



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE INFORMACIÓN
GEOESPACIAL, A.C.**

CentroGeo

Centro Público de Investigación CONAHCYT

Dinámica de la cobertura del bosque templado en el municipio de Huixquilucan
de Degollado, Estado de México, durante el periodo 1988-2023.

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestro en Planeación Espacial

Presenta

Ulysses Gerardo Ramírez Espinosa

Director de Tesis

Dr. José Mauricio Galeana Pizaña

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE INFORMACIÓN
GEOESPACIAL, A.C.

CentroGeo

Centro Público de Investigación CONAHCYT

Dinámica de la cobertura del bosque templado en el municipio de Huixquilucan
de Degollado, Estado de México, durante el periodo 1988-2023.

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestro en Planeación Espacial

Presenta

Ulysses Gerardo Ramírez Espinosa

Director de Tesis

Dr. José Mauricio Galeana Pizaña

Codirector de Tesis

Dr. Arturo García Romero

Sinodales

Dr. Mauricio Pablo Cervantes Salas

Dra. Adriana Aguilar Rodríguez

Ciudad de México, septiembre 2024

© CentroGeo. Derechos reservados. El autor otorga a CentroGeo el permiso de reproducir y distribuir copias de esta tesis en su totalidad o en partes.

Resumen

En el municipio de Huixquilucan de Degollado, Estado de México la transformación de los ecosistemas forestales para la producción del espacio urbano comenzó a partir de la década de los 80's del siglo pasado, lo que provocó la deforestación y degradación de los bosques, mientras que en las primeras dos décadas del siglo XXI los procesos de recuperación y permanencia son los que predominaron debido al desaceleramiento de la mancha urbana.

Por lo que conocer la dinámica forestal de Huixquilucan debido al crecimiento de la mancha urbana es importante ya que con esto se identifican las áreas que se urbanizaron para poder dar recomendaciones que propicien la conservación y restauración de los bosques.

Una de las principales aportaciones de esta investigación es la elaboración de una cartografía detallada de la cobertura forestal del municipio de Huixquilucan de Degollado, que se localiza al norponiente de la Ciudad de México (CDMX), debido a que los anteriores trabajos cartográficos que se han realizado en el Estado de México (INEGI, CONAFOR, entre otros) utilizaron escalas de trabajo a nivel nacional o regional.

Para ello, se utilizaron imágenes de satélite con una resolución espacial a 10 m para elaborar cartografía del uso de suelo y estado de conservación del bosque de Huixquilucan de Degollado de los años 1986, 2006 y 2023 clasificada en siete clases: Bosque primario, Bosque primario degradado, Bosque secundario, Tierras forestales degradadas, Zonas agrícolas, Asentamientos humanos y Cuerpos de agua, esto para observar cómo las coberturas forestales se han ido modificando en el espacio geográfico a través del tiempo. Para hacer dicha clasificación se estimó la Fracción de Cobertura a través de un ajuste a partir del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).

Posteriormente se realizó una matriz de cambio para cuantificar cuatro procesos forestales principales del cambio que afectan a las coberturas forestales: permanencia, recuperación, degradación y deforestación. La cuantificación de estos procesos, se dividió en dos periodos, el primero abarca de 1988-2006, con una temporalidad de 18 años, que es cuando se dio el crecimiento poblacional acelerado y el segundo periodo que abarca del 2006-2023, que tiene una temporalidad de 17 años, que es cuando se dio la desaceleración del crecimiento poblacional.

Se obtuvieron las áreas de cambio, así como las tasas de cambio de la cobertura forestal, en donde las transformaciones negativas que son los procesos de degradación y deforestación estuvieron de forma abundante en el primer periodo de tiempo, mientras que los procesos de recuperación y permanencia, estuvieron con mayor presencia en el segundo periodo.

El análisis realizado permitió observar que la mayor urbanización se sucedió en la zona oriente del municipio, lo cual se debe a que es la más cercana a la Ciudad de México y la mayoría de sus habitantes son originarios de la capital del país, además, la zona poniente es la de mayor altitud y por ende la de mayor inclinación y presencia de barreras orográficas.

Para evitar la pérdida de cobertura forestal derivado del proceso de urbanización se recomienda preservar y restaurar la masa forestal con un enfoque de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE), que se caracteriza en tener en un óptimo estado de conservación los ambientes naturales, esto con la finalidad de frenar el crecimiento de la urbanización en Huixquilucan ya que aquellas zonas desprovistas de vegetación son las que tienden a urbanizarse.

También se recomienda trabajar con un enfoque de Adaptación basada en Comunidades (AbC), esta se caracteriza en trabajar con la población local y en específico con los actores clave de la zona que son los comuneros y ejidatarios de Huixquilucan, para que ellos sean los encargados de preservar y restaurar la masa forestal, esto hará que tengan beneficios tanto ecológicos y económicos en un periodo de mediano y largo plazo, lo que conseguirá que sean autónomos de cualquier orden de gobierno y del sector privado.

Por lo que se espera que los bosques primarios, al ser ambientes con un estado óptimo de conservación sean preservados y los bosques primarios degradados, bosques secundarios y las tierras forestales degradadas, sean ventanas de oportunidad para restaurarlos y así incrementar la superficie forestal y mejorar el estado de conservación del mismo.

Dedicatoria

Al CENTROGEO, por haberme dado la oportunidad de estudiar una maestría, al CONAHCYT, por haberme apoyado con la beca mensual, el tiempo que duró mi maestría, a mi director de tesis Dr. José Mauricio Galeana Pizaña y al codirector de tesis Dr. Arturo García Romero, ya que la base y la estructura de la presente investigación es gracias a ellos, a mis sinodales Dr. Mauricio Pablo Cervantes Salas y la Dra. Adriana Aguilar Rodríguez, por haberme apoyado en las observaciones de mi trabajo de grado.

A mi madre por haberme apoyado en todo antes, durante y después de la maestría.

Tabla de contenido

Resumen	ii
Dedicatoria	iv
Introducción	1
I- Problemática	1
II- Justificación	2
III- Hipótesis	3
IV- Objetivos.....	4
Capítulo 1. Marco teórico	4
1.1 Fundamentación teórica	4
1.2 Marco conceptual	6
1.3 Breves antecedentes sobre los estudios del cambio de uso de suelo en México ...	10
Capítulo 2. Descripción del área de estudio	13
2.1 Localización geográfica	13
2.2 Relieve	14
2.3 Clima.....	15
2.4 vegetación.....	17
2.5 Demografía	20
2.6 Vivienda	21
2.7 Economía	22
2.7.1 Sectores económicos de Huixquilucan.....	22
2.7.2 Actividades Forestales	23
Capítulo 3. Metodología	25
3.1. Etapa 1: Elaboración de la cartografía de uso de suelo y estado de conservación de la cobertura forestal Huixquilucan de los años, 1988, 2006 en y 2023	25
3.2. Etapa 2. Evaluar el impacto de la dinámica del uso de suelo en los procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia del bosque templado.	31
Capítulo 4. Integración de resultados y discusión	36
4.1 Análisis de resultados.....	36
4.2 Relación de resultados con respecto a la propiedad social	56
Capítulo 5. Discusión y propuestas de conservación.....	58
5.1 Dinámica de la cobertura del bosque templado	58
5.2 Aproximación geoespacial.....	65

5.3 Propuestas de conservación y restauración forestal.....	66
5.4 Conclusiones.....	69
Apéndice. Geoprocesos.....	71
Referencias	86
Metadatos.....	96

Introducción

I- Problemática

El objetivo general de este trabajo fue conocer la dinámica forestal de Huixquilucan desde 1988 hasta el 2023, debido a que este municipio limítrofe de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se ha visto afectado por la urbanización, lo que ha repercutido en los procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia de sus bosques.

Este objetivo fue alcanzado mediante el apoyo de los estudios de cambio de uso de suelo y vegetación, pues fueron el referente para conocer las trayectorias de los distintos procesos de cambio que existen en un determinado paisaje (Mas y Flamenco, 2011). Debido a que el análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo conllevan a comprender como interactúan los diversos factores socioeconómicos y biofísicos, para conocer las causas de las transformaciones que en él se encuentran (Pineda *et al.*, 2011).

En México los procesos de cambio de uso de suelo y de deforestación son multifactoriales, de acuerdo con la Food and Agriculture Organization [FAO] (2009), las principales causas son (a) los gobiernos desinteresados por la ciencia y tecnología sustentable con el medio ambiente; (b) el incremento demográfico y (c) la pobreza, relacionada con la disparidad de ingresos.

En la ZMCM el incremento poblacional causado por la migración hacia ambientes naturales ocasionó que se tuvieron que incrementar espacios urbanos para su asentamiento, lo que provocó una mayor intensificación en el uso de la tierra, provocando así la fragmentación y pérdida de la biodiversidad de los biomas naturales (Legía, 2016).

De acuerdo con Soja (2008), esto se debe a que en los últimos años se han experimentado transformaciones en la organización espacial de las metrópolis modernas (Incluyendo la ZMCM), estos cambios han inducido modificaciones significativas en las condiciones urbanas, lo que enfatiza que son resultados geográficos de los nuevos procesos de urbanización y sus efectos concretos en la vida diaria, la planificación y el diseño del entorno construido, el irregular modelo de crecimiento económico y desarrollo intraurbano.

Tales modificaciones espaciales que ha tenido la ZMCM, fueron la expansión del suelo urbano que es una de las principales causas del cambio de uso de suelo y deforestación, en donde en las últimas dos décadas del siglo pasado tal proceso se agudizó en los municipios conurbados del poniente de la capital, siendo una de las principales causas la inmigración de población desde las áreas centrales de la capital del país hacia la periferia (Cruz, 2000).

En los años ochenta del siglo pasado, el aquel entonces Departamento del Distrito Federal aplicó políticas de descentralización de la población y la actividad económica, desde las áreas urbanas hacia la periferia, siendo la Sierra de Las Cruces, al poniente de la capital, uno de los focos de mayor dinamismo, pues actualmente funciona como un gran nodo

habitacional y comercial de ingresos medios y altos, que está favorablemente conectado a través del Anillo Periférico con el centro de la ciudad (Sánchez, 2012).

Ello ocasionó que en el municipio metropolitano de Huixquilucan se diera una expansión acelerada de la mancha urbana, lo que ocasiona la pérdida de sus bosques desde finales del siglo pasado (Barba, 2004). La inmigración de población urbana se asoció a la creciente presión que ejercieron los proyectos inmobiliarios en la zona, en donde se recalca que la mayoría de las personas son originarias de la Ciudad de México.

Todo esto bajo la influencia de la inversión privada, ya que la urbanización en Huixquilucan se caracteriza por una tendencia hacia la privatización del espacio, los bienes y los servicios. Así, este territorio capta los recursos de fuertes inversiones para la construcción y/o remodelación de infraestructura vial de alcance regional y la ejecución de megaproyectos inmobiliarios que elevan sus ventajas competitivas y fortalecen las relaciones ínter metropolitanas, esto ha traído un crecimiento de la mancha urbana y la consecuente pérdida de la vegetación natural (Marín *et al.*, 2013). ¿Quizás la pérdida de la vegetación natural se debe al crecimiento de la mancha urbana? Así como ¿probablemente el deterioro de la vegetación favorece el crecimiento urbano?

En la ZMCM, el crecimiento de la superficie urbana es superior al crecimiento poblacional, pues de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (2018), de 1980 a 2017, la tasa de crecimiento poblacional fue de 1.1% y en el mismo periodo la tasa de crecimiento de la mancha urbana fue de 3.3%, donde de tener una superficie urbana de 618.20 km², paso a tener 2359.87 km².

Por lo que debido a que, en las últimas dos décadas del siglo XX, se dieron las políticas de descentralización poblacional y de la actividad económica de la CDMX hacia Huixquilucan y en aquellos años es cuando la tasa de crecimiento metropolitana estaba más alta, se analiza como ese crecimiento exponencial de la mancha urbana afecto a las coberturas forestales de tal municipio de 1988 al 2023.

La urbanización de la década de los ochenta muestra algunas diferencias respecto al patrón general de crecimiento de la ZMCM. La expansión física en estos años no se dio de manera paralela al incremento de la población está creció apenas 10% (En 1980 había poco más de 14 millones de habitantes, mientras que para 1990 el número de pobladores llegó a 15, 047, 683). El área urbana se incrementó 35% y la densidad promedio descendió a un nivel histórico 108 hab/ha, el más bajo en los últimos cincuenta años (Observatorio de la Ciudad de México, 1996). Esto debido a que los habitantes de la CDMX migraron a Huixquilucan, lo que ocasionó una mayor urbanización sobre el crecimiento poblacional.

Las tendencias de la urbanización tienen que ver con la pérdida de población del centro, la densificación de las zonas intermedias y la expansión periférica. Los resultados de esta relación permiten plantear que la expansión de la urbanización periférica en los años ochenta y noventa es la creación de nuevos hogares (Duhau, 1998).

II- Justificación

En el Estado de México, y la ZMCM, se han realizado diversos estudios cartográficos relacionados con los cambios de cobertura terrestre, ocupación o uso del suelo y procesos de deforestación, (Villers *et al.*, 1998; Pineda *et al.*, 2008; Pineda *et al.*, 2009; Pineda, 2010; Camacho *et al.*, 2011; García *et al.*, 2012; Zepeda *et al.*, 2012; Juan, 2013; Santibáñez *et al.*, 2023). Estos se han llevado a cabo con información de; inventarios estatales de recursos forestales y de suelos (1970-1976, 1986, 2011, 2014 y 2023), así como mapas de uso de suelo y vegetación del INEGI, (series I 1978, II 1993, III 2002, IV 2007, V 2011, VI 2015, VII 2021). Sin embargo, son escasas las investigaciones cartográficas que ofrecen un nivel de detalle necesario para caracterizar y determinar el cambio de la cobertura forestal a escala local (Franco *et al.*, 2006).

En este contexto hacer planificación a escala municipal es complicada, debido a que los insumos cartográficos existentes en el país son a una escala cartográfica muy gruesa por lo que uno de los objetivos de la presente investigación es generar un producto cartográfico confiable basado en el mapa de uso de suelo y vegetación (Camacho-Sanabria *et al.*, 2015). A partir de este insumo se pretende cuantificar los procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia de la dinámica forestal de Huixquilucan, lo que servirá para proponer acciones de conservación y restauración de los bosques templados del municipio (Montañez, 2013).

Si bien el problema de la deforestación pudo disminuir con la entrada del nuevo siglo, el interés por los procesos de la dinámica forestal radica en la capacidad que tienen de alterar el funcionamiento de los ecosistemas forestales templados y el eventual impacto sobre los servicios ambientales que ofrecen a la población, como es la regulación del clima, pues ayudan a mitigar los efectos negativos de las ondas de calor, generan humedad al ambiente, absorben y retienen el dióxido de carbono (CO²) atmosférico, trabajan en la protección de la función hidrológica, la conservación de la biodiversidad, además de que se puede hacer un uso recreacional y económico de estos recursos forestales. (Franquis e Infante, 2003).

III- Hipótesis

El municipio de Huixquilucan ha experimentado un proceso de urbanización que en los últimos 35 años ha repercutido en una serie de cambios de uso de suelo, con consecuencias en la dinámica de las coberturas del bosque templado. Con base en las tendencias observadas en otras áreas rurales próximas al área urbana de la Ciudad de México, se espera para el primer periodo (1988-2006), el dominio de los procesos de deforestación y degradación del bosque, que estarán relacionados con la expansión de los asentamientos humanos, así como con la implementación de políticas públicas que promueven la expansión urbana y la accesibilidad asociada a la construcción de infraestructuras viales, en detrimento de las áreas forestales del municipio. Para el segundo periodo (2006-2023) se dimensiona la caída de la agricultura remanente y de la expansión urbana, generando un impacto positivo sobre los procesos de recuperación y permanencia de las coberturas del bosque.

IV- Objetivos

Objetivo general

Comprender la dinámica de cambio de cobertura del bosque templado en el municipio de Huixquilucan de Degollado, Estado de México, durante el periodo 1988-2023.

Objetivos particulares

1. Conocer los cambios en la superficie forestal y el estado de conservación del bosque templado del municipio en cuestión de los años 1988, 2006 y 2023.
2. Cuantificar el impacto de las transformaciones del uso del suelo en la dinámica de la cobertura del bosque templado (procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia), de los periodos 1988-2006 y 2006-2023.
3. Proponer medidas de conservación y restauración del bosque templado, del municipio de Huixquilucan.

Capítulo 1. Marco teórico

1.1 Fundamentación teórica

La evolución del pensamiento geográfico, ha tenido una gran repercusión en el nacimiento de las nuevas geografías, desde la etapa pre científica o pre institucional a la moderna (con el nacimiento del ambientalismo o determinismo geográfico y del historicismo o posibilismo) y contemporánea, posterior a la segunda guerra mundial, donde la oposición positivismo/historicismo ha cobrado una nueva dimensión, con la aparición de nuevos paradigmas: neopositivistas, behavioristas o de la percepción, radicales y humanistas (Johnston, 1979).

El neopositivismo, surge a mediados del siglo XX, es la filosofía encargada de respaldar la actitud teórica nacida del enfoque cartesiano y entre sus contribuciones está la idea del estudio científico de la sociedad humana, a fin de superar toda forma especulativa, lo que indica que la realidad social humana debe ser comprendida científicamente. La base metodológica sería el razonamiento inductivo, que parte de la observación y mediante clasificaciones y comparaciones se eleva a conclusiones generales (González y Hernández, 2014).

Las ideas fundamentales de esta corriente del pensamiento geográfico contemporáneo con la filosofía positivista tuvieron en el campo geográfico la virtud de unificar las dos ramas de la Geografía (Física y Humana) en una sola (Santos, 1999).

De esta unificación de la geografía subyace lo que es la planeación espacial, donde planeación hace referencia a un proceso de cambio que persigue armonizar los propósitos de justicia distributiva, de vitalidad económica, de bienestar ambiental y de cohesión social e identidad, mientras que el termino espacial pone en el centro el “dónde de las cosas”, ya sean estáticas o en movimiento y la protección de lugares y sitios especiales, la interacción entre diferentes actividades y redes en un área de interacciones y nodos físicamente

significativos co-localizados en un espacio, por lo que la planeación espacial se induce por actores sociales diversos (profesionales de planeación o actores interesados en el proceso) para cambiar los sistemas o los comportamientos de grupos que integran, se expresan o se entrelazan territorialmente, con el propósito de generar medidas de conservación, regulación del uso de suelo, entre otros (Healey, 2007).

Debido a que el planificador es responsable de integrar el desarrollo paisajístico que trae consigo consecuencias sociales y económicas a la población, se debe prestar atención constante a los problemas e implicaciones de la implementación (Beckman, 1964).

Dentro de la planeación espacial con un énfasis ambiental, se convierte en una labor de carácter interdisciplinario, donde para lograr la sustentabilidad a largo plazo, se requiere de un entendimiento integral y, para ello, se vuelve fundamental guiarse por principios ecológicos (Chavez y Chavez, 2009). En específico dentro de lo que es la planeación ambiental, se desarrollan competencias en: uso de suelo, calidad del aire, calidad del agua, manejo de basura, silvicultura, entre otros (Randolph, 2004).

Investigaciones recientes han comenzado a argumentar que la incorporación explícita de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial, planeación ambiental, entre otros, podría orientarse a mejorar la protección del ambiente ante el desarrollo urbano como parte de procesos de planificación local, regional y nacional (Albert *et al.*, 2014; Haase *et al.*, 2014; Nin *et al.*, 2016; Woodruff y BenDor, 2016).

Los servicios ecosistémicos, se definen como aquellos beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, que son esenciales para el bienestar humano (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), donde en el ámbito urbano la productividad económica, la calidad de vida, la seguridad y la salud pública están ligadas al entorno natural de manera única y habitualmente poco apreciada, tanto dentro como fuera de los límites de una ciudad (Grêt-Regamey, *et al.*, 2013).

Una de las funciones ecológicas de los ambientes naturales, en espacial de los forestales es la captura de carbono, donde de acuerdo con Dixon *et al.*, (1994), el suelo del bosque contiene alrededor de dos tercios del carbono, por lo que son llamados sumideros terrestres de carbono, que se refieren al carbono contenido en los ecosistemas forestales (vegetación viva, materia orgánica en descomposición y suelo) y sus productos (maderables y no maderables, combustibles fósiles no usados, etc.) De manera análoga, los flujos o emisiones de carbono se relacionan con la degradación tanto de los ecosistemas forestales, los cuales a su vez contribuyen o mitigan los efectos del cambio climático.

De acuerdo con Rabinovitz (1967), los roles que el planificador elige desempeñar en una comunidad son en respuesta a sus necesidades personales, así como a normas profesionales o a problemas concretos, por lo que se debe atender los marcos normativos porque ellos orientan las actividades que debe desarrollar el planeador en materia ambiental, están descritas en las leyes mexicanas dentro del Diario Oficial de la Federación (2012), en su Ley General de Cambio Climático (LGCC) para la resiliencia:

Artículo 27. La política nacional de adaptación frente al cambio climático se sustentará en instrumentos de diagnóstico, planificación, medición, monitoreo, reporte, verificación y evaluación, tendrá como objetivos: reducir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático y; fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos (LGCC, 2012).

Mientras que en el siguiente artículo establece de manera jerárquica e independiente cómo los diferentes niveles de gobierno, deben de actuar de manera espacial para preservar sus recursos naturales

Artículo 30. Las dependencias y entidades de la administración pública federal centralizada y paraestatal, las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus competencias, implementarán acciones para la adaptación conforme a las disposiciones siguientes: fortalecer la resistencia y resiliencia de los ecosistemas terrestres, playas, costas y zona federal marítima terrestre, humedales, manglares, arrecifes, ecosistemas marinos y dulceacuícolas, mediante acciones para la restauración de la integridad y la conectividad ecológica (LGCC, 2012).

En tiempos recientes se han hecho esfuerzos considerables para mejorar la cartografía, cuantificación y valoración de los servicios ecosistémicos (Hubacek y Kronenberg, 2013). Sin embargo, un meta-análisis de estudios sobre servicios ecosistémicos urbanos encontró que pocos abordan su relación con el ordenamiento territorial, planeación ambiental y tampoco proporcionan recomendaciones a los tomadores de decisiones responsables (Haase *et al.*, 2014).

Dentro de la planeación ambiental hacer análisis de los cambios de uso del suelo, mediante los sistemas información geográfica (Bramoh, 2006) aporta información relevante sobre las transformaciones que ha sufrido un determinado territorio, el cual puede ser utilizada para hacer mejores propuestas de planeación y haya una mejor toma de decisión por parte de los gobernantes y de la población local (La Rosa *et al.*, 2014).

1.2 Marco conceptual

La FAO (2010) clasifica la cobertura forestal como el porcentaje de la superficie del terreno que está cubierta por los órganos aéreos de las plantas, en general, se acepta que son los bosques y se caracterizan por tener una extensión superior a 0.5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m.

Mientras que la Organización Internacional de Maderas Tropicales [OIMT] (2002), clasifica las coberturas forestales de acuerdo a su estado de conservación en 4 categorías:

- 1- Bosques primarios: están compuestos de especies nativas y en los cuales no existen indicios evidentes de perturbaciones, se caracterizan por tener una cobertura del dosel superior al 90%.
- 2- Bosques primarios degradados: se caracterizan por presentar alteraciones de intensidad leve a moderada pues han sido sujetos a explotación maderera, aprovechamiento de productos forestales no madereros, entre otros., por lo que su

estructura al no estar dañada de manera significativa, muchas especies forestales suelen regenerarse de manera similar al tipo de bosque precedente después de sufrir una alteración, presentan una cobertura de dosel superior al 10% y una vegetación secundaria arbórea.

- 3- Bosques secundarios: presentan alteraciones de grave intensidad causados por el clareo de hasta el 90% de la cubierta forestal original debido a la tala excesiva, ganadería, entre otros., y su repoblación forestal difiere en la composición de especies y en la composición fisonómica a la de los bosques primarios, y las especies presentes son vegetación secundaria arbustiva, donde tienen una cobertura del dosel inferior al 10%.
- 4- Tierras forestales degradadas: se caracterizan por ser la consecuencia de intensas alteraciones graves y repetidas que provocan el completo retiro del rodal forestal, pérdida de la capa arable y cambios en el microclima debido al repetido exceso de incendios, pastoreo, o la mala ordenación ecológica de suelos frágiles, la erosión del suelo, entre otras, las tierras forestales degradadas carecen de vegetación forestal, siendo árboles individuales o pequeños grupos de árboles pioneros y los arbustos pueden o no presentarse.

Habiendo definido la clasificación y delimitación espacial de los bosques, la escala de trabajo más adecuada para estudiar la dinámica forestal a nivel municipal es la de paisaje, que es definida por el marco del convenio europeo del paisaje, como cualquier parte del territorio, tal y como es percibida por su población, siendo su aspecto el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y/o humanos. (Olmo, 2014). Debido a que el paisaje es considerado como un indicador o fuente de información del territorio (Forman y Godron, 1986), de este modo, el estudio de los paisajes y su cartografía posibilitan un análisis integral del espacio geográfico, que puede ser tomado como base para la planificación y el ordenamiento territorial (Mazzoni, 2014).

Dentro de la planeación espacial se tiene como objetivo conocer la estructura espacial, el funcionamiento y los cambios que se producen en el paisaje, y profundiza en las interacciones entre patrones espaciales y los procesos ecológicos que ocurren en un territorio, que se estudia aplicando la escala del paisaje (Irastorza, 2006).

El paisaje se clasifica en diferentes escalas de clasificación taxonómico-jerárquico, lo que permite relacionar en un plano vertical las relaciones de interdependencia que se dan entre los componentes ambientales de distinto género y establecer en un plano horizontal, las relaciones que se dan en distintas escalas de observación (Bertrand, 1968), en la tabla 1.1 se muestran los 3 niveles taxonómicos-jerárquicos propuestos por Espinosa *et al.*, (2022) que conforman el paisaje.

Tabla 1.1: Modelo para la integración multiescalar de los componentes diferenciadores del paisaje.

Componentes diferenciadores del paisaje			
Nivel de paisaje	Relieve	Vegetación	Uso de suelo
Geofacies. 1: 25,000 a 1:50,000	Forma del relieve	Tipo de vegetación	Uso de suelo específico
Geosistema 1:50,000 a 1:100,00	Unidad del relieve	Vegetación potencial	Sistema de uso de suelo
Región natural 1:100,00 a 1:250,00	Morfoestructura	Patrón de vegetación potencial	Patrón de sistemas de uso de suelo

Dimensión espacio-temporal

↑
-

+
↓

Fuente: Elaborado por Espinosa *et al.*, (2022) a partir de la reinterpretación de la clasificación de paisaje de Bertrand (1968).

El geosistema es definido como paisaje de escala intermedia que estudia unidades de cientos de km² (Huixquilucan, tiene una extensión de 140 km²), que resulta de la combinación de una unidad de relieve, un tipo de vegetación potencial y un sistema de uso de suelo. Corresponde a una agrupación de geofacies funcionalmente relacionadas por su pertenencia a un mismo medio físico, representado por una unidad de relieve que es homogénea en origen, edad, morfología y litología y por un tipo de mesoclima o variante del clima regional (Bertrand, 1968; Drdos, 1992; García-Romero y Muñoz, 2002).

La escala de geosistema, permite apreciar de manera detallada el uso de suelo de acuerdo al área de estudio, que es definido como las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cobertura vegetal (Trucios *et al.*, 2013, op cit. secretaria del Medio Ambiente y recursos Naturales [SEMARNAT], 2012), esta escala permite cuantificar el cambio de uso de suelo, que es definido por González (2016), cómo el proceso por el que las actividades humanas modifican el paisaje y alteran el funcionamiento de los ecosistemas, donde la tendencia es el reemplazo de ambientes naturales por zonas urbanas y tierras destinadas al cultivo, lo que afecta negativamente en la biodiversidad y en los servicios ambientales.

De esta se deriva lo que es la ecología del paisaje, que tiene como objetivo conocer la estructura espacial, el funcionamiento y los cambios que se producen en el paisaje, en donde profundiza en las interacciones entre patrones espaciales y los procesos ecológicos que ocurren en un territorio (Irastorza, 2006), como es la dinámica de la cobertura forestal que tiene procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia de las

coberturas forestales ya que estos se modifican a través del tiempo como lo muestra la figura 1.1.

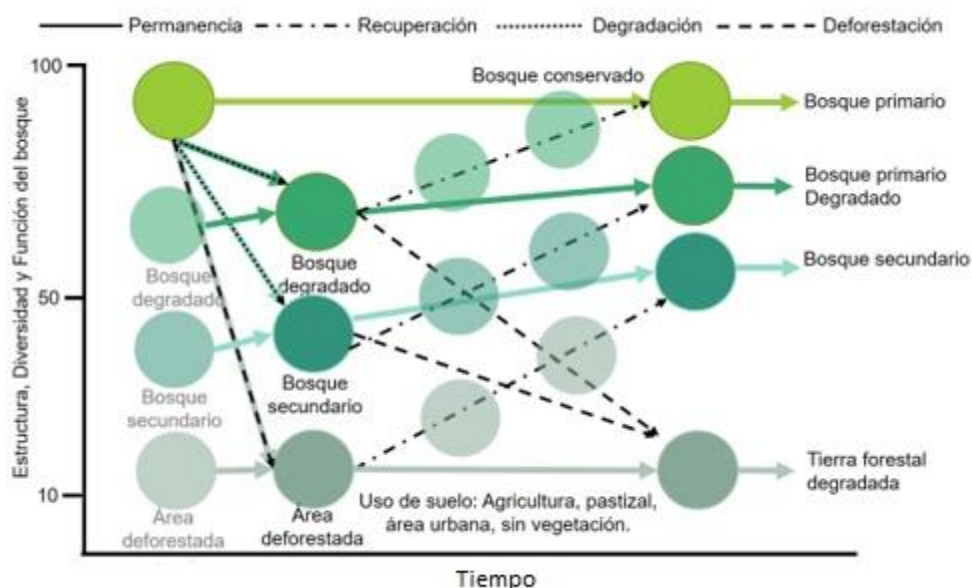


Figura 1.1: Diagrama de transición de los bosques utilizando la información de cambio de uso de suelo (Fuente: Santibáñez *et al.*, 2023, adaptado de Guerra-Martínez *et al.*, 2019; Bradshaw, 1984 y Standish, *et al.*, 2014).

Al cuantificar la dinámica forestal del geosistema, se podrá conocer la capacidad de resiliencia, que dentro del sistemas forestales se refiere a la capacidad de absorber disturbios recurrentes manteniendo su estructura, procesos que le resulten esenciales (Adger *et al.*, 2005), ya que tienen la función de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligroso respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación (Intergovernmental Panel of Climate Change [IPCC], 2014).

Por lo que tener un manejo sustentable de las coberturas forestales, hará que se obtenga una adaptación de los bosques para reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales contra incendios, sequías, fenómenos hidrometeorológicos extremos, deslizamientos de tierra, cambio climático, entre otros (IPCC, 2007), donde la planeación es un poderoso instrumento para promover las acciones de reforestación dentro de los programas públicos (Yañez, 2004).

Dentro de los enfoques que se pueden utilizar en la planeación ambiental para preservar y restaurar la masa forestal está el de Adaptación Basada en Ecosistemas (AbE), que está orientada a garantizar el uso sostenible de los ecosistemas y conservación, al procurar el mantenimiento de su integridad y buen funcionamiento, sin sobrepasar la capacidad de resiliencia de los ambientes naturales (Lhumeau y Cordero, 2012).

Para complementar la AbE, está la adaptación basada en comunidades (AbC), que se enfoca en que las comunidades sean las protagonistas definitorias en los procesos para disminuir su vulnerabilidad y aumentar su capacidad adaptativa frente a los impactos reales o esperados de la variabilidad o del cambio climático, sin desconocer las necesidades de su entorno socio-ecosistémico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Se busca la protección del medio natural mediante la relación tradicional con las comunidades locales (Ejidatarios y comuneros de Huixquilucan), para que sean la base de un manejo adecuado de los recursos naturales, pues su propósito es mantener y aumentar la capacidad de resiliencia y reducir la vulnerabilidad del medio físico y las personas (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009).

1.3 Breves antecedentes sobre los estudios del cambio de uso de suelo en México

Los primeros estudios de cambio de uso de suelo en México, solo se realizaban mediante el análisis de datos estadísticos de la población (número de habitantes, número de casas, vías de comunicación, entre otros), y en cómo estos variaban en un determinado periodo de tiempo, pero en muchos casos estos trabajos carecían de cartografía, como es el trabajo de Olivera (1987), quién estudió el cambio de uso de suelo en Monterrey, Nuevo León, durante el periodo de 1940 a 1980.

Posteriormente los primeros mapas de cambio de uso de suelo eran hechos con cartografía base de años anteriores y eran comparados con mapas más recientes, para conocer las transformaciones en el espacio. El inconveniente es que mucha de la cartografía estaba elaborada en una escala diferente a la anterior, así como un nombre diferente de las clases temáticas en el mapa. Por tal razón, se empezaron a utilizar fotografías aéreas ya georreferenciadas (ortofotos), de diferentes épocas de tiempo, para la misma área de estudio y con la misma escala, donde por medio de fotointerpretación, se logró hacer la clasificación de las clases del uso de suelo y posteriormente conocer como estas se había modificado en un periodo de tiempo determinado, como es el caso del trabajo de Rodríguez (1991), donde empleando las técnicas de fotointerpretación ya mencionadas, hizo una evaluación comparativa de la cobertura forestal y cambio de uso de suelo en el municipio de Ciudad Hidalgo, Michoacán, en el periodo de 1960-1973.

Posteriormente Ubalde *et al.* (1999) procedieron a digitalizar las imágenes aéreas en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para obtener la superficie y la distribución de los diferentes usos de suelo y posteriormente cuantificar los procesos de cambio a través de un periodo de tiempo. Esto se logró al sobreponer la cartografía en el entorno de un sistema de información geográfica, y con el apoyo de las matrices de transición, que sirven para identificar espacialmente los procesos de cambio en un determinado espacio. El proceso realizado consistió en superponer al menos dos mapas de usos o cubiertas del suelo de fechas diferentes y analizar las combinaciones resultantes a través de una matriz de cambio. Posteriormente se agruparon los cambios para hacer una clasificación del mapa resultante de la superposición para obtener un mapa con la distribución espacial de cada proceso.

La calidad de los resultados depende de la exactitud temática y espacial, así como de la compatibilidad en clases y escalas, de los mapas de cubiertas del suelo de cada fecha. Así, el cálculo del cambio de uso de suelo, desde el punto de vista temporal, no es otra cosa que la diferencia de las áreas entre el tiempo inicial y el tiempo final, en tasas o índices, que significan incrementos o decrementos en dicho intervalo de tiempo (Galicia *et al.*, 2007).

En 1972, se lanzó al espacio el satélite de Tecnología de Recursos de la Tierra (ERTS), actualmente conocido Landsat 1, (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, 2023 [NASA]) el cual fue un parteaguas, en el estudio de la superficie terrestre, para conocer los recursos naturales del planeta tierra. Posteriormente, él envió al espacio exterior de nuevos satélites ha servido para conocer a mayor grado de detalle y frecuencia los cambios de uso suelo que han ocurrido.

Con la aparición de las imágenes de satélite, también surgieron los índices de vegetación, para calcular las transformaciones de la cubierta vegetal, entre los que destaca el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), que se caracteriza por utilizar un factor de corrección del brillo del suelo, al minimizar su influencia, (Huete, 1988), utiliza la siguiente formula:

$$((\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R} + \text{L})) * (1 + \text{L}).$$

Donde:

R, es la banda del Rojo.

NIR, es el Infrarojo Cercano.

L = es un parámetro que varía según la densidad de la vegetación, para densidades intermedias se toma 0,5.

Piedad *et al.* (2020) llegaron a la conclusión de que el SAVI, se recomienda utilizar en áreas con escasa cobertura vegetal (menos del 40% de cubierta vegetal), debido a que elimina la reflectancia del suelo en la vegetación.

A principios de siglo Bocco *et al.* (2001), propusieron una nueva metodología para cuantificar la dinámica forestal ya que normalmente los análisis de deforestación consideran al paisaje como binario (bosque, no bosque) y obtienen tasas de cambio y predicciones basadas en este supuesto. El nuevo método propone al paisaje, entendido como un mosaico de usos y coberturas que se encuentran en un proceso de cambio desde y hacia las diferentes categorías de uso. Por ejemplo, un bosque no pasa siempre de forma directa a un uso agrícola, sino que puede convertirse en bosque degradado por usos antrópicos, para más adelante ser abandonado y volver a recuperar su cobertura forestal, como muestra en la figura 1.2.

