudes al trabajarlas en conjunto.
- En la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa el 50% del área tiene una cubierta Forestal, aproximadamente el 47% es No Forestal y el resto son cuerpos de agua. Lo que sugiere que la zona ha estado sujeta a mucha presión hacia los recursos por lo que todos los tipos de vegetación presentes son de sucesión secundaria.
- Se presentó mayor transformación causada por deforestación que por revegetación en todos los periodos de análisis (1985-2000, 2000-2006, 2006-2010, y en el cambio acumulado de 1985-2010).
- Las principales causas por las que las áreas fueron deforestadas fueron por la presencia de pastizales, áreas agrícolas y zonas impactadas por la tala.

- De acuerdo a las tablas de dinámica de cambio de todos los periodos de análisis, las áreas de revegetación tendieron hacia la clase de Bosque de Pino con Vegetación Secundaria.
- El Bosque Mesófilo de Montaña fue el que presento las principales modificaciones, pues pierde superficie en relación con las áreas agrícolas y pastizales, así como con los bosques cultivados.
- El periodo de mayor transformación fue el de 1985-2000 con un una tasa de transformación anual del 0.1299%; mientras que el periodo que menor cambio presentó fue durante el 2006-2010 con un 0.0118% de TTH anual.
- En total se perdieron 566 hectáreas en el periodo de cambio acumulado de 1985-2010, siendo en promedio una perdida de 23 hectáreas al año.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, en el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa existe una constante transformación en las cubiertas del suelo, y la tendencia general es hacia la pérdida de la cubierta forestal, aun que en el último periodo de análisis, de acuerdo a las gráficas de tendencia de la TTH y de superficie transformada, se percibe que se han frenado los procesos de cambio.

Referencias bibliográficas

Bocco, G., M. Mendoza y O. Maser. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Boletín del Instituto de Geografía*. 44: 18-38.

Castelán, V. R., J. Ruiz C., G. Linares F., R. Pérez A. y V. Tamaríz Flores. 2007. Dinámica de cambio espacio temporal de uso del suelo de la subcuenca del Río San Marcos, Puebla, México.

Cerón-Carpio A. B, J. L. Contreras Jiménez y V. H. de Gante-Cabrera. 2012. Inventario Pteridoflorístico del Área de Protección de Recursos Naturales “Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa”, porción Puebla México. *Polibotánica* 33: 41-55.

CONABIO. 2009. Biodiversidad Mexicana. Reporte País: Riquezas Naturales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2011. La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 440 páginas.

CONAFOR. 2011. Plan de Inversión México, Programa de Inversión Forestal. Banco Mundial, Financiera Rural, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

CONANP. 2007. “Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México” Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP. México.

CONANP e INECOL, A.C. 2011. Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz México en el periodo 2003-2011. Xalapa, Veracruz.

CONANP. 2012. Base de datos de las Áreas Naturales Protegidas de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Dirección de Evaluación y Seguimiento, Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática. Morelia, Michoacán México.

Cuevas, G. G. 2005. Pronóstico del cambio de uso del suelo en áreas forestales del estado de Michoacán. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Challenger, A. R. y R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: Capital Natural de México. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México pp. 63-73.

Chase, T. N., Pielke Sr, R. A., Kittel, T. G. F., Nemani, R. R. and S. W Running. 2000 Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics*.16: 93-105.

Chuvieco, 2008. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. 3ra. Edición Actualizada Septiembre. Editorial Ariel S.A. España. 595 p.

De Jong, B., M. A. Castillo, O. Maser y A. Flamenco. 2003. Dinámica de cambio de uso de suelo y emisiones de carbono en el trópico húmedo de México. Resultados finales del análisis de cambio de uso entre 1975 y 2000, Selva Lacandona y El Ocote. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) e Instituto de Ecología, Campus Morelia.

Dirzo, R. y M. C. García. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in Southeast Mexico. *Conservation Biology* 6(1): 84-90.

DOF, 20/10/1938. Decreto que declara Zona Protectora Forestal Vedada los terrenos que limita la cuenca hidrográfica del Río Necaxa.

DOF, 09/07/2002. Acuerdo por el que se determina como área natural protegida de competencia federal, con la categoría de área de protección de recursos naturales, la Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, establecida mediante Decreto publicado el 20 de octubre de 1938.

Durán-Medina, E., Jean-Francois Mas y A. Velázquez. 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. David Bray, Leticia Merino Pérez y Deborah Barry (eds). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Geografía

de la Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Civil para Silvicultura Sostenible y Florida International University . México, D.F. pp. 444.

FAO, 1996. Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130, Rome.

FAO. 2001. Global Forest Resources Assessment 2000. FAO Forestry Paper 140. Rome. Para consulta: <http://www.fao.org/forestry/fra/2000/report/en/>

FAO. 2011. Situación de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Figuroa, D. E. M. F. 2008. El contexto socioeconómico y la efectividad de las ANP de México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. Tesis para obtener el grado académico de Doctora en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Figuroa, F., V. Sánchez Cordero, P. Illoldi-Rangel y M. Linaje. 2011. Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio de uso del suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente?. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 951-963.

