



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

CAMBIO DE TIPO DE COBERTURA TERRESTRE
MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE DE LA REGIÓN
IZTACCÍHUATL-POPOCATÉPETL.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G O
PRESENTA:
BEATRIZ MONCADA GONZÁLEZ



México, D.F.

Agosto, 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

“Haz todo lo necesario para
lograr tu más ardiente deseo y
acabarás lográndolo.”

Beethoven

“La vida no es tener y obtener,
sino ser y convertirse en.”

Mathew Arnold

DEDICATORIA

Dedicada a tres personas exitosas, inteligentes, e incomparables; las que más quiero y admiro, que son:

Mis padres: Beatriz González Roldán y Gilberto Moncada Negrete, por el incondicional apoyo en todos los aspectos que siempre me han brindado, por el ejemplo de fortaleza y trabajo, y por creer en mí, con todo mi amor, gratitud y reconocimiento.

Mi hermana: Gisela Moncada González, por su fiel manera de compartir nuestras vivencias, y lo que hemos aprendido y compartido juntas, con cariño y admiración.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por la oportunidad de obtener una formación profesional y cultural.

A la carrera de Biología, por haberme permitido el desarrollo multidisciplinario, en el sentido no solo académico, también socio-cultural.

Al M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas, por su dirección en el presente trabajo y despertar mi interés en el campo de la Geomática. Sin duda un ser a quien le admiro y le respeto.

A los sinodales miembros del jurado: M. en C Manuel Rico Bernal, M. en C. Faustino López Barrera, Dr. Gerardo Cruz Flores y Dr. David N. Espinosa Organista por sus comentarios y aportaciones para el enriquecimiento de este trabajo, así como por la formación profesional recibida.

A todos los profesores de la carrera de Biología, por los conocimientos, comentarios y críticas, brindados en el transcurso de mi formación profesional.

Al Departamento de Análisis Espacial y Percepción Remota de la CONANP a cargo del Biol. Jorge Carranza, así como a todo su grupo de trabajo, por el espacio y conocimientos adquiridos durante mi servicio social en este lugar.

Al Dr. Arturo García investigador del Instituto de Geografía, UNAM, por el espacio, confianza y conocimientos adquiridos durante mi estancia en este lugar.

A mi papá Gilberto Moncada Negrete, por ser mi mejor maestro de matemáticas, a mi mamá Beatriz González Roldán, por su apoyo en ortografía y redacción, a mi hermana Gisela Moncada González y su esposo Luis Enrique Tapia Salazar por sus opiniones académicas, y por compartir sus logros.

Al equipo de trabajo del proyecto Izta-Popo: Beatriz Martínez, Natalia Sánchez, Alejandro Bello, Gerardo Azuara, Edgar Villeda, Nayeli Durán y Gustavo Villagrán.

A mis compañeros de laboratorio de Geomática: Pablo Jaime, Edith Calixto, Luis Villanueva. A mis amigos y compañeros: Biol. Raúl Arcos Ramos, Alejandra Guasco, German Salgado, Jorge Guzmán (fresa-freak) y José Luis Gutierrez Lovera por su amistad.

A mis familiares: Mamá Chelita †, Abue Perfe †, Tía Rosita, Tía Carmen González, Tío Victor González, Tío Arturo González, por quererme tanto como yo los quiero y su gran apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

A todos con la gratitud de conocerlos y por la oportunidad de aprender de cada uno de ustedes.

Sinceramente

Beatriz Moncada González

INDICE

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1 Ecología del paisaje	5
3.2 Uso de suelo/cobertura	7
3.4 Geomática	10
3.4.1 Cartografía	10
3.4.2 Las proyecciones	11
3.4.3 Percepción Remota	12
3.5 Análisis Espacial del Paisaje	18
3.5.1 Elementos paisajísticos	19
3.5.2 Escala del paisaje	20
3.5.3 Transformación del paisaje	20
3.5.4 Modelos matemáticos	20
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
5. HIPÓTESIS	23
6. OBJETIVOS	23
6.1 Objetivo General	23
6.2 Objetivos particulares	23
7. ZONA DE ESTUDIO	23
8. MATERIALES Y MÉTODO	25
8.1 Diagrama de flujo	25
8.2 Procedimiento	26
9. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
9.1 Determinación de la cobertura terrestre para 1976, 1989 y 2000.	29
9.5 Comparación espacial, cuantitativa y cualitativa	44
9.7 Cambio de cobertura terrestre de 1989 a 2000	50
9.8 Matrices proporcionales cruzadas de cambios de cobertura terrestre	55
9.9 Predicción del cambio de cobertura terrestre para el año 2010	63
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
11. BIBLIOGRAFÍA	78

RESUMEN

Los cambios de uso de suelo son las principales causas de la degradación ambiental a escalas locales, regionales y globales; estos procesos son causados por factores naturales, económicos, tecnológicos, políticos, sociales y culturales. La presente investigación se realizó en la región Tlálloc - Izta - Popo, incluyendo el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl en una superficie de 239 943.06 hectáreas y tuvo como objetivo principal identificar y cuantificar los procesos de cambio de cobertura terrestre, de 1976 a 1989 y de 1989 a 2000 así como conocer las tendencias del cambio en la cobertura vegetal de la zona para el año 2010. Para identificar los cambios de cobertura se emplearon las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI e imágenes de satélite Landsat TM y ETM + corroborando la interpretación con puntos de muestreo caracterizados ecológicamente en la zona de estudio. Los mapas generados se procesaron digitalmente mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) generando un mapa de cobertura terrestre con 33 tipos diferentes e identificando los cambios y las matrices de transición, cualitativa y cuantitativamente. El análisis de la información obtenida indica que la zona de estudio es relativamente estable, ya que los porcentajes de cobertura terrestre de cambio ocurrido y de predicción, no superan al 2% del total de la superficie estudiada.

Palabras clave: cambio cobertura terrestre, imagen de satélite, modelo Markov

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios de uso de suelo son las principales causas de la degradación ambiental a escalas locales, regionales y globales; pero cabe señalar que estos procesos son causados por factores tecnológicos, económicos, políticos, sociales y culturales.

La pérdida de la vegetación natural influye directamente en la pérdida de hábitat y de especies, la erosión y la fertilidad del suelo. Asimismo, se ha considerado que los cambios de uso de suelo influyen indirectamente en la desertificación, las emisiones de CO₂ a la atmósfera, y el cambio climático. Por lo tanto, el conocimiento de los efectos de las actividades del hombre en los diferentes ecosistemas es básico para entender los desequilibrios y los acelerados procesos de degradación que aquejan a muchos tipos de ecosistemas otrora naturales. Sin embargo, las actividades humanas tienen efectos diferenciales en la degradación ambiental debido a que los usos de suelo son diversos y varían en intensidad, duración y extensión. Por lo tanto, la identificación y análisis de los cambios de uso del suelo/cobertura como factor ecológico es fundamental para entender cómo, dónde y cuánto se están perdiendo los recursos naturales (Galicia et al., 2004).

La cobertura terrestre es un elemento intrínseco de la mayoría los análisis de percepción remota (Aplin, 2004).

El análisis del cambio de uso / cobertura del suelo es crucial para entender los procesos dinámicos de la cobertura del suelo; la pérdida de la productividad y biodiversidad, vulnerabilidad a erosión, deforestación, fragmentación, pérdida del valor de opción de bienes y servicios ambientales; son otros aspectos necesarios para apoyar las labores de ordenamiento ecológico (Velásquez *et al.*, 2002).

La identificación de estos procesos acerca la posibilidad de plantear propuestas de solución a estos problemas (López, 2003).

El manejo de nuevos conceptos en la ciencia, tal como el concepto de "paisaje" son indispensables para analizar los cambios de cobertura terrestre a través del tiempo. En este trabajo se realiza una evaluación del cambio de paisaje mediante imágenes de satélite, el cual permite establecer puntualmente donde, cuando y cuanto ha cambiado el paisaje así como también la tendencia de comportamiento del paisaje en la zona de estudio.

2. JUSTIFICACIÓN

Frente a la elevada riqueza biológica que caracteriza a los ecosistemas montañosos de la zona de estudio, también destaca en ellos grandes limitantes derivados de su sensibilidad ambiental. La topografía accidentada favorece los procesos erosivos intensos (por ejemplo derrumbes y deslizamientos) además de condiciones climáticas adversas (bajas temperaturas y alta radiación solar) con patrones de lluvia impredecibles y procesos extraordinarios (terrenos, erupciones volcánicas) que atentan contra la estabilidad de las coberturas vegetales de estos ecosistemas. A lo anterior se agrega el elevado crecimiento demográfico en la zona metropolitana, la cual se encuentra muy cercana a la zona de estudio, y la contaminación ambiental; que aumentan la presión de deterioro de las comunidades forestales, y en consecuencia la modificación del paisaje. En la zona de estudio, esta susceptibilidad es evidente en los volcanes activos. El Popocatepetl (5450 msnm) reinició la última fase de actividad en 1994, tras lo cual ha tenido dos fases eruptivas intensas en 1997 y 2001 (*García et al.*, 2004).

Si bien las políticas ambientales, se han dado a la tarea de crear áreas naturales protegidas, no basta con protegerlas, pues es necesario identificar y cuantificar los cambios que se han venido presentando a lo largo del tiempo, es decir, dar a conocer la historia del paisaje en la zona de estudio, para poder llevar a cabo un adecuado manejo de la zona, así como para prever disturbios no favorables en la zona.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Ecología del paisaje

En 1939, Troll introdujo el término ecología del paisaje, tres años después que Tansley acuñase el de ecosistema. Este biogeógrafo alemán tenía como objetivo combinar dos disciplinas, la geografía y la ecología; es decir, relacionar las estructuras espaciales, objeto de la geografía, con los procesos ecológicos. En este contexto, el paisaje se considera como la traducción espacial del ecosistema (Richard, 1975).

Concepto de Paisaje

El término paisaje en un diccionario convencional, encontramos el siguiente concepto: Paisaje Cuadro que representa el campo, un río, bosque, etc. Extensión de terreno que forma conjunto artístico.

El término paisaje sugiere, como muchas palabras del lenguaje común montaña, jardín, ciudad, vegetación, etc. múltiples imágenes: unas actuales otras vividas, otras simplemente recordadas, tales como el panorama que se ve desde una ventana de nuestra casa, un Cuadro, una postal etc. A través de la historia se ha interpretado el término "paisaje" de diferentes maneras, dependiendo del contexto cultural, científico y social en un momento determinado. Detrás de este fenómeno se esconde el desarrollo de la comprensión de la naturaleza, del tiempo y del espacio.

El paisaje se convierte en algo distinto, en un lugar sensible a las distintas transformaciones, que registra los movimientos y los acontecimientos que lo cruzan. "Esto es el paisaje, entendido como una superficie activa que estructura las condiciones para unas nuevas relaciones y unas nuevas interacciones entre las cosas que soporta". En esta nueva concepción, el paisaje deja de estar referido a una imagen naturalista, sino que evoca una

estructura continua sobre la cual es posible operar por medio de la gestión de actividades diversas, de acontecimientos y de movimientos. La superficie se convierte en un sistema que pone en relación las actividades que soporta. No es

un espacio entre los edificios, o una plataforma sobre la cual se organiza un proceso de construcción, sino un auténtico campo de energía, una membrana dinámica y sensible “parecida a una emulsión catalítica” (Galofaro, 2003).

El concepto de paisaje en la actualidad no es el mismo; ahora se entiende como todo espacio abierto, ya sea natural o creado por el hombre. El paisaje puede ser aquel que observamos a la distancia o el ambiente exterior en el que desarrollamos nuestra vida cotidiana. Resulta de la interacción de la sociedad y el ambiente en que esta vive; si la primera cambia, el segundo se altera (Cabeza, 1993).

El territorio es el almacén o estructura fundamental que produce al paisaje (Bertrand, 1978 en García 2004).

El paisaje es entendido como un hecho real que existe en la superficie terrestre; un hecho complejo y dinámico, cuya naturaleza y caracteres son independientes del significado que le atribuyen los grupos humanos, en el paisaje se tienen la máxima expresión del carácter sintético del territorio.

A lo largo de nuestra vida observamos paisajes, los cuales evolucionan constantemente. Puede analizarse el paisaje como una “estructura” formada por diversos sistemas o tipos de cultivos, dispuestos uno sobre el otro, actuando entre sí a lo largo del tiempo, como resultado de una serie de transformaciones funcionales y morfológicas (Burel y Baudry, 2002).

La forma del paisaje natural refleja su historia geológica, aunque no lo parezca a simple vista, y es el resultado de la colonización del paisaje

natural a través de la trama de cultivos. La capa en la que la forma se ha determinado de modo consciente puede denominarse paisaje arquitectónico, lo que es evidente en los componentes formales implícitos de la trama de cultivos, o bien se revela específicamente como una definición arquitectónica de líneas, puntos y superficies dentro de ella (Steenbergen C. *et al.*, 2001).

Nuestra capacidad para transformar la tierra ha promovido la ilusión de que controlamos la naturaleza, de que, de algún modo estamos separados de ella. En la actualidad, nuestra supervivencia como especie depende de nuestra capacidad para adaptar nuestro entorno a nuevos procedimientos. La solución a este tema, fundamental en nuestra época, determinará nuestra viabilidad

como especie. Debemos adaptar nuestros paisajes y asentamientos a este objetivo (Whiston, 1990).

La noción de paisaje abarca una serie de matices y opciones muy diversas. Actualmente podemos decir que el hombre ya no es solo un ser determinado por las fuerzas de la naturaleza, sino que el hombre modifica y regula de forma muy efectiva dichas fuerzas y, por tanto también condiciona el paisaje, y aún la forma en que lo vemos por la extensión que la tecnología presta a nuestros sentidos. Y la forma en que veamos la naturaleza va a influir en el modo en que incidiremos sobre ella (Margalef, 1980). Actualmente, se dispone de medios que permiten caracterizar y comparar los paisajes y su evolución, y que tratan de dar respuesta a cuestiones como ¿en que momento se redujo cierta área de ciertos recursos naturales? ¿Qué cantidad área ocupada por recursos naturales, ahora ha disminuido?, etc. Los paisajes evolucionan, a veces de forma colosal, incluso si están poco transformados por el hombre, bajo el efecto de las tempestades, los incendios, las inundaciones, etc. (Romme, 1982).

Observando un paisaje se pueden detectar elementos de su organización, rasgos de su pasado, que pueden servir como punto de

partida a otros investigadores para plantear hipótesis. El concepto de paisaje gradualmente ha sido introducido a la disciplina de la ciencia. Pero ha sido hasta los últimos 60 años que el concepto de paisaje ha sido objeto de la ciencia. Alexander von Humboldt, en Alemania, fue el primer biogeógrafo en dar la definición del concepto de paisaje como, el carácter total de un territorio, esta dado por ambas cosas la perspectiva y el aspecto natural (Ingegnoli, 2002).

3.2 Uso de suelo/cobertura

El análisis del cambio de uso/cobertura terrestre, constituye uno de los insumos necesarios para entender la dinámica del territorio (Velásquez *et al.*, 2002), sin embargo, es frecuente el uso de los términos cubierta, cobertura y uso de suelo como sinónimos, por ello es oportuno hacer una revisión de su significado y aplicación. La cubierta del suelo (land cover en inglés) es el material o elemento que cubre el suelo y se refiere a la naturaleza o forma física de la superficie del

terreno que puede ser identificada visualmente en campo o a través de medios de percepción remota. Cobertura (coverage en inglés) se utiliza especialmente en relación con la vegetación y se define como el porcentaje del área que cubre en la superficie del suelo la proyección de un tipo particular de vegetación, es decir, la densidad de la cubierta vegetal. Uso de suelo (land use en inglés), expresa el aprovechamiento o los fines económicos que se les da a las diversas cubiertas. Debido a la confusión que se genera por el hecho de que algunas cubiertas lleven implícito un uso (cultivos/uso agrícola) o varios usos (bosques/uso

silvícola, conservación, recreación), así como por la dificultad en muchos casos de separarlos, en la actualidad es frecuente encontrar dichos términos de forma conjunta: usos y cubiertas del suelo. Incluso, en la bibliografía en inglés es muy común ver las siglas LULC (Land Use-Land Cover) para referirse a la unión de ambos hechos (Galicia *et al.*, 2004).

En el presente trabajo se utiliza el término cambio de tipo de cobertura terrestre, ya que es el término que mejor expresa el análisis de este tipo de información, y porque el término se maneja en la publicación oficial "Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio" (Palacio-Prieto *et al.*, 2004). En ella se describe que el cambio de uso del suelo y vegetación, o en general el cambio de tipo de cobertura del terreno es la consecuencia de la interacción de las actividades humanas con el medio natural, y señalan al cambio de cobertura terrestre como un indicador del impacto de las actividades económicas y el desarrollo de las comunidades humanas sobre el territorio y sus recursos, que permite identificar problemas relativos a la sustentabilidad de las actividades humanas.

La cobertura terrestre es un elemento intrínseco de la mayoría de los análisis de percepción remota (Aplin, 2004) y esta disciplina se basa en observación a distancia de un sistema físico o biofísico, que ha cobrado importancia

principalmente con el avance de la tecnología espacial. Los satélites artificiales, los sensores remotos y el manejo de imágenes digitales por medio de computadora, han modificado el estudio de la superficie terrestre y la evaluación de los recursos naturales.

El desarrollo de la tecnología espacial, la electrónica y los sistemas de comunicación, han diversificado y ampliado la capacidad del hombre para ver paisajes que le eran de difícil acceso (Lira, 1997).

3.3 Levantamiento fisiográfico

El método para la realización del Levantamiento Fisiográfico consta de los siguientes pasos: a) Delimitación de la zona de estudio, punto inicial del trabajo, donde la ubicación geográfica es imprescindible, y la adquisición de materiales para ello. El segundo paso es b) Obtención de la información existente, en este paso se buscará toda información cartográfica disponible para la zona de estudio, tales como: mapas temáticos, topográficos etc. Obtener también imágenes de satélite, fotos aéreas etc. El tercer paso es c) Unificación de escalas: consiste en que la información cartográfica colectada se lleva a la misma escala de la imagen. El cuarto paso d) Unidades provisionales: una vez uniformizada la escala de los mapas, cada uno es comparado con la imagen de satélite y como se está dentro del enfoque morfológico solo se trazan aquellos linderos que sean evidentes: es decir aquellos linderos que presentan una correlación con los rasgos de la imagen, es recomendable darles el nombre de cualquier objeto parecido que se nos venga a la mente, una pluma, forma de bota etc., ya que con ello se obtendrá una clave para hacer una interpretación asociativa, lo que es muy útil en caso de que la información colectada cubra pequeñas áreas y se necesita establecer extrapolaciones. El quinto paso e) Transferencia de linderos: se trata de pasar los linderos a las fotos aéreas. Sexto

paso f) Se establecen recorridos a campo para establecer correlaciones para definir aquellas partes en donde no son posibles tales recorridos a campo.

Séptimo paso g) Descripción de facetas: en el caso de este trabajo, de describen cada tipo de cobertura terrestre por polígono delimitado, en este trabajo se efectuó una evaluación ecológica, midiendo cubierta vegetal, tipo de vegetación etc. Paso 8 h) Definición del sistema terrestre: se define usualmente facetas y sus relaciones, en este trabajo se interpretó la imagen de satélite, trazando un polígono que define a cada tipo de cobertura terrestre. A partir de este método de Levantamiento fisiográfico se estableció la metodología de este trabajo. Por ello es tan importante hacer mención de su desarrollo (Ortiz y Cuanalo 1984).

3.4 Geomática

La geomática es un término científico moderno, que hace referencia a un conjunto de técnicas en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica. Esta disciplina, cuyo origen se encuentra en la unión de Ciencias de la Tierra y de la Informática, consiste en una integración de datos, métodos y tecnologías para estudios del espacio geográfico. Incluye levantamiento o adquisición de datos; su revisión, validación, corrección y posicionamiento en el territorio; su almacenamiento e integración con otros datos e información; su análisis, síntesis, modelado y simulación; y finalmente como resultado, la representación y distribución de información digital geográficamente referenciada (<http://www.centrogeo.org.mx>, 2007)

La Geomática es una ciencia interdisciplinaria que integra, analiza, procesa, agrupa, almacena, administra, información espacial. La Geomática es una ciencia emergente cuyo dominio de conocimiento está basado en disciplinas convergentes como son la Geografía, las Ciencias de la Información Geográfica, la Cartografía, la Percepción Remota, la Geodesia y la Fotogrametría.

3.4.1 Cartografía

La *cartografía* es una disciplina que integra ciencia, técnica y arte, que trata de la representación de la Tierra sobre un mapa o representación cartográfica. Al ser la Tierra esférica ha de valerse de un sistema de proyecciones para pasar de la esfera al plano. En el fondo, éste es el problema de la cuadratura del círculo. El problema es aún mayor, pues en realidad la forma de la Tierra no es exactamente esférica, su forma es más achatada en los polos que en la zona ecuatorial. A esta figura se le denomina geode. Pero además de representar los contornos de las cosas, las superficies y los ángulos, se ocupa también de representar la información que aparece sobre el mapa, según se considere qué es relevante y qué no. Esto, normalmente, depende de lo que se quiera representar en el mapa y de la escala. Estas representaciones actualmente se están realizando con programas de informática llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG), en los que se puede georreferenciar desde un árbol y su ubicación, hasta una ciudad entera como pueden ser sus edificios, calles, plazas, puentes, jurisdicciones, etc. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Cartograf,2007>)

La cartografía es, entonces, el útil básico para la representación del paisaje (Burel y Baudry, 2002).

3.4.2 Las proyecciones

Una proyección puede definirse como una red de paralelos y meridianos sobre la cual puede ser dibujado un mapa.

El cartógrafo realiza una transformación adicional para poder representarla sobre un medio plano, ya que la tierra no posee una superficie reglable, es decir que no se puede transformar en una superficie plana sin someterla a deformaciones, ya sean de ángulos, distancias o áreas.

Para ello se procede a usar un medio intermedio, geométrico o matemático. Estas herramientas son las proyecciones cartográficas.

Para trazar las proyecciones se emplean actualmente cálculos matemáticos muy precisos, pero la idea general se basa en la proyección de las sombras de los meridianos y paralelos de una esfera sobre una superficie que puede convertirse en plana sin deformaciones, tal como la superficie cilíndrica o la cónica.

Paralelos: líneas imaginarias de la intersección de planos paralelos al ecuador y la superficie terrestre. Latitud (ϕ): ángulo entre el paralelo del lugar y el paralelo de referencia (el Ecuador) Meridianos: líneas imaginarias de la intersección de los planos que cortan los polos con la superficie de la tierra. Longitud (λ): ángulo entre el meridiano del lugar y el de origen (Greenwich) Hay tres tipos básicos de proyección: cilíndrica, cónica y polar. Cada una de ellas ha dado lugar a muchas otras basadas en cálculos matemáticos. Entre las más usuales figura la siguiente: *Proyección Mercator*. Es la creada por el cartógrafo Mercator, y la favorita de los marinos. Las direcciones o rumbos magnéticos pueden trazarse en línea recta sobre el papel. Los meridianos y paralelos se cortan en ángulos rectos. Los meridianos están a igual distancia, los paralelos se alejan hacia los polos, las tierras árticas aparecen exageradas. Corresponde al tipo cilíndrico, aunque modificado.

Proyecciones más usadas en México.

Mapas a escalas pequeñas: *Proyección Cónica Conforme de Lambert*. Emplea un cono en posición normal y secante con superficie de proyección con la propiedad de conservar los ángulos. Mapas a escalas medias y grandes *Proyección Universal Transversa de Mercator*. Esta es una proyección de Mercator en basada en un cilindro secante en posición transversal. Tuvo su origen en necesidades militares y es ampliamente usada para escalas de 1:250,000 y mayores, particularmente en mapas topográficos. Mapas de Navegación marina. *Proyección de Mercator*. En nuestro país se usa para la confección de mapas de navegación marítima y para mapas de portulanos. Se basa en un cilindro en posición normal y tangente.

3.4.3 Percepción Remota

La Percepción Remota (Remote Sensing en inglés) o Teledetección puede definirse como la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto. La historia de la Percepción Remota comenzó hace unos 600 millones de años, cuando alguna forma inferior de vida animal diferenció algunas de sus células, volviéndolas fotosensibles.

También durante millones de años, dicho rudimento fotosensible evolucionó convirtiéndose en un poderoso y sofisticado sensor, el ojo humano. Este tuvo un imitador mecánico, la cámara fotográfica, que hizo su aparición hace algo más de un siglo y que fue muy mejorada durante la década de 1930 para ser aplicada a la fotografía aérea. La Segunda Guerra Mundial dio un gran impulso a la fotografía aérea así como a otras formas de percepción remota. Sin embargo, el "salto cuántico" en esta disciplina se produjo en la década de 1960 cuando las plataformas satelitales reemplazaron a las aéreas y los sensores electrónicos multiespectrales, acoplados a computadoras, reemplazaron las cámaras fotográficas. Los objetos terrestres, iluminados por la radiación solar, reflejan ésta luego de introducir en ella modificaciones inducidas por la misma estructura y composición de dichos objetos. La radiación reflejada es capturada por los sensores del satélite, siendo parcialmente procesada a bordo de éste y retransmitida a estaciones receptoras terrestres para su posterior procesamiento y análisis (*fuentes emisora, sensor, cerebro*).

La Percepción Remota es una disciplina compleja, por la sencilla razón de que a su vez, involucra un conjunto de disciplinas complejas. El vertiginoso desarrollo científico que ha caracterizado esta última década del siglo, ha terminado con la pueril idea de que siempre hay una solución sencilla para un problema complejo: si el problema es complejo, su solución será compleja. En Percepción Remota confluyen, por ejemplo, disciplinas tales como análisis y procesamiento de imágenes satelitales, espectrometría, estadística, matemáticas, informática, astronomía, cartografía, etc. Como los objetos a ser estudiados mediante el uso de imágenes satelitales pueden ser de diferente naturaleza física, un proyecto puntual basado en Percepción Remota puede requerir, además, la asistencia de especialistas en la materia que involucra al objeto bajo estudio, como por ejemplo agrónomos, biólogos, oceanógrafos, urbanistas, etc., según sea el caso. También puede darse el hecho, de que un determinado proyecto no este basado específicamente en el uso de Imágenes Satelitales para su desarrollo, pero que no obstante, requiera de ellas como herramienta adicional de información. Como puede verse, el espectro multidisciplinario que propone la Percepción Remota, ubica a esta dentro de líneas que la ciencia moderna impone. Hoy por hoy es impensable

que cualquier emprendimiento de carácter científico de compleja solución, pueda ser llevado a cabo por una sola persona: el conocimiento enciclopédico ha quedado confinado para siempre a los genios renacentistas. En cuanto a la complejidad, se debe asumir esta como un desafío y no como una carga tediosa. Ya hoy, el mundo que se habita, nos exige en lapsos cada vez mas breves, soluciones a problemas cada vez mas complejos; en muchísimos aspectos del quehacer humano, la Percepción Remota se esta haciendo cada vez más necesaria como ya lo es la tecnología más actual. En la actualidad, podemos ver en diferentes medios, tanto escritos como audiovisuales, cada vez con mayor insistencia, imágenes provenientes de satélites; y esto no es casualidad: los progresos notables que han tenido lugar en lo que a recursos informáticos se refiere, están permitiendo procesar y utilizar estas imágenes con mucha mejor presentación que en años anteriores, alcanzando altos niveles de precisión en los resultados analíticos. Esto, sin contar con las nuevas prestaciones que ofrece la nueva generación de satélites, algunos ya en orbita y otros a ser lanzados próximamente. (<http://www.teledet.com.uy/quees.htm>,2007)

Los satélites artificiales, los sensores remotos y el manejo de imágenes digitales por medio de computadora, han modificado el estudio de la superficie terrestre y la evaluación de los recursos naturales (Lira, 1997).

Características de los satélites Landsat

Hasta 1960 la fotografía aérea era el único sistema utilizado de sensores remotos que proveía de información; con el inicio de los programas espaciales y el lanzamiento del sistema de satélites Landsat, en 1972 se iniciaría una nueva etapa para las investigaciones a distancia, asible Landsat MSS (1972) provisto de un sensor de múltiples bandas MSS Y RBV (Return Beam Vidicom), con una resolución de 80 m y cubriría 185 Km x 185 Km, repitiendo la cobertura cada 18 días; después se incorporaron en 1982 y 1984 el Landsat Thematic Mapper TM con 30m. de resolución y 7 bandas multiespectrales, además de una banda pancromática con 10 m. cuadrados de resolución. (Jensen, 2000; Soria, 1998)

3.4.4 Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información geográfico (SIG) particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. A parte de la especificación no gráfica el SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georeferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es medible y tiene localización. En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada. La mayor utilidad de un sistema de información geográfico esta íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis. La construcción de modelos o modelos de simulación como se llaman, se convierte en una valiosa herramienta para analizar fenómenos que tengan relación con tendencias y así poder lograr establecer los diferentes factores influyentes. Un SIG es, un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración. Una definición más sencilla es: Un sistema de computador capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre.

Un sistema de información geográfica, es una herramienta de análisis de información. La información debe tener una referencia espacial y debe conservar una inteligencia propia sobre la topología y representación.

Componentes de un SIG:

1.-Equipos (Hardware) Es donde opera el SIG. Hoy por hoy, programas de SIG se pueden ejecutar en un amplio rango de equipos, desde servidores hasta computadores personales usados en red o trabajando en modo "desconectado".

2.- Programas (Software) Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los principales componentes de los programas son: Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica. Un sistema de manejador de base de datos (DBMS) Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización. Interfase gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.

3.- Datos probablemente la parte más importante de un sistema de información geográfico son sus datos. Los datos geográficos y tabulares pueden ser adquiridos por quien implementa el sistema de información, así como por terceros que ya los tienen disponibles. El sistema de información geográfico integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los manejadores de base de datos más comunes para manejar la información geográfica.

4.- Recurso humano. La tecnología de los SIG está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema, que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real.

5.- Procedimientos. Un SIG operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras del negocio, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización. La esencia de un SIG está constituida por una base de datos geográfica. Esta es, una colección de datos acerca de objetos localizados en una determinada área de interés en la superficie de la tierra, organizados en una forma tal que puede servir eficientemente a una o varias aplicaciones. Una base de datos geográfica requiere de un conjunto de procedimientos que permitan hacer un mantenimiento de ella tanto desde el punto de vista de su documentación como de su administración. La eficiencia está determinada por los diferentes tipos de datos almacenados en diferentes estructuras. El vínculo entre las diferentes estructuras se obtiene mediante el campo clave que contiene el número identificador de los elementos. Tal número identificador aparece tanto en los atributos gráficos como en los no gráficos. Los

atributos no gráficos son guardados en tablas y manipulados por medio de un sistema manejador de bases de datos.

Los atributos gráficos son guardados en archivos y manejados por el software de un sistema SIG. Los objetos geográficos son organizados por temas de información, o capas de información, llamadas también niveles. Aunque los puntos, líneas y polígonos pueden ser almacenados en niveles separados, lo que permite la agrupación de la información en temas son los atributos no gráficos. Los elementos simplemente son agrupados por lo que ellos representan. Así por ejemplo, en una categoría dada, ríos y carreteras aun siendo ambos objetos línea están almacenadas en distintos niveles por cuanto sus atributos son diferentes.

Los formatos estándar para un archivo de diseño son el formato celular o raster y el formato tipo vector, en el primero de ellos se define una grilla o una malla de rectángulos o cuadrados a los que se les denomina células o retículas, cada retícula posee información alfanumérica asociada que representa las características de la zona o superficie geográfica que cubre, como ejemplos de este formato se pueden citar la salida de un proceso de fotografía satelital, la fotografía aérea es otro buen ejemplo.

De otro lado, el formato vectorial representa la información por medio de pares ordenados de coordenadas, este ordenamiento da lugar a las entidades universales con las que se representan los objetos gráficos, así: un punto se representa mediante un par de coordenadas, una línea con dos pares de coordenadas, un polígono como una serie de líneas y una área como un polígono cerrado. A las diversas entidades universales, se les puede asignar atributos y almacenar éstos en una base de datos descriptiva o alfanumérica para tales propósitos.

La utilidad principal de un Sistema de Información Geográfica radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales y para utilizar esos modelos en la simulación de los efectos que un proceso de la naturaleza o una acción antrópica produce sobre un determinado escenario en una época específica. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen así como para evaluar las posibles

consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en el área de interés.

En el ámbito municipal pueden desarrollarse aplicaciones que ayuden a resolver un amplio rango de necesidades, como por ejemplo: Producción y actualización de la cartografía básica. Regulación del uso de la tierra. Control ambiental (saneamiento básico ambiental y mejoramiento de las condiciones ambientales, educación ambiental). Evaluación de áreas de riesgos Formulación y evaluación de planes de desarrollo social y económico.

Formato Raster: El formato raster se obtiene cuando se "digitaliza" un mapa o una fotografía o cuando se obtienen imágenes digitales capturadas por satélites. En ambos casos se obtiene un archivo digital de esa información. La captura de la información en este formato se hace mediante los siguientes medios: scanners, imágenes de satélite, fotografía aérea, cámaras de video entre otros.

Formato Vectorial: La información gráfica en este tipo de formatos se representa internamente por medio de segmentos orientados de rectas o vectores. De este modo un mapa queda reducido a una serie de pares ordenados de coordenadas, utilizados para representar puntos, líneas y superficies.

La captura de la información en el formato vectorial se hace por medio de: mesas digitalizadoras, convertidores de formato raster a formato vectorial, sistemas de geoposicionamiento global (GPS), entrada de datos alfanumérica, entre otros (<http://www.teledet.com.uy/quees.htm>,2007).

3.5 Análisis Espacial del Paisaje

El análisis espacial o geográfico es un elemento fundamental en el desarrollo práctico y teórico de la Geomática, la cuál a su vez resulta en un importante medio de apoyo de la Biología y Geografía Contemporánea. En este sentido, la Biología, la Geografía y la Geomática forman una relación sinérgica en las esferas de la investigación, la educación y el desarrollo tecnológico. La distribución espacial es inherente tanto a los fenómenos propios de la corteza terrestre, como a los fenómenos artificiales y naturales que sobre ella ocurren. Todas las sociedades que han gozado de un grado de civilización han organizado de alguna manera la información espacial. El análisis del paisaje es un método de análisis del espacio que permite comprender e interpretar el funcionamiento de un paisaje natural. Este análisis se realiza en general a la hora

de realizar proyectos de actuaciones que tienen un impacto sobre el paisaje estudiado, con el fin de determinar cuáles son los puntos sensibles a preservar o a poner en valor. El análisis intenta identificar y descifrar los elementos listados en la lectura del paisaje, vinculando cada uno ellos a uno o más funciones bien precisa del paisaje como medio de vida. Las tierras cultivadas están vinculadas a la problemática de la gestión agrícola del espacio, de las habilidades para dar salida o entrada a productos, de las necesidades de la población, etc. Fases del análisis del paisaje comprende tres etapas: La observación: es la lectura del paisaje; La comprensión: es el análisis Paisajístico como tal; y La interpretación: es la síntesis del estudio (Forman ,1995).

Como todo sistema, el paisaje debe considerarse como tal en un análisis paisajístico, integrando todos sus elementos: fauna, flora, suelo, actividades humanas, historia, etc. pero también las relaciones entre estos elementos. Esta parte del análisis del paisaje tiene por objeto reconstituir los vínculos existentes entre los elementos del paisaje, con el fin de proponer un diagnóstico del estado actual, y de proponer un pronóstico del estado futuro, basado en las relaciones que se ha conseguido definir y el conocimiento de la historia del lugar. La síntesis del análisis paisajístico es sobre todo el ámbito de acción de la ecología del paisaje, que hace intervenir los conocimientos de disciplinas muy distintas como la geografía, la botánica, la zoología, la ecología o la sociología.

3.5.1 Elementos paisajísticos

En uno de los textos fundadores de la ecología del paisaje, Forman y Gordon (1981) proponen una distinción entre los diferentes elementos que componen un paisaje. La matriz es el elemento dominante, englobante; en su seno se encuentran las manchas (bosquetes, viviendas) y los corredores o elementos lineales. El conjunto de las manchas constituye un mosaico y el conjunto de corredores una red. En el caso de las manchas (y los corredores) se puede diferenciar un borde, que interacciona fuertemente con la matriz o las manchas vecinas, y un medio interior, donde las interacciones son muy débiles o nulas. Cuanto más alargadas son las manchas, mayor es la proporción borde/interior. La disposición espacial del mosaico y las redes constituye el patrón paisajístico. Sirve para diferenciar o comparar dos paisajes desde el punto de vista estructural. Esta nomenclatura ha proporcionado el contexto necesario para la

descripción de las estructuras paisajísticas y el establecimiento de procedimientos de muestreo de fauna y flora, permitiendo probar la existencia de un "efecto paisaje". Dos puntos merecen ser discutidos: 1) el predominio de lo visual; estos elementos son en primer lugar entidades visuales, estables al menos a medio plazo, pero no entidades funcionales. 2) Después se verá que existe una multitud de diferencias no visibles, debidas a las actividades humanas (por ejemplo, fertilización de las parcelas), y de diversidades efímeras, debidas a procesos fisiológicos (por ejemplo la floración). Es preferible hablar de mosaico paisajístico como un conjunto de manchas de diferente naturaleza. Este incremento de la complejidad en la representación de los paisajes, posible gracias a los adelantos tecnológicos, se debe a las modernas investigaciones biológicas. Sin embargo, hay que subrayar que las representaciones iniciales, que pueden parecer esquemáticas, han permitido identificar situaciones simples, necesarias para el nacimiento de una disciplina y los primeros cuestionamientos de hipótesis (Burel y Baudry, 2002).

3.5.2 Escala del paisaje

El tamaño de los paisajes varía. Entonces, la definición y el establecimiento de unidades paisajísticas llevan a los problemas de escala al corazón de la reflexión ecológica (Meentemeyer y Box, 1987). En efecto, la definición adoptada anteriormente, que resalta la heterogeneidad y la dinámica de los sistemas, puede ampliarse sobre una amplia gama de escalas, desde el continente al micro sitio. Sin embargo, es necesario, considerar la imposición de las actividades humanas o de la escala de percepción humana, quedando entonces excluida la escala continental serán entonces importantes escalas muy locales.

3.5.3 Transformación del paisaje

La estructura actual del paisaje es el resultado de su dinámica en el pasado. La organización de los mosaicos paisajísticos procede de una larga historia entre sociedad y el medio donde se instala. El paisaje actual depende fuertemente de la historia de las sociedades y la tecnología. La transformación del paisaje es un proceso ecológico, que permite ser analizado para poder establecer tendencias de esa región, y con esto establecer planes de manejo adecuados,

para el control mas optimo de la zona. La transformación del paisaje, se da en función del tiempo, el manejo y la naturaleza del los paisaje (Burel y Baudry, 2002)

3.5.4 Modelos matemáticos

Un modelo es una representación de la realidad, que simplificamos de alguna manera para poder estudiarlo y manipularlo. Los modelos matemáticos pueden clasificarse de la siguiente manera. Determinista: Se conoce de manera puntual la forma del resultado ya que no hay incertidumbre. *Estocástico*: Probabilístico, que no se conoce el resultado esperado, sino su probabilidad y existe por tanto incertidumbre. La representación puede ser de la siguiente manera, *conceptual* por una descripción cualitativa bien organizada que permite la medición de sus factores.

Cadena de Markov

Una cadena de Markov, que recibe su nombre del matemático ruso Andrei Markov, es una serie de eventos, en la cual la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediato anterior. En efecto, las cadenas de este tipo tienen memoria. "Recuerdan" el último evento y esto condiciona las posibilidades de los eventos futuros. Esta dependencia del evento anterior distingue a las cadenas de Markov de las series de eventos independientes, como tirar una moneda al aire o un dado. Este tipo de proceso, introducido por Markov en un artículo publicado en 1907, presenta una forma de dependencia simple, pero muy útil en muchos modelos, entre las variables aleatorias que forman un proceso estocástico.

En matemáticas, se define como un proceso estocástico discreto que cumple con la Propiedad de Markov, es decir, si se conoce la historia del sistema hasta su instante actual, su estado presente resume toda la información relevante para describir en probabilidad su estado futuro. Una cadena de Markov es una secuencia X_1, X_2, X_3, \dots de variables aleatorias. El rango de estas variables, es llamado espacio estado, el valor de X_n es el estado del proceso en el tiempo n . Si la distribución de probabilidad condicional de X_{n+1} en estados pasados es una función de X_n por sí sola, entonces:

$$P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n, X_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_2 = x_2, X_1 = x_1) = P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n).$$

Donde x_i es el estado del proceso en el instante i . La identidad mostrada es la Propiedad de Markov.

Cadenas de Markov en tiempo continuo

Si en lugar de considerar una secuencia discreta $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots$ con i indexado en el conjunto \mathbb{N} de números naturales, se consideran las variables aleatorias X_t con t que varía en un intervalo continuo del conjunto \mathbb{R} de números reales, tendremos una cadena en tiempo continuo. Para este tipo de cadenas en tiempo continuo la Propiedad de Markov se expresa de la siguiente manera:

$$P(X(t_{n+1}) = x_{n+1} | X(t_n) = x_n, \dots, X(t_1) = x_1) = P(X(t_{n+1}) = x_{n+1} | X(t_n) = x_n)$$

tal que $t_{n+1} > t_n > t_{n-1} > \dots > t_1$

El Modelo Matemático se refiere a una representación numérica por aspectos lógicos y estructurados con aspectos de la ciencia matemática. Pueden ser números, letras, imágenes, símbolos. Por ejemplo si se refiere a un modelo gráfico de matemáticas, se observan imágenes y gráficas matemáticas, que representan a un modelo numérico y de ecuaciones, los cuales son expresiones visuales basadas en aspectos cuantificables y de la ciencia matemática. Basado en aspectos de la ciencia física, de aquellos movimientos de los cuerpos, y que además es cuantificable. El modelo matemático de Markov, es un modelo matemático estocástico, pues es probabilístico, que no se conoce el resultado esperado, sino su probabilidad y existe por tanto incertidumbre. En esta investigación se manejan datos numéricos acomodados en matrices los cuales son procesados mediante el modelo matemático Markov, en el cual se resuelven matrices de números, que corresponden a información de cobertura vegetal a partir de un par de imágenes digitales en formato raster, son procesadas por modelo matemático y con ello sacar una matriz probabilística del estado en el que se transformara la zona de estudio, bajo ese análisis (Basharin, 2004).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio de uso del suelo y vegetación, o en general el cambio de tipos de cobertura del terreno es, en mayor medida, consecuencia de la interacción de las actividades humanas con el medio natural. Dichos cambios indican el impacto de las actividades económicas y el desarrollo de las comunidades humanas sobre el territorio y sus recursos, y su estudio permite identificar problemas relativos a la sustentabilidad de las actividades humanas.

La identificación espacial y la cuantificación de los cambios contribuyen a la caracterización del territorio y a la ubicación de áreas de atención prioritarias, así como al establecimiento de políticas correctivas y a la formulación de planes de acción respectivos para el mejor manejo de los recursos. Este indicador, y la información estadística y cartográfica resultante de su obtención, son útiles en la definición de otros indicadores derivados directamente de la agregación de los datos, mismos que se refieren más adelante (Palacio-Prieto *et al.*, 2004).

En cuanto a las Áreas Naturales Protegidas (ANP), es necesario identificar y cuantificar los cambios que se han presentado a lo largo del tiempo, para poder evaluar el manejo de la ANP, así como para prever disturbios no favorables, ya que es zona prioritaria de conservación.

Sin embargo, la identificación de los cambios en el paisaje requiere el análisis y la evaluación de imágenes remotas y modelos matemáticos que mejor representen las condiciones ecológicas de la zona de estudio.

5. HIPÓTESIS

Si se toma como base la clasificación actual del uso de suelo y vegetación de la zona de estudio mediante el material y la cartografía existente de la zona de estudio, entonces se podrá hacer una identificación y cuantificación de los cambios en los tipos de cobertura terrestre que se han dado en el periodo 1976 – 2000 y por lo tanto conocer las tendencias de procesos de dichos cambios para 2010.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Conocer procesos de cambios de la cobertura terrestre a partir de imágenes satelitales de la región Iztaccíhuatl -Popocatépetl.

6.2 *Objetivos particulares*

- 1.-Determinar la cobertura terrestre para los años 1976, 1989 y 2000 a partir de digitalización cartografía e interpretación de imágenes satelitales.
- 2.-Comparar cuantitativa y cualitativamente el tipo de cobertura terrestre para las diferentes fechas.
- 3.- Analizar la cobertura terrestre de las imágenes para predecir el cambio en el tipo de cobertura terrestre para el año 2010.
- 4.- Identificar las zonas relevantes en cuanto a deterioro y conservación de la zona.

7. ZONA DE ESTUDIO

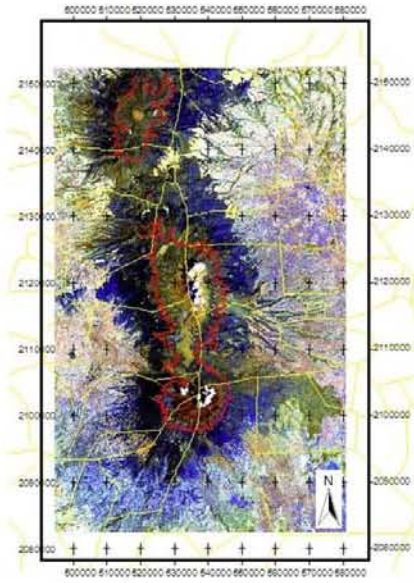
La zona de estudio se ubica en el Eje Neovolcánico Transmexicano exactamente en la Sierra Nevada. La ubicación política de la zona de estudio corresponde a México en los estados de México, Morelos y Puebla. Sus coordenadas extremas aproximadas en UTM son: $x_{\min} = 517,681.35$, $x_{\max} = 560,603.20$, $y_{\min} = 2,084,554.90$, y $y_{\max} = 2,151,275.47$ con una altura respectivamente; el Iztaccíhuatl de 5286 msnm y el Popocatepetl de

5452msnm de altura. La zona de estudio abarca una superficie de 239 943.06 Ha de las cartas topográficas Izta-Popo. (Chávez y Trigo, 1996), políticamente la región incluye 28 municipios, que se encuentran bajo la jurisdicción de 3 estados: Puebla, Estado de México y Morelos. De acuerdo con la clasificación de INEGI, la zona de estudio está representada dentro de las cartas de uso de suelo y vegetación de 1976, que son: E14B42, E14b41, E14B51 Y E14B52, escala 1:50 000. La zona de estudio presenta un clima templado- subhúmedo, donde encontramos bosques de *Pinus sp.*, *Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*, pastizales alpinos y subalpinos y bosques de *Pino sp- Quercus sp.*

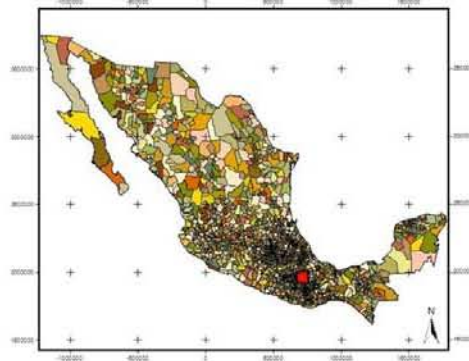
Dentro de la zona de estudio se ubica una Área Natural Protegida (ANP), la correspondiente al Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

Zona de estudio

Región Iztaccíhuatl-Popocatépetl