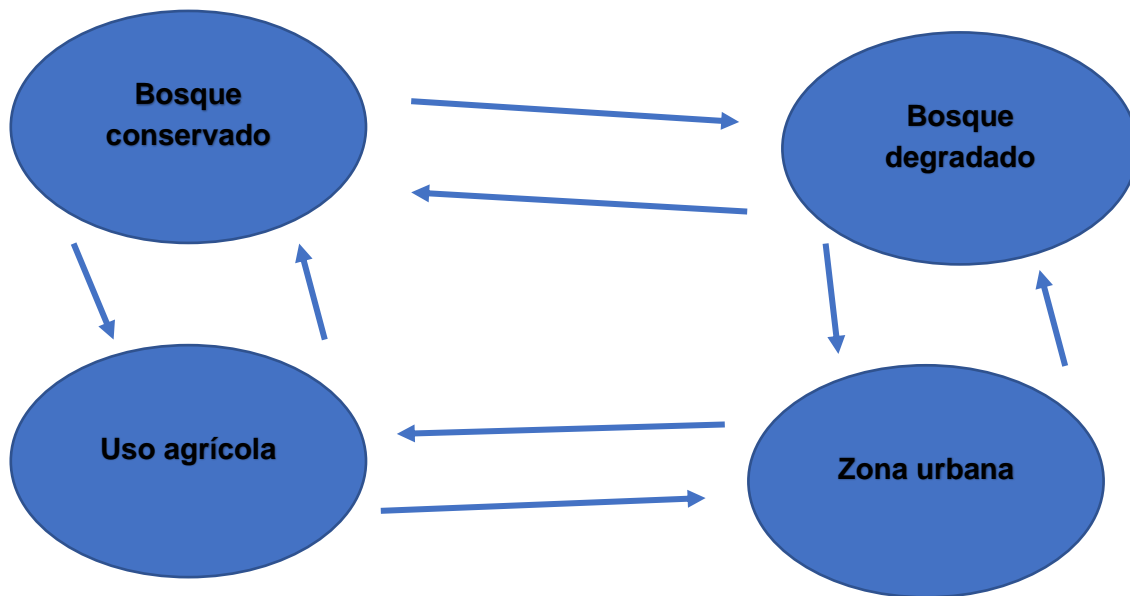


Figura 1.2: Dinámica de la cobertura forestal (Elaboración propia, a partir de Bocco *et al.*, 2001).

Esto favoreció la cuantificación de los procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia de las coberturas forestales a través del tiempo, tal como se hizo en el trabajo de Santibáñez *et al.* (2023), donde se estudió la dinámica de los bosques de encino y oyamel en la Cuenca de México, durante el periodo 1993-2014, solo que este trabajo se realizó a partir de archivos vectoriales de INEGI, los cuales al utilizar una escala cartográfica gruesa, cuando se quiere cuantificar tales procesos a nivel municipal se dan datos poco confiables.

Pese a la existencia de estudios relacionados con los cambios de cobertura vegetal, uso del suelo y deforestación en los municipios conurbados del Estado de México (Ver Justificación), las áreas de estudio suelen ser demasiado extensas o a diferentes escalas y metodologías de clasificación, lo que ha ocasionado que las cifras de pérdida de cobertura forestal a nivel nacional varíen de 365,000 ha anuales a más de 1, 500,000 ha anuales (Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez, 2010; Ellis *et al.*, 2017). Por lo que la elaboración de cartografía detallada de la masa forestal a escala local es importante para conocer el estado de conservación del bosque, así como los cambios que ha tenido a través del tiempo.

Capítulo 2. Descripción del área de estudio

2.1 Localización geográfica

El municipio de Huixquilucan de Degollado se localiza al Nor-Poniente de la ZMCM, en el Estado de México entre los paralelos $19^{\circ} 18'$ y $19^{\circ} 26'$ de latitud norte y los meridianos $99^{\circ} 14'$ y $99^{\circ} 24'$ de longitud oeste, con una altitud que va de 2, 300 a 3, 430 m y cuenta con una superficie de 14,007.79 ha (Figura 2.1).

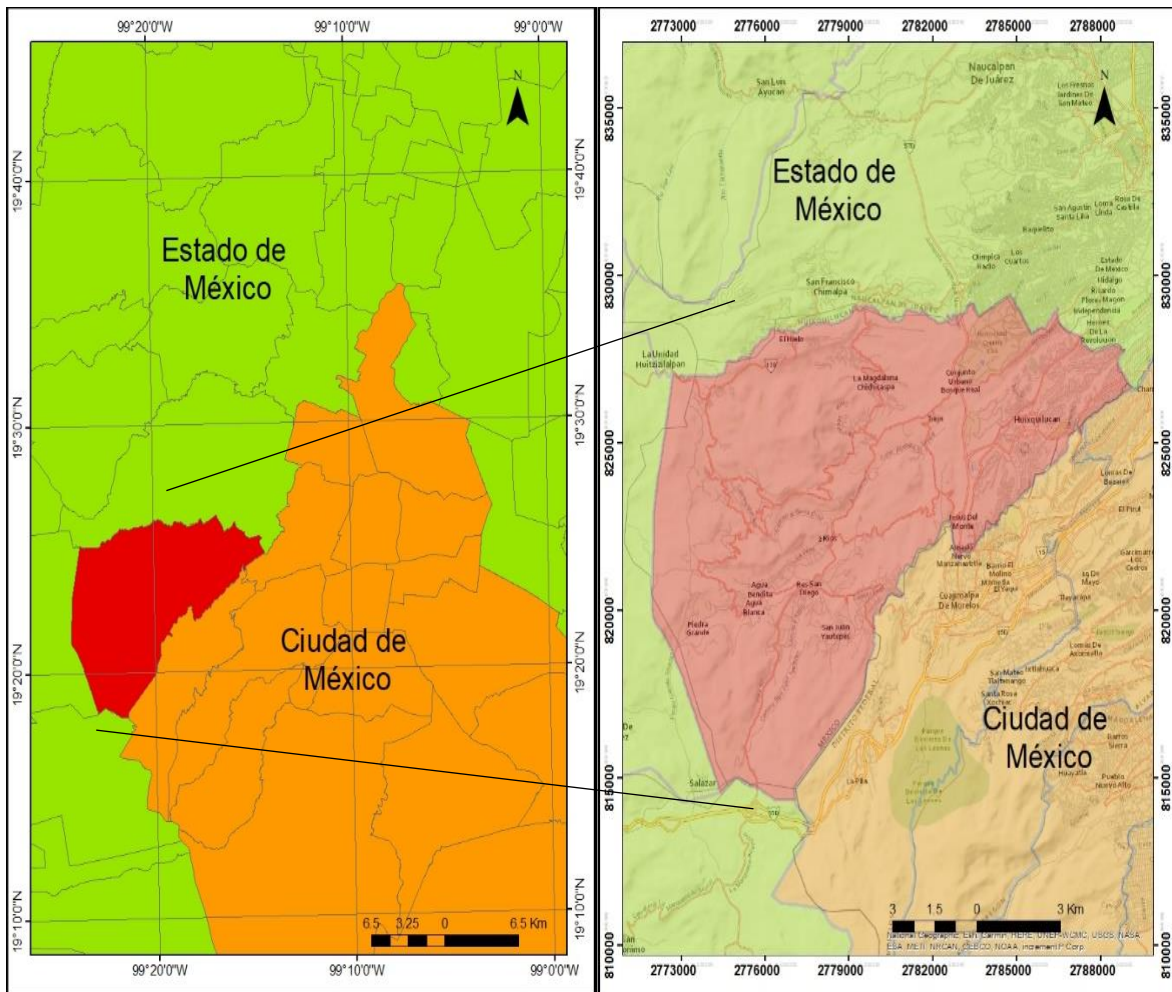


Figura 2.1: Localización geográfica del municipio de Huixquilucan.

Colinda al norte con el municipio de Naucalpan de Juárez; al este con las alcaldías Cuajimalpa y Miguel Hidalgo de la Ciudad de México; al sur con el municipio de Ocoyoacac y al oeste con el municipio de Lerma (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2010).

2.2 Relieve

De acuerdo con el INEGI (2014), la morfología del territorio municipal está conformada por un sistema de sierra, que comprende aproximadamente el 80%, en éste predominan zonas de lomeríos y colinas que están surcadas por barrancas, cañadas y cerros, la mayoría de ellas de notable pendiente, localizadas de forma predominante en la porción poniente del municipio. El 20% restante corresponde a lomeríos, que se conjugan con diversos cerros que tienen pendientes moderadas del territorio, así como algunos llanos que están presentes, aunque en menor proporción (Figura 2.2).

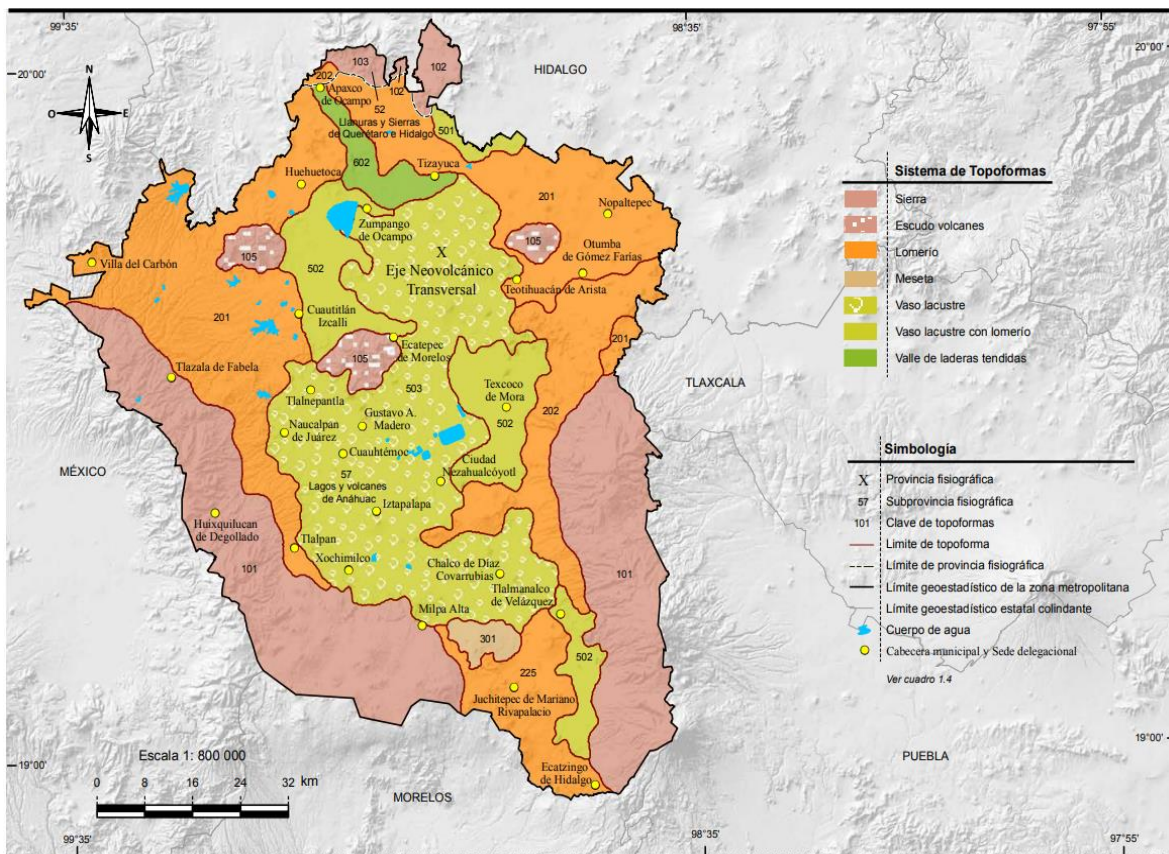


Figura 2.2: Sistema de topoformas de la ZMCM (Fuente: INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Fisiográfica, Escala 1: 1 000 000, serie I).

De acuerdo con el Gobierno del Estado de México y Gobierno municipal de Huixquilucan, (2017), hay tres unidades geomorfológicas que son la Sierra de las Cruces, el Pie de Monte Volcánico y la Planicie.

La Sierra de las Cruces, separa a las cuencas de México y del Lerma, así como a los valles de Toluca y de México, con altitudes superiores a los 2600 m, las pendientes son entre los 30° y 45° y la presencia de cañadas profundas con flancos de fuertes pendientes y vegetación arbórea relevante, en ella encontramos los cerros de mayor altitud dentro del territorio municipal que son el Bovaxi (2,920 msnm), San Francisco (3010 msnm), Llano Grande (3050 msnm), Malsano (3,370 msnm) y el Tangani (3,430 msnm).

El pie de Monte volcánico, inicia en las estribaciones de la sierra a una altitud cercana a los 2,600 m y llega hasta la planicie a los 2,300 m, constituye una zona de transición entre la sierra y la planicie, siendo el producto de la coalición de abanicos aluviales y depósitos de tobas, teniendo pendientes que varían entre los 15° y 16°.

La planicie tiene pendientes entre 0° y 6° y está constituida por sedimentos aluviales y lacustres como consecuencia de los depósitos de sedimento en los grandes lagos que se formaron después de que la Sierra del Chichinautzin cerró la única salida de la cuenca de México.

2.3 Clima

En el municipio de Huixquilucan de Degollado encontramos 3 tipos de climas (Figura 2.3).

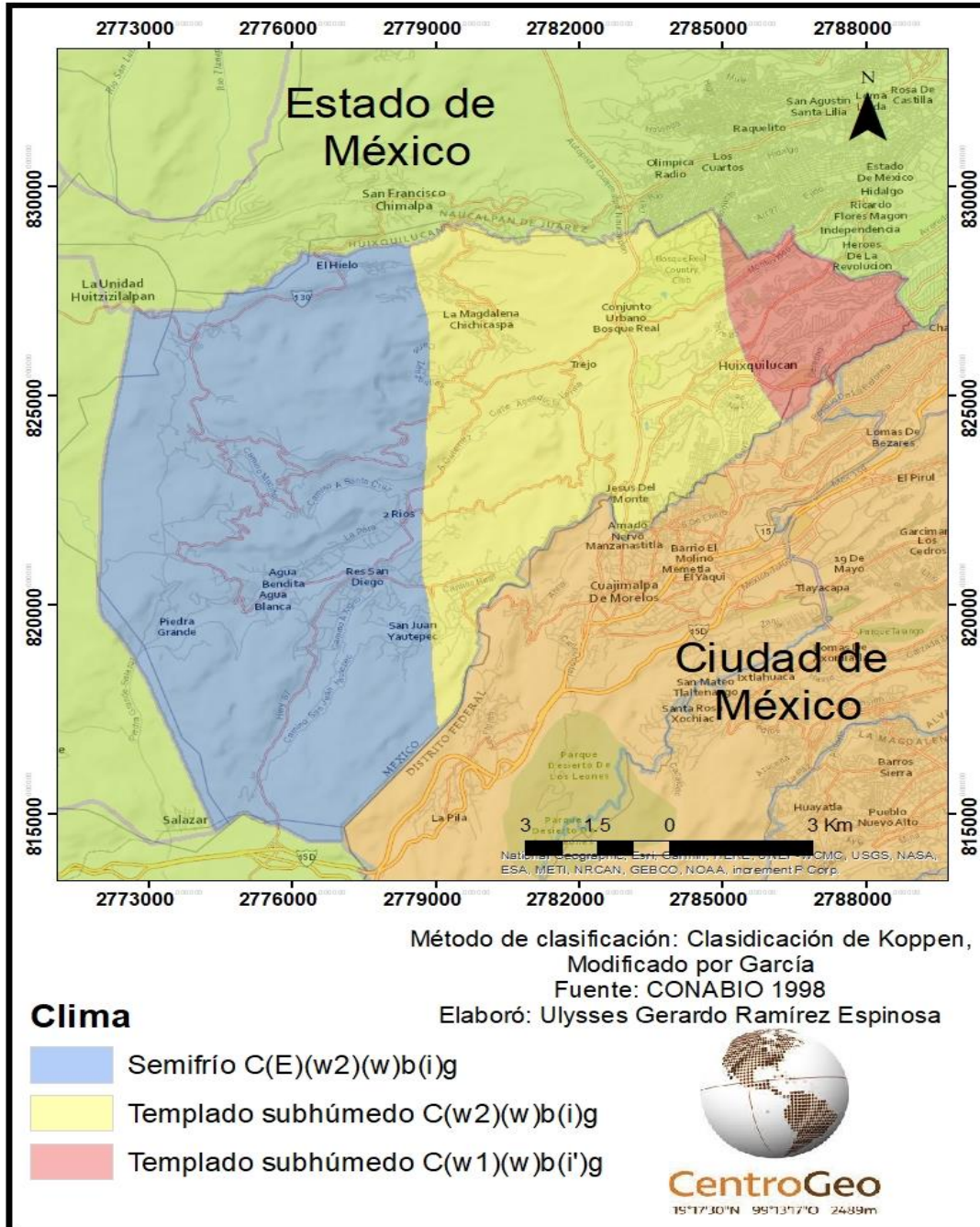


Figura 2.3: Climas de Huixquilucan.

De acuerdo con García (1998), a continuación, se describen los 3 tipo de climas de Huixquilucan:

En la parte poniente del municipio encontramos el clima semifrío, (C(E)(w2)(w)b(i)g), que se distribuye de 2, 800 m a 3, 500 m de altitud, ocupa el 57.02% del área total del municipio (7, 950.96 ha).

Se caracteriza por una temperatura media anual de 5°C a 12°C, con la temperatura del mes más frío de 3°C a 18°C y la del mes más cálido de 6.5°C a 22°C.

Presenta lluvias abundantes en verano y es el clima más húmedo del grupo de los subhúmedos con una precipitación media anual de 1, 200 a 1, 500 mm (Vidal, 1990). Posee un porcentaje de precipitación invernal menor a 5 mm, una oscilación isotermal menor a 5°C, y la temperatura más elevada se presenta antes del solsticio de verano.

En la parte centro del municipio se presenta un clima templado subhúmedo (C(w2)(w)b(i)g), el cual va de 2, 300 m a 2, 800 m de altitud, y ocupa el 35.80% del área total del municipio (4, 992.92 ha).

Se caracteriza por tener una temperatura media anual de 12°C a 18°C, con la temperatura del mes más frío de 3°C a 18°C y la del mes más cálido de 6.5°C a 22°C

Presenta lluvias abundantes en verano con una precipitación media anual de 800 a 1, 200 mm (Vidal, 1990). Posee un porcentaje de precipitación invernal menor a 5 mm, una oscilación isotermal menor a 5°C, y la temperatura más elevada se presenta antes del solsticio de verano. Los más húmedos de los subhúmedos con un cociente de humedad superior a 55.3.

En la parte oriente del municipio se presenta un clima templado subhúmedo (C(w1)(w)b(i')g), el cual va de 2, 300 m a 2, 500 m de altitud, y ocupa el 7.17% del área total del municipio (1, 000.08 ha).

Se caracteriza por tener una temperatura media anual de 12°C a 18°C, con la temperatura del mes más frío de 3°C a 18°C y la del mes más cálido de 6.5°C a 22°C.

Presenta lluvias abundantes en verano y está en un punto intermedio entre el más húmedo y el más seco de los subhúmedos, con una precipitación media anual de 800 a 1, 200 mm (Vidal, 1990). Posee un porcentaje de precipitación invernal menor a 5 mm, una oscilación isotermal de 5°C a 7°C, donde la temperatura más elevada se presenta antes del solsticio de verano. Intermedio entre los subhúmedos con un cociente de humedad entre 43.2 y 55.3.

2.4 vegetación

Huixquilucan tiene una superficie forestal de 7, 366 ha, donde de acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (2014) está conformado por las siguientes clases:

El bosque de oyamel (*Abies religiosa*) (Figura 2.4), ocupa 2671.54 ha, de los cuales 2162 ha son de vegetación primaria y 508 son de vegetación secundaria.



Figura 2.4: Bosque de Oyamel (*Abies religiosa*) en el bosque de los dinamos de la CDMX (Fotografía tomada por Ulysses Ramírez, 2014).

El bosque de pino (*Pinus spp.*) (Figura 2.5) ocupa 464 ha, de los cuales 458 ha, son de vegetación primaria y 5 ha son de vegetación secundaria.



Figura 2.5: Individuo de Pino (*Pinus spp.*), en el bosque de los dinamos de la CDMX (Fotografía tomada por Ulysses Ramírez, 2014).

El bosque de encino (*Quercus spp.*) (Figura 2.6), ocupa 3, 206 ha, de los cuales 396 ha son de vegetación primaria y 2,810 ha son de vegetación secundaria.



Figura 2.6: Individuos de encino (*Quercus spp*), en la Sierra de Guadalupe de la CDMX (Fotografía tomada por Ulysses Ramírez, 2014).

El bosque de pino-encino, se caracteriza por ser un bosque mixto donde predominan los dos géneros previamente ya mencionados, pero hay una mayor predominancia del Pino sobre el encino, ocupa un área de 39 ha, en donde toda su extensión es de vegetación primaria.

El bosque cultivado se caracteriza por tener un origen antrópico. Se cultivan tanto especies nativas y exóticas, predominando las siguientes especies: *Eucalyptus globulus*, *E. grandis*, *E. nitens*, *E. camaldulensis*, *E. urophylla*, *Pinus ayacahuite*, *P. patula*, *P. gregii*, *P. montezumae* y *Abies religiosa*, abarca un área de 425 ha.

Las áreas forestales perturbadas son suelos que han sido deforestados con diversos fines tales como agricultura, ganadería, infraestructura y centros de población, donde solo se encuentran relictos de vegetación secundaria. No se ha logrado restablecer la vegetación hacia una fase sucesional superior a la herbácea, abarca un área de 558 ha.

Mientras que 6,641 ha, pertenecen a zonas no forestales, las cuales equivalen a otro tipo de vegetación, agricultura y asentamientos humanos.

2.5 Demografía

Debido a las políticas de descentralización de la población que aplicó la CDMX en la década de los 80's del siglo pasado (Ver problemática), este afectó en la dinámica demográfica de Huixquilucan, donde el número de total de habitantes del municipio a partir del año de 1980 (INEGI, 1990), y hasta principios del siglo XXI (INEGI, 2000), es cuando se dio un

incremento poblacional importante, posteriormente en las dos primeras décadas del nuevo milenio (Consejo Estatal de Población, 2022), ocurre un desaceleramiento del crecimiento demográfico (Figura 2.7).

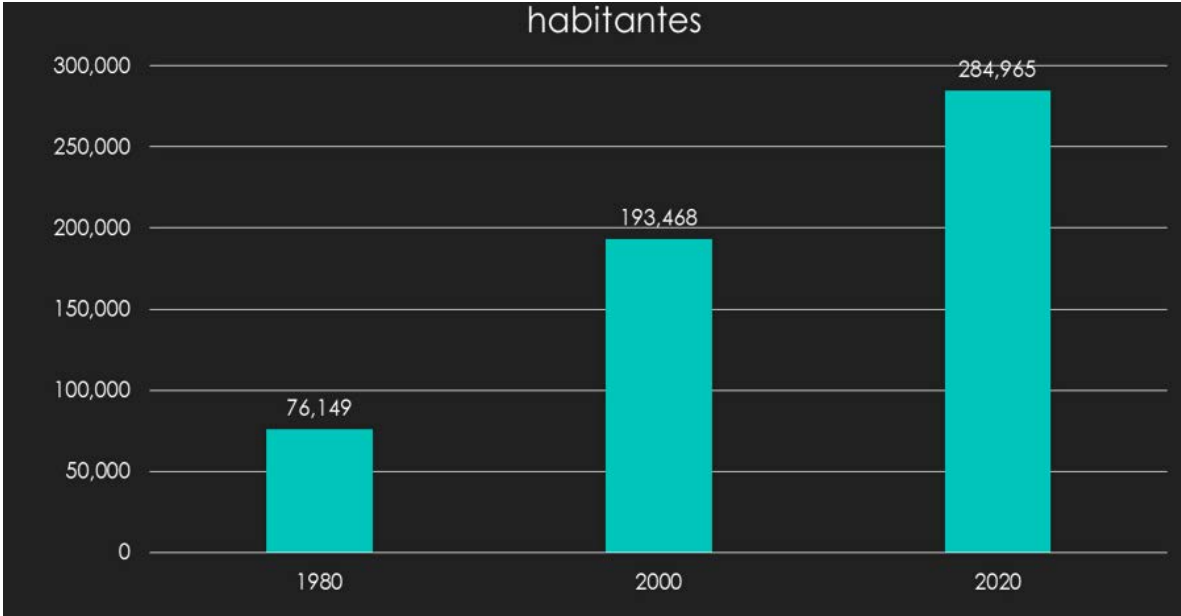


Figura 2.7: Grafica del número de habitantes de Huixquilucan de 1980 al 2020 (Elaboración propia con datos del INEGI, 1990 y 2000 y del Consejo Estatal de Población, 2022).

Se puede observar cómo a inicios de la década de los 80's la población de Huixquilucan no alcanzaba los 80,000 habitantes (INEGI, 1990), pero en tan solo dos décadas su población se incrementó a más del doble, pues para el año 2000 esta creció a 193, 149 habitantes, es decir, a una tasa de crecimiento anual del 5% (INEGI, 2000).

A partir del nuevo milenio se puede observar un desaceleramiento del crecimiento poblacional en el municipio, pues de tener una población de 193,468 habitantes en el año 2000, para el 2020 esta se incrementó a tan solo 284,965, pues su tasa de crecimiento anual decayó a 2% (Consejo Estatal de Población, 2022).

2.6 Vivienda

El incremento poblacional, debido a la migración de personas en su mayoría de la capital del país, fue el precursor del incremento en el número de viviendas (figura 2.8), lo que favoreció en la urbanización del municipio.



Figura 2.8: Grafica del número de viviendas de Huixquilucan de 1986 al 2015 (Elaboración propia con datos del INEGI, 1988, 2001 y 2017).

De acuerdo con el INEGI (1988), en 1986 se contabilizaron 12, 937 viviendas en Huixquilucan y 13 años después, en el año de 1999 se incrementaron a 42, 684 viviendas (INEGI, 2001), por lo que el incremento superó las 30,000 viviendas, es decir, una tasa anual de crecimiento calculada fue del 10%, por lo que se observa una fuerte urbanización en dicho periodo.

Asimismo, en 1999 se tenían 42, 684 viviendas y para 2015 estas se incrementaron a 72, 664 viviendas (INEGI, 2017), por lo que el incremento fue de poco menos de 30, 000 viviendas. Se observa que el crecimiento de dichos hogares fue el mismo en ambos periodos, solo que, en el segundo periodo, la tasa anual de crecimiento calculada decayó al 3%. Si bien, el desaceleramiento del crecimiento poblacional es evidente, la creación de nuevos asentamientos urbanos se mantuvo igual, aunque vale la pena mencionar que en este segundo periodo son 3 años más con respecto al anterior.

2.7 Economía

2.7.1 Sectores económicos de Huixquilucan

De acuerdo con la Gaceta del H. Ayuntamiento Constitucional de Huixquilucan (2022), para el año 2020 la población económicamente activa (PEA) era de 234,738 habitantes y se dividía de la siguiente manera:

El sector primario que se refiere a la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza concentran el 0.50%, de la población económicamente activa de Huixquilucan, el cual cuenta con 6 establecimientos.

El sector secundario abarca la minería, industrias manufactureras, electricidad y agua, concentra el 7.75%, y la construcción concentra el 8.56%, de la población económicamente activa, el cual cuenta con 699 establecimientos.

El sector terciario abarca el comercio con un porcentaje de 17.44% y los servicios de transporte, comunicación, profesionales, financieros, sociales, gobierno y otros ocupan el 57.44%, de la población económicamente activa y cuenta con 7,937 establecimientos.

Mientras que el 8.31% restante, pertenecen al sector no especificado y a la población desocupada.

2.7.2 Actividades Forestales

En los bosques del municipio de Huixquilucan se aprovecha la parte leñosa de los árboles para la obtención de la madera, y de la parte no leñosa que corresponde a los recursos no maderables se obtienen resinas, fibras, gomas, ceras, rizomas, tierra de monte, frutos, hongos, semillas, plantas medicinales y plantas ornamentales (Gaceta del H. Ayuntamiento Constitucional de Huixquilucan, 2022).

En la tabla 2.1 se muestran las zonas forestales de Huixquilucan del año 2022.

Tabla 2.1: Zonas forestales de Huixquilucan.

Nombre de la zona forestal	Régimen	Actividad que desarrolla	Problemas que presenta
Bienes comunales de Huixquilucan	Comunal	Forestal y agrícola	Falta de implementación de proyectos productivos
Bienes comunales de San Francisco Ayotuxco	Comunal	Forestal y agrícola	Falta de implementación de proyectos productivos
Bienes comunales de Santa Cruz Ayotuxco	Comunal	Forestal y agrícola	Falta de implementación de proyectos productivos
Ejido San Miguel Agua Bendita	Ejidal	Forestal	Falta de implementación de proyectos productivos
Ejido de San Bartolomé Coatepec	Ejidal	Forestal	Falta de implementación de proyectos productivos
Ejido de San Cristóbal Texcalucan	Ejidal	Forestal	Falta de implementación de proyectos productivos
Ejido de Magdalena Chichicarpa	Ejidal	Forestal	Falta de implementación de proyectos productivos

Fuente: Tomada de la Dirección General de Desarrollo Agropecuario y Forestal de Huixquilucan, 2022. op cit. H. Ayuntamiento Constitucional de Huixquilucan, 2022.

Se puede observar que poco más de la mitad de las zonas forestales es de régimen ejidal, que se caracterizan por solamente desarrollar actividades forestales, mientras que las sobrantes son de régimen comunal, donde aparte de desarrollar actividades forestales también desarrollan actividades agrícolas, donde la Dirección General de Desarrollo Agropecuario y Forestal de Huixquilucan (2022) destaca la falta de implementación de proyectos productivos.

Capítulo 3. Metodología

La metodología consta de dos etapas que corresponden con los dos primeros objetivos secundarios del proyecto de investigación, y de cuyos resultados se proponen medidas de conservación y restauración de los ambientes forestales de Huixquilucan (Ver objetivos).

3.1. Etapa 1: Elaboración de la cartografía de uso de suelo y estado de conservación de la cobertura forestal Huixquilucan de los años, 1988, 2006 en y 2023

En la figura 3.1 se muestra el diagrama general de la primera etapa.

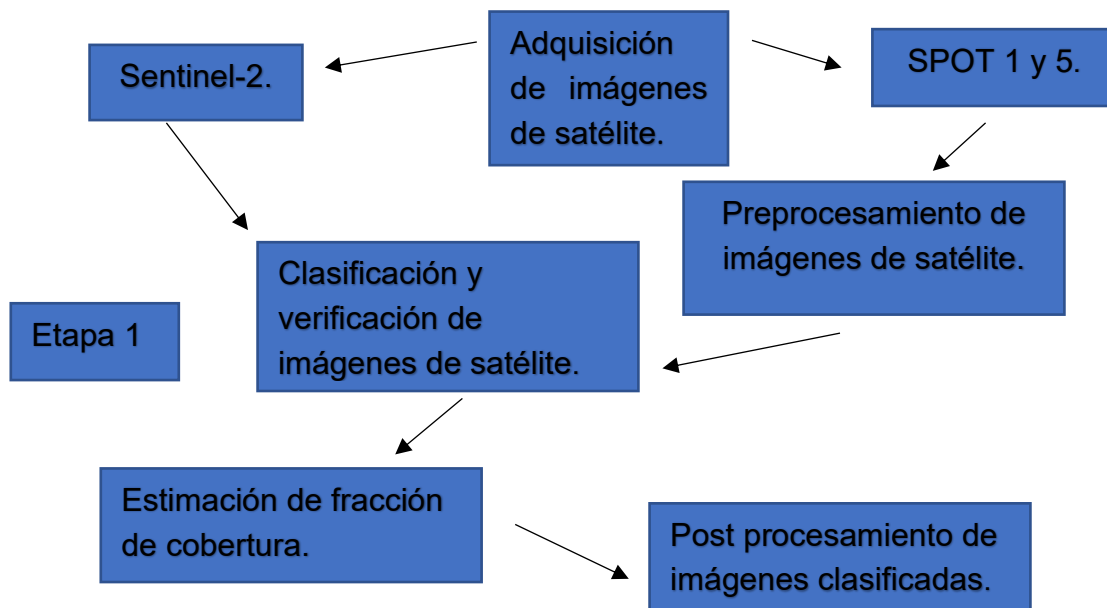


Figura 3.1: Diagrama general de la primera etapa metodológica.

Generalidades.

Para evaluar la magnitud de los cambios de uso de suelo se elaboraron tres mapas de cobertura y uso del suelo, de tres fechas de análisis (1988, 2006 y 2023) que en su conjunto abarcan una temporalidad de 35 años. Las interpretaciones se realizaron con imágenes satelitales de tipo Sentinel-2 y SPOT, con una resolución espacial de 10 m, y se estableció un área mínima cartografiable a 0.5 ha, (Marquina y Mogollón, 2017), de acuerdo a criterios de la clasificación de la FAO (2010) sobre la extensión mínima de un área forestal.

Preprocesamiento de imágenes de satélite.

El año de 1988, se trabajó con una imagen de tipo SPOT 1 y el año 2006 se trabajó con una imagen SPOT 5; en ambas se procedió a realizar la ortorectificación de las imágenes con el servicio de SWH-2A-Carto (2023), en la página oficial de carto processing

(Ver anexo), y el cual consistió en tomar el producto de entrada SWH-1A (Imagen descargada directamente de la plataforma SPOT) para generar productos estándar ortorrectificados sobre el DEM (productos SWH-2A-Carto), donde la altitud y la resolución espacial son establecidas por el procesamiento en una proyección cartográfica, y por último se agrega un archivo de metadatos al producto. El producto resultante tiene las siguientes características:

Geometría:

- Los datos se proyectan en proyección UTM usando un DEM mundial (1km GSD).
- Producto orientado con respecto al norte geográfico.
- La resolución de píxeles es fija, definida por el sensor y el satélite.

Después de realizar la ortorectificación en el programa ENVI, Versión 5.3.1, se realizó la calibración radiométrica con la herramienta Radiometric Calibration, esto con el objetivo de calibrar los datos de radiancia, reflectancia y brillo (ENVI 5.3.1, 2015).

En el mismo programa ENVI, Versión 5.3.1, se realizó la corrección atmosférica de las imágenes SPOT, con la herramienta Quick Atmospheric Correction (QUAC). Esta herramienta sirve para las imágenes multiespectrales e hiperespectrales que funcionan con el rango de longitud de onda visible e infrarrojo cercano a través del infrarrojo de onda corta (VNIR-SWIR) (ENVI 5.3.1, 2015).

Con la imagen SPOT 1 del año de 1988, también se descargó su imagen pancromática, debido a que tiene una resolución espacial a 10 m. La imagen espectral que tiene una resolución espacial a 20 m, se fusionó con la imagen pancromática, esto con el objetivo de tener una resolución espacial de 10 m, sin perder las propiedades multiespectrales (ENVI 5.3.1, 2015). Esto se realizó con el programa ENVI Versión 5.3.1, con la herramienta SPEAR Pan Sharpening (Figura 3.2).



Figura 3.2: Fusión de la imagen pancromática con la imagen espectral de la imagen SPOT 1, del año de 1988 (Elaboración propia).

Para la imagen SENTINEL-2 del año 2023, no se necesitó que se realizará ningún procedimiento previo como el que se realizó con las imágenes SPOT, debido a que ya estaba calibrada, georreferenciada y con corrección atmosférica y radiométrica al momento de su descarga.

Clasificación de imágenes de satélite.

En las tres imágenes de satélite se realizó una clasificación supervisada, que de acuerdo con Lillesand *et al.* (2015), se caracteriza por empezar con un análisis que identifica áreas de prueba representativas, donde cada píxel del conjunto de datos de la imagen se clasifica con la clase de cobertura terrestre a la que más se parece, en donde dependiendo del número de bandas de cada imagen de satélite se genera un determinado número de puntos de entrenamiento, es decir, que generar un punto de clasificación de por lo menos una unidad mayor por cada banda ($n+1$). En este caso, como se cuenta con 4 bandas en cada archivo Ráster, el mínimo de puntos de entrenamiento son 5, pero entre más nubes de puntos se generen en diferentes zonas del archivo, se obtendrán mejores resultados; por ello, se generaron 30 puntos vectoriales para cada clase y dentro del área de estudio, para no saturar la imagen. Esto se realizó en el programa Envi Versión 5.3.1, donde se clasificaron 5 clases: Bosque, Tierras forestales degradadas, Zonas agrícolas, Asentamientos humanos y Cuerpos de agua (Figura 3.3), posteriormente se clasificaron 30 puntos de verificación para los siguientes pasos.

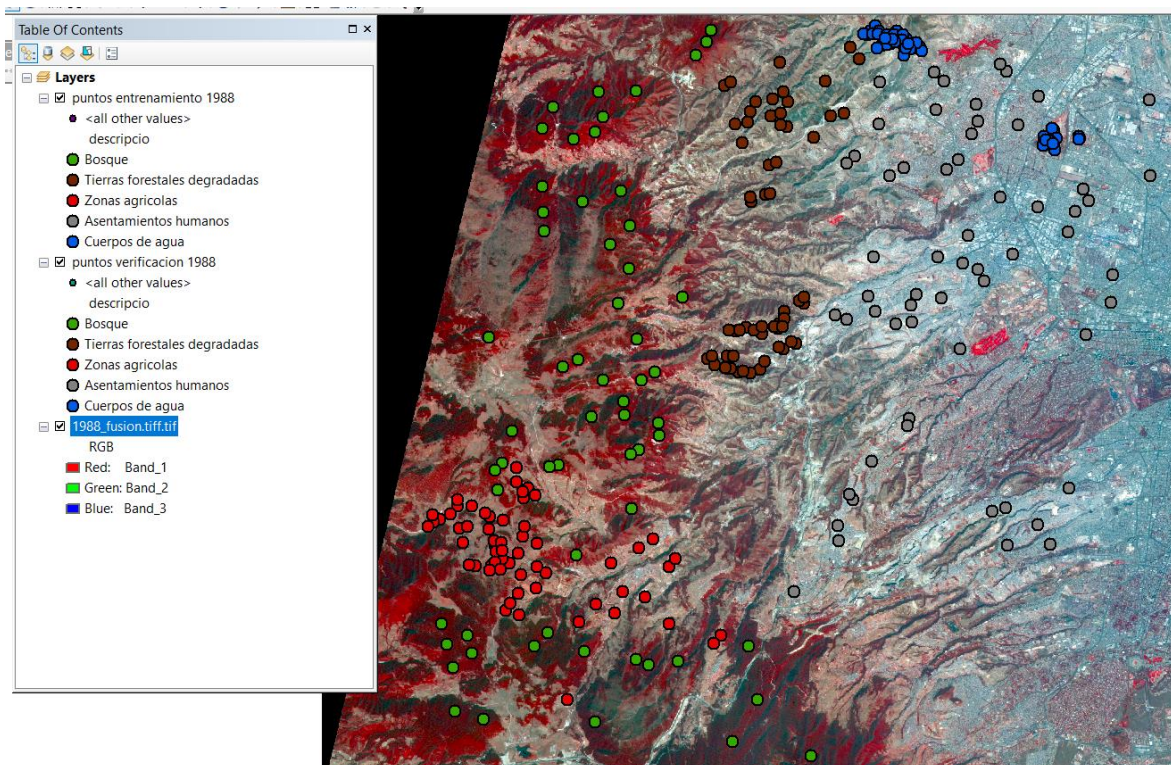


Figura 3.3: Puntos de entrenamiento y puntos de verificación de las imágenes Raster en el programa ENVI, 5.3.1 (Elaboración propia).

En el programa ENVI Versión 5.3.1, se utilizó el método clasificador de máxima verosimilitud, que evalúa cuantitativamente tanto la varianza como la covarianza de los patrones de respuesta espectral de la categoría al clasificar un píxel desconocido. Para ello, se parte del supuesto de la distribución de la nube de puntos que forman los datos de entrenamiento de cada categoría (Lillesand *et al.*, 2015). Dadas estas dos características para cada valor de celda, se calcula la probabilidad estadística para cada clase a fin de determinar la pertenencia de las celdas a la clase (ESRI, 2023), es decir, con esto se clasificó de manera general la imagen de satélite del área de estudio, con las siguientes categorías como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Categorización general (Elaboración propia).

Valor	Clase
1	Tierras forestales degradadas
2	Bosque
3	Asentamientos humanos
4	Cuerpos de agua
5	Zonas agrícolas

Verificación de clasificaciones.

Para verificar las clasificaciones se realizó una matriz de confusión, que se encarga de mostrar la precisión de un resultado de clasificación (puntos de entrenamiento) comparando un resultado de otra clasificación que contiene información real sobre el terreno (puntos de verificación) (ENVI 5.3.1, 2015), esto se realizó con la herramienta Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs, del programa ENVI Versión 5.3.1, para ver qué tan confiable es el resultado que se obtuvo del método clasificador máxima verosimilitud, de las tres imágenes de satélite, tal como se observa en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Confiabilidad global de las imágenes de los años de estudio (Elaboración propia).

Año	Confiabilidad global
1988	90%
2006	88%
2023	91.33%

Estimación de fracción de cobertura.

Con las imágenes de satélite se procedió a hacer el cálculo del Índice SAVI, para estimar la fracción de la cobertura forestal (Baret *et al.*, 1995), en el programa ENVI Versión 5.3.1, con la herramienta Band math, se aplicó la siguiente formula:

$$((1 + 0.5) * (\text{float}(b4) - \text{float}(b3))) / (\text{float}(b4) + \text{float}(b3) + \text{float}(0.5))).$$

Donde Float b3, es la banda R y Float b4, es la banda del NIR¹.

Para la imagen SPOT 1, del año 1988, la banda 2, es el R y la banda 1, es el NIR.

Para la imagen SPOT 5, del año 2006, la banda 3, es el R y la banda 2, es el NIR.

Para la imagen SENTINEL-2, del año 2023, la banda 4, es el R y la banda 8, es el NIR.

Para evitar problemas de saturación con valores superiores a 0.77 del índice SAVI, en la misma herramienta del Band math, se aplicó la siguiente formula:

$$(b1 \text{ gt}0.77) * 0.77 + (b1 \text{ gt}-1 \text{ and } b1 \text{ lt}0.77) * \text{float}(b1).$$

Donde b1 es el resultado del cálculo del índice SAVI de cada año.

Para obtener la fracción de cobertura a partir de SAVI, con la herramienta de Band math se realizaron las siguientes operaciones matemáticas:

¹ R, es la banda roja del espectro electromagnético y NIR es la banda del infrarrojo cercano del espectro electromagnético.

$$- (b1 - 0.7799)$$

Donde b1 es el resultado de la fórmula anterior que se aplicó en la imagen con el índice SAVI y el resultado es el numerador de la fórmula.

$$- (b1 / (-0.658))$$

Donde b1 es la imagen resultante de la operación anterior, osea el numerador y con esta fórmula se crea el dividendo de la formula.

$$- (b1^{0.8709})$$

Donde b1 es el dividendo de la fórmula y el resultado del anterior cálculo, esto para obtener la fracción del espacio del dosel.

$$- (1 - b1)$$

Donde b1 es la fracción del espacio del dosel, y el resultado de esa fórmula es la fracción de la cobertura forestal, dado que sirve para clasificar el estado de conservación del bosque.

$$- (b1 \leq 0) * 0 + (b1 > 0 \text{ and } b1 \leq 1) * \text{float}(b1)$$

Donde b1 es la fracción de cobertura forestal; esta fórmula sirve para que la imagen no tenga valores negativos.

Post-procesamiento de clasificaciones supervisadas.

En el programa Arcmap versión 10.4.1, se procedió a obtener la fracción de la cobertura forestal.

El resultado fue una serie de números, de 0 a 100, que son los valores de la fracción de la cobertura forestal de acuerdo con la OIMT (2002) (Ver capítulo 1) para la clase bosque, los cuales dieron la siguiente clasificación:

Bosque primario: De 90 a 100.

Bosque primario degradado: De 11 a 89.

Bosque secundario: De 0 a 10.

De lo obtenido del método clasificador de máxima verosimilitud y del Post-procesamiento de clasificaciones supervisadas, los mapas resultantes fueron clasificados en siete clases: Bosque primario, Bosque primario degradado, Bosque secundario, Tierras forestales degradadas, Zonas agrícolas, Asentamientos humanos y Cuerpos de agua.

3.2. Etapa 2. Evaluar el impacto de la dinámica del uso de suelo en los procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia del bosque templado.

En la figura 3.4 se muestra el diagrama general de la segunda etapa.

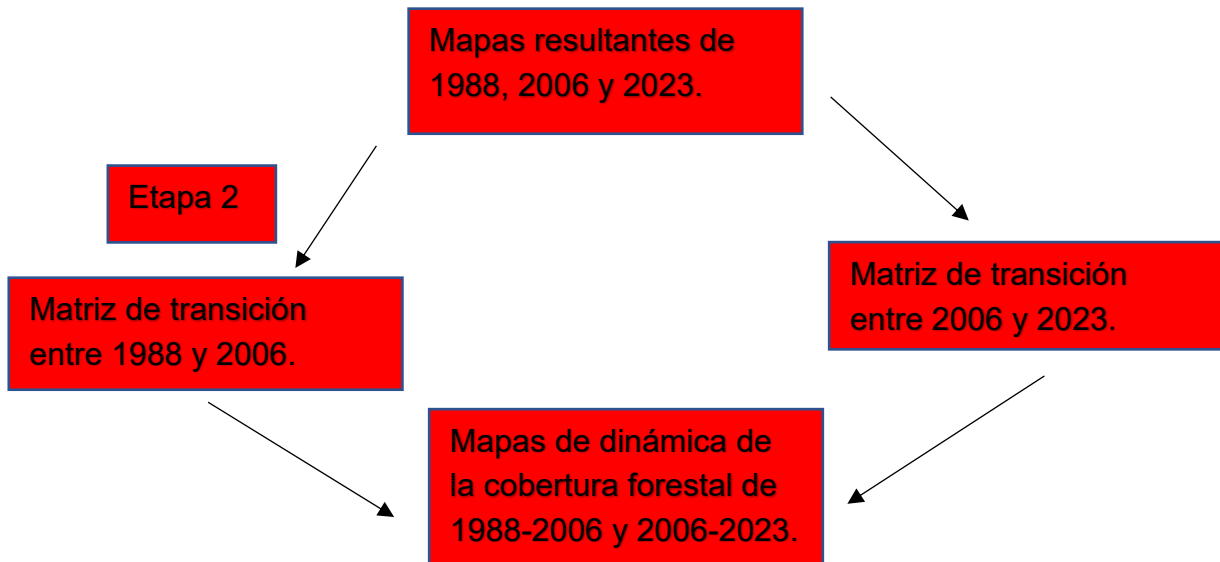


Figura 3.4: Diagrama general de la segunda etapa metodológica.

La interpretación de los procesos de cambio de cobertura del bosque templado se realizó a partir de los procesos de deforestación, recuperación, degradación y permanencia.

Se aplicó una superposición cartográfica entre los mapas de cobertura y uso del suelo para obtener resultados en dos periodos: 1988-2006 y 2006-2023. Las bases de datos generadas fueron exportadas al programa Arcmap Versión 10.4.1, para elaborar una matriz de transición para cada uno de los periodos. Las matrices de transición permiten evidenciar las superficies que permanecen y las que se transforman en un periodo de tiempo determinado (Pontius *et al.*, 2004); en este caso permitieron identificar y evaluar la magnitud espacial de los procesos de deforestación, recuperación, degradación y permanencia de la cobertura forestal, al tiempo que facilitaron la comprensión de los principales cambios de cobertura y uso de suelo que tienen incidencia directa sobre los procesos.

En el programa Arcmap Versión 10.4.1, a cada archivo vectorial (Mapas resultantes de 1988, 2006 y 2023), se le dio un valor correspondiente dependiendo del periodo de estudio, para el primer periodo que va de 1988-2006, para el año de 1988, se le asignaron los siguientes valores de decenas porque como el año que corresponde al siglo pasado es el que va a ser sumado se le asigna números de mayor valor (Tabla 3.3).

Tabla 3.3: Valores de cada clase para el año de 1988, para el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

Clase	Valor
Asentamientos humanos	10
Bosque primario	20
Bosque primario degradado	30
Bosque secundario	40
Cuerpos de agua	50
Tierras forestales degradadas	60
Zonas agrícolas	70

Para el año del 2006, para el mismo periodo que abarca de 1988-2006, se le asignaron los siguientes valores de unidades debido a que estos números son los que van a sumar a los del año de 1988, como se observa en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Valores de cada clase para el año de 2006, para el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

Clase	Valor
Asentamientos humanos	1
Bosque primario	2
Bosque primario degradado	3
Bosque secundario	4
Cuerpos de agua	5
Tierras forestales degradadas	6
Zonas agrícolas	7

Posteriormente para el año del 2006, pero para el periodo que abarca de 2006-2023, se le asignaron los siguientes valores, como se observa en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Valores de cada clase para el año de 2006, para el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

Clase	Valor
Asentamientos humanos	10
Bosque primario	20
Bosque primario degradado	30
Bosque secundario	40
Cuerpos de agua	50
Tierras forestales degradadas	60
Zonas agrícolas	70

Para el año del 2023, para el mismo periodo que abarca de 2006-2023, se le asignaron los siguientes valores, como se observa en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Valores de cada clase para el año de 2006, para el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

Clase	Valor
Asentamientos humanos	1
Bosque primario	2
Bosque primario degradado	3
Bosque secundario	4
Cuerpos de agua	5
Tierras forestales degradadas	6
Zonas agrícolas	7

A partir de archivos vectoriales de la misma geometría, en este caso los años de 1988 y 2006, del periodo 1988-2006 y de los años 2006 y 2023 del periodo 2006-2023, se utilizó la herramienta intercsect para unir ambos años con su respectivo periodo, a fin de crear un nuevo archivo vectorial, donde se crea posteriormente una columna con el nombre cambio, en la que se suman los valores de cada año para identificar las áreas que permanecen o que se transforman, como se observa en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Matriz de transición de ambos periodos de estudio (Elaboración propia).

	Año 2006 y 2023 Valor 1	Año 2006 y 2023 Valor 2	Año 2006 y 2023 Valor 3	Año 2006 y 2023 Valor 4	Año 2006 y 2023 Valor 5	Año 2006 y 2023 Valor 6	Año 2006 y 2023 Valor 7
Año 1988 y 2006 Valor 10	11	12	13	14	15	16	17
Año 1988 y 2006 Valor 20	21	22	23	24	25	26	27
Año 1988 y 2006 Valor 30	31	32	33	34	35	36	37
Año 1988 y 2006 Valor 40	41	42	43	44	45	46	47
Año 1988 y 2006 Valor 50	51	52	53	54	55	56	57
Año 1988 y 2006 Valor 60	61	62	63	64	65	66	67
Año 1988 y 2006 Valor 70	71	72	73	74	75	76	77

En la tabla 3.8, se muestra la descripción de los valores resultantes de la matriz de transición.

Tabla 3.8: Descripción de los valores de la matriz de transición de ambos periodos de estudio (Elaboración propia).

Valor	Descripción
11	Sin cambio, Asentamientos humanos
12	Recuperación, de Asentamientos humanos a Bosque primario
13	Recuperación, de Asentamientos humanos a Bosque primario degradado
14	Recuperación, de Asentamientos humanos a Bosque secundario
15	Cambio, de Asentamientos humanos a Cuerpos de agua
16	Cambio, de Asentamientos humanos a Tierras forestales degradadas
17	Cambio, de Asentamientos humanos a Zonas agrícolas
21	Deforestación, de Bosque primario a Asentamientos humanos
22	Permanencia, Bosque primario
23	Degradación, de Bosque primario a Bosque primario degradado
24	Degradación, de Bosque primario a Bosque secundario
25	Deforestación, de Bosque primario a Cuerpos de agua
26	Deforestación, de Bosque primario a Tierras forestales degradadas
27	Deforestación, de Bosque primario a Zonas agrícolas
31	Deforestación, de Bosque primario degradado a Asentamientos humanos
32	Recuperación, de Bosque primario degradado a Bosque primario
33	Permanencia, Bosque primario degradado
34	Degradación, de Bosque primario degradado a Bosque secundario
35	Deforestación, de Bosque primario degradado a Cuerpos de agua
36	Deforestación, de Bosque primario degradado a Tierras forestales degradadas
37	Deforestación, de Bosque primario degradado a Zonas agrícolas
41	Deforestación, de Bosque secundario a Asentamientos humanos
42	Recuperación, de Bosque secundario a Bosque primario
43	Recuperación, de Bosque secundario a Bosque primario degradado
44	Permanencia, Bosque secundario
45	Deforestación, de Bosque secundario a Cuerpos de agua
46	Deforestación, de Bosque secundario a Tierras forestales degradadas
47	Deforestación, de Bosque secundario a Zonas agrícolas
51	Cambio, de Cuerpos de agua a Asentamientos humanos
52	Recuperación, de Cuerpos de agua a Bosque primario
53	Recuperación, de Cuerpos de agua a Bosque primario degradado
54	Recuperación, de Cuerpos de agua a Bosque secundario
55	Sin cambio, Cuerpos de agua
56	Cambio, de Cuerpos de agua a Tierras forestales degradadas
57	Cambio, de Cuerpos de agua a Zonas agrícolas
61	Cambio, de Tierras forestales degradadas a Asentamientos humanos
62	Recuperación, de Tierras forestales degradadas a Bosque primario

63	Recuperación, de Tierras forestales degradadas a Bosque primario degradado
64	Recuperación, de Tierras forestales degradadas a Bosque secundario
65	Cambio, de Tierras forestales degradadas a Cuerpos de agua
66	Sin cambio, Tierras forestales degradadas
67	Cambio, de Tierras forestales degradadas a Zonas agrícolas
71	Cambio, de Zonas agrícolas a Asentamientos humanos
72	Recuperación, de Zonas agrícolas a Bosque primario
73	Recuperación, de Zonas agrícolas a Bosque primario degradado
74	Recuperación, de Zonas agrícolas a Bosque secundario
75	Cambio, de Zonas agrícolas a Cuerpos de agua
76	Cambio, de Zonas agrícolas a Tierras forestales degradadas
77	Sin cambio, Zonas agrícolas

Para la creación de la leyenda, a las áreas de bosque (primario, primario degradado y secundario) que no cambiaron se les asignó el nombre de permanencia forestal. A las áreas de bosque que se formaron un proceso de recuperación (Aquellas zonas que transitaron de Zonas agrícolas a Bosque primario, entre otros.) se les asignó el nombre de recuperación forestal. A las áreas de bosque que se formaron tras sufrir un proceso de degradación (Aquellas zonas que transitaron de Bosque primario a Bosque secundario, entre otros.) se les asignó el nombre de degradación forestal. A las áreas de bosque que se transformaron a otro uso de suelo (Aquellas zonas que transitaron de Bosque primario a Asentamientos humanos, etc.) se les asignó el nombre de deforestación.

A los otros usos de suelo que no presentaron cambio se les asignó el nombre “Sin cambio (Otros usos)”. Aquellos usos de suelo que sí presentaron un cambio (Aquellas zonas que transitaron de Zonas agrícolas a Asentamientos humanos, entre otros.) se les dio el nombre de “Cambio (Otros usos)”.

Los resultados fueron dos mapas: 1. Dinámica de la cobertura forestal de Huixquilucan, durante el periodo 1988-2006, y 2. Dinámica de la cobertura forestal de Huixquilucan, durante el periodo 2006-2023. En estos mapas, están representados los procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia del bosque templado.

Capítulo 4. Integración de resultados y discusión

4.1 Análisis de resultados

Para el año 1988, los usos de suelo de Huixquilucan con un área de 14,124.05 ha, se dividían de la siguiente manera (Tabla 4.1).

Tabla 4.1: Áreas y porcentajes del uso de suelo de Huixquilucan en el año 1988 (Elaboración propia).

Uso de suelo	Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	7067.58	50.03
Tierras forestales degradadas	2134.28	15.11
Zonas agrícolas	2784.36	19.71
Asentamientos humanos	2129.26	15.07
Cuerpos de agua	8.54	0.06

Poco más de la mitad de la superficie del municipio estaba cubierto por masa forestal, aunque con distintos niveles de conservación del bosque templado (Tabla 4.2).

Tabla 4.2: Áreas y porcentajes del estado de conservación de los bosques de Huixquilucan en el año 1988 (Elaboración propia).

Estado de conservación del bosque	Hectáreas (ha)	Porcentaje de acuerdo con la clase bosque (%)	Porcentaje de acuerdo con la extensión del municipio (%)
Bosque primario	4776.22	67.57	33.81
Bosque primario degradado	1985.86	28.09	14.06
Bosque secundario	305.49	4.32	2.16

En el año 1988 más de la mitad de los bosques presentaban una cobertura de dosel superior a 90% (Bosque primario), y menos del 5% tenía una cobertura de dosel inferior a 10% (Bosque secundario). En la figura 4.1 se presentan cartográficamente los resultados de las tablas anteriores.

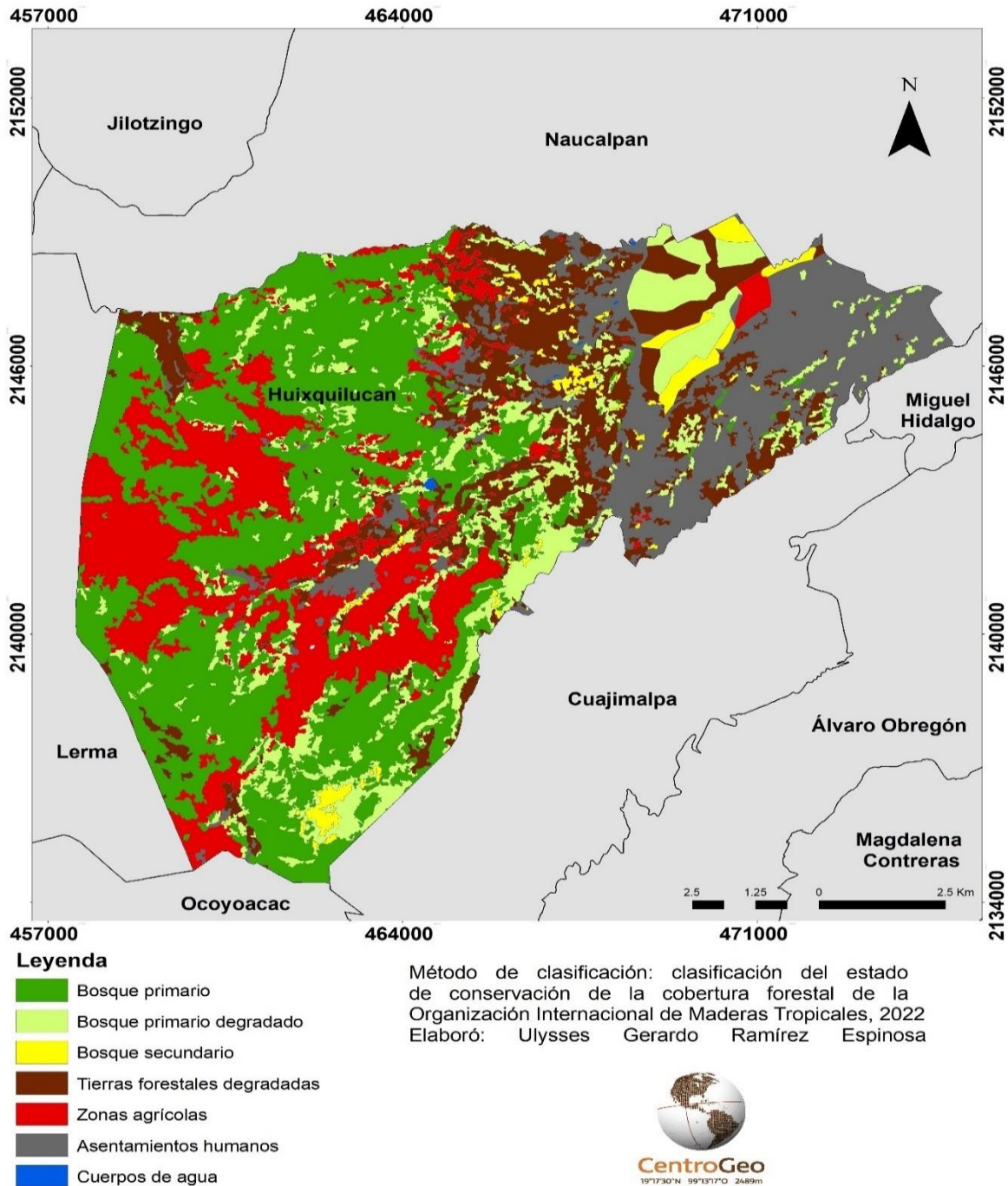


Figura 4.1: Mapa del estado de conservación de la cobertura forestal y uso de suelo de Huixquilucan en 1988.

Para el año 2006, los usos de suelo de Huixquilucan se muestran en la tabla 4.3. El bosque se redujo a 42.99% y los asentamientos humanos se incrementaron a 28.47%.

Tabla 4.3: Áreas y porcentajes del uso de suelo de Huixquilucan en el año 2006 (Elaboración propia).

Uso de suelo	Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	6072.86	42.99
Tierras forestales degradadas	1751.84	12.40
Zonas agrícolas	2262.59	16.01
Asentamientos humanos	4021.71	28.47
Cuerpos de agua	3.77	0.02

En la tabla 4.4 se observa el área y porcentaje del estado de conservación del bosque templado. En el año 2006, el bosque primario se redujo a 50.56%, mientras que el bosque primario degradado se incrementó a 41.27% y el bosque secundario también aumentó su superficie a 8.16%, por lo que se observa una degradación del bosque templado de Huixquilucan en el año 2006 con respecto a 1988.

Tabla 4.4: Áreas y porcentajes del estado de conservación de los bosques de Huixquilucan en el año 2006 (Elaboración propia).

Estado de conservación del bosque	Hectáreas (ha)	Porcentaje de acuerdo con la clase bosque (%)	Porcentaje de acuerdo con la extensión del municipio (%)
Bosque primario	3070.54	50.56	21.73
Bosque primario degradado	2506.55	41.27	17.74
Bosque secundario	495.76	8.16	3.51

En la figura 4.2 se muestra cartográficamente la reducción y degradación de la cobertura forestal, así como el incremento de los asentamientos humanos.

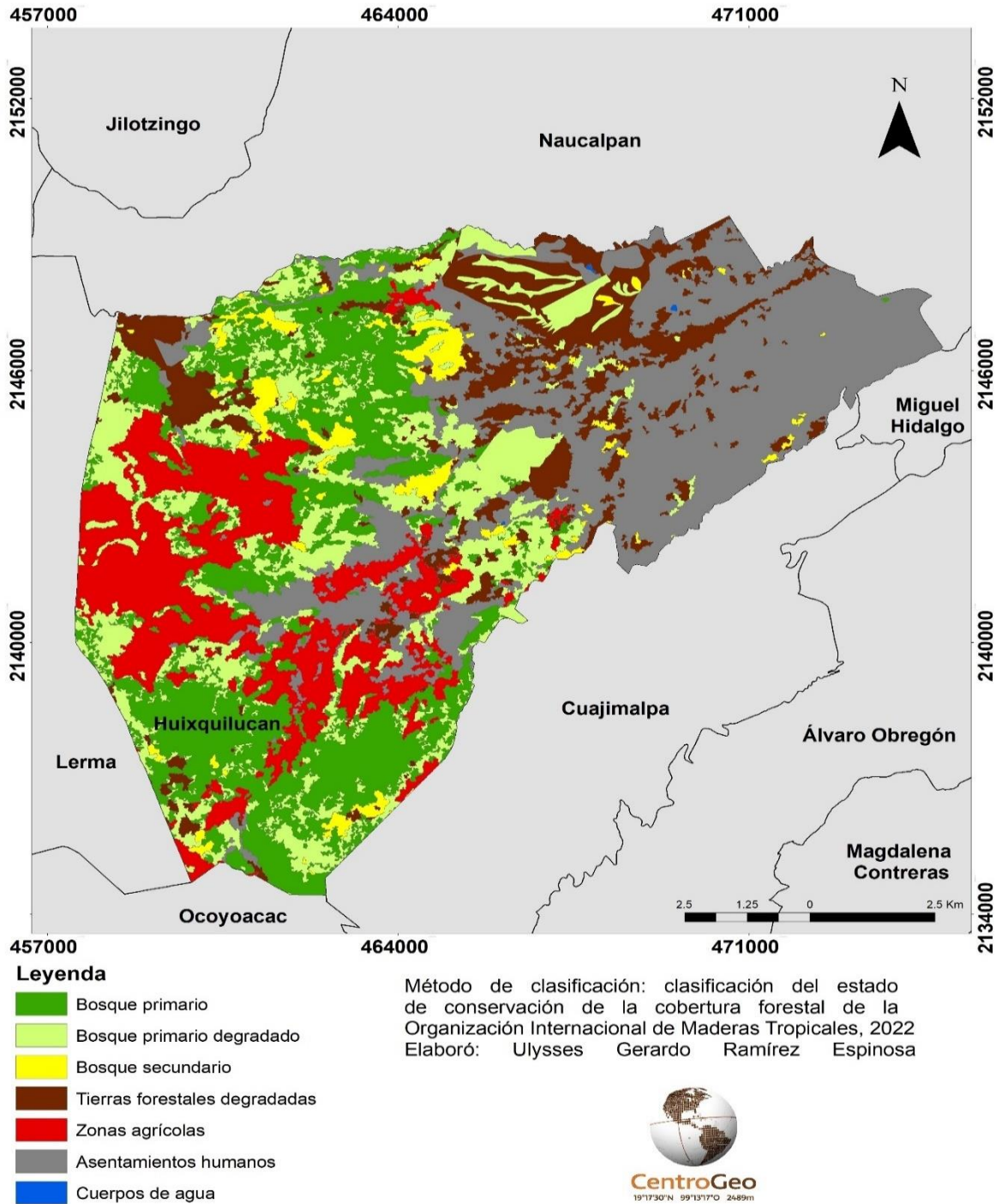


Figura 4.2: Mapa del estado de conservación de la cobertura forestal y uso de suelo de Huixquilucan de 2006.

La tabla 4.5 muestra la distribución de los usos de suelo de Huixquilucan en 2023. Se observa que la clase bosque tuvo un ligero incremento a 46.77%, al igual que la clase asentamientos humanos que creció a 32.64%; esto puede deberse a la reducción de la clase zonas agrícolas, prácticamente a la mitad de su área, pues decayó al 8.81%.

Tabla 4.5: Áreas y porcentajes del uso de suelo de Huixquilucan en el año 2023 (Elaboración propia).

Uso de suelo	Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	6607.80	46.77
Tierras forestales degradadas	1643.10	11.63
Zonas agrícolas	1245.28	8.81
Asentamientos humanos	4610.25	32.64
Cuerpos de agua	5.42	0.03

En la tabla 4.6, se observa el área y porcentaje del estado de conservación del bosque templado. No obstante, el incremento de la cobertura forestal en 2023, el estado de conservación del bosque decayó, pues el bosque primario tuvo un decrecimiento a 43.14%, al igual que el bosque primario degradado que se redujo a 36.05% y solo el bosque secundario tuvo un incremento de más del doble de su área con respecto al 2006, pues este se incrementó al 20.79%.

Tabla 4.6: Áreas y porcentajes del estado de conservación de los bosques de Huixquilucan en el año 2023 (Elaboración propia).

Estado de conservación del bosque	Hectáreas (ha)	Porcentaje de acuerdo con la clase bosque (%)	Porcentaje de acuerdo con la extensión del municipio (%)
Bosque primario	2851.23	43.14	20.18
Bosque primario degradado	2382.42	36.05	16.86
Bosque secundario	1374.15	20.79	9.72

En la figura 4.3 se muestran la degradación de la cobertura forestal, así como el incremento de los asentamientos humanos en 2023.

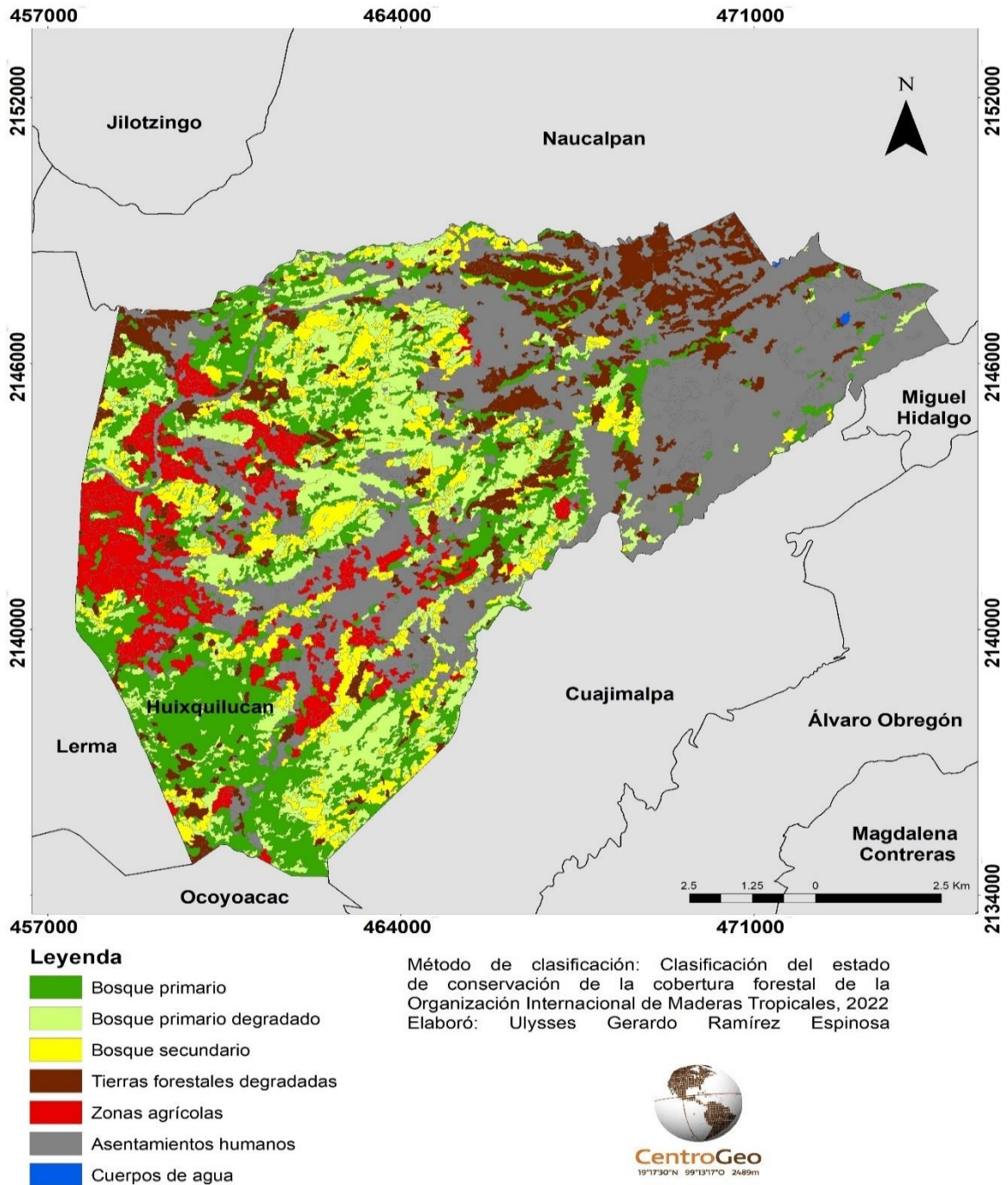


Figura 4.3: Mapa del estado de conservación de la cobertura forestal y uso de suelo de Huixquilucan en 2023.

El primer periodo que abarca de 1988-2006 tiene una temporalidad de 18 años, alberga los siguientes procesos forestales (Figura 4.4). Se observa que en dicho periodo de tiempo los procesos de deforestación (2577.46 ha) y de degradación (1549.71 ha) fueron significativos

en Huixquilucan, en donde también hubo una permanencia de 2429.83 ha y unas 2105.66 ha de recuperación forestal.

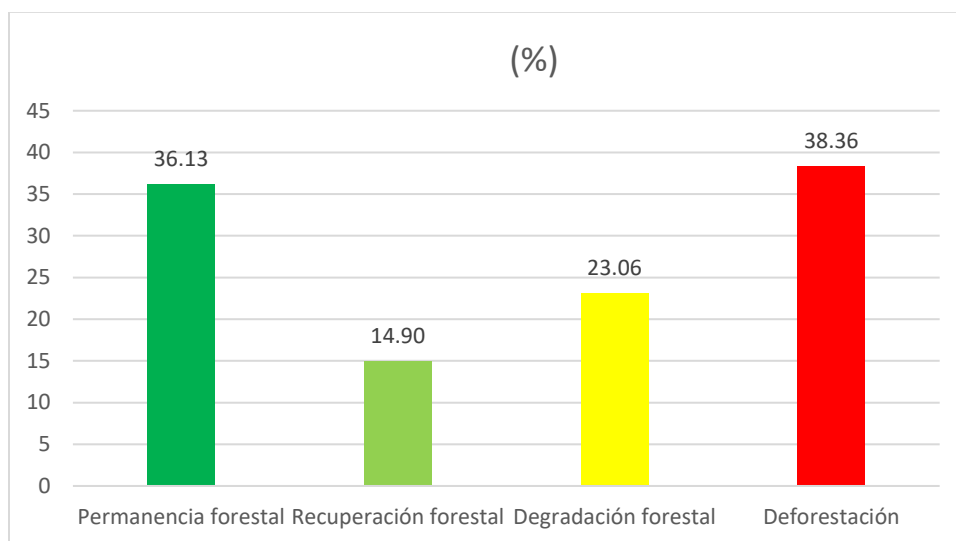


Figura 4.4: Gráfica de procesos forestales del periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

En la figura 4.5 se muestran las causas de la deforestación del bosque primario. Se observa que la principal causa de pérdida de bosque primario es la conversión a zonas agrícolas (725.03 ha), donde la pérdida total de dicha clase fue de 1333.15 ha.

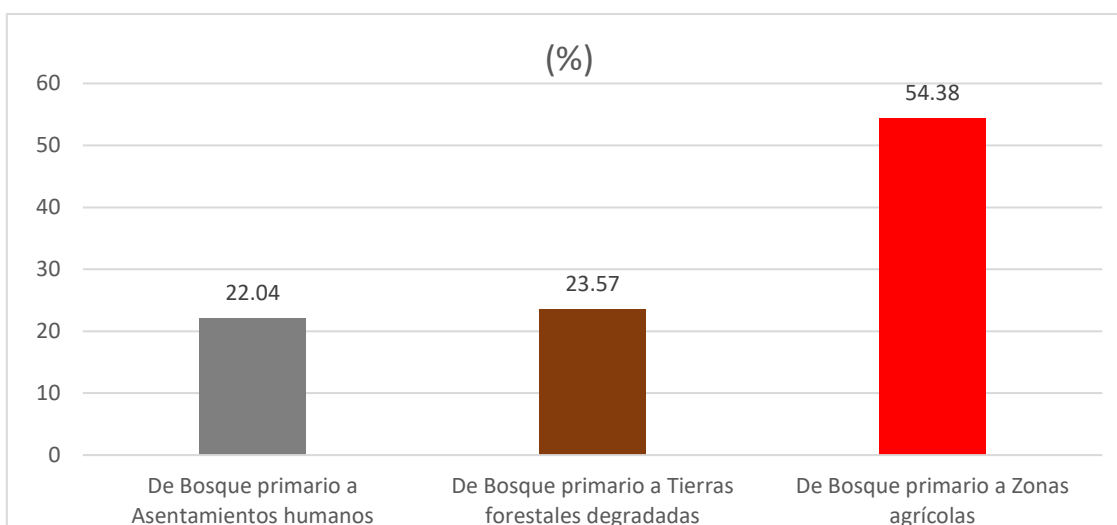


Figura 4.5: Gráfica de deforestación del bosque primario, durante el periodo 1988-2006

En la figura 4.6, se muestran las causas de deforestación, para la clase bosque primario degradado. A diferencia del bosque primario, en este caso la principal causa de deforestación es la expansión de los asentamientos humanos (561.39 ha), seguidos de las tierras forestales degradadas (277.12 ha), donde la pérdida total de dicha clase fue de 1026.66 ha.

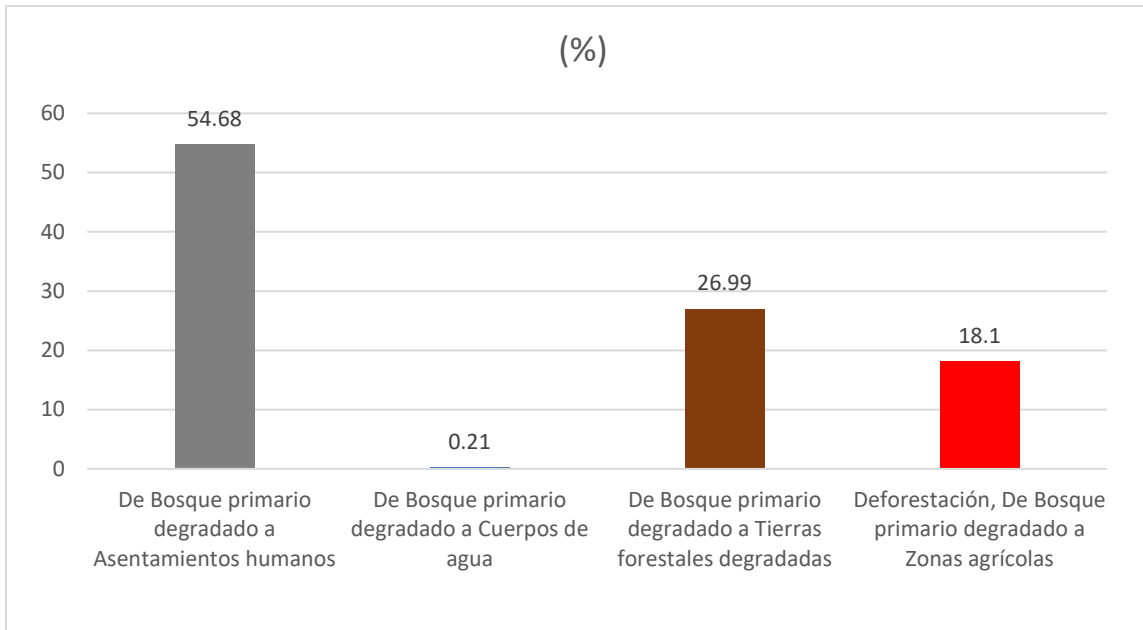


Figura 4.6: Gráfica de deforestación del bosque primario degradado, durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

En la figura 4.7, se muestran las causas de deforestación para el bosque secundario. La principal causa de deforestación del bosque secundario es por asentamientos humanos (148.93 ha), seguido de las tierras forestales degradadas (67.96 ha). La pérdida total de dicha clase fue de 217.60 ha, lo que sugiere que entre más degradado esté el bosque la principal causa de pérdida será por asentamientos humanos. Además, dicho periodo se caracterizó por la mayor pérdida forestal, para la clase bosque primario.

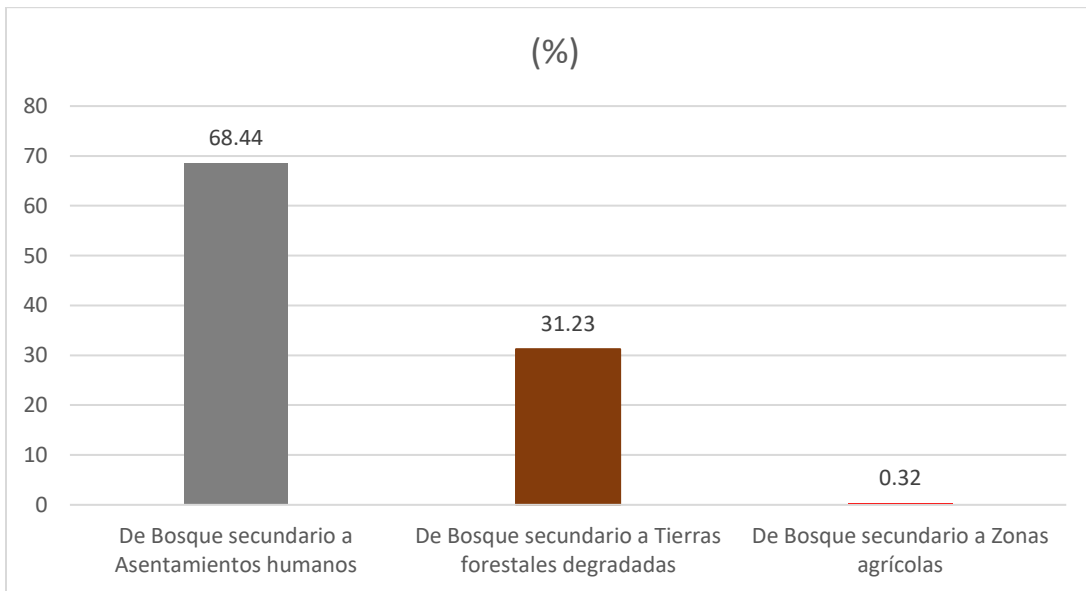


Figura 4.7: Gráfica de deforestación del bosque secundario, durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

Los procesos de degradación de la cobertura forestal para dicho periodo se muestran en la figura 4.8. La degradación total del bosque para todo el municipio fue de 1547.70 ha, siendo el paso de bosque primario a bosque primario degradado (1234.21 ha) el proceso de cambio más significativo, mientras que los otros procesos de degradación forestal no fueron significativos.

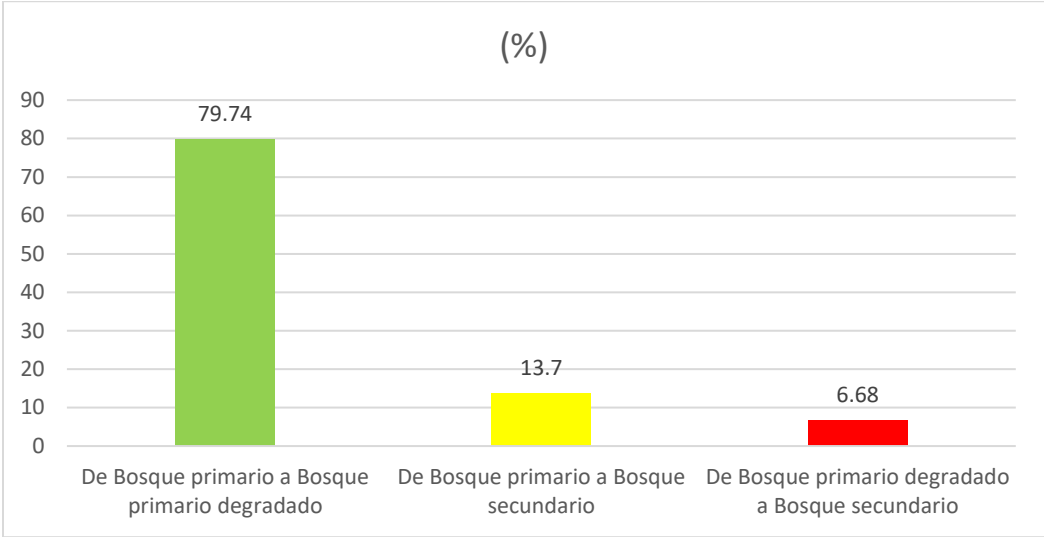


Figura 4.8: Gráfica de degradación forestal, durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

En la figura 4.9 se muestra la permanencia forestal. De manera significativa se observa como el bosque primario, fue la clase que menos se transformó (2071.70 ha), en donde la permanencia total del bosque es de 2429.82 ha.

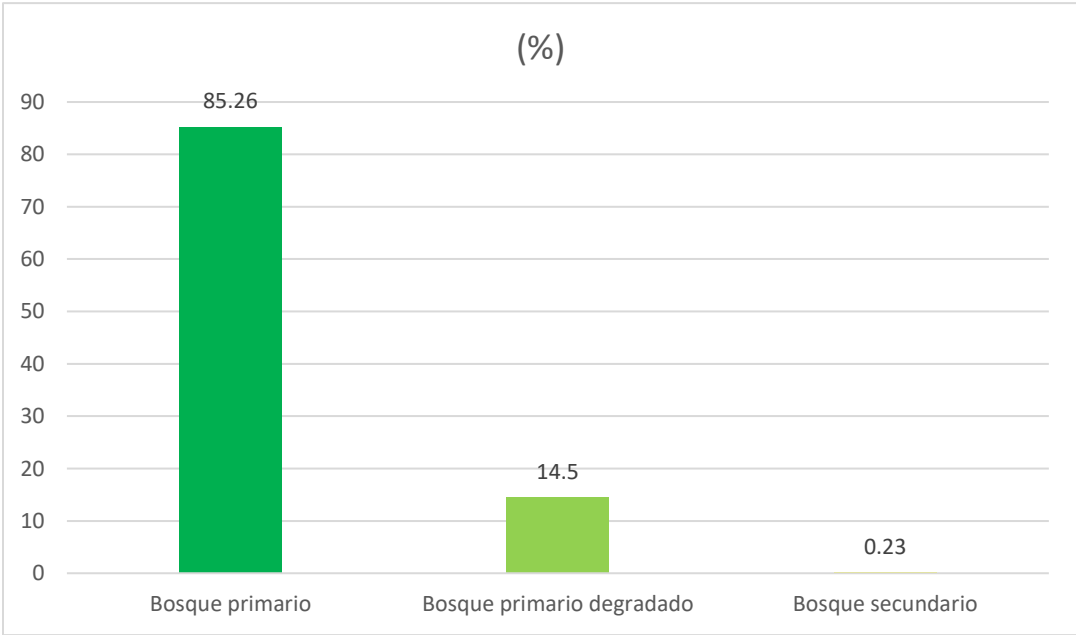


Figura 4.9: Gráfica de permanencia forestal, durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

En la gráfica 4.10 se muestran los procesos de recuperación del bosque primario. La recuperación total del bosque primario fue de 1013.16 ha, donde la clase que la antecedió más abundante fue la de bosque primario degradado (440.01 ha), seguido muy de cerca de las zonas agrícolas (399.93 ha).

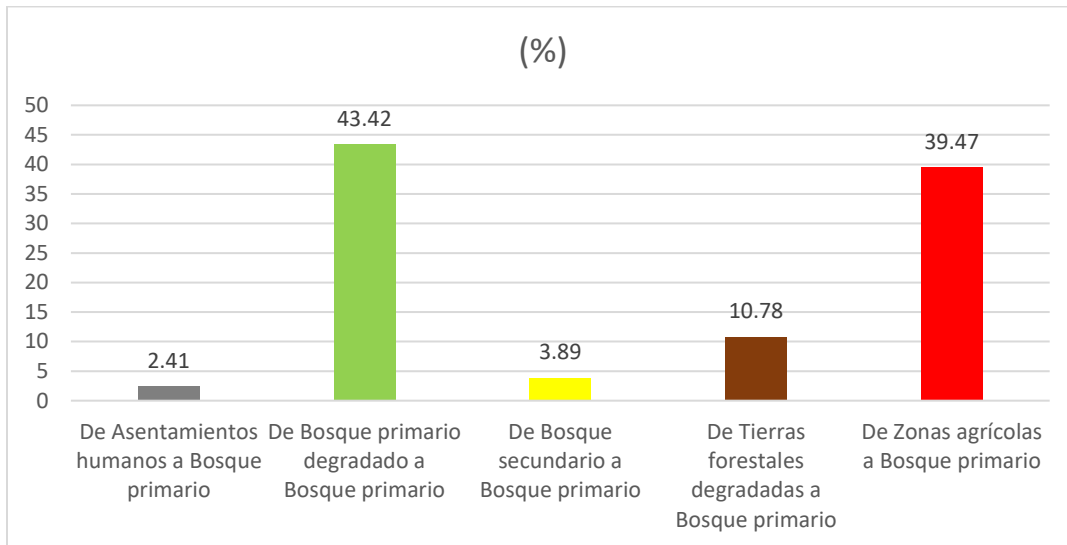


Figura 4.10: Gráfica de recuperación del bosque primario, durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

En la figura 4.11, se muestran los procesos de recuperación del bosque primario degradado. Se puede observar que la principal causa es el abandono de zonas agrícolas (471.94 ha), seguida de manera cercana por las tierras forestales degradadas (328.98 ha), la recuperación total del bosque primario degradado fue de 920.39 ha.

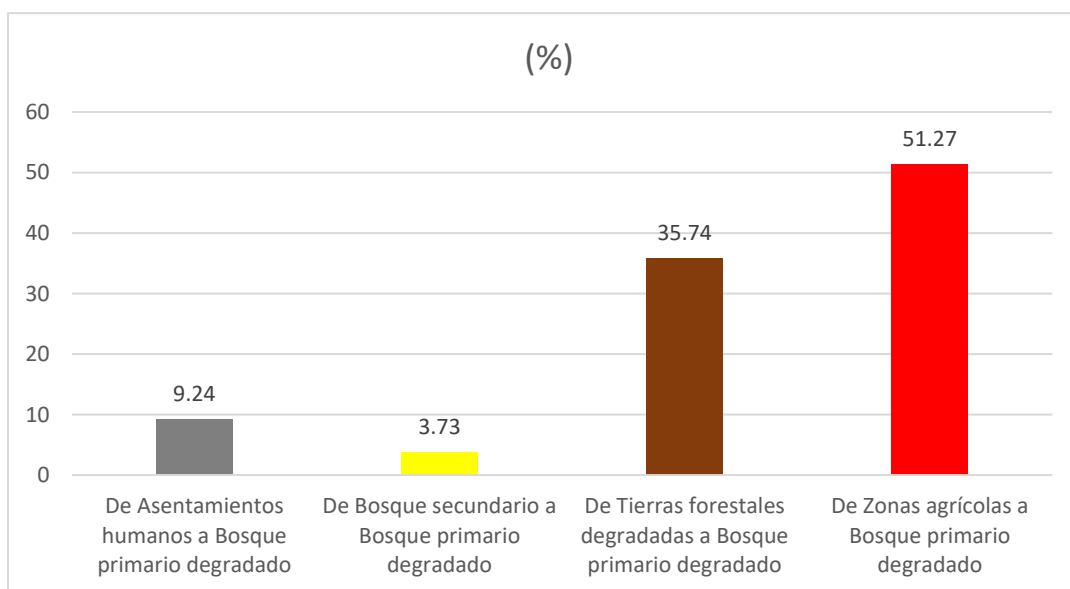


Figura 4.11: Gráfica de recuperación del bosque primario degradado durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

En la figura 4.12, se muestran los procesos de recuperación del bosque secundario. La recuperación total fue de 172.04 ha y la principal causa fue el abandono de zonas agrícolas (88.48 ha), seguido de manera cercana, por las tierras forestales degradadas (43.23 ha), muy similar a lo que pasa con el proceso de recuperación del bosque primario degradado.

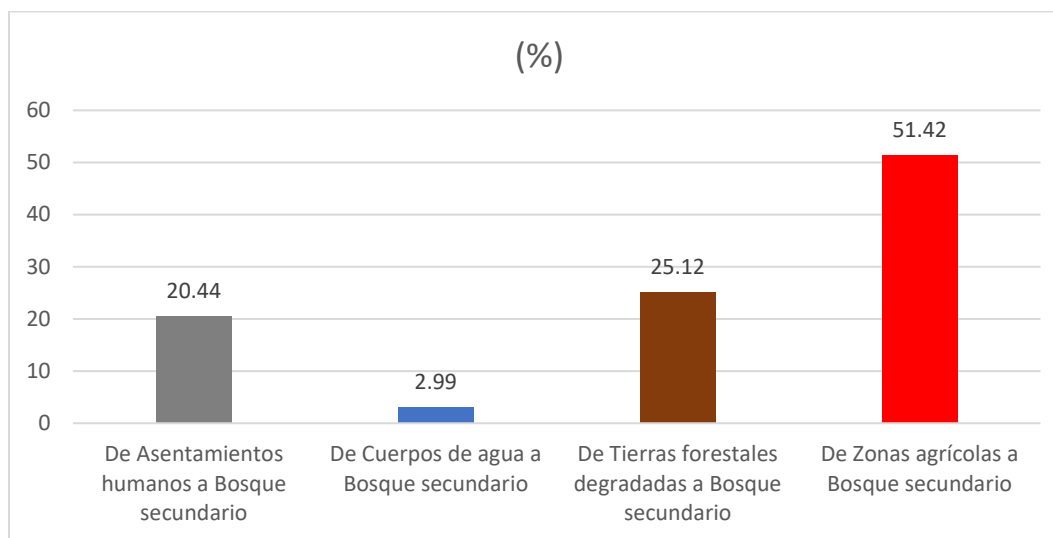


Figura 4.12: Gráfica de recuperación del bosque secundario durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

En la tabla 4.7, se muestran los cambios de las otras clases diferentes a la cobertura forestal. En la tabla 4.8, se muestran las áreas que no presentaron cambios de dichas clases, es importante conocerlas ya que las modificaciones de tales usos de suelo se relacionan con las transformaciones del bosque.

Tabla 4.7: Áreas de cambio de otros de suelo en Huixquilucan, durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

Cambio de uso de suelo	Área de cambio (%)
De Asentamientos humanos a Cuerpos de agua	0.03 (0.65 ha)
De Asentamientos humanos a Tierras forestales degradadas	15.23 (302.66 ha)
De Asentamientos humanos a Zonas agrícolas	3.52 (70.10 ha)
De Cuerpos de agua a Asentamientos humanos	0.03 (0.67 ha)
De Cuerpos de agua a Tierras forestales degradadas	0.04 (0.83 ha)
De Tierras forestales degradadas a Asentamientos humanos	49.64 (986.09 ha)
De Tierras forestales degradadas a Cuerpos de agua	0.06 (1.23 ha)
De Tierras forestales degradadas a Zonas agrícolas	2.74 (54.47 ha)
De Zonas agrícolas a Asentamientos humanos	20.53 (407.85 ha)
De Zonas agrícolas a Tierras forestales degradadas	8.14 (161.72 ha)

Se puede observar cómo los asentamientos humanos fueron la clase que más ganó extensión, con un total de 1394.61 ha (70.21%), mayoritariamente sobre las tierras forestales degradadas (986.09 ha), seguido de las zonas agrícolas (407.85 ha), en donde

la urbanización es el principal factor de cambio, que fue la principal causa en los procesos de cambio para las clases bosque primario degradado y bosque secundario.

Tabla 4.8: Áreas sin cambio (otros usos), durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

Sin cambio (Otros usos)	Área sin cambio (%)
Asentamientos humanos	46.73 (1623.56 ha)
Tierras forestales degradadas	18 (625.55 ha)
Zonas agrícolas	35.25 (1224.79 ha)

El área que menos se modificó son los asentamientos humanos, en donde la superficie total sin alteración de los otros usos de suelo es de 3,473.90 ha (24.58%, del territorio de Huixquilucan).

En la figura 4.13, se observa que en la parte oriente del municipio hay mayor deforestación, mientras que en la parte poniente y centro, domina el proceso de degradación. Por su parte la permanencia forestal está presente en el sur-oriente y norte-centro y los cambios de otros usos se sucedieron en el oriente de Huixquilucan.

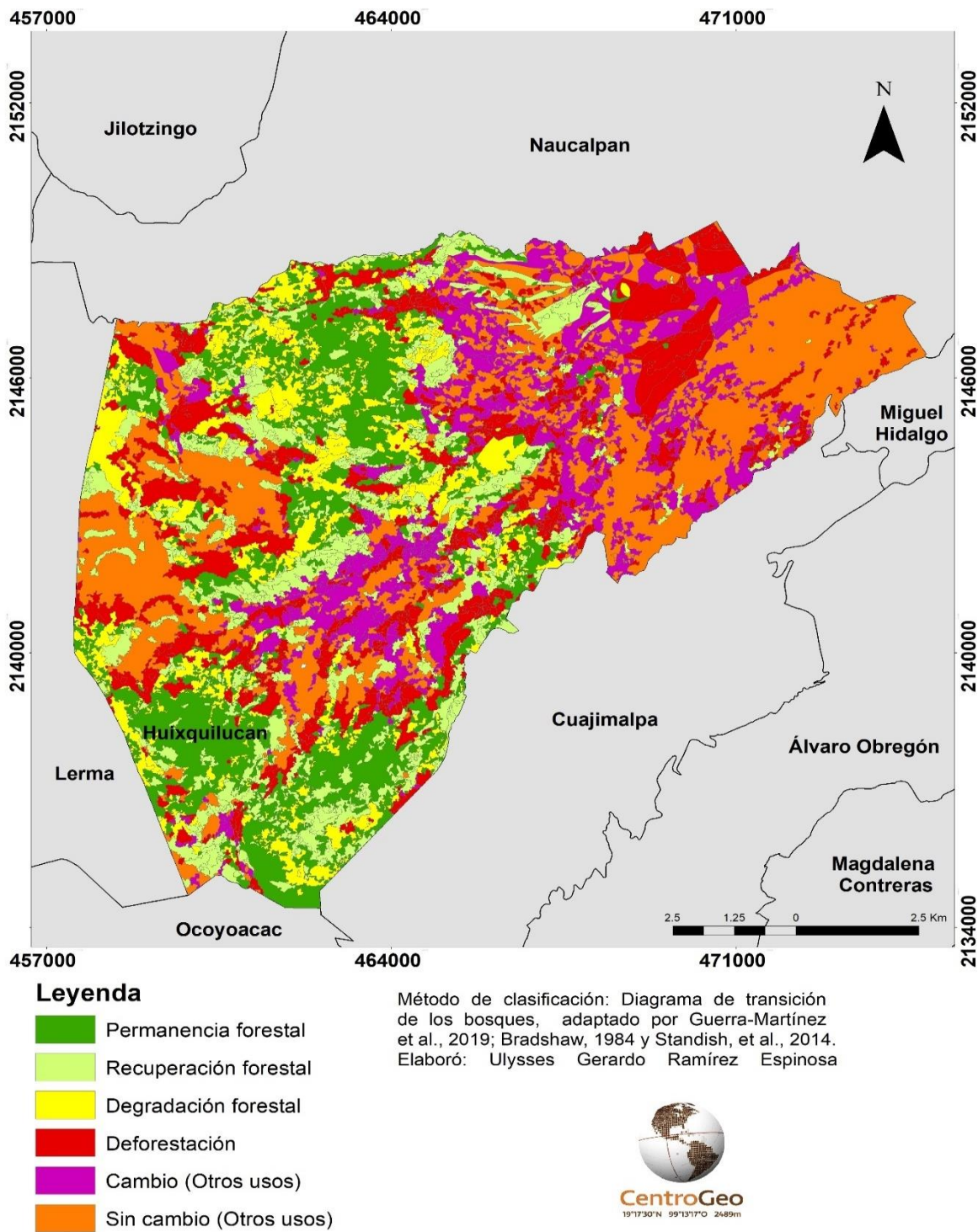


Figura 4.13: Mapa de la matriz de transición del periodo 1988-2006.

El segundo periodo que abarca de 2006-2023 tiene una temporalidad de 17 años, que es un año menos al anterior periodo, alberga los siguientes procesos forestales (Figura 4.14). Hay una reducción de la deforestación (867.13 ha) y un incremento de la recuperación

forestal (2437.13 ha), sin embargo, se presenta un aumento en la degradación forestal (2024 ha) con respecto al anterior periodo.

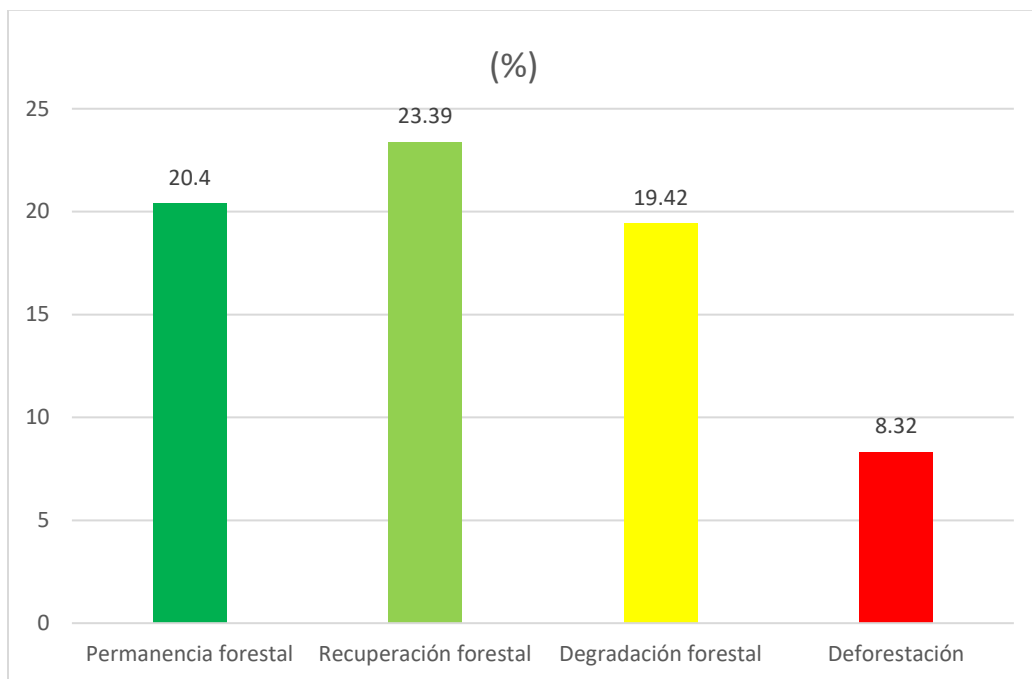


Figura 4.14: Gráfica de procesos forestales del periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

En la figura 4.15 se muestran las causas de deforestación para la clase bosque primario. La pérdida total del bosque primario es de 241.92 ha, donde hay una reducción superior a las 1000 ha, con respecto al anterior periodo, pero para este lapso de tiempo la principal causa de deforestación de dicha clase es por asentamientos humanos (130.10 ha), donde en el anterior periodo la principal causa de pérdida era por zonas agrícolas.

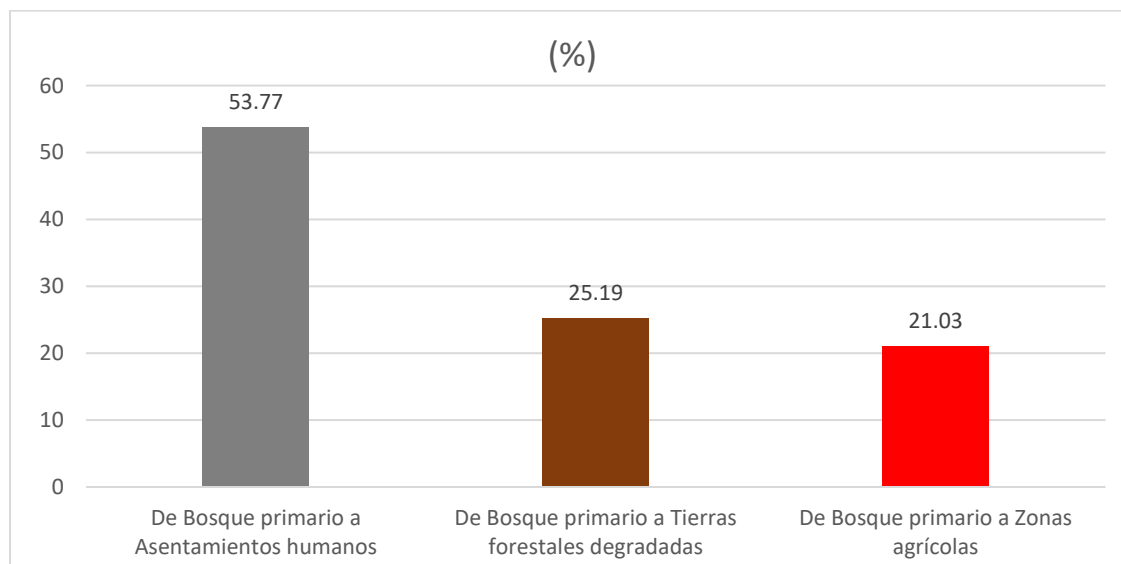


Figura 4.15: Gráfica de deforestación del bosque primario durante el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

En la figura 4.16, se muestran las causas de deforestación para la clase bosque primario degradado. La pérdida total de dicha clase se redujo por encima de las 500 ha (La pérdida total fue de 477.39 ha) con respecto al periodo anterior donde la principal causa de deforestación fue por la conversión a tierras forestales degradadas (234.94 ha) y la principal causa de pérdida forestal de esta clase (2006-2023) fue por asentamientos humanos.

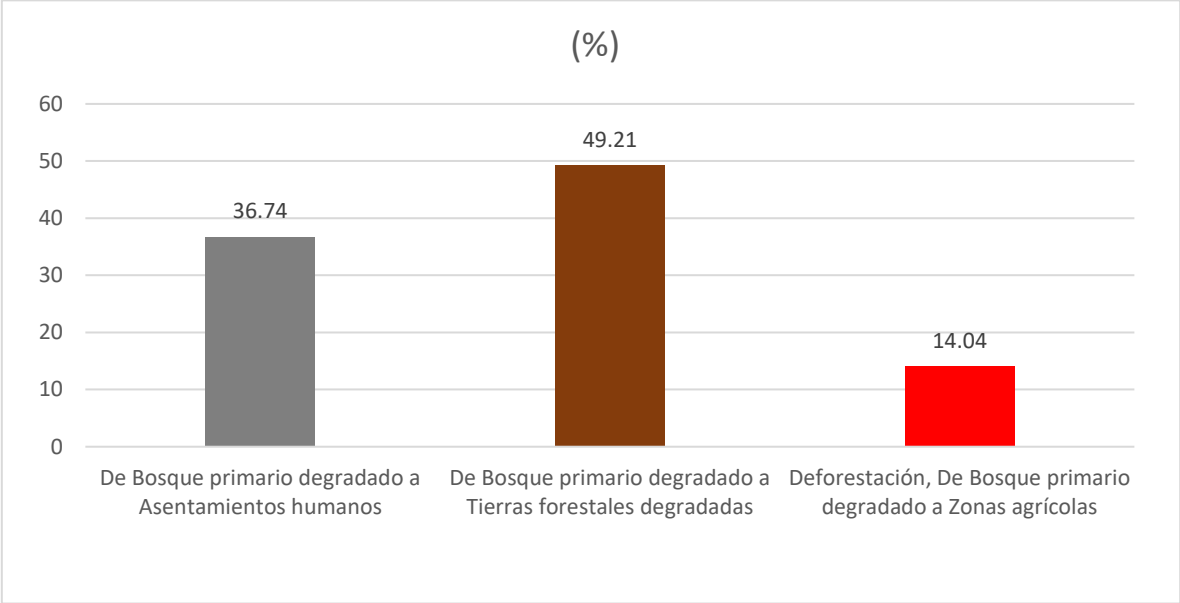


Figura 4.16: Gráfica de deforestación del bosque primario degradado durante el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

En la figura 4.17 se muestran las causas de deforestación para la clase bosque secundario. Al igual que en el bosque primario degradado, la principal causa de la deforestación es el cambio a tierras forestales degradadas (89.08 ha), el cual difiere con la principal causa de pérdida del bosque secundario del anterior periodo que fue por asentamientos humanos, además la pérdida total de este lapso de tiempo fue de 147.79 ha, por lo que hubo una reducción de casi 70 ha, con respecto al periodo anterior.

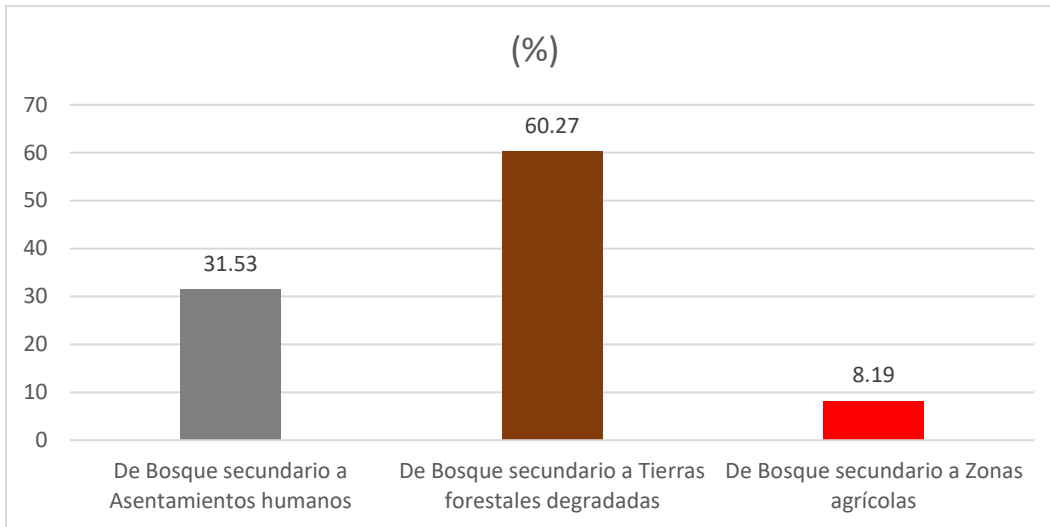


Figura 4.17: Gráfica de deforestación del bosque secundario durante el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

En la figura 4.18 se muestran los procesos de degradación forestal. El cambio de degradación forestal más notorio fue de bosque primario a bosque primario degradado (1150.11 ha), igual que en el anterior periodo, en donde la degradación total de dicha clase fue de 2023. 99 ha.

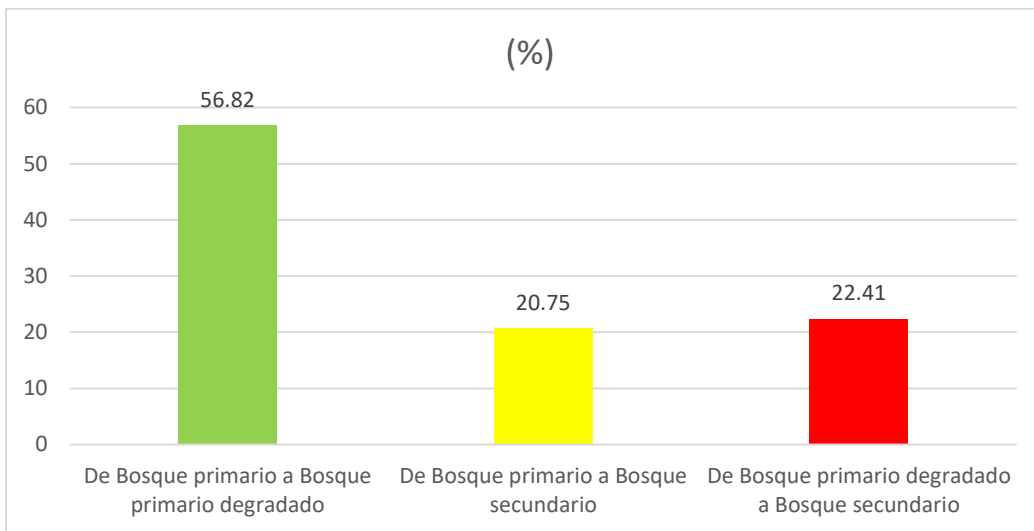


Figura 4.18: Gráfica de degradación forestal durante el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

En la figura 4.19 se muestra la permanencia forestal. La permanencia forestal total fue de 2125.83, que son 300 ha que el anterior lapso de tiempo, donde el bosque primario fue la clase que menos se transformó (1296.20 ha).

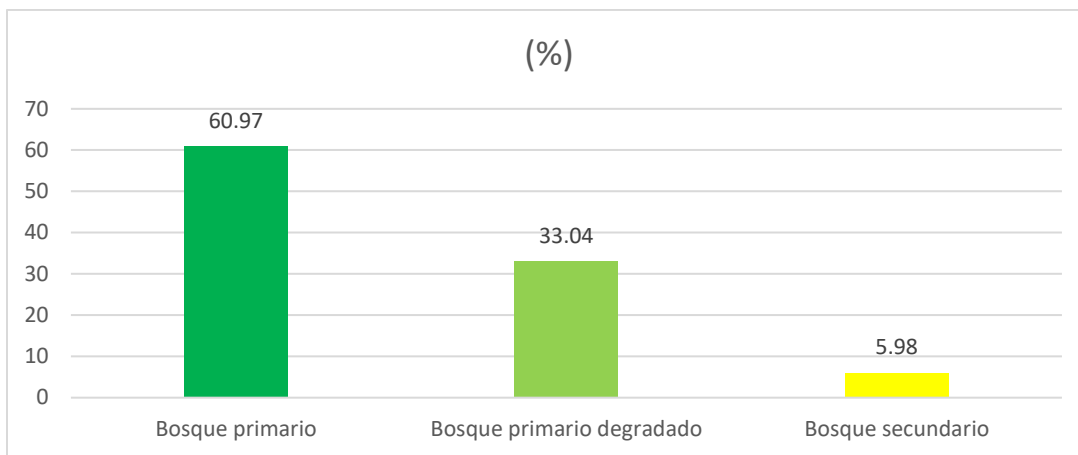


Figura 4.19: Gráfica de permanencia forestal durante el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

En la figura 4.20 se muestran los procesos de recuperación del bosque primario. La recuperación forestal de esta categoría fue por un total de 1568.77 ha, que son 500 ha más con respecto al anterior periodo y principalmente se recuperó desde el bosque primario degradado (855.34 ha), al igual que el anterior lapso de tiempo.

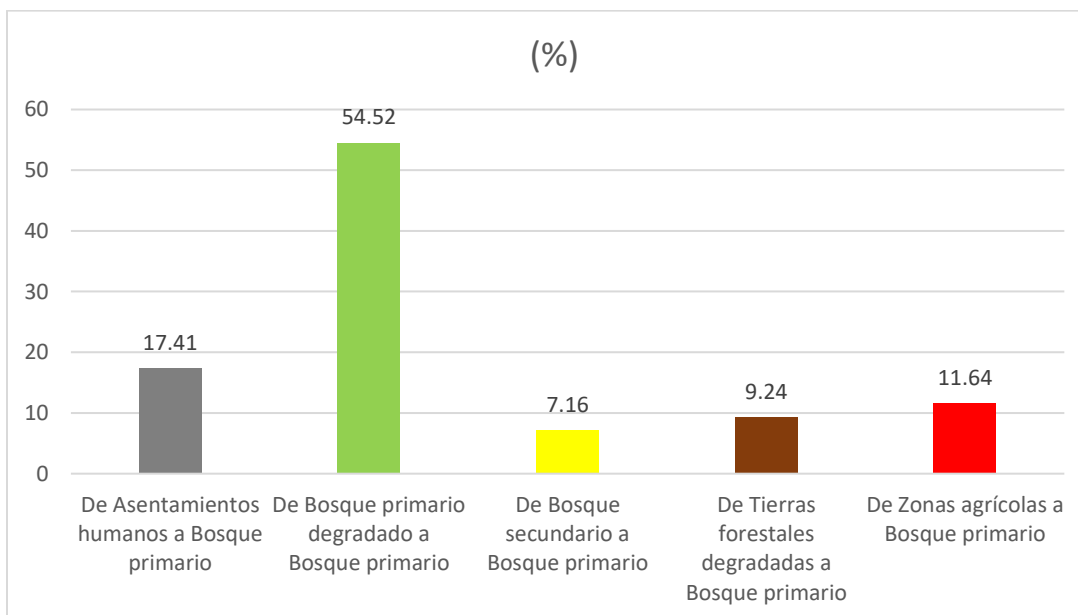


Figura 4.20: Gráfica de recuperación forestal del bosque primario, durante el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

En la gráfica 4.21 se muestran los procesos de recuperación del bosque primario degradado. La recuperación forestal fue por un total de 512.29 ha, ósea poco más de 400 ha, menos, con respecto el anterior periodo, que se da principalmente desde los asentamientos humanos (204.13 ha), lo que difiere con el anterior periodo, cuando fue desde las zonas agrícolas.

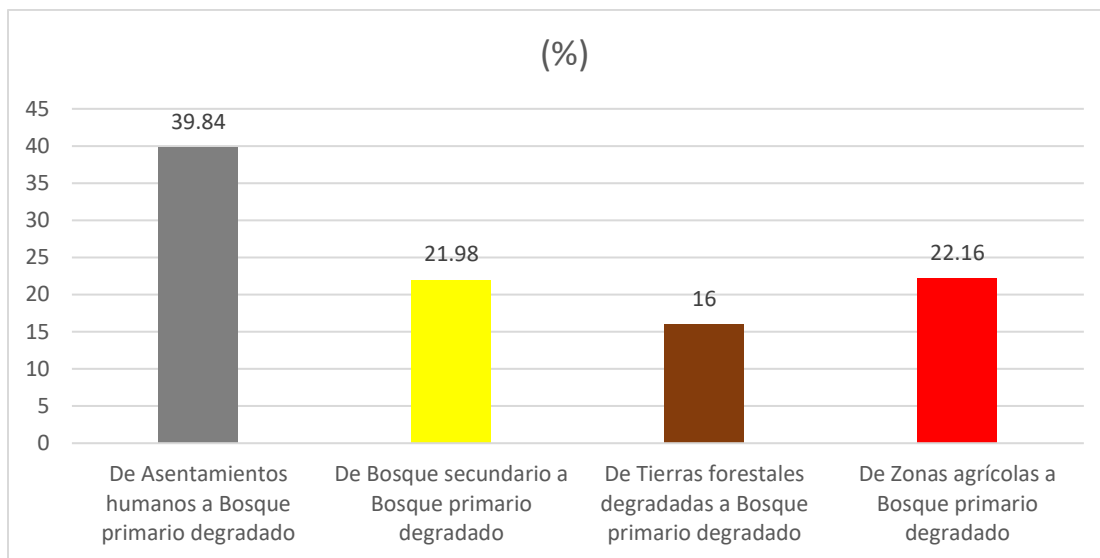


Figura 4.21: Gráfica de recuperación forestal, del bosque primario degradado durante el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

En la figura 4.22, se muestran los procesos de recuperación del bosque secundario. La recuperación total del bosque secundario fue de 356.06 ha, que equivale a casi 200 ha más con respecto al periodo anterior, que se recupera principalmente desde las zonas agrícolas (149.62 ha).

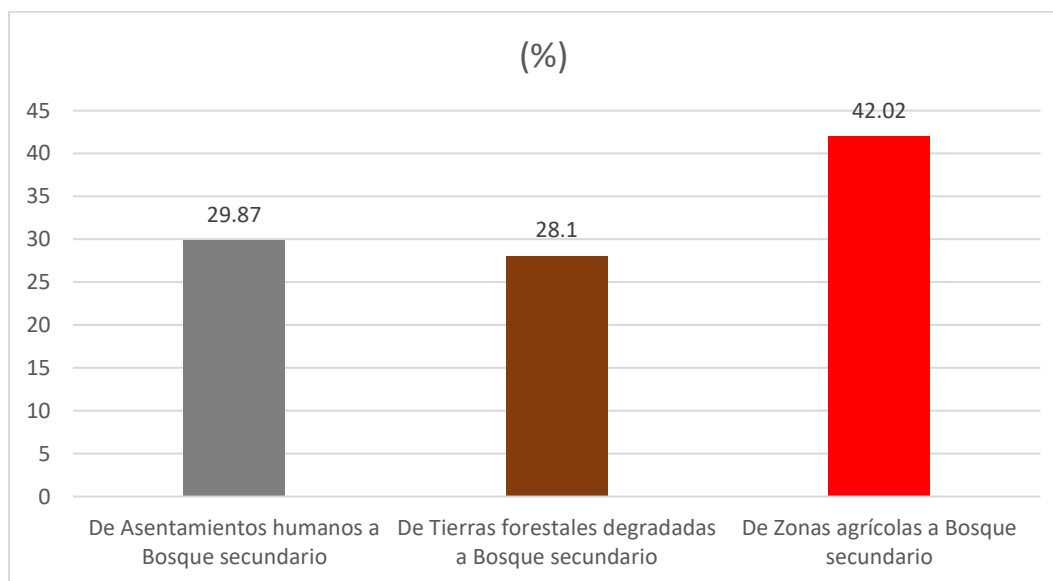


Figura 4.22: Gráfica de recuperación forestal, del bosque secundario durante el periodo 2006-2023 (Elaboración propia).

En la tabla 4.9 se muestran los cambios de las otras clases diferentes a la cobertura forestal y en la tabla 4.10 se muestran las áreas que no presentaron cambios.

Tabla 4.9: Áreas de cambio de otros de suelo en Huixquilucan, durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

Cambio de uso de suelo	Área de cambio (%)
De Asentamientos humanos a Cuerpos de agua	0.26 (5.34 ha)
De Asentamientos humanos a Tierras forestales degradadas	21.55 (441.64 ha)
De Asentamientos humanos a Zonas agrícolas	1.46 (29.97 ha)
De Cuerpos de agua a Asentamientos humanos	0.06 (1.42 ha)
De Cuerpos de agua a Tierras forestales degradadas	0.06 (1.38 ha)
De Tierras forestales degradadas a Asentamientos humanos	32.50 (666.03 ha)
De Tierras forestales degradadas a Zonas agrícolas	4.34 (88.97 ha)
De Zonas agrícolas a Asentamientos humanos	33.04 (677.16 ha)
De Zonas agrícolas a Tierras forestales degradadas	6.68 (136.97 ha)

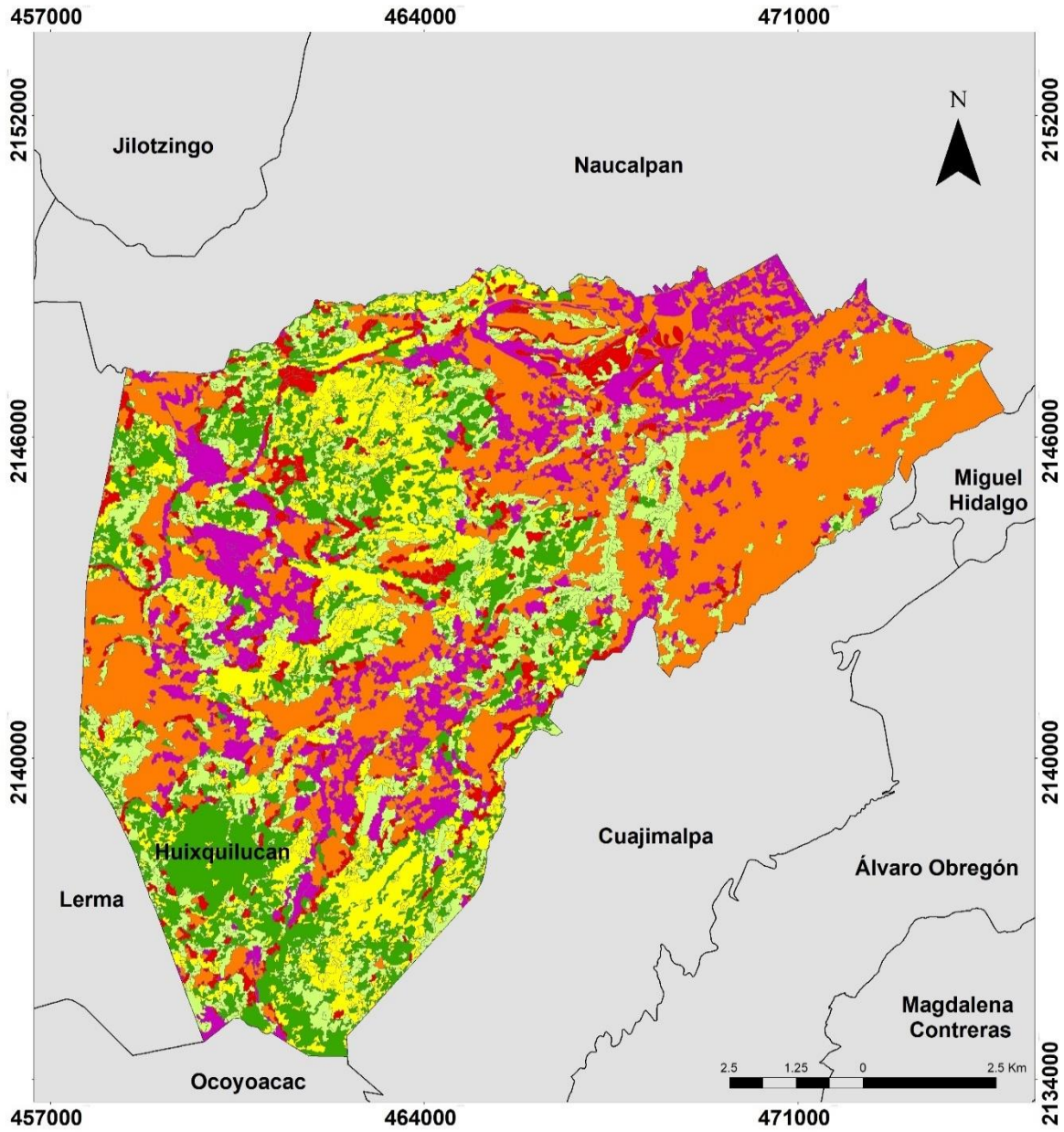
Los asentamientos humanos continúan siendo la clase que más ganó superficie con un total de 1344.61 ha (65.62% del total de áreas de cambio de otros usos de suelo en Huixquilucan), por lo que se observa un incremento de la mancha urbana, que se dio principalmente desde las zonas agrícolas (677.16 ha) seguido de las tierras forestales degradadas (666.03 ha) teniendo un incremento de su área similar al anterior periodo.

Tabla 4.10: Áreas sin cambio de otros de suelo en Huixquilucan, durante el periodo 1988-2006 (Elaboración propia).

Sin cambio (Otros usos)	Área sin cambio (%)
Asentamientos humanos	64.27 (2963.23 ha)
Tierras forestales degradadas	14.16 (652.91 ha)
Zonas agrícolas	21.55 (993.87 ha)

Se observan resultados similares al periodo anterior, en que el área total sin alteración de los otros usos de suelo es de 4,610.03 ha (32.66%, del territorio de Huixquilucan). Destaca que las zonas agrícolas tuvieron una reducción de casi 300 ha y las tierras forestales degradadas se mantuvieron prácticamente igual.

En la figura 4.23 se observa que la permanencia forestal se localiza en el sur-ponente del municipio, mientras que las zonas donde hay mayor recuperación forestal están dispersas por todo Huixquilucan, excepto en el extremo oriente del territorio. Se observa una mayor presencia de degradación forestal en el centro y sur del municipio, así como una menor presencia de la deforestación.



Leyenda

- Permanencia forestal
- Recuperación forestal
- Degradación forestal
- Deforestación
- Cambio (Otros usos)
- Sin cambio (Otros usos)

Método de clasificación: Diagrama de transición de los bosques, adaptado por Guerra-Martínez et al., 2019; Bradshaw, 1984 y Standish, et al., 2014.
 Elaboró: Ulysses Gerardo Ramírez Espinosa



Figura 4.23: Mapa de la matriz de transición del periodo 2006-2023.

4.2 Relación de resultados con respecto a la propiedad social

En la figura 4.24, 3 de los 4 ejidos de Huixquilucan al estar en el oriente del municipio presentan un alto grado de degradación forestal, debido a su cercanía con la CDMX, por lo que tienden a deforestarse y posteriormente se urbanizan.

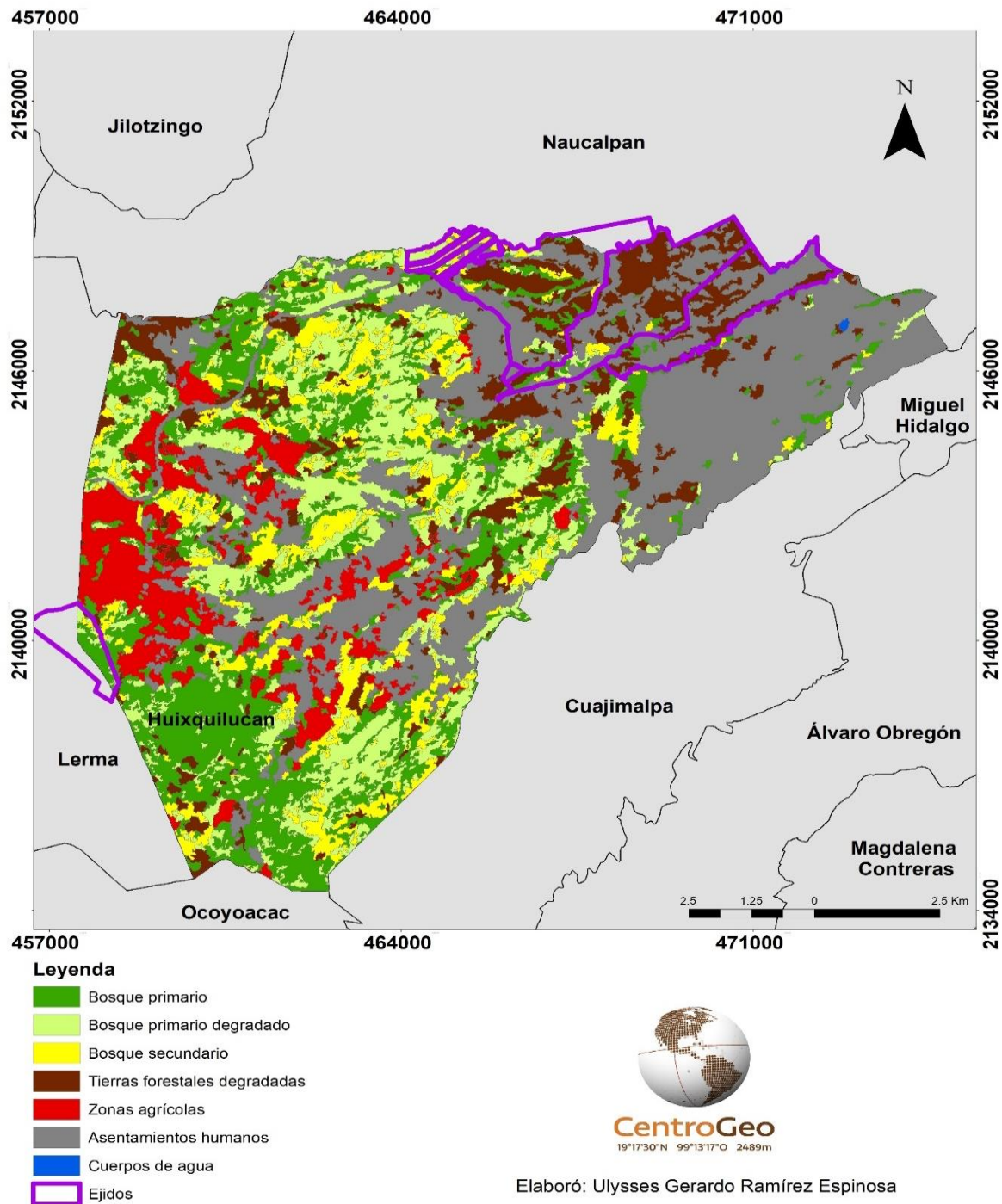


Figura 4.24: Mapa de los ejidos de Huixquilucan (Registro Agrario Nacional, 2023).

Los 3 ejidos al oriente del municipio que son; San Bartolomé Coatepec, San Cristóbal Texcalucan y La Magdalena Chichicarpa, están constituidos de bosque degradado (Bosque primario degradado y Bosque secundario), Tierras forestales degradadas y Asentamientos humanos, por ende, el incremento de la urbanización en aquella zona del municipio ha perjudicado la cobertura forestal.

Derivado de la reforma de la Ley Agraria de 1992, que llevo a la fragmentación individual de la propiedad ejidal y comunal y a la posibilidad de su compra-venta en el mercado privado (Pradilla, 1992). En 1994 el empresario Pablo Funtanet visualizó en el ejido de San Cristóbal Texcalucan un lugar ideal para el proyecto residencial Bosque Real, por lo que convenció a los ejidatarios a aceptar la oferta que superaba el millón de pesos para cada uno de los 100 compañeros. El precio de la primera venta fue de \$75 el metro cuadrado (Revista Expansión, 2006), por lo que para futuras investigaciones valdría la pena cuestionarse: ¿Qué los llevó a vender las tierras? ¿Probablemente como no obtenían ningún beneficio económico por parte de sus tierras, la venta de las mismas se dio porque vieron una oportunidad de obtener dinero de una manera fácil y rápida?

Caso contrario con el ejido de San Miguel Agua Bendita, que se encuentra al extremo poniente de Huixquilucan que incluso abarca parte del territorio del municipio vecino de Lerma, al estar alejado de la mancha urbana de la CDMX, se observa que la parte que está dentro del territorio de Huixquilucan esta mayormente ocupado por bosque en donde incluso se puede observar que abunda más el bosque primario sobre las otras clases forestales.

De los usos comunales no se encontraron polígonos de su delimitación por fuentes fidedignas, pero de acuerdo al trabajo de Salazar (2013), la localización es el principal factor que permitió la construcción de desarrollos inmobiliarios que están asociados a las características paisajísticas de la zona, así como el costo del terreno que en un principio era ejidal y que con el paso del tiempo la especulación del valor del suelo es importante para los desarrolladores inmobiliarios.

Capítulo 5. Discusión y propuestas de conservación

5.1 Dinámica de la cobertura del bosque templado

Se observa un incremento de los asentamientos humanos y una reducción de la cobertura forestal, que se caracterizó por el proceso de deforestación (2577.46 ha) del bosque templado, mientras que, en contraparte para el segundo periodo el proceso de recuperación forestal (2437.13 ha) estuvo presente en mayor medida, donde una vez urbanizado, ese espacio es ocupado por la población que demanda vivienda, pues en las últimas dos décadas del siglo XX, es cuando hubo un incremento poblacional a los 100,000 habitantes (Ver capítulo 2).

Pese a que la superficie forestal para el año 2023 se incrementó poco más de un 9% (6607.80 ha) en comparación con el año 2006 (6072.86 ha) el estado de conservación del bosque se redujo poco más de un 7% (De bosque primario a Bosque primario degradado).

Tales cifras de disminución de la deforestación, se acercan a las tendencias generales de disminución de la cobertura forestal a nivel nacional pues de acuerdo con la FAO (2005) la pérdida anual de cobertura forestal en México en el periodo 1990-2000 fue del 0.5%, aunque en Huixquilucan el porcentaje de deforestación fue mayor y para el periodo 2000-2005 disminuyó 0.4%, cuando empezó el siglo XXI, la pérdida arbórea en la zona de estudio comenzó a decrecer, ya para el año 2021 la tasa de deforestación en México se redujo 25.94% (CONAFOR, 2022), que coincide con el desaceleramiento de la deforestación en Huixquilucan.

Las posibles causas de la disminución en la caída de las tasas de deforestación de acuerdo con Kaimowitz (2008), se deben a que la mayor parte de los bosques que quedan están en lugares con pendientes pronunciadas, suelos pobres o exceso de lluvias.

Otra posible causa de disminución de la deforestación son las acciones gubernamentales, como es que la SEMARNAT (2022) ha promovido un modelo de manejo integrado de políticas públicas con un enfoque territorial para reestructurar y reducir las presiones que existen sobre los ecosistemas forestales en donde el Estado de México es una de las entidades pioneras, que se basa en seis ejes que son: 1. Acciones de prevención; 2. Inspección y verificación; 3. Inteligencia; 4. Judicialización de casos; 5. Acompañamiento social y 6. Revisión del marco jurídico.

Adicionalmente a la promoción del modelo de manejo integrado de SEMARNAT, existen esfuerzos estatales y locales que se han implementado, pues de acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Huixquilucan (Gobierno del Estado de México y Gobierno municipal de Huixquilucan, 2017), al interior del Municipio se localizan cinco Áreas Naturales Protegidas, cuatro por Decreto Estatal y una por Decreto Federal.

El parque nacional es el siguiente:

- Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla (La Marquesa). Decretado en el año de 1936, se encuentra ubicado al Surponiente del Municipio, en la colindancia con el Municipio de Ocoyoacac, de las cuales 204 ha se ubican en el Municipio de

Huixquilucan. Plantea acciones de vigilancia comunitaria, prevención, control y combate de incendios junto con la CONAFOR, así como la protección contra especies exóticas, plagas y enfermedades (Programa de manejo Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, 2019) (Figura 5.1).

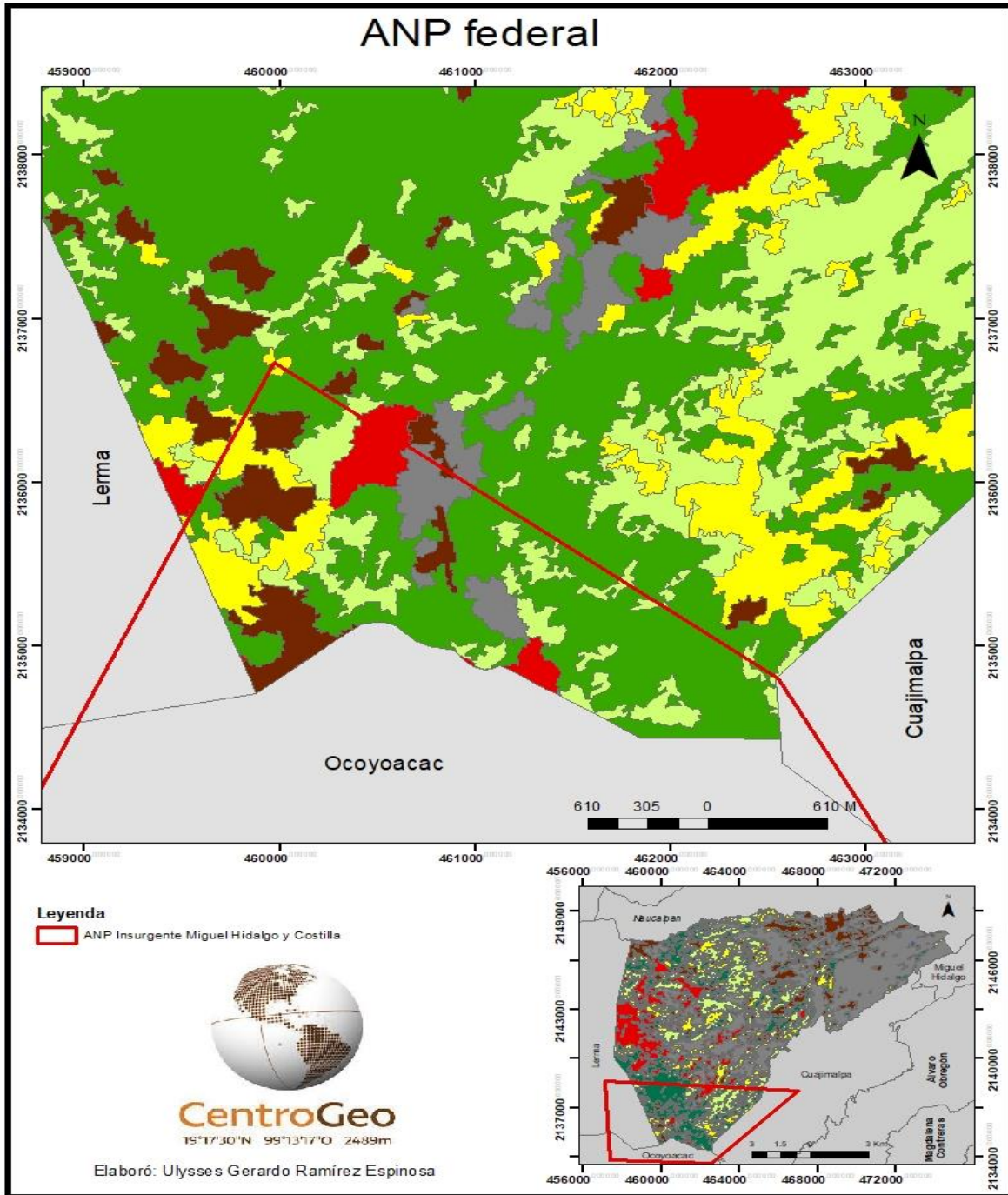


Figura 5.1: Localización en Huixquilucan del Parque nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla (La Marquesa) (Fuente: Comisión Nacional de Áreas naturales Protegidas, 2024).

De los parques estatales tenemos:

- Parque Estatal Otomí – Mexica. Decretado en el año del 2016, está localizado al Poniente del Municipio y su superficie comprende 6,929 ha del Municipio de Huixquilucan. Plantea acciones donde prohíbe el cambio y ocupación del uso de suelo, regulación de servicios turísticos, introducir especies exóticas, aprovechamiento de los recursos de forma sustentable y personal de vigilancia por parte del ANP de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y de la Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México (PROPAEM) (Gaceta del Gobierno del Estado de México, 2016).
- Santuario del agua y forestal subcuenca tributaria San Lorenzo. Decretada en el año 2018, en Huixquilucan ocupa una superficie de 739 ha, tiene como objetivo contribuir al desarrollo ambiental sustentable, mediante acciones de protección, recuperación, conservación y aprovechamiento racional de los recursos naturales, con la finalidad de mantener el equilibrio ecológico, los servicios ambientales y propiciar una mejora en la calidad de vida de la población local (Gaceta del gobierno del Estado de México, 2018), en donde estas áreas naturales protegidas en la figura 5.2, se muestra su ubicación dentro de Huixquilucan.

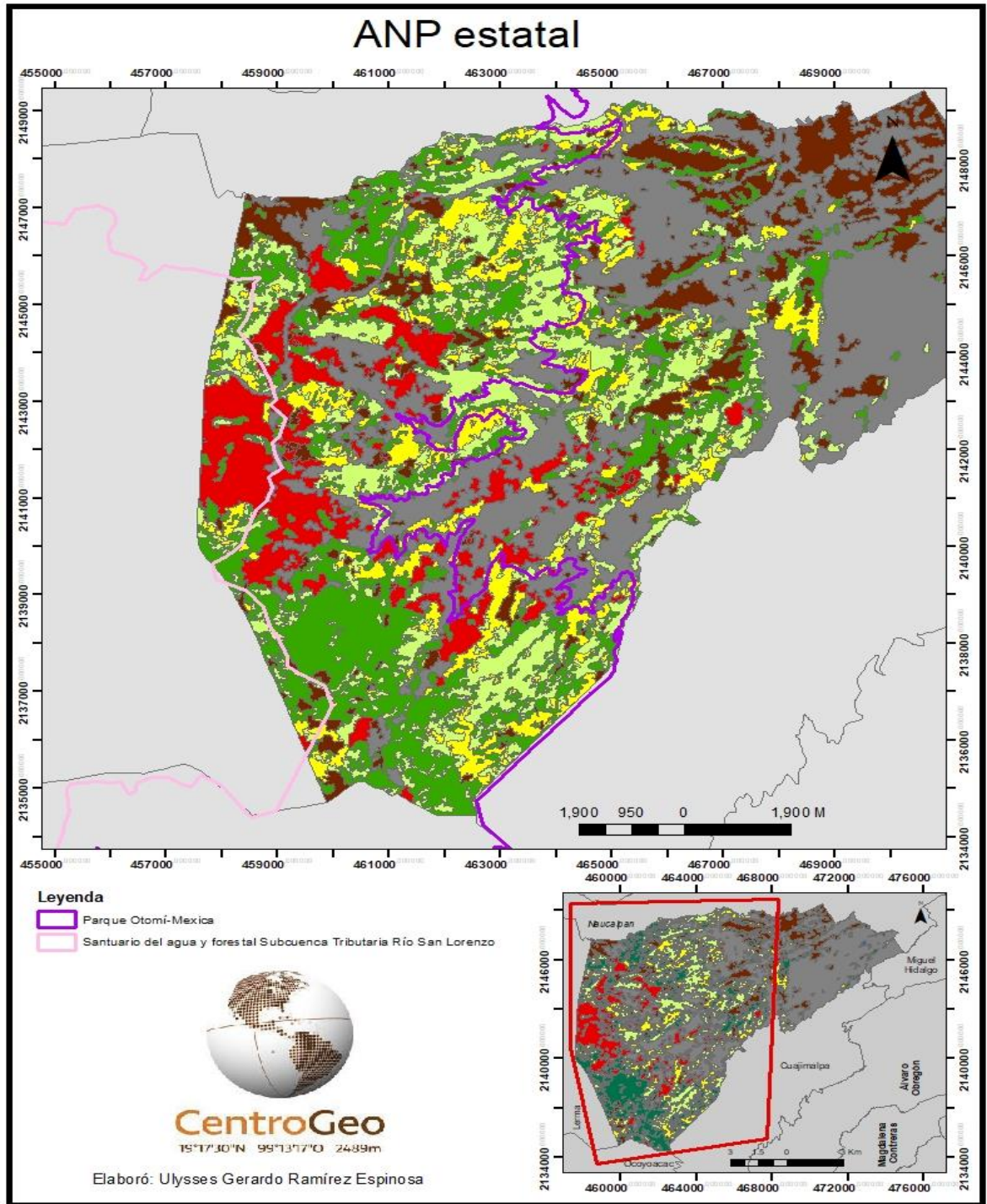


Figura 5.2: Localización en Huixquilucan del Parque Estatal Otomí – Mexica y del Santuario del agua y forestal subcuenca tributaria San Lorenzo (Fuente: Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, 2020).

Se muestran las otras dos áreas naturales protegidas estatales en Huixquilucan que son dos sistemas de barrancas:

- Barranca Río la Pastora, Río San Joaquín y Río de la Loma. Decretada como área natural protegida desde el año de 1994, se localizan en la zona urbana del Municipio, en la parte oriente, conformada por tres barrancas con un total de 129 hectáreas. Contiene un instrumento de planeación, normativo y operativo que permite establecer acciones para la protección, conservación, manejo y desarrollo sustentable de los recursos naturales, mediante el desarrollo de acciones de prevención, vigilancia, control y restauración, con el fin de evitar nuevas perturbaciones a sus procesos ecológicos. Mediante la recuperación de los ecosistemas y sitios deteriorados por actividades humanas, a través de la rehabilitación y restauración ecológica de corredores rivereños, de vías de drenaje y sitios deforestados o contaminados (Gaceta del Gobierno del Estado de México, 2011).
- Barranca del Huizachal, Barranca Arroyo Santa Cruz y Barranca Arroyo Plan de la Zanja, decretadas como ANP y binadas en el contexto territorial del Municipio de Naucalpan de Juárez y Huixquilucan de Degollado, Estado de México, representan a nivel regional elementos vitales importantes para los asentamientos humanos que viven en entornos adyacentes a las mismas. Además, es urgente la instrumentación y ejecución del Programa de Conservación y Manejo, actualmente estas barrancas ocupan una superficie reducida, están confinadas entre ambientes urbano hay fragmentación del hábitat, los escurrimientos temporales en sus cauces contienen residuos líquidos y sólidos, hay disposición inadecuada de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos (algunos son peligros S); además, por estar localizadas en una zona con altas presiones urbanas, las especies vegetales y animales son vulnerables a los impactos provocados por las actividades antrópicas y la infraestructura del crecimiento urbano (Gaceta del gobierno del Estado de México, 2013), en la figura 5.3, se muestran los dos sistemas de barrancas.

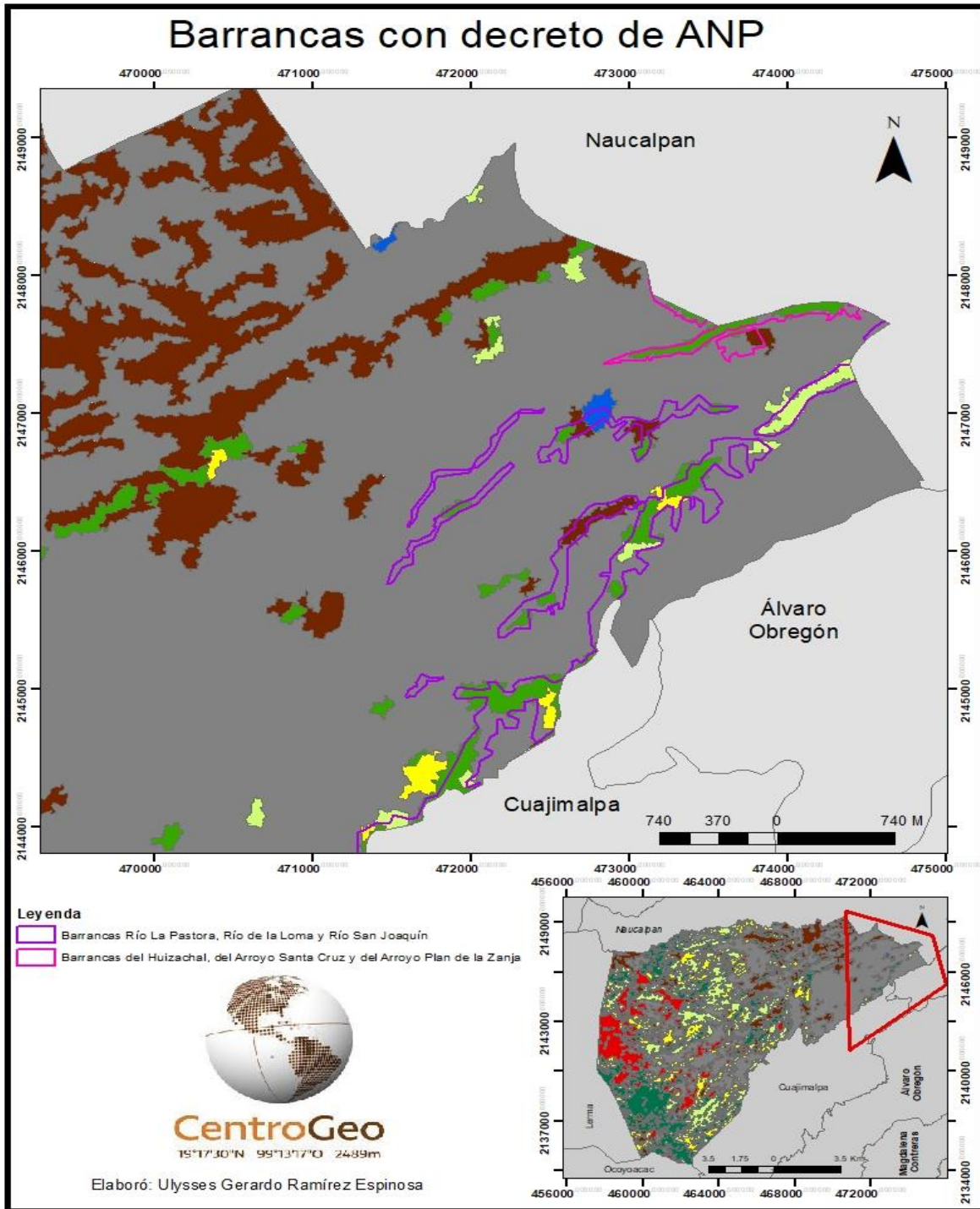


Figura 5.3: Localización en Huixquilucan la Barranca Río la Pastora, Río San Joaquín y Río de la Loma y la Barranca del Huizachal, Barranca Arroyo Santa Cruz y Barranca Arroyo Plan de la Zanja (Fuente: Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, 2020).

Otra posible causa de desaceleramiento de la mancha urbana es el encarecimiento de la vivienda pues las inmobiliarias lo ofrecen a personas de ingresos medios y altos, en donde

para el año 2013 las viviendas tenían un costo promedio de unos 4 millones 150 mil pesos (Salazar, 2013) y para finales del 2022 estas se incrementaron a más de 12 millones pesos, donde hubo un incremento mayor al 25% en comparación con inicios del mismo año, convirtiéndose en el municipio del Estado de México donde más subió el precio de los inmuebles (Cantera, 2022).

En este trabajo de tesis no solo se midió la superficie forestal, sino que también se cuantifico la cobertura del dosel de los bosques, al igual que el trabajo de Santibáñez *et al.* (2023) para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) solo que la presente investigación se realizó con una mejor resolución espacial para el área de estudio por lo que se pudo observar que, aunque haya habido un incremento de la masa forestal la degradación de la misma se incrementó.

Cuando un ambiente forestal se degrada significa que aún existe pero ya no funciona bien, debido a que se transforma en una versión reducida de lo que solía ser y su salud disminuye hasta que ya no puede proveer servicios ecosistémicos de calidad (Hancock, 219), cómo es la absorción de gases de efecto invernadero no es la adecuada pues de acuerdo con Kanninen (2003) la absorción de carbono esta entre los 60 y 230 ton C/ ha en bosques primarios y para los bosques secundarios esta disminuye a un rango entre 25 y 190 ton C/ ha, por lo que es fundamental que la masa forestal tenga un buen estado de conservación.

En la figura 5.4, se observa que en las últimas dos décadas la capital del país perdió población mientras que en contraparte Huixquilucan tuvo su mayor crecimiento poblacional (Ver capítulo 2) y en las primeras dos décadas del nuevo milenio la CDMX implementó políticas de repoblamiento, por lo que hubo una recuperación en el número de habitantes (Gobierno del Distrito Federal, 2013), donde en Huixquilucan comenzó el desaceleramiento poblacional. Hay una relación entre el comportamiento del poblamiento y los ciclos de densificación-expansión-densificación que han explicado el crecimiento urbano de la ZMCM (Duhau, 1998), pues primero se da un proceso de expansión del espacio urbano, seguido de la etapa de densificación poblacional, que en este caso provenían de la CDMX y migraron hacia Huixquilucan.

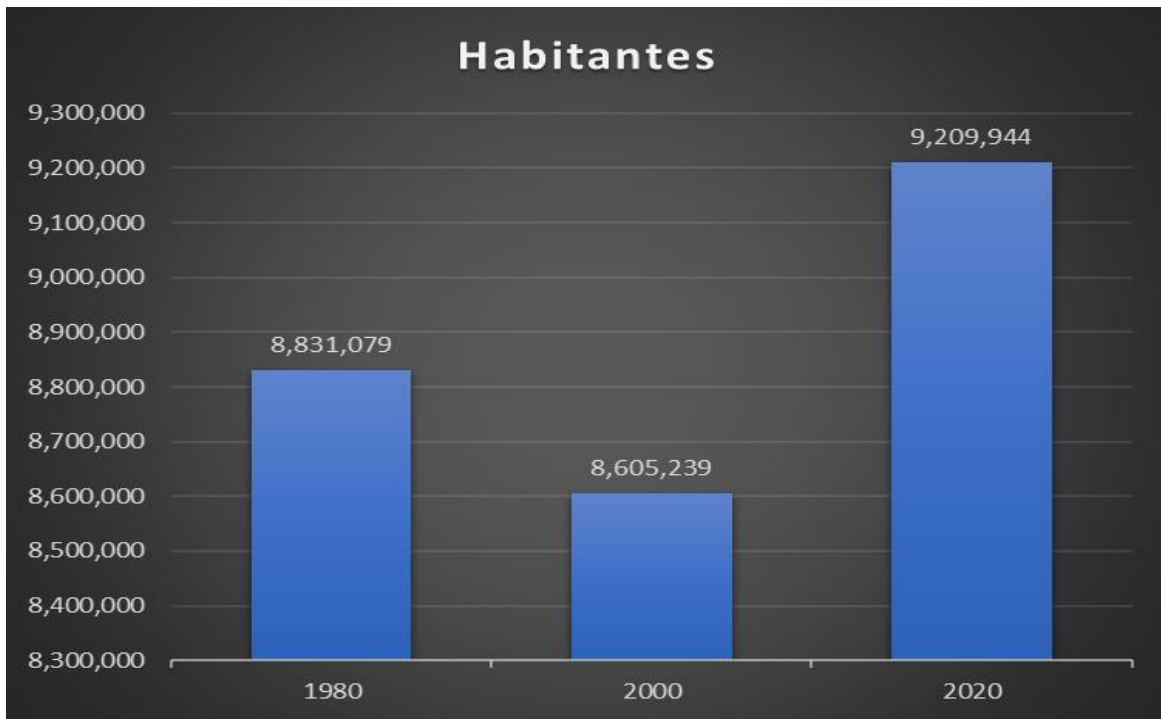


Figura 5.4: Gráfica del número de Habitantes de la CDMX de 1980 al 2020 (Fuente INEGI, 1986; 2000 y Secretaria de Desarrollo Económico de la CDMX, 2020).

5.2 Aproximación geoespacial

Al cuantificar la cobertura forestal con imágenes de satélite a una resolución espacial a 10 m, que se refiere al objeto más pequeño que puede ser registrado por un sensor (Satélite) y posteriormente detectado en una imagen por el intérprete, siendo este el factor que condiciona la unidad mínima cartografiada que va a ser representada en el mapa (Marquina y Mogollón, 2017), en este caso fue de 0.5 ha, pues de acuerdo con la FAO (2009) para que un conjunto de árboles puedan ser considerados un bosque deben de tener una extensión mínima de 0.5 ha, por lo que la resolución espacial empleada es perfecta para medir las coberturas forestales.

Se trabajó con imágenes SPOT 1 y 5 y SENTINEL-2, debido a que las imágenes de satélite que proporcionan son de acceso libre y otras plataformas son de disposición restringida o ya tienen un uso comercial para las imágenes actuales como es el caso de las imágenes SPOT 6, que a partir del año 2016 y hasta la actualidad ya no tiene imágenes con disponibilidad abierta (SWH, 2024).

Actualmente, hay nuevos métodos para estimar la fracción de la cobertura forestal que son más precisos al que fue empleado en la presente investigación (Ver Capítulo 3) como los clasificadores no paramétricos de decisión como es el Fuzzy, que permite hacer un análisis sub-píxel de la imagen (Rullan, 2011), por ejemplo, el estudio de Garfias *et al.*, (2012), utilizaron el método Fuzzy no solo para estimar la fracción de la cobertura sino que además identificaron que especies arbóreas que hay en una determinada zona.

Por lo que se tuvo que emplear del método que data de finales del siglo XX debido a que las imágenes de satélite de 1988 (SPOT 1) y 2006 (SPOT 5) al ser más antiguas no se puede emplear la nueva metodología pues solo tienen bandas R e NIR por lo que la imagen SENTINEL-2 (2023) al ser una imagen reciente si se le puede aplicar las nuevas metodologías para obtener datos más confiables.

Es importante señalar que la investigación ha permitido plantear nuevas preguntas de investigación y nuevos objetivos para desarrollarlos en posteriores proyectos. Uno de ellos se refiere al modelaje de escenarios futuros sobre la dinámica forestal, donde se le pueden agregar índices biogeográficos y socioeconómicos para conocer cuáles son los impulsores de la deforestación y de cambio de uso de suelo para ver como estos influyen en la provisión de servicios ecosistémicos (Figuerola *et al.*, 2021) a su vez este tipo de modelos también servirán para poder hacer estimaciones de la captura de CO² y la emisión del mismo debido a la deforestación.

No hay mejores escalas geográficas de trabajo todo depende del objetivo que tiene cada proyecto pues el trabajo de Santibáñez *et al.* (2023) pese a no hacer una cuantificación exacta de la cobertura forestal abarcó un área de estudio extensa como es la ZMCM y la presente tesis se enfocó a solo un municipio que hay dentro de dicha zona metropolitana, pero se logró generar cartografía, se sugiere trabajar en un futuro a escalas más específicas y con el apoyo de trabajo de campo se obtengan nuevos datos.

La cartografía generada al ser la adecuada para cuantificar la dinámica forestal se puede trabajar a cualquier escala geográfica dentro de Huixquilucan como ejidos, zonas comunales, entre otros, debido a que se puede representar a una escala cartográfica máxima de 1:15,000 (Marquina y Mogollón, 2017).

Las imágenes SPOT (1988 y 2006), al solo poseer bandas R e NIR solo se pueden trabajar con el método empleado para estimar su fracción de la cobertura, pero la imagen SENTINEL-2 (2023), al ser una imagen reciente se le podrían aplicar las nuevas metodologías para hacer una mejor clasificación como es la de subpíxel solo que en la presente investigación no se trabajó con dichos métodos para el año 2023, debido a que como se iba a emplear otra metodología no se podrían comparar los resultados con los otros años trabajados.

5.3 Propuestas de conservación y restauración forestal

La planificación requiere soluciones de problemas orientados a resultados con una perspectiva a mediano y largo plazo y con un pensamiento holístico (Wheeler, 2016) por lo que se propone emplear Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE), que es definida como la utilización de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, que integra el manejo sostenible, la conservación y la restauración de ecosistemas para proveer beneficios ambientales a las personas. Su propósito es mantener y aumentar la resiliencia de los ecosistemas y la población que en ellos habitan (Lhumeau y Cordero, 2012).

Con ello se busca preservar y restaurar la masa forestal de Huixquilucan, para que se garanticen los servicios ecosistémicos que dan a la sociedad y se evite la deforestación, que desencadena la emisión de CO² a la atmosfera debido a que las cubiertas vegetales son reservorios de carbono y la tala propicia la emisión de dicho gas (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2006).

Dentro de la formulación de políticas públicas y gestión ambiental la restauración de los ecosistemas ayudará a potencializar sus servicios ambientales debido a que son fundamentales para el bienestar humano (Balvanera, 2012), su óptimo funcionamiento no solo va a beneficiar a la población local, sino también a los habitantes de las demás localidades adyacentes a Huixquilucan.

Se propone tomar como base el manual básico de prácticas de reforestación de la CONAFOR (2010) en una reforestación rural ya que esta se desarrolla en superficies forestales degradadas (bosque primario degradado y bosque secundario) o potencialmente forestales donde originalmente existían bosques (tierras forestales degradadas), el cual señala que esto ayudará a tener los siguientes beneficios:

- 1- De conservación: Ayuda a los terrenos en descanso a acelerar su tránsito hacia etapas más avanzadas y de más alta productividad.
- 2- De Protección y restauración: Este tipo de reforestación se establece con el propósito de proteger y contribuir a la estabilización y restauración de terrenos donde existen fuertes problemas de pérdida de vegetación y erosión de suelo.
- 3- Agroforestal: Plantación en la que los árboles se cultivan intencionalmente en la misma unidad de tierra junto con cultivos agrícolas, frutícolas, hortícolas o con pastizales, con la intención de diversificar la producción y aprovechar los beneficios económicos y ecológicos que brindan los árboles y la cobertura de los cultivos. Debido a la asociación de usos y especies, este tipo de plantación ofrece múltiples beneficios al mismo tiempo que protege y mejora el medio ambiente.
- 4- Productiva: Tiene como finalidad la obtención de productos de calidad en gran cantidad destinados a la actividad económica, ya sea industrial, comercial, artesanal, ornamental, medicinal, energética o alimentaria.

El sector ejidal forma parte importante de esta estructura productiva, ya que participa tanto en la producción de autoconsumo como en la destinada al mercado local y que da empleo a los pobladores rurales, de aquí que se considere que ésta es una frontera rural cuya conservación es importante. Su urbanización depende del vigor económico del sector agrario (sobre todo ejidal). De aquí que el fortalecimiento de las actividades agropecuarias del sector ejidal pudiera representar una forma de contención a la expansión de la mancha urbana (Cruz, 2001). Con ello se plantea que los ejidos incorporen la agricultura para contener el crecimiento de la mancha urbana y mejorar su desempeño productivo, se busca que se desarrollen en tierras forestales degradadas, bosque secundario y bosque primario, para que no haya la necesidad de deforestar para cultivar.

La Adaptación basada en comunidades (AbC), que se define como un proceso liderado por las comunidades, basado en sus necesidades, prioridades, conocimientos y capacidades, que debe conducir a su empoderamiento de planificar (Reid *et al.*, 2009), se encarga de

que la población local sea la responsable de preservar sus ambientes forestales para que sean conscientes de que estos les traen beneficios tanto ecológicos y económicos a largo plazo, debido a que las políticas de urbanización de Huixquilucan desde las década de los 80's del siglo pasado se hicieron desde la cúspide del poder pues el gobierno federal y los gobiernos estatales de la Ciudad de México y el Estado de México no tomaron en cuenta a los habitantes locales, por tal razón, esto resultó en la pérdida y degradación de los beneficios ecológicos y económicos de los bosques templados del municipio.

Debido a que la comprensión de los problemas por parte de la población es fundamental para la promoción de la equidad a través de la participación pública en la toma de decisiones políticas que rigen la calidad ambiental (Hampton, 1999).

Por lo que las medidas de reforestación y conservación propuestas anteriormente deberían de hacer que los pobladores locales sean los encargados de gestionar sus recursos forestales, se propone complementarlo con el Pago por Servicios Ambientales (PSA) que es un instrumento de política pública diseñado para frenar el deterioro y proteger los ecosistemas naturales al asignarles un valor económico (Ortiz *et al.*, 2015).

El PSA ha resultado ser un instrumento efectivo para ralentizar la tasa de deforestación, pues aborda el antagonismo existente entre los intereses económicos relacionados con actividades productivas y la salvaguarda de los recursos naturales al promover que los usos de suelo orientados a la conservación (Wunder *et al.* 2008; Ten Brink 2011).

Se busca que aquellos sujetos que manejan la tierra reciban un incentivo directo que les motive a considerar la conservación de los ecosistemas entre sus usos rentables; desde una perspectiva social esto daría como resultado mejores usos del suelo que si tales pagos no tuvieran lugar (Wunder *et al.*, 2007), ya que, al tener un ingreso económico seguro a largo plazo, podría ayudar a que los ejidatarios y comuneros del municipio no las vendan a los empresarios.

Para que los pobladores tengan un ingreso extra por la preservación de sus recursos naturales se propone que lo aprovechen mediante el ecoturismo que es definido como los viajes ambientalmente responsables a los espacios naturales con el fin de disfrutar y apreciar la naturaleza (y cualquier elemento cultural, tanto pasado como presente) que promueva la conservación, produzca un bajo impacto de los visitantes y proporcione la activa participación socioeconómica de la población local (International Union for Conservation of Nature, 1997).

El ecoturismo ayuda a detonar el desarrollo sustentable, mejorar las condiciones de vida de la población y conservar los ecosistemas naturales (De la Maza *et al.*, 2015), donde este tipo de actividades se podrían realizar en las ANP estatales y federales del municipio.

La protección del medio natural mediante estos dos enfoques parte para que haya un manejo adecuado de los recursos naturales, debido a que tienen como propósito mantener y aumentar la capacidad de adaptación y reducir la vulnerabilidad del medio físico y las personas (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009).

5.4 Conclusiones

El municipio de Huixquilucan ha experimentado un proceso de urbanización que en los últimos 35 años ha repercutido en una serie de cambios de uso de suelo, en la hipótesis de trabajo se señala que para el primer periodo (1988-2006), habría un dominio de los procesos de deforestación y degradación del bosque, derivado de la expansión de la mancha urbana, por lo que se comprueba dicha suposición pues en tal lapso de tiempo los procesos de deforestación y degradación de la cobertura forestal, fueron los más abundantes, en donde se destaca que es cuando hubo un mayor crecimiento de los asentamientos humanos (1394.61 ha de expansión de 1988 a 2006).

Mientras que en el periodo de 2006-2023, se dimensionaba la dominancia de los procesos de recuperación y permanencia forestal, debido a la caída de la expansión de la mancha urbana, por lo que también se comprueba dicha suposición de la hipótesis de trabajo, pues destacan los procesos de recuperación y permanencia de la cobertura forestal relacionados con el desaceleramiento de los asentamientos humanos (1344.61 ha de expansión de 2006 a 2023).

En el primer periodo (1988-2006), los asentamientos humanos crecieron principalmente sobre las tierras forestales degradadas (986.09 ha), seguido de las zonas agrícolas (407.85 ha), en donde se destaca que las tierras forestales degradadas antes eran bosque, por tal razón el proceso de deforestación y degradación estuvieron presentes en tal lapso de tiempo.

El proceso de deforestación del bosque primario está ligado a la expansión de la frontera agrícola, pues en el primer periodo (1988-2006), la principal causa de pérdida del bosque primario estuvo asociada al incremento de la superficie de las zonas agrícolas.

La principal causa de degradación y por ende de deforestación ya para el segundo periodo (2006-2023) es por asentamientos humanos que tiene cómo peculiaridad de que no pasa a ser un área urbana de manera directa, por lo que es una pérdida lenta del bosque, ya que, en los mapas de transición se observa que las coberturas forestales primero sufren un proceso de degradación, después se deforestan y finalmente se urbanizan, este proceso se vio en la parte oriental del municipio ya que su cercanía con la CDMX propició tal dinámica. Mientras que la deforestación por actividades pecuarias de los espacios arbóreas pasa directamente a ser zonas agrícolas, por lo que es una pérdida rápida del bosque, pero la recuperación forestal es más sencilla en comparación con los asentamientos humanos.

La degradación forestal se asocia con el crecimiento de los asentamientos humanos y se observa que entre más degradado o deforestado esté un área forestal, incluso si no hay actividad agrícola es más probable que sea transformada por asentamientos humanos.

Para el segundo periodo (2006-2023) las zonas agrícolas comenzaron a disminuir, debido a que los asentamientos humanos crecieron principalmente sobre estas (677.16 ha), seguido de las tierras forestales degradadas (666.03 ha), por lo que esto propició que los procesos de recuperación y permanencia forestal fueran los dominantes.

Para frenar la deforestación por uso agrícola se propone un sistema agroforestal, donde los comuneros y ejidatarios de Huixquilucan son los que debería de estar a cargo de dicha labor (cultivar en bosque primario degradado, bosque secundario y en tierras forestales degradadas) para mejorar la producción agrícola preservando el bosque primario y detener la urbanización de los espacios forestales.

Pese a que el gobierno Estatal y Federal han creado áreas naturales protegidas en Huixquilucan, estas no han tenido mucho éxito, pues en las zonas donde estas se localizan ha habido degradación del bosque, pues en el año 2006, el bosque primario, ocupaba el 50.56% del total del bosque y para el 2023 este se redujo a 43.14% del total del bosque.

Con la Adaptación basada en Comunidades (AbC), se busca concientizar a la población (Comuneros y ejidatarios) de la importancia de sus bosques en donde ellos puedan obtener beneficios ecológicos y económicos a mediano y largo plazo, pues la pérdida de sus tierras significaría la eliminación de tales beneficios en donde la participación de los habitantes es fundamental en la conservación y recuperación de la cobertura forestal de Huixquilucan.

Por último, este trabajo busca cumplir con una de las tareas más importantes que tiene un planificador que es el de buscar el beneficio de la población a largo plazo, con base a la generación de información cartográfica, en donde el trabajo técnico es una de las herramientas para poder hacer dicha labor de planificación pues los mapas generados sirvieron para poder aceptar la hipótesis de trabajo, cuantificar la superficie boscosa del municipio a través de los años, así como sus procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia y por último el de diagnosticar el estado de conservación de las coberturas forestales. Así mismo la información generada, sirvió para conocer las causas de degradación y pérdida forestal por lo que se pudieron esbozar algunas ideas de preservación y restauración de los ecosistemas forestales, en donde sus habitantes sean los encargados de realizar dicha labor para que sean autónomos y obtengan beneficios económicos y ecológicos.

Apéndice. Geoprocesos

Las imágenes SPOT, se descargaron de la página Spot World Heritage, con el siguiente enlace:

<https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/60>

Para SPOT 1, se descargó una imagen multiespectral con una resolución espacial a 20 m y una imagen pancromática con una resolución espacial a 10 m, con las siguientes fechas:

Imagen multiespectral: 1988-1-11.

Imagen pancromática: 1988-1-27.

Para SPOT 5, se descargó una imagen multiespectral con una resolución espacial a 10 m, de la siguiente fecha:

2006-2-20.

La imagen SENTINEL-2, se descargó de la página del Centro de acceso abierto de Copernicus, con el siguiente enlace:

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Fue una imagen multiespectral con una resolución espacial a 10 m, de la siguiente fecha:

2023-2-5.

Para las imágenes SPOT, se realizó la ortorectificación de las imágenes en la página de carto processing (Figura 1), en el siguiente enlace:

<https://swh-2a-carto.fr/processing>

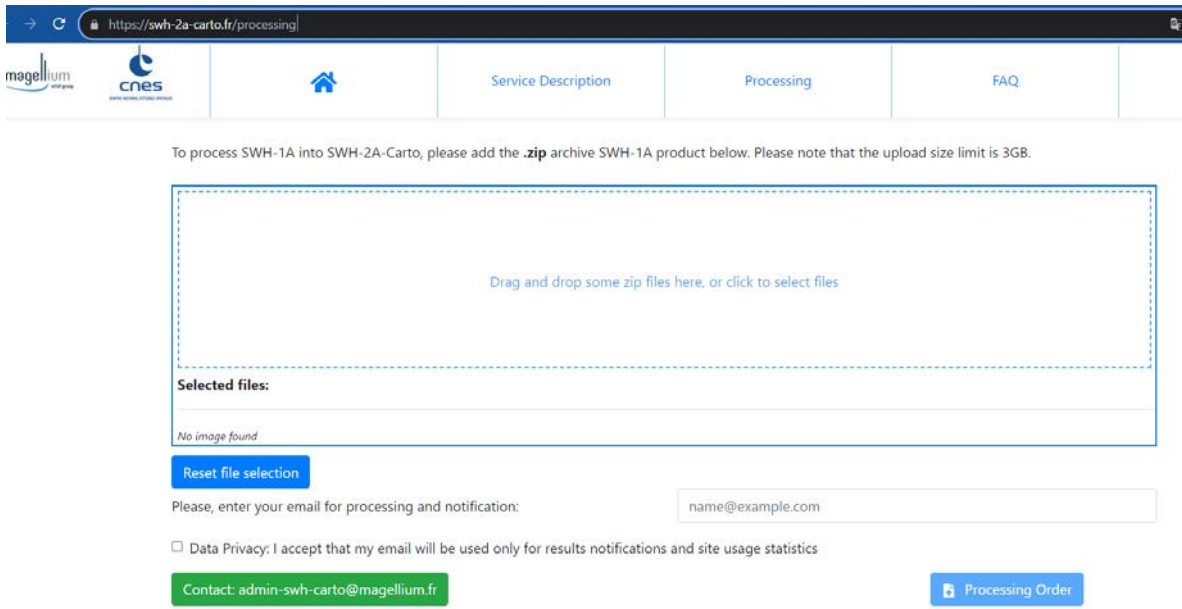


Figura 1: Página del servicio de carto processing.

Después de realizar la ortorectificación, en el programa ENVI, Versión 5.3.1, se realizó la calibración radiométrica, con la herramienta Radiometric Calibration (Figura 2).

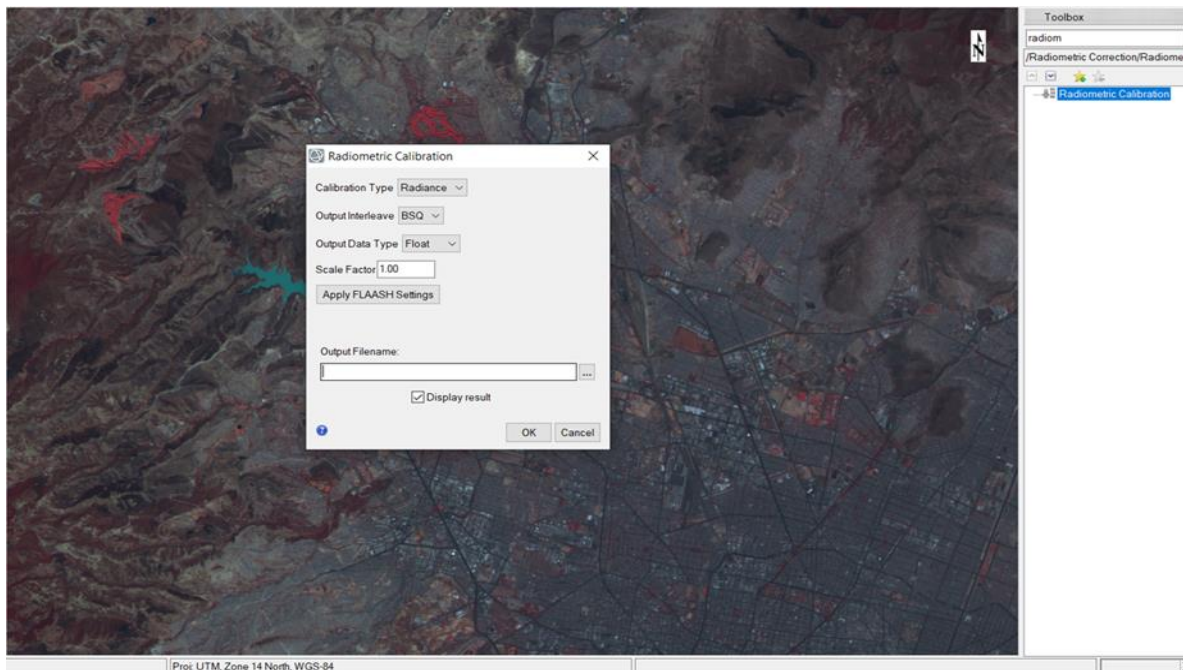


Figura 2: Calibración radiométrica.

En el mismo programa ENVI, Versión 5.3.1, se realizó la corrección atmosférica de las imágenes SPOT, con la herramienta Quick Atmospheric Correction (QUAC) (Figura 3).

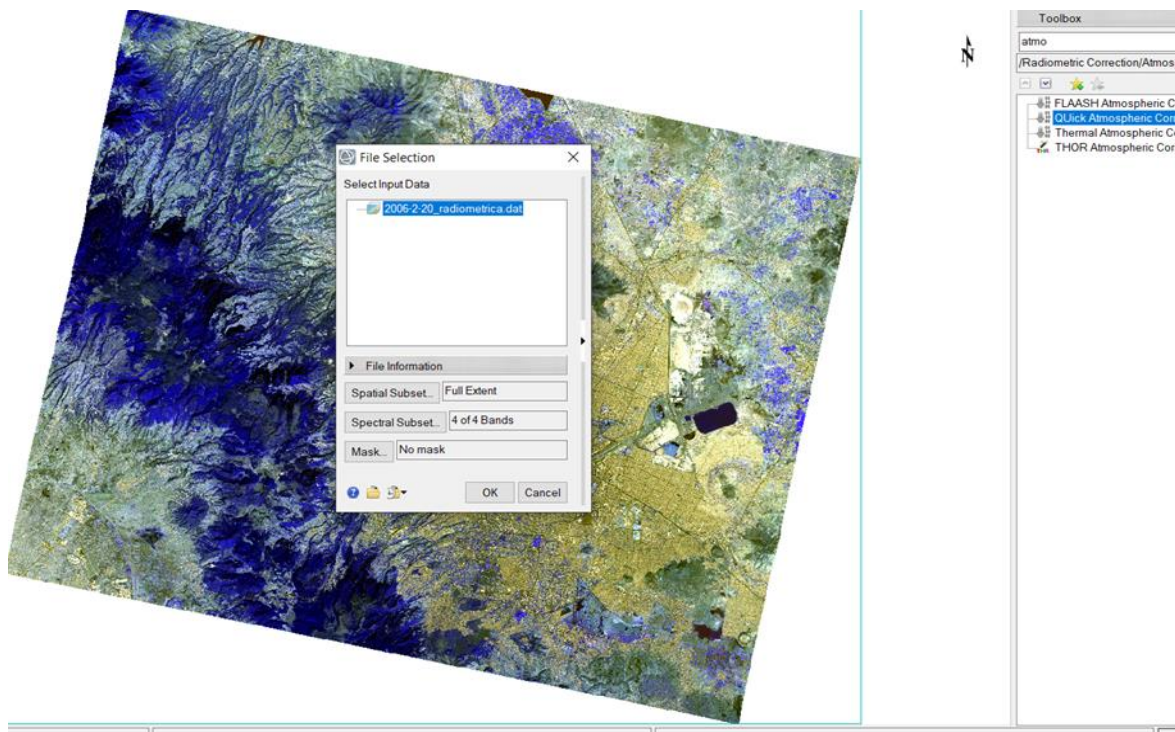


Figura 3: Corrección atmosférica.

Con el año de 1988, se hizo la fusión de la imagen pancromática y multiespectral en el programa ENVI Versión 5.3.1 con la herramienta SPEAR Pan Sharpening, donde la imagen de alta resolución que es la pancromática (10 m), se encuentra en la primera entrada y la de baja resolución que es la espectral (20 m) se pone en la segunda entrada. (Figura 4).

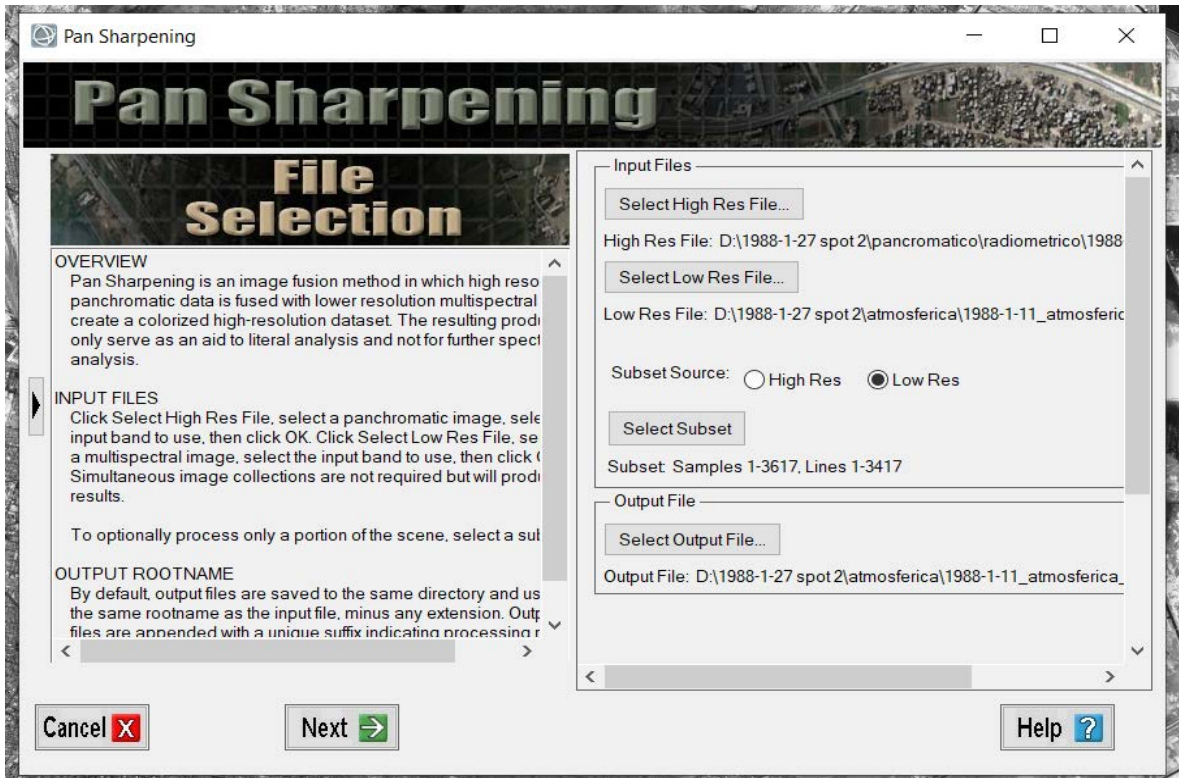


Figura 4: Selección de imágenes de la corrección atmosférica.

Posteriormente se seleccionaron puntos aleatorios de forma automática (Figura 5).

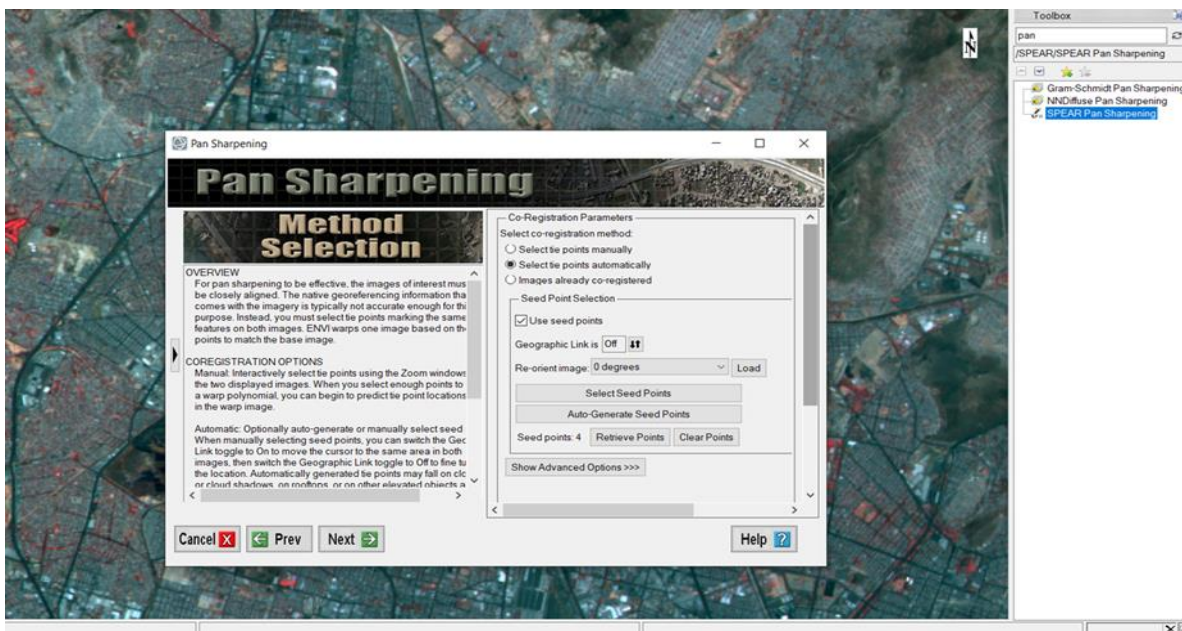


Figura 5: Selección de puntos aleatorios de forma automática.

Después se eliminaron aquellos puntos con mayor rango de error, hasta tener un rango de error inferior al 1% (Figura 6).

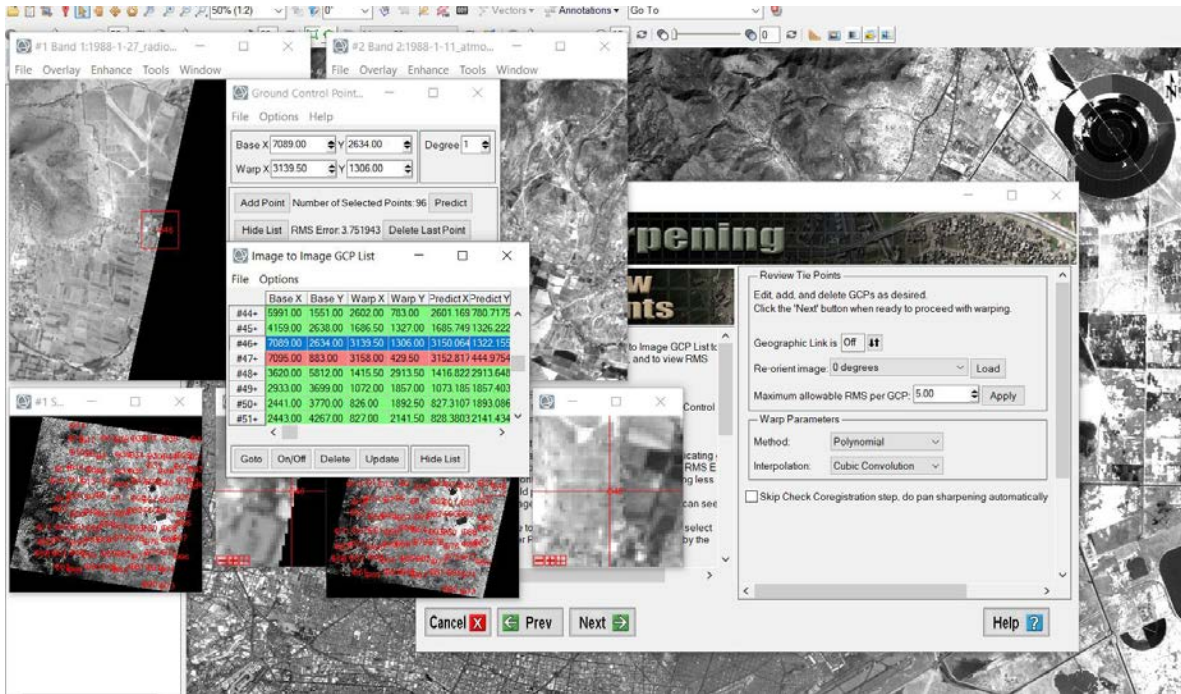


Figura 6: Eliminar los puntos de mayor error.

Se seleccionó el método del Gram-Schmidt (Figura 7).

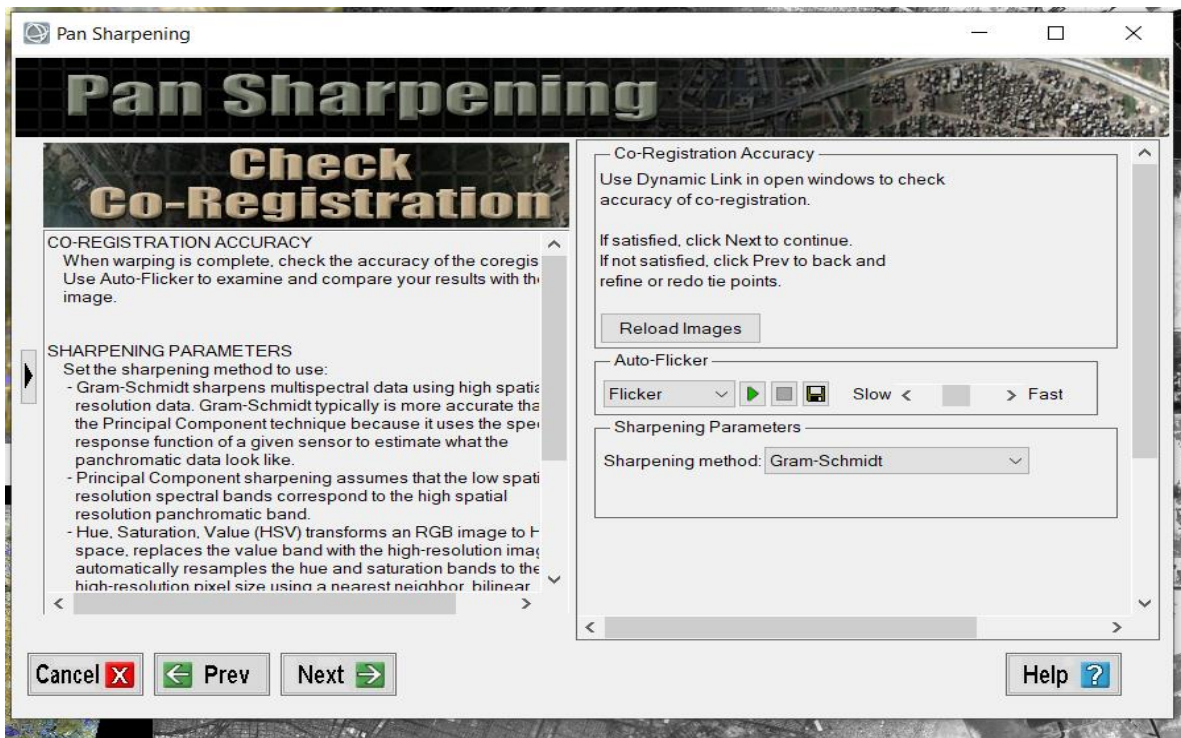


Figura 7: Método Gram-Schmidt.

Finalmente, se le da en finalizar (Figura 8).

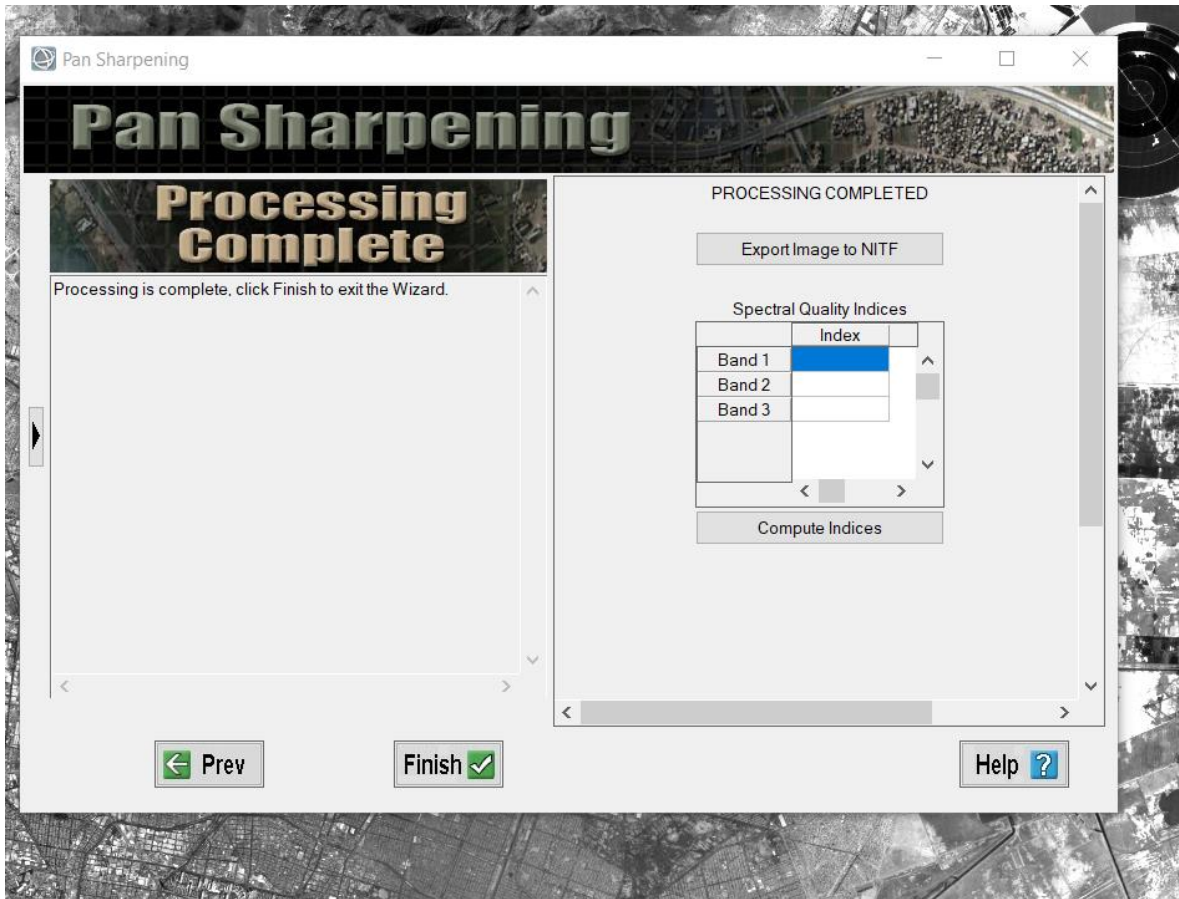


Figura 8: Finalización del proceso.

En Arcmap versión 10.4.1, se hicieron dos formatos vectoriales de puntos, con el nombre puntos de entrenamiento y puntos de trabajo para cada año de estudio, el cual fue un total 60 puntos por archivo Raster (Figura 9), con las siguientes clasificaciones:

- 1: Tierras forestales degradadas.
- 2: Bosque.
- 3: Asentamientos humanos.
- 4: Cuerpos de agua.
- 5: Zonas agrícolas.

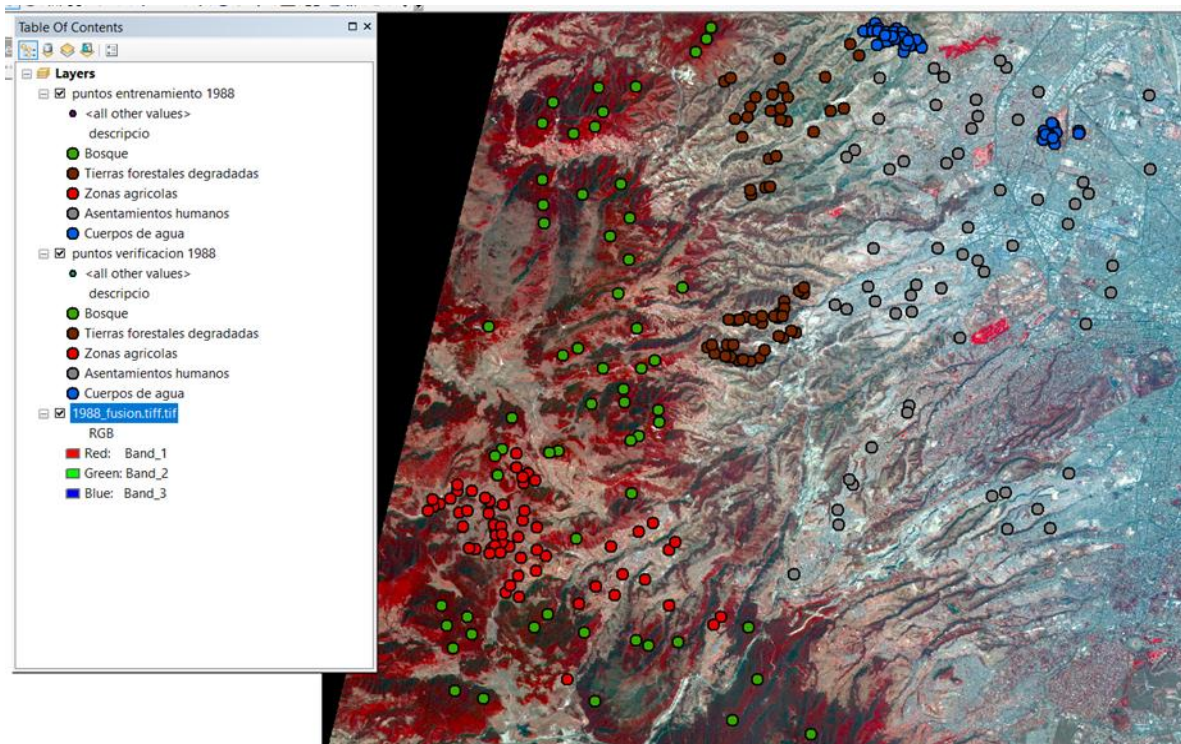


Figura 9: Puntos en formato vectorial.

En el programa ENVI versión 5.3.1, se utilizó la herramienta Maximum Likelihood, para seleccionar los archivos vectoriales, que son los puntos de entrenamiento, los cuales se calibrarán con la imagen Raster (Figura 10).

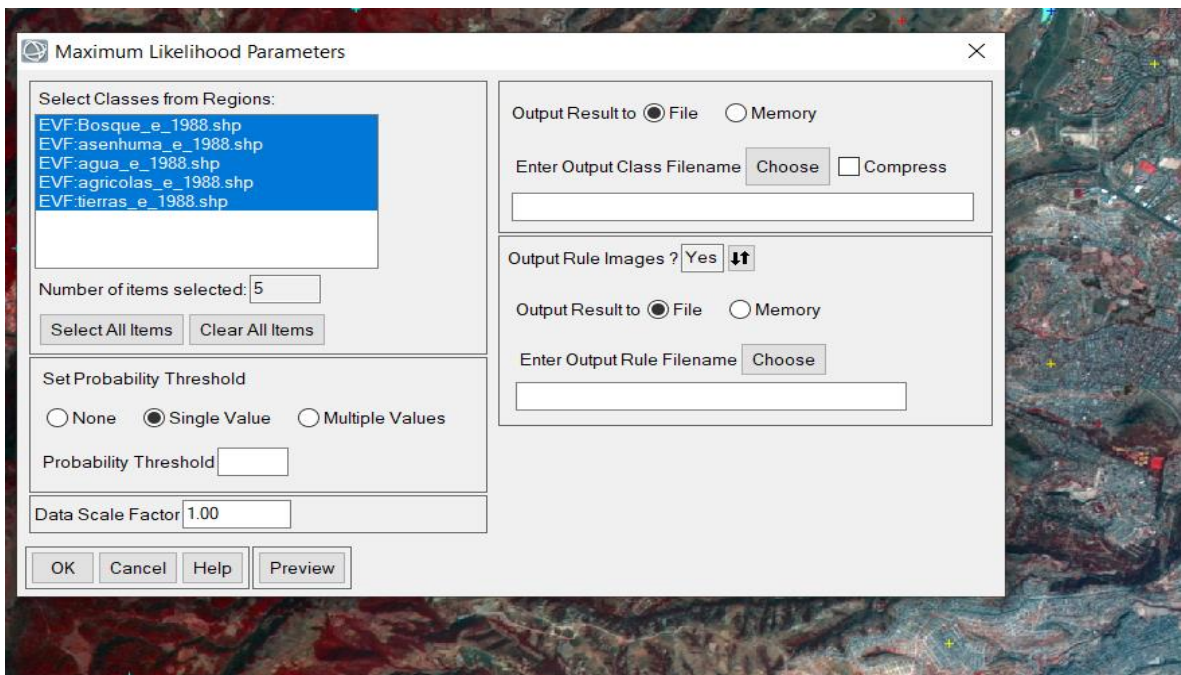


Figura 10: Calibración de los puntos con la imagen Raster.

El resultado será una imagen Raster con una clasificación general de uso de suelo (Figura 11).

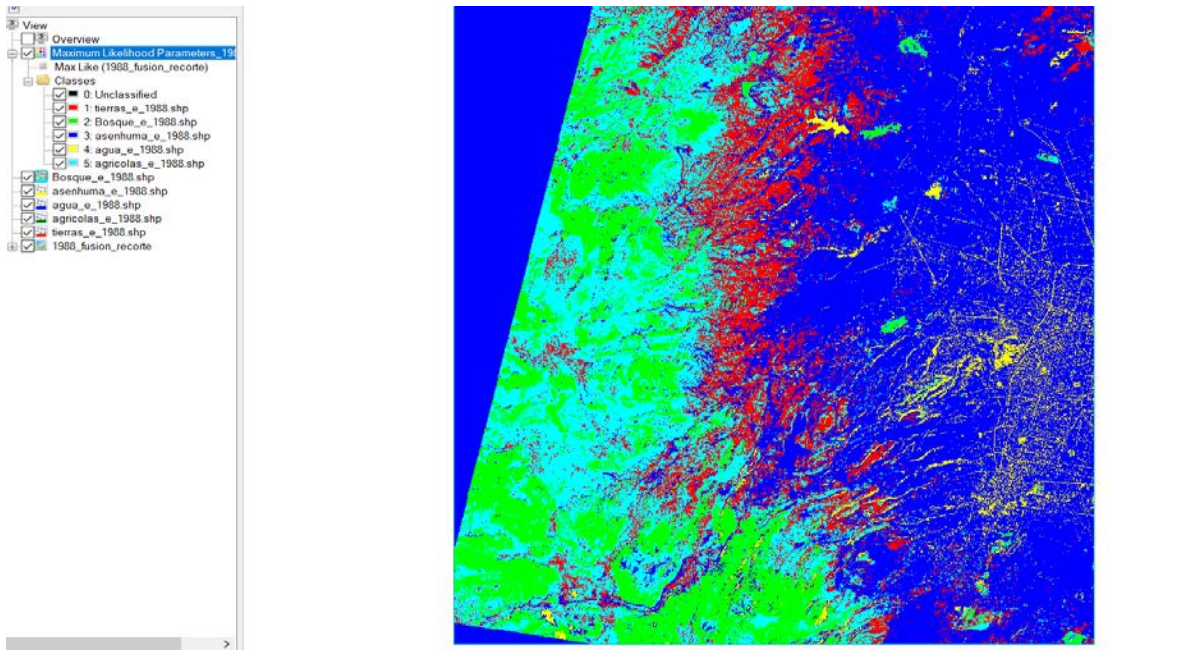


Figura 11: Clasificación general de uso de suelo de la imagen Raster.

Se aplicó un filtrado post clasificación con la herramienta Majority/Minority/Analysis (Figura 12).

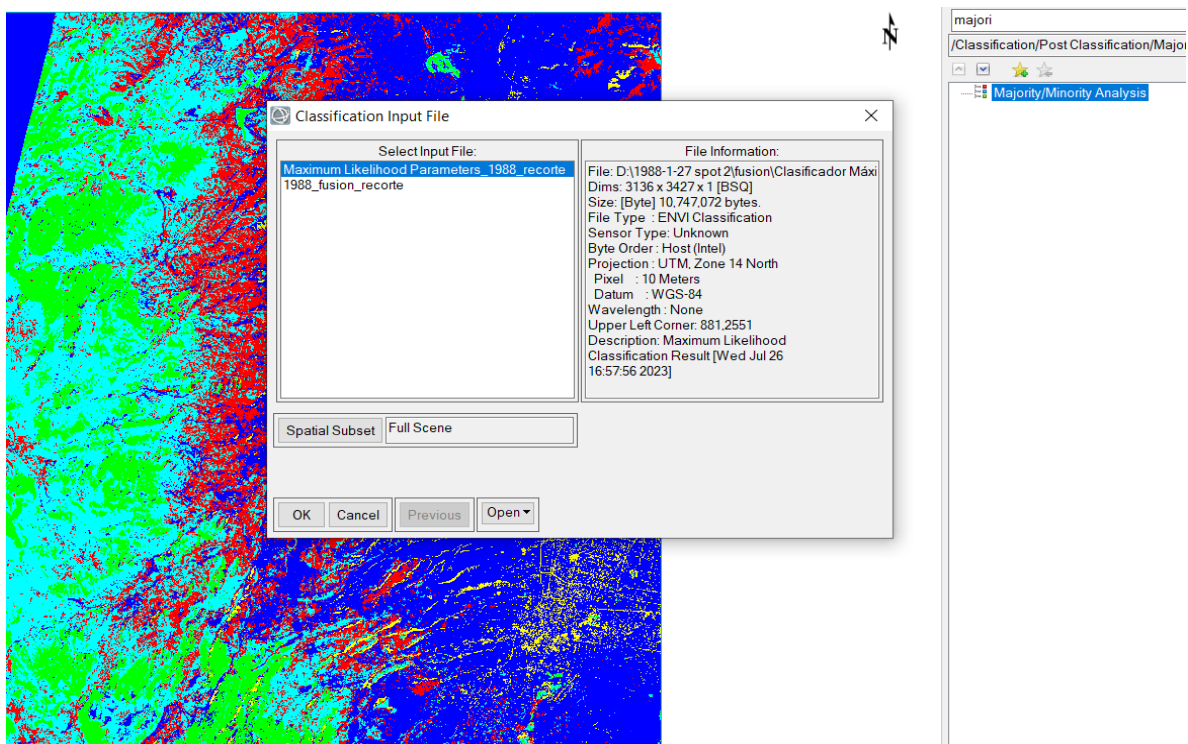


Figura 12: Herramienta Majority/Minority/Analysis.

Se seleccionaron las clases a trabajar, así como el método de Majority, con el tamaño de kernel de 3 x 3 (Figura 13).

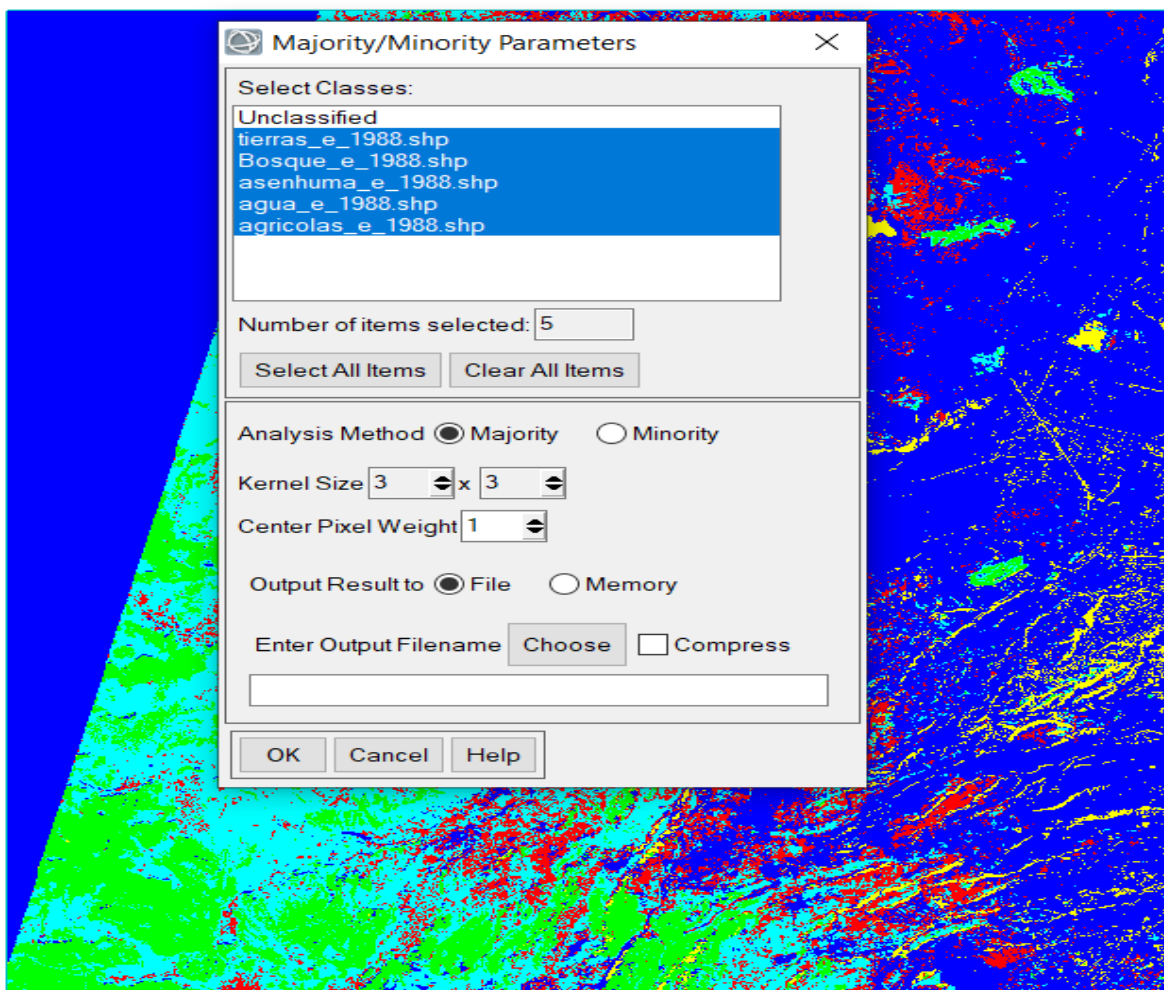


Figura 13: método de Majority con el tamaño de kernel de 3 x 3.

El resultado es una imagen con una mejor resolución de las clases (Figura 14).

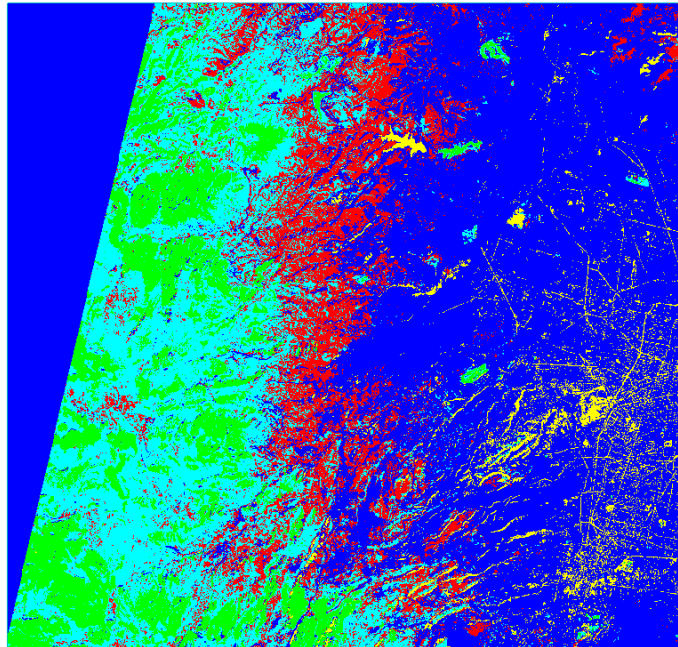
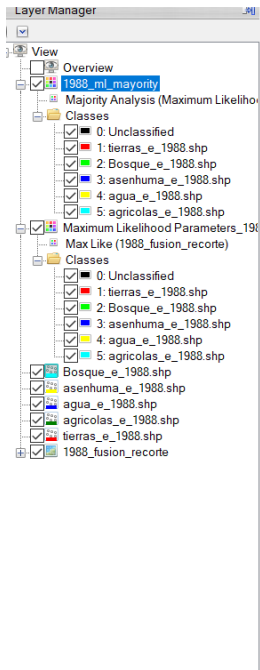


Figura 14: Imagen resultante de la herramienta Majority/Minority/Analysis.

En la imagen Raster de cada año, con la herramienta Bnad math, se agregaron las fórmulas de índice SAVI, de fracción de la cobertura forestal (Figura 15), que son las siguientes:

- $((1 + 0.5) * (\text{float}(b4) - \text{float}(b3))) / (\text{float}(b4) + \text{float}(b3) + \text{float}(0.5))$
- $(b1 \text{ gt}0.77) * 0.77 + (b1 \text{ gt}-1 \text{ and } b1 \text{ lt}0.77) * \text{float}(b1)$
- $(b1 - 0.7799)$
- $(b1 / (-0.658))$
- $(b1^{0.8709})$
- $(1 - b1)$
- $(b1 \text{ le } 0) * 0 + (b1 \text{ gt}0 \text{ and } b1 \text{ lt}1) * \text{float}(b1)$

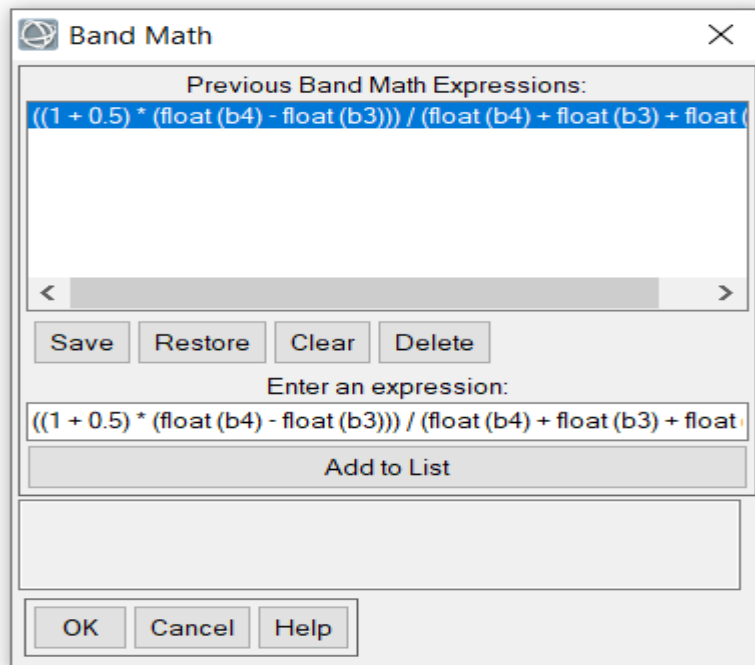


Figura 15: Ingresos de las fórmulas a la herramienta Band math.

En el programa Arcmap versión 10.4.1, con la herramienta Raster Calculator de Map algebra, los archivos Raster se multiplicaron por 100 (Figura 16), para tener valores de 0 a 100 en el Raster de fracción de cobertura y con la herramienta Int (Spatial Analyst), se convirtieron los valores a números enteros (Figura 17).

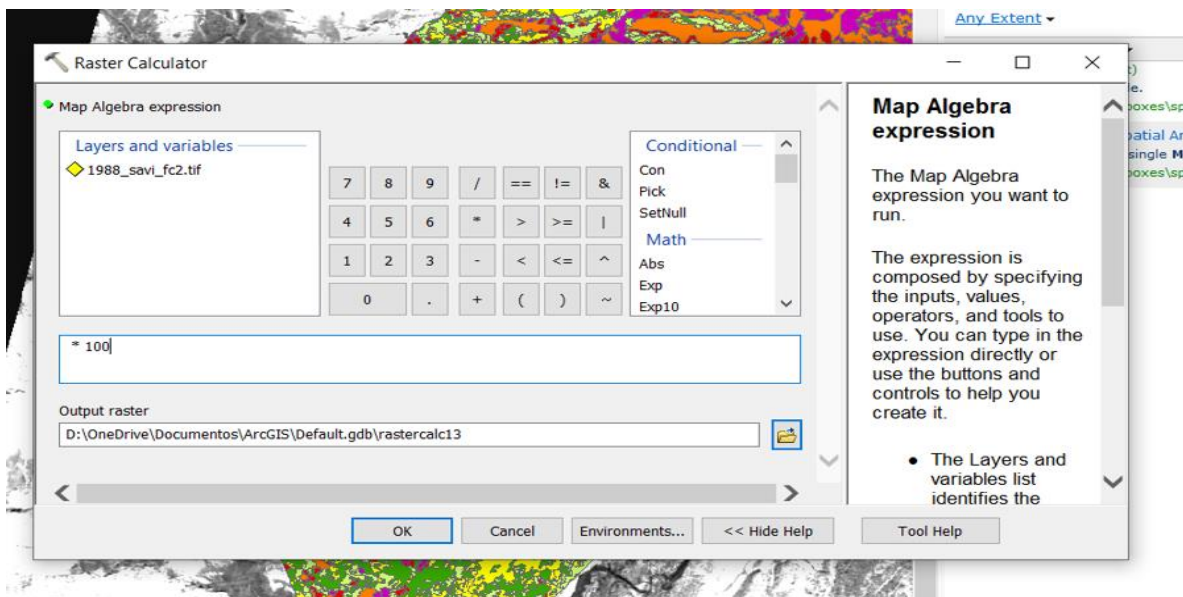


Figura 16: Herramienta Raster Calculator de Map algebra.

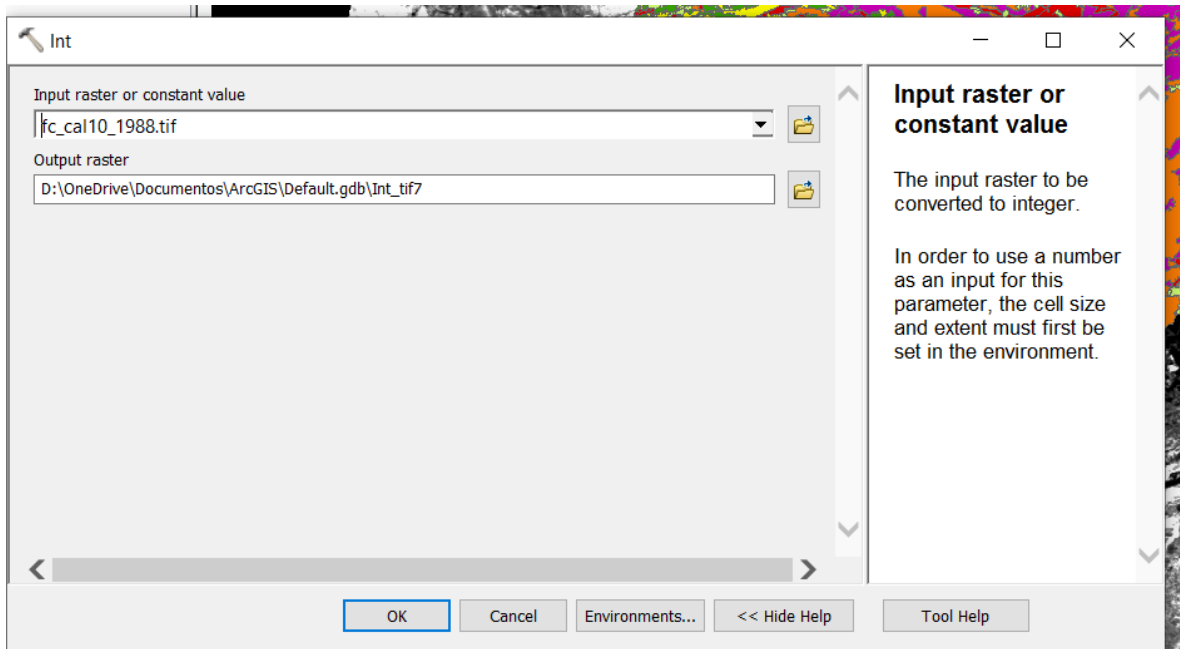


Figura 17: Herramienta Int (Spatial Analyst).

Posteriormente con la herramienta Combine, se procedió a combinar el Raster resultante de la herramienta Int (Spatial Analyst) con el Raster resultante de la clasificación de máxima verosimilitud (Figura 18).

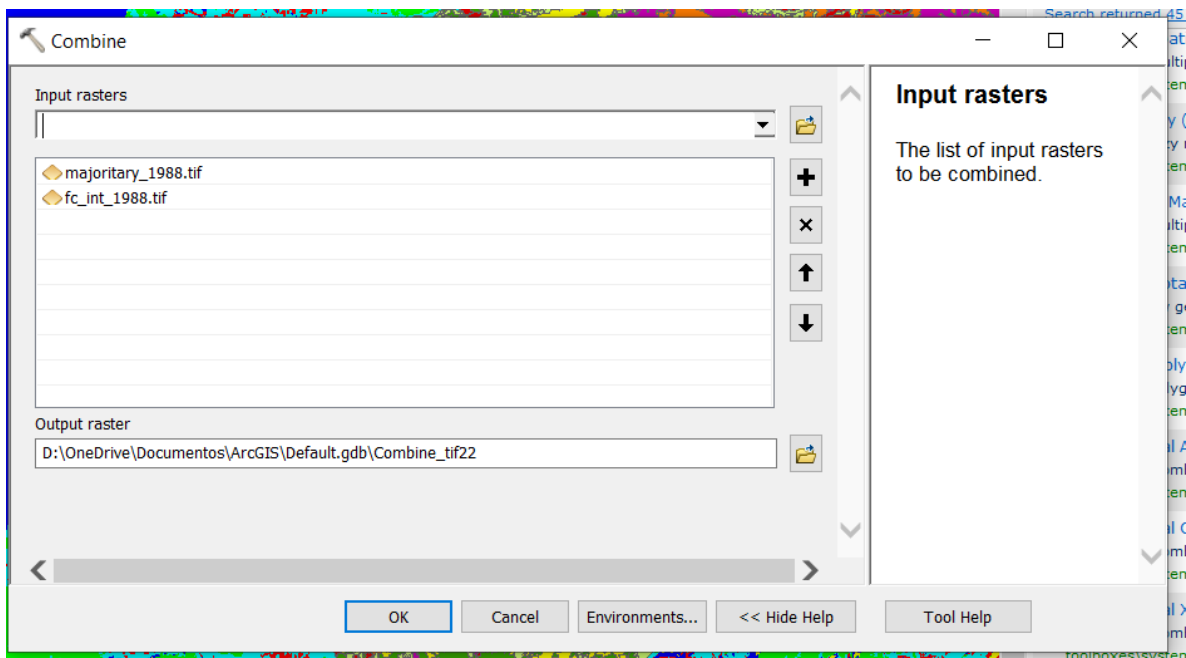


Figura 18: Herramienta Combine.

El resultado sirvió para clasificar la fracción de la cobertura forestal.

En el programa Arcmap versión 10.4.1, con la herramienta Raster to polygon, se procedió a convertir el archivo Raster a un archivo vectorial (Figura 19).

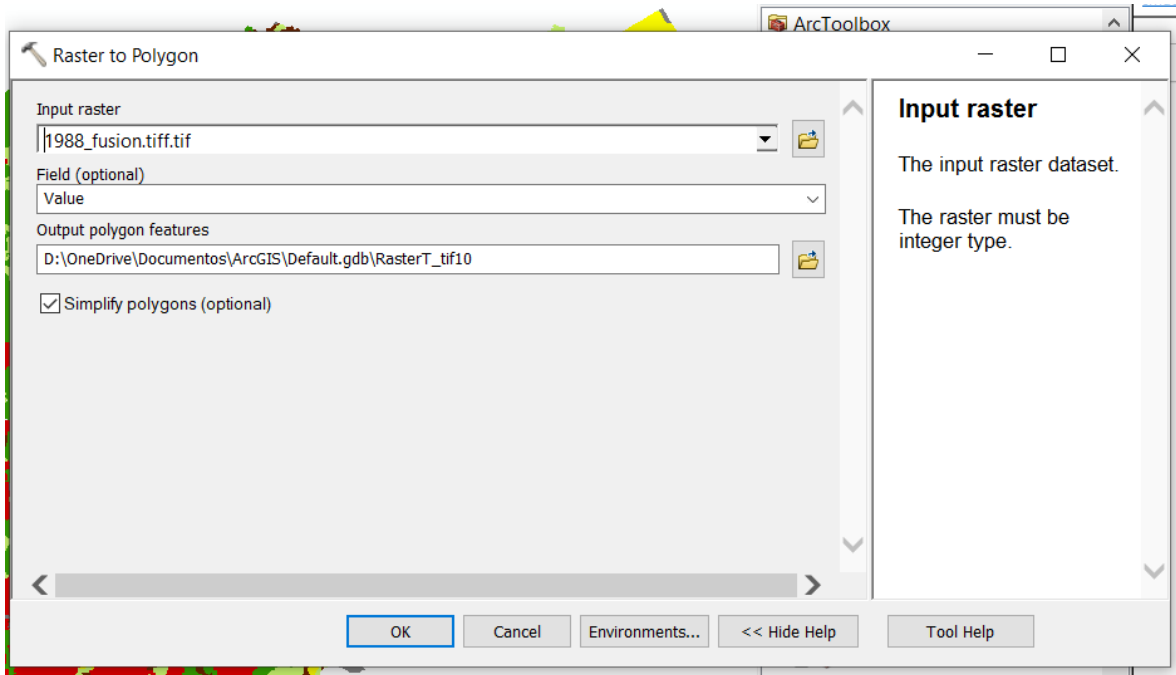


Figura 19: Convertir Raster a archivo vectorial.

Posteriormente con la herramienta Eliminate (Figura 20), se seleccionaron aquellos polígonos con área inferior a 0.5 ha, para que fueran fusionados con sus polígonos vecinos de mayor extensión, pues el área mínima cartografiable del archivo vectorial es de 0.5 ha.

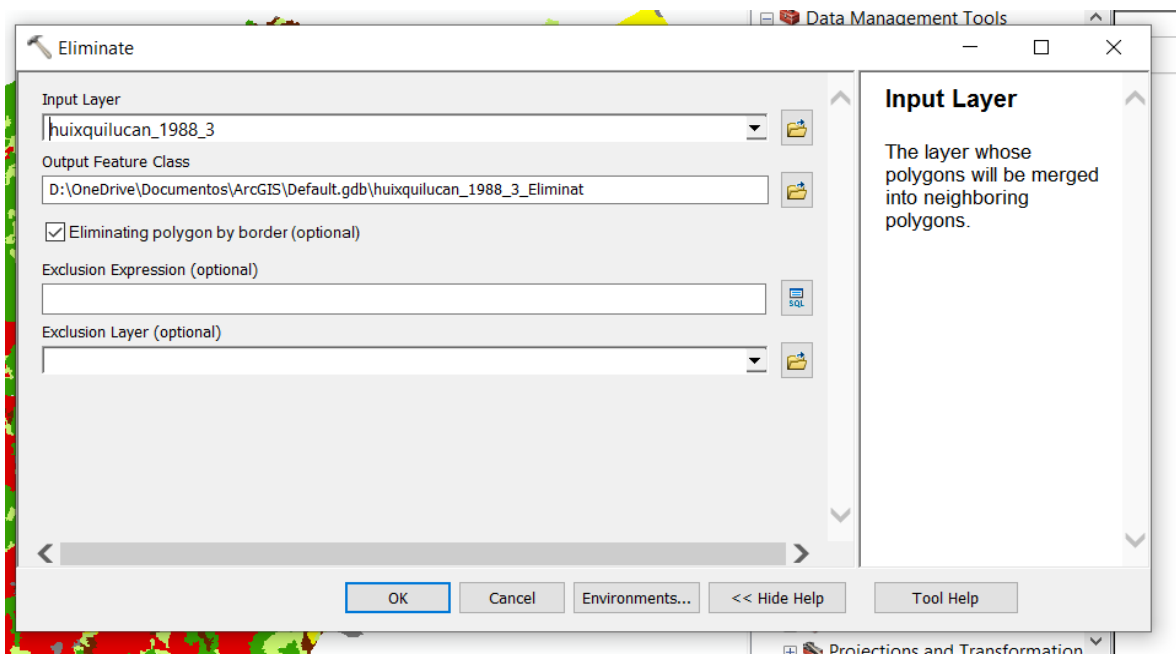


Figura 20: Herramienta Eliminate.

Ya con los tres mapas clasificados se procedió a hacer la matriz de transición de los periodos de 1988-2006 y de 2006-2023. Por lo que con la herramienta Intercsect (Figura 21), se escogieron los dos archivos vectoriales de distintas fechas para cada periodo, para que el archivo de salida sea la matriz de confusión.

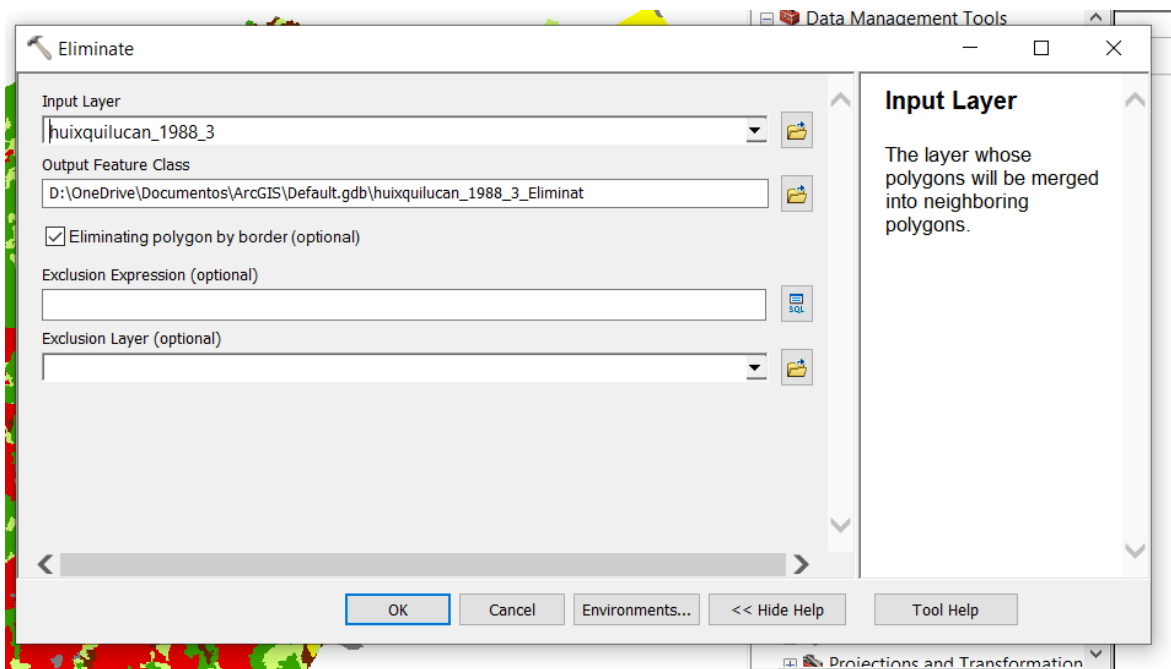


Figura 21: Herramienta Intercsect.

Ya posteriormente en la tabla de atributos se creó la columna cambio, para sumar los valores de los dos años y así obtener las capas que permanecen o se transforman, donde se construyó otra columna, para ya posteriormente describir cuales fueron las capas que cambiaron y poder describir los procesos de deforestación, degradación, recuperación y permanencia de la cobertura forestal, así como la permanencia de otros usos y los cambios de otros usos, donde también se creó otra columna para dicha clasificación (Figura 22).

Area	Val_2006	Val_2023	Cambio	Cam_descri	Procesos
1.453291	30	7	37	Deforestación, De Bosque primario degradado a Zonas agrícolas	Proceso de deforestación
1.39501	40	1	41	Deforestación, De Bosque secundario a Asentamientos humanos	Proceso de deforestación
0.772861	40	6	46	Deforestación, De Bosque secundario a Tierras forestales degradadas	Proceso de deforestación
1.27583	40	7	47	Deforestación, De Bosque secundario a Zonas agrícolas	Proceso de deforestación
1.966434	20	3	23	Degradación, De Bosque primario a Bosque primario degradado	Proceso de degradación
1.52701	20	4	24	Degradación, De Bosque primario a Bosque secundario	Proceso de degradación
0.512263	30	4	34	Degradación, De Bosque primario degradado a Bosque secundario	Proceso de degradación
0.702908	20	2	22	Permanencia, Bosque primario	Proceso de permanencia
0.681331	30	3	33	Permanencia, Bosque primario degradado	Proceso de permanencia
1.213928	40	4	44	Permanencia, Bosque secundario	Proceso de permanencia
1.047778	10	2	12	Recuperación, De Asentamientos humanos a Bosque primario	Proceso de recuperación
0.739503	10	3	13	Recuperación, De Asentamientos humanos a Bosque primario degradado	Proceso de recuperación
1.684321	10	4	14	Recuperación, De Asentamientos humanos a Bosque secundario	Proceso de recuperación
0.756152	30	2	32	Recuperación, De Bosque primario degradado a Bosque primario	Proceso de recuperación
0.703502	40	2	42	Recuperación, De Bosque secundario a Bosque primario	Proceso de recuperación
1.936949	40	3	43	Recuperación, De Bosque secundario a Bosque primario degradado	Proceso de recuperación
0.840585	60	2	62	Recuperación, De Tierras forestales degradadas a Bosque primario	Proceso de recuperación
1.260398	60	3	63	Recuperación, De Tierras forestales degradadas a Bosque primario degradado	Proceso de recuperación
0.621129	60	4	64	Recuperación, De Tierras forestales degradadas a Bosque secundario	Proceso de recuperación
0.612818	70	2	72	Recuperación, De Zonas agrícolas a Bosque primario degradado	Proceso de recuperación
1.291895	70	3	73	Recuperación, De Zonas agrícolas a Bosque secundario	Proceso de recuperación
0.506906	70	4	74	Recuperación, De Zonas agrícolas a Bosque secundario	Proceso de recuperación
1.907337	10	1	11	Sin cambio, Asentamientos humanos	Sin cambio
0.585367	60	6	66	Sin cambio, Tierras forestales degradadas	Sin cambio
1.564179	70	7	77	Sin cambio, Zonas agrícolas	Sin cambio

Figura 22: Columnas de la tabla de atributos de la matriz de cambio.

Referencias

- Adger, W., Hughes, T., Folke, C., Carpenter, S., & Rockström, J. (2005). Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters. En *Science*.
- Albert, C., Aronson, J., Fürst, C. y Opdam, P. (2014). Integrating ecosystem services in landscape planning: requirements approaches, and impacts. *Landscape Ecology*, 29, 1277–1285.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2), 136-147.
- Barba, M. (2004). Características del crecimiento urbano reciente en la periferia de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Espacios públicos. Universidad autónoma del Estado de México, Unidad Zumpango, México.
- Baret, F., Clevers, J. y Steven, M. (1995). The robustness of canopy gap fraction estimates from red and near-infrared reflectances: A comparison of approaches. *Remote Sensing of Environment*, 54, (2), pp. 141-151.
- Beckman, N. (1964). The Planner as a Bureaucrat, *Journal of the American Institute of Planners*, 30, (4), pp. 323-327.
- Bertrand, G. (1968). Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 39 (3), pp. 249-272.
- Bertrand, G. (1978). Le paysage entre la nature et la société. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 49 (2), pp. 239-258.
- Bocco, G., Mendoza, M y Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 44. PP. 18-38.
- Bradshaw, A. D. (1984) Ecological principles and land reclamation practice. *Landscape Planning*, 11 (1), pp. 35–48.
- Braimah, A. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, (4), pp. 254-263.
- Camacho, J., Juan, J., Franco, R., Pineda, N., Campos, J., Antonio, X y Balderas, M. (2011). Procesos y cambios de ocupación del suelo en un espacio geográfico de México. 1976 y 1993. *Mapping Centroamérica y El Caribe* (2):61-67.
- Camacho-Sanabria, J., Pérez, J., Pineda, N., Cadena, E., Bravo, L y Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y bosques*, 21, (1), pp. 93-112.
- Cantera, S. (2022). Huixquilucan y Cuajimalpa, donde más subió la vivienda. El Universal.
<https://www.eluniversal.com.mx/cartera/huixquilucan-y-cuajimalpa-donde-mas-subio-vivienda/>

- Céspedes-Flores, S y Moreno-Sánchez, E. (2010). Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental*.
- Chávez, M Y Chávez, J. (2009). ¿De qué se trata la planeación ambiental? Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Planeación Ambiental. Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-Xochimilco. *ContactoS 71*, 37–41.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2024). Información Espacial de las Áreas Naturales Protegidas.
http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm
- Comisión Nacional Forestal. (2010). Prácticas de reforestación. Manual básico. Jalisco, México.
- Comisión Nacional Forestal. (2014). Inventario Estatal Forestal y de Suelos Estado de México 2014. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: CONAFOR.
- Comisión Nacional Forestal. (2022). Se reduce en 26% la tasa anual de deforestación. Comunicado de prensa. Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/conafor/prensa/se-reduce-en-26-la-tasa-anual-de-deforestacion>
- Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. (2020). Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales, Comunitarias y Privadas de México, 2020.
http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/anpest20gw
- Consejo Estatal de Población. (2022, 13 de noviembre). Información municipal.
https://coespo.edomex.gob.mx/informacion_municipal
- Cruz, S. (2000). Crecimiento urbano y poblamiento en la ZMCM. El perfil del nuevo milenio. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. *El Cotidiano*, 17, (103), pp. 43-53.
- Cruz, S. (2001). Procesos urbanos y "ruralidad" en la periferia de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Departamento de Sociología. Área de Sociología Urbana.
- De la Maza, A., Ruiz L y Carabias, J. (2015). Ecoturismo para la conservación. En *Conservación y desarrollo sustentable en la Selva Lacandona. Natura y ecosistemas mexicanos*.
- Diario Oficial de la Federación. (2012). Ley General de Cambio Climático. Última reforma publicada DOF 01-06-2016. México: Secretaría de Gobernación.
- Dixon, R., Brown, S., Houghton, R., Solomon, A., Trexler, M. y Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science 263*: 185- 190.
- Drdos, J. (1992). On the carrying capacity of environment. *Geografía y Desarrollo*, 3(7), pp. 19-24.
- Duhau, E. (1998), Hábitat Popular y Política Urbana, México: Porrúa /UAM.

- Ellis, E., Hernández-Gómez, I y Romero-Montero, J. (2017). Processes and causes of forest cover change in the Yucatan Peninsula. *Ecosistemas* 26, (1), pp. 101-111.
- ENVI 5.3.1. (2015). Calibración radiométrica.
- ENVI 5.3.1. (2015). Corrección atmosférica.
- ENVI 5.3.1. (2015). Matrix de confusion.
- ENVI 5.3.1. (2015). SPEAR Pan Sharpening.
- Espinosa, I., García, A y Cruz, L. (2022). Propuesta de componentes diferenciadores para la clasificación multiescalar del paisaje. *Investigaciones Geográficas*. Instituto de geografía de la UNAM. Ciudad de México, México.
- ESRI. (2023). Máxima verosimilitud.
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-maximum-likelihood-classification-works.htm>
- Figueroa, D., Galeana, M., Núñez, J., Anzaldo, C., Hernández, R., Sánchez, M y Garduño, A. (2021). Assessing drivers and deterrents of deforestation in Mexico through a public policy tool. The adequacy of the index of economic pressure for deforestation. *Forest Policy and Economics* 133.
- Food and Agriculture Organization (2005). Global Forest Resources Assessment 2005. Progress Towards Sustainable Forest Management, *FAO Forestry Paper 147*. FAO, Roma.
- Food and Agriculture Organization. (2009). Situación de los bosques del mundo. Subdivisión de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación. Electronic División de Comunicación. Roma, Italia: FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe nacional. Costa Rica. Roma, Italia: FAO.
- Forman, K y Godron, M. (1986) Landscape ecology. John Wiley and Sons, New York, New York, USA, pp. 619.
- Franco, S., H. Regil y J. Ordóñez. (2006). Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Madera y Bosques*, 12 (1), pp. 17-28.
- Franquis, R e Infante, A. (2003). Los bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales. pp. 17-30.
- Gaceta del Gobierno del Estado de México. (2011). Resumen ejecutivo del Programa de Conservación y Manejo del área natural protegida, sujeta a conservación ambiental “Barrancas Río La Pastora, Río La Loma y Río San Joaquín”. Secretaria del Medio Ambiente del Estado de México.
- Gaceta del gobierno del Estado de México. (2013). Resumen ejecutivo del programa de conservación y manejo área natural protegida sujeta a conservación ambiental “Barranca El Huizachal, barranca Arroyo Santa Cruz y barranca Arroyo plan de la Zanja”. Poder ejecutivo del Estado de México.
<https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/vigentes/oct181.PDF>

- Gaceta del Gobierno del Estado de México. (2016). Resumen ejecutivo del programa de manejo del “Parque Ecológico, Turístico y Recreativo Zempoala- La Bufa, denominado Parque Otomí Mexica del Estado de México”. Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna.
- Gaceta del Gobierno del Estado de México. (2018). Resumen ejecutivo del programa de manejo del “Santuario del agua y forestal subcuenca tributaria San Lorenzo”. Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna.
- Gaceta del H. Ayuntamiento Constitucional de Huixquilucan. (2022). Plan de Desarrollo Municipal de Huixquilucan, Estado de México 2022-2024. Huixquilucan de Degollado, Estado de México, México.
- Galicia, L., García, A., Gómez-Mendoza, L y Ramirez, I. (2007). Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. Ciencia. Research gate. pp. 50-60.
- García, A. y Muñoz, J. (2002). El paisaje en el ámbito de la Geografía. Temas Selectos de la Geografía de México. Ciudad de México: Instituto de Geografía, UNAM.
- García, E. (1998). Climas, escala 1: 1, 000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- García, J., Gutiérrez, J., Juan, J y Balderas, M. (2012). Procesos de cambio en el uso del suelo de una microcuenca en el altiplano mexicano. El caso del río San José en el Estado de México. *Papeles de Geografía (55-56):63-73*.
- Garfias, R., Castillo, M y Yañez, A. (2012). Método fuzzy para la identificación de áreas potenciales para la producción de leña. Aplicación de caso: Comuna de empedrado, región del Maule, Chile. *Geographicalia, 61, 5-23*.
- Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2022). México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019. Producción editorial.
- Gobierno del Distrito Federal. (2013). Gaceta Oficial del Distrito Federal. DÉCIMA SÉPTIMA ÉPOCA. No. 1689. Tomo II.
- Gobierno del Estado de México y Gobierno municipal de Huixquilucan. (2017). Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Huixquilucan, Estado de México.
- González, E. (2016). Análisis del cambio de usos del suelo agrícola y forestal del Distrito Federal 2005-2013, utilizando SIG y PR. [Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudio Superiores Aragón, UNAM] Repositorio UNAM.
https://repositorio.unam.mx/contenidos/analisis-del-cambio-de-usos-del-suelo-agricola-y-forestal-del-distrito-federal-2005-2013-utilizando-sig-y-pr-123648?c=L7rKdP&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_1&as=0
- González, M y Hernández, A. (2014). Positivismo, Dialéctica Materialista y Fenomenología: Tres Enfoques Filosóficos del Método Científico y la Investigación Educativa. *Actualidades investigativas en educación, 14, (3)*, pp. 1-20.
- Grêt-Regamey, A., Celio, E., Klein, T. & Wissen, U. (2013). Understanding ecosystem services trade-offs with interactive procedural modeling for sustainable urban planning. *Landscape and Urban Planning, 109, 107–116*.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Programa de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del IPCC.
- Guerra-Martínez, F., García-Romero, A., Cruz-Mendoza, A., y Osorio-Olvera, L. (2019). Regional analysis of indirect factors affecting the recovery, degradation and deforestation in the tropical dry forests of Oaxaca, Mexico. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 40(3), pp. 387-409.
- Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Artmann, M., Borgström, S., Breuste, J., Gomez-Baggethun, E., Gren, A., Hamstead, Z., Hansen, R., Kabisch, N., Kremer, P., Langemeyer, J., Lorange Rall, E., McPhearson, T., Pauleit, S., Qureshi, S., Schwarz, N., Voigt, A., Wurster, D. y Elmqvist, T. (2014). A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts models, and implementation. *AMBIO*, 43, 413–433.
- Hampton, G. (1999). Equidad ambiental y participación pública. *Policy Sciences*, 32, 163-174.
- Hancock, L. (2019). La degradación de los bosques: por qué afecta a las personas y la vida silvestre. Descubre WWF. <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/la-degradacion-de-los-bosques-por-que-afecta-a-las-personas-y-la-vida-silvestre>
- Healey, P. (1997). Urban complexity and spatial strategies. Towards a relational planning of our times. London and New York: Routledge.
- Holling, C. (2002). Resilience and adaptive cycles. en L. H. Gunderson, and C. S. Holling, editors. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems. Island Press, 25.62.
- Hubacek, K. & Kronenberg, J. (2013). Synthesizing different perspectives on the value of urban ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 109, 1–6.
- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (1978). Uso del suelo y vegetación, Serie I.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1986). X Censo general de población y vivienda, 1980. Resumen general. Volumen I.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1988). Anuario estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de México. Aguascalientes, Aguascalientes.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1990). X Censo general de población y vivienda, 1980, Integración Territorial Estado de México. Tomo 15. Aguascalientes, México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2000). XII Censo general de población y vivienda, 2000. Resumen general. Volumen I.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (1993). Uso del suelo y vegetación, Serie II.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2000). Principales resultados por localidad, México. XII Censo general de población y vivienda 2000. Aguascalientes, México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2001). Anuario estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de México. Aguascalientes, Aguascalientes.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (2002). Uso del suelo y vegetación, Serie III.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (2007). Uso del suelo y vegetación, Serie IV.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Huixquilucan. Clave geoestadística 15037: INEGI.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (2011). Uso del suelo y vegetación, Serie V.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (2015). Cuaderno estadístico y geográfico de la zona metropolitana del Valle de México 2014.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (2015). Uso del suelo y vegetación, Serie VI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Anuario estadístico y geográfico del Estado de México. Gobierno del Estado de México. IGCEM. Aguascalientes, Aguascalientes.
- Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (2021). Uso del suelo y vegetación, Serie VII.
- Intergovernmental Panel of Climate Change. (2007). Cambio climático. Impacto adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas.
- Intergovernmental Panel of Climate Change. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: Organización Meteorológica.
- International Union for Conservation of Nature. (1997). Ecotourism, en Beyond Fences: Seeking Social Sustainability in Conservation. Gland.
- Irastorza, P. (2006). *Integración de la ecología del paisaje en la planificación territorial: Aplicación a la comunidad de Madrid*. Tesis (Doctoral).
<https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.468>
- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C. y Ebeling, A. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*.
- Johnston, R. (1979). *Geography and geographers. Anglo American Human Geography since 1945*. Ed. Arnold. London.
- Juan, J. (2013). Análisis del cambio de uso del suelo en una región del altiplano mexicano. *Retos e impactos: 1986-2011. Oidles 7 (13)*.

- Kaimowitz, D. (2008). The prospects for Reduced Emissions from Deforestation and Degradation (REDD) in Mesoamerica. *International Forestry Review*, 10(3): 485-495.
- Kanninen, M. (2003). Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. En *Agroforestería para la Producción Animal en América Latina - II - Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica* (agosto de 2000-marzo de 2001). Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia.
- La Rosa, D., Lorz, C., König, H. J., y Fürst, C. (2014). Spatial information and participation in socio-ecological systems: *experiences, tools and lessons learned for land-use planning. Forest-Biogeosciences and Forestry*, 7(6), 349.
- Legia, E. (2016). La deforestación en México: causas y efectos socio ecológicos. *Herreriana*. 12 (1). Universidad Autónoma de Hidalgo.
- Lhumeau, A y Cordero, D. (2012). Adaptación basada en ecosistemas: Una respuesta al cambio climático. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales. Oficina regional para América del sur. Quito, Ecuador.
- Lillesand, T., Kiefer, R y Chipman, J. (2004). Detección remota e interpretación de imágenes. Quinta edición, John Wiley, Nueva York.
- Lillesand, T., Kiefer, R y Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation (No. Ed. 5). John Wiley & Sons Ltd.
- Marín O., Orozco, M y Tapia, J. (2013). Medio ambiente urbano en Huixquilucan, México. *Urbano*, 16 (27), 41-47.
- Marquina, J y Mogollón, A. (2017). Niveles y escalas de levantamiento de información geográfica de sensores remotos. *Revista geográfica venezolana*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Departamento de Cartografía y Métodos. Mérida, Venezuela, 59 (1). pp. 42—52.
- Martínez de Pisón, E. (1998). El concepto de paisaje como instrumento de conocimiento ambiental. *Paisaje y medio ambiente*. Fundación Duques de Soria- universidad de Valladolid, España, pp. 45-56.
- Mas, J. y Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/ uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTropico*, 5(1), pp. 1-24.
- Millennium Ecosystem Assessment - MEA. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). Adaptación basada en Comunidades (AbC) – Herramienta para la acción Climática. Minambiente.gov.co. <https://accionclimatica.minambiente.gov.co/glossary/adaptacion-basada-en-comunidades-abc/>
- Mazzoni, E. (2014). Unidades de paisaje como base para la organización y gestión territorial. *Estudios Socioterritoriales*, 16 (9400), pp. 51–81.
- Montañez, S. (2013). Alternativas de solución a la problemática de crecimiento urbano, caso de estudio: Expansión del casco urbano de Bogotá, sobre la Sabana

- de Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de arquitectura y diseño. Maestría en planeación urbana y regional. Bogotá, Colombia.
- Nin, M., Soutullo, A., Rodríguez-gallego, L. y Di Minin, E. (2016). Ecosystem services Based land planning for environmental impact avoidance. *Ecosystem Services*, 17, 172–184.
 - Observatorio de la Ciudad de México. (1996). Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010. México, Cenvi/UAM-Azcapotzalco/Observatorio de la Ciudad de México.
 - Olivera, P. (1987). Los cambios de uso de suelo en el área metropolitana de Monterrey. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México] BIDIUNAM.
<http://132.248.9.195/pmig2018/0042043/Index.html>
 - Olmo, R., (2014). El Convenio Europeo del Paisaje del Consejo de Europa. Notas sobre su aplicación en España.
 - Organización de las Naciones Unidas. (2018). Superficie de CDMX crece a ritmo tres veces superior al de su población.
<https://onuhabitat.org.mx/index.php/superficie-de-cdmx-crece-a-ritmo-tres-veces-superior-al-de-su-poblacion>
 - Organización Internacional de Maderas Tropicales [OIMT]. (2002). *Criterios e indicadores para la ordenación sostenible de los bosques naturales*. Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
 - Ortiz, F., Rubio, N., Carabias J y Vázquez, P. (2015). Pago por servicios ambientales. En *Conservación y desarrollo sustentable en la Selva Lacandona. Natura y ecosistemas mexicanos*.
 - Piedad, A., Hernández, R., Lárraga, H y Zacarías, E. (2020). Teledetención en la agricultura de precisión: Estado del arte de los índices de vegetación. *Tectzapic*, 6, (2), pp. 47-59.
 - Pineda, N., Bosque, J y Gómez, M. (2008). Cambios de la ocupación del suelo y análisis de transiciones sistemáticas en el Estado de México (México) mediante Tecnologías de la Información Geográfica. Comunicaciones del XI Coloquio Ibérico de Geografía, Alcalá de Henares, Madrid, España.
 - Pineda, N., Bosque, M. Gómez y W. Plata. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM (69):33-52*.
 - Pineda, N. (2010). Descripción, análisis y simulación de procesos forestales en el Estado de México mediante tecnologías de la información geográfica. Tesis doctoral. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, España.
 - Pineda, N., Bosque, J., Gómez, M. y Franco, R. (2011). Análisis de los factores inductores de los cambios ocurridos en la superficie forestal del Estado de México

- en el período 1993-2000. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, pp. 9-34.
- Pontius, R., Shusas, E. y McEchern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101, pp. 251-268.
 - Pradilla, E. (1992). La contrarreforma agraria y la cuestión territorial, en Memoria de la primera mesa redonda Implicaciones de las reformas al Artículo 27 Constitucional y la nueva Ley Agraria. Toluca, México: Coordinación General de Investigación y Estudios Avanzados, Universidad Autónoma del Estado de México.
 - Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. pp. 447–465.
 - Programa de manejo Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla. (2019). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
 - Rabinovitz, F. (1967). Politics, Personality, and Planning. *Public Administration Review*, 27, (1), pp. 18-24.
 - Randolph, J. (2004). Environmental Land Use Planning and Management. *Island Press, Washington, D.C., 2004*, pp.16-35.
 - Reid, H., Alam, M., Berger, R., Cannon, T., Huq, S. y Milligan, A. (2009). Community-based adaptation to climate change. *an overview*. In: *Participatory learning and action*, 60(1), pp. 11-33.
 - Registro Agrario Nacional. (2023). Tierras parceladas Entidad Federativa Estado de México. Gobierno de México.
<https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-de-las-zonas-de-tierra-parceladas-por-estado/resource/144b6b90-8dcb-425d-88d0-c8a7edc6517c>
 - Revista expansión. (2006). Artículo Bosque Irreal. No. 946, páginas 62 a 70. Fecha: 09 de agosto de 2006.
 - Rodríguez, H. (1991). Evaluación comparativa de la cubierta forestal y cambio de uso de suelo en el municipio de Ciudad Hidalgo, Michoacán [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México] BIDIUNAM.
<http://132.248.9.195/pmig2017/0153294/Index.html>
 - Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deering, D y Harlan, J. (1974). Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. nasa/gsfsc, Type III, Final Report, Greenbelt, md, usa.
 - Rullan, C., Gama, L., Galindo, A y Olthoff, A. (2011). Clasificación no supervisada de la cobertura de suelo de la región Sierra de Tabasco mediante imágenes Landsat ETM+. *Trópico húmedo*, 27, (1), 33-41.
 - Salazar, D. (2013). Análisis de la Segregación Socioespacial en el Municipio de Huixquilucan. Caso: Localidad de San Cristóbal Texcalucan. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de planeación urbana y regional. Tesina.
 - Sánchez, A. (2012). La evolución de la Ciudad de México. Factores para el desarrollo social. Informe del estado de desarrollo social en el Distrito Federal.

Consejo de Evaluación del Desarrollo Social del Distrito Federal. Ciudad de México, México.

- Santibáñez, G., Valdez, J y Guerra, F. (2023). Análisis multitemporal de la degradación de los bosques de encino y oyamel en la cuenca de México (1993-2014). *Madera y bosques*, 29, (1).
- Santos, J. (1999). Las nuevas corrientes geográficas y didácticas y su repercusión en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Geografía (el caso de la Geografía Urbana). *Espacio, Tiempo y Forma. Serie VI. Geografía*, t. 12. págs. 99-121.
- Secretaria del campo del Estado de México. (2023). Inventario Estatal Forestal y de Suelos del Estado de México 2022. Inventario forestal.
- Secretaria de Desarrollo Económico de la CDMX. (2020). Principales resultados del censo de población y vivienda 2020. Dirección general de desarrollo económico.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). Deforestación y tala ilegal, amenaza latente para nuestros bosques. Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/deforestacion-y-tala-ilegal-amenaza-latente-para-nuestros-bosques?idiom=es>
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2009). Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. Montreal, Technical Series No. 41,
- Soja, W. (2008). Postmetropolis. Estudios críticos sobre las ciudades y las regiones. Traficante de sueños, Mapas.
- Standish RJ, Hobbs RJ, Mayfield MM et al. (2014) Resilience in ecology: Abstraction, distraction, or where the action is? *Biological Conservation* 177, pp. 43–51.
- SWH-2A-Carto. (2023). Ortorectificación.
<https://swh-2a-carto.fr/processing>
- SWH. (2024). SPOT 1 to 5 satellites.
<https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/62>
- Ten Brink, P. (2011). Rewarding benefits through payments and markets, en TEEB, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making*. Earthscan, Washington.
- Trucíos, R, González, M., Ramírez, G., Ávalos, J y Cerano, J. (2013). Análisis sobre el cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. *Tierra Latinoamericana*. 31: 339-346.
- Ubalde, J., Rius, J y Poch, R. (1999). Monitorización de los cambios de uso del suelo en la cabecera de cuenca de la ribera salada mediante fotografía aérea y SIG (El Solsonès, Lleida, España). *Pirineos*, pp. 101-122.
- Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D. y Huyghe, C. (2016). Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36, (1), 15.
- Vidal, R. (1990). Precipitación media anual. En Precipitación, IV.4.6. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1 :4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

- Villers, L., García, L y López, J. (1998). Evaluación de los bosques templados en México: una aplicación en el parque nacional Nevado de Toluca. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM (36):7-19.*
- Wheeler, S. (2016). La planificación de la sociedad como cambio de paradigma. *Planificación urbana, 1, (3), 55-58.*
- Woodruff, S. & BenDor, T. (2016). Ecosystem services in urban planning: Comparative paradigms and guidelines for high quality plans. *Landscape and Urban Planning (152), 90–100.*
- Wunder, S., Wertz, S y Moreno-Sánchez, R. (2007). Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. *Gaceta Ecológica, (84-85), 39-52.*
- Wunder, S., S. Engel y S. Pagiola. (2008). Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics 65: 834-852.*
- Yáñez, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental?, *Gaceta Ecológica, (70), 5-18.*
- Zepeda, C., Antonio, X., Lot, A y Madrigal, D. (2012). Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM (78):48-61.*

Metadatos

- Imagen Raster pancromática de 1988

Nombre: 002-003_S1_588-311-0_1988-01-27-17-11-43_HRV-2_P_E2_TT.

Fecha de adquisición: 27/1/1988.

Hora de adquisición: 17:11:43.

Resolución espacial: 10 metros.

Numero de bandas: 1.

Tipo de archivo: TIFF.

Sistema de coordenadas: WGS UTM Zona 14N.

Sensor: SPOT 1.

Página web: Spot World Heritage

Enlace: <https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/60>

- Imagen Raster multiespectral de 1988

Nombre: 002-003_S1_588-311-0_1988-01-11-17-19-39_HRV-2_X_E2_TT.

Fecha de adquisición: 11/1/1988.

Hora de adquisición: 17:19:39.

Resolución espacial: 20 metros.

Numero de bandas: 3.

Tipo de archivo: TIFF.

Sistema de coordenadas: WGS UTM Zona 14N.

Sensor: SPOT 1.

Página web: Spot World Heritage

Enlace: <https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/60>

- Imagen Raster multiespectral de 2006

Nombre: 004-006_S5_588-311-0_2006-02-20-17-01-24_HRG-2_J_DT_ME.

Fecha de adquisición: 20/2/2006.

Hora de adquisición: 17:01:24

Resolución espacial: 10 metros.

Numero de bandas: 4.

Tipo de archivo: TIFF.

Sistema de coordenadas: WGS UTM Zona 14N.

Sensor: SPOT 5.

Página web: Spot World Heritage

Enlace: <https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/60>

- Imagen Raster multiespectral de 2023

Nombre:

S2A_MSIL2A_20230205T170511_N0509_R069_T14QMG_20230205T212957.SAFE.

Fecha de adquisición: 5/2/2023.

Hora de adquisición: 17:05:11.

Resolución espacial: 10 metros.

Numero de bandas: 7.

Tipo de archivo: TIFF.

Sistema de coordenadas: WGS UTM Zona 14N.

Sensor: SENTINEL-2.

Página web: Centro de acceso abierto de Copernicus.

Enlace: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

- Archivo vectorial climas de Huixquilucan.

Nombre: clima1mgw_c.

Autor: CONABIO.

Fecha de publicación: 11/05/2001.

Tipo de archivo: SHP.

Sistema de coordenadas: Cónica Conforme de Lambert.

Página web: Geoportal de la CONABIO.

Enlace:

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/clima/climas/clima1mgw

- Archivo vectorial ejidos de Huixquilucan.

Nombre: ZONAPARCELA_MEX.

Autor: Registro agrario Nacional.

Fecha de publicación: 29/08/2023.

Tipo de archivo: SHP.

Sistema de coordenadas: UTM WGS 84

Página web: Tierras parceladas Entidad Federativa Estado de México.

Enlace: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-de-las-zonas-de-tierra-parceladas-por-estado/resource/144b6b90-8dcb-425d-88d0-c8a7edc6517c>

- Archivo vectorial del Parque nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla.

Nombre: 186ANP_ITRF08_19012023.

Autor: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Fecha de publicación: 1/02/2024.

Sistema de coordenadas: ITRF08.

Página web: Información Espacial de las Áreas Naturales Protegidas.

Enlace: http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm

- Archivo vectorial Parque Estatal Otomí – Mexica.

Nombre: anpest20gw.

Autor: Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad.

Fecha de publicación: 1/06/2020.

Sistema de coordenadas: UTM WGS 84.

Página web: Geoportal de CONABIO.

Enlace:

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/anpest20gw

- Archivo vectorial Santuario del agua y forestal subcuenca tributaria San Lorenzo.

Nombre: anpest20gw.

Autor: Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad.

Fecha de publicación: 1/06/2020.

Sistema de coordenadas: UTM WGS 84.

Página web: Geoportal de CONABIO.

Enlace:

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/anpest20gw

- Archivo vectorial Barranca Río la Pastora, Río San Joaquín y Río de la Loma.

Nombre: anpest20gw.

Autor: Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad.

Fecha de publicación: 1/06/2020.

Sistema de coordenadas: UTM WGS 84.

Página web: Geoportal de CONABIO.

Enlace:

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/anpest20gw

- Archivo vectorial Barranca del Huizachal, Barranca Arroyo Santa Cruz y Barranca Arroyo Plan dé la Zanja.

Nombre: anpest20gw.

Autor: Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad.

Fecha de publicación: 1/06/2020.

Sistema de coordenadas: UTM WGS 84.

Página web: Geoportal de CONABIO.

Enlace:

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/anpest20gw