Flamenco-Sandoval, A., M. Martínez Ramos y O. Maser. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. Biological Conservation 138:131-145.

Guerra, M. V. y S. Ochoa Gaona. 2006. Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 59: 7-25. UNAM.

Halffter, G. 1994. Conservación de la biodiversidad y áreas protegidas en los países tropicales. Revista Ciencias 36: 4-13.

INEGI 2007. Diccionario de datos de Uso de Suelo y Vegetación 1:250 000. México.

INEGI 2009. Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250 000, Serie IV (Conjunto Nacional). Aguascalientes, Ags., México.

INEGI. 2010. Marco Geoestadístico Nacional versión 5.0. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/M_Geoestadistico.aspx

IUCN. 2011. Las áreas protegidas de América Latina, situación actual y perspectivas para el futuro. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, España.

Lambin, E.F., B.L. Turner, H.J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkam, C. Vogel y J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 11: 261-269.

López, G. J. 2011. Deforestation and forest degradation in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico 2003-2009. *Journal of Maps* 7(1): 626-633.

March, M. I. J. y A. Flamenco Sandoval. 1992. Evaluación rápida de la deforestación en las áreas naturales protegidas de Chiapas (1970-1993). The Nature Conservancy, El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

Mas, J.F., V. Sorani, R. Álvarez. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 5: 43-57. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Mas, J. F. 2000. "Une revue des Méthodes et des Techniques de Télédétection du Changement". *Canadian Journal of Remote Sensing Journal Canadien de Télédétection*, Col. 26, Nú. 4 P. pp 349-363.

Mas, S. F., H. H. Regil García, C. González Esquivel y G. Nava Bernal. 2006. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México en el periodo 1972-2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM*. 61: 38-57.

Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) modalidad regional. 2004. Aprovechamiento del Banco La Mina, para la extracción de material pétreo en Teopancingo, Municipio de Huachinango, Puebla. Carretera Tejocotal-Nuevo Necaxa. Promovente: Ingenieros Civiles y Asociados S.A. de C.V. (ICA).

Paniagua, I. 2009. Tesis “Análisis Híbrido para la identificación anual de cambios en la cubierta del suelo. La Chinantla, Oaxaca, 2004-2005”. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.

Paniagua, I., Carranza, J., y Ramírez, I. (2011). Método híbrido para la detección de cambios en la cubierta de suelo en áreas naturales protegidas. Memorias de la XIX Reunión Nacional SELPER, Morelia 3-7 de octubre. Morelia, Mich. México. Para consulta:

http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/MemoriasSelper2011.pdf

PNUMA. 2005. Grupo de países megadiversos afines. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Para consulta:

<http://www.pnuma.org/deramb/GroupofLikeMindedMegadiverseCountries.php>

Ramírez, M.I. y R. Zubieta. 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. México D.F. Septiembre 2005.

Sánchez, C., S. A. Flores Martínez, I. A. Cruz-Leyva y A. Velázquez. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En: Capital Natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. México, D.F. pp. 75-129

Sistema de Investigación, Monitoreo y Evaluación para la Conservación (SIMEC). Ficha General del Área Natural Protegida. Consulta: Septiembre 2012.

Universidad Autónoma de Chapingo e Instituto Nacional de Ecología. 2001. Estudio de Ordenamiento Ecológico Territorial de las cuencas hidrológicas de los Ríos Necaxa y Laxaxalpan. Texcoco, México. Documento interno. 326 pp.

Vázquez-Cuevas, G. M. e I. E. Roldán Aragón. 2010. Evaluación de los cambios de cobertura del suelo en la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo México (1973-1976). Papeles de Geografía. 51-52: 307-316.

Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz Gallegos, R. Mayorga Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Instituto Nacional de Ecología. Gaceta Ecológica, 62: 21-37. México, D.F.

Velázquez, A., E. Durán, A. Larrazábal, F. López y C. Medina. 2007. La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo. En: Atlas fisiográfico de la Cuenca de Tepalcatepec. Manuel Mendoza, Alejandro Velázquez, Alejandra Larrazábal, Alejandro Toledo (compiladores). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto Nacional de Ecología (INE).

Velázquez, A., E. M. Cüe-Bar, A. Larrazábal, N. Sosa, J. L. Villaseñor, M. McCall, G. Ibarra-Manríquez. 2009. Building participatory landscape-based conservation alternatives: A case study of Michoacan, Mexico. *Applied Geography*. 1-14

Velázquez, A. y A. Larrazábal. 2011. Conservación participativa del paisaje. En: *Geografía y Ambiente en América Latina*. Gerardo Bocco, Pedro S. Urquijo y Antonio Vieyra (coordinadores). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Instituto Nacional de Ecología (INE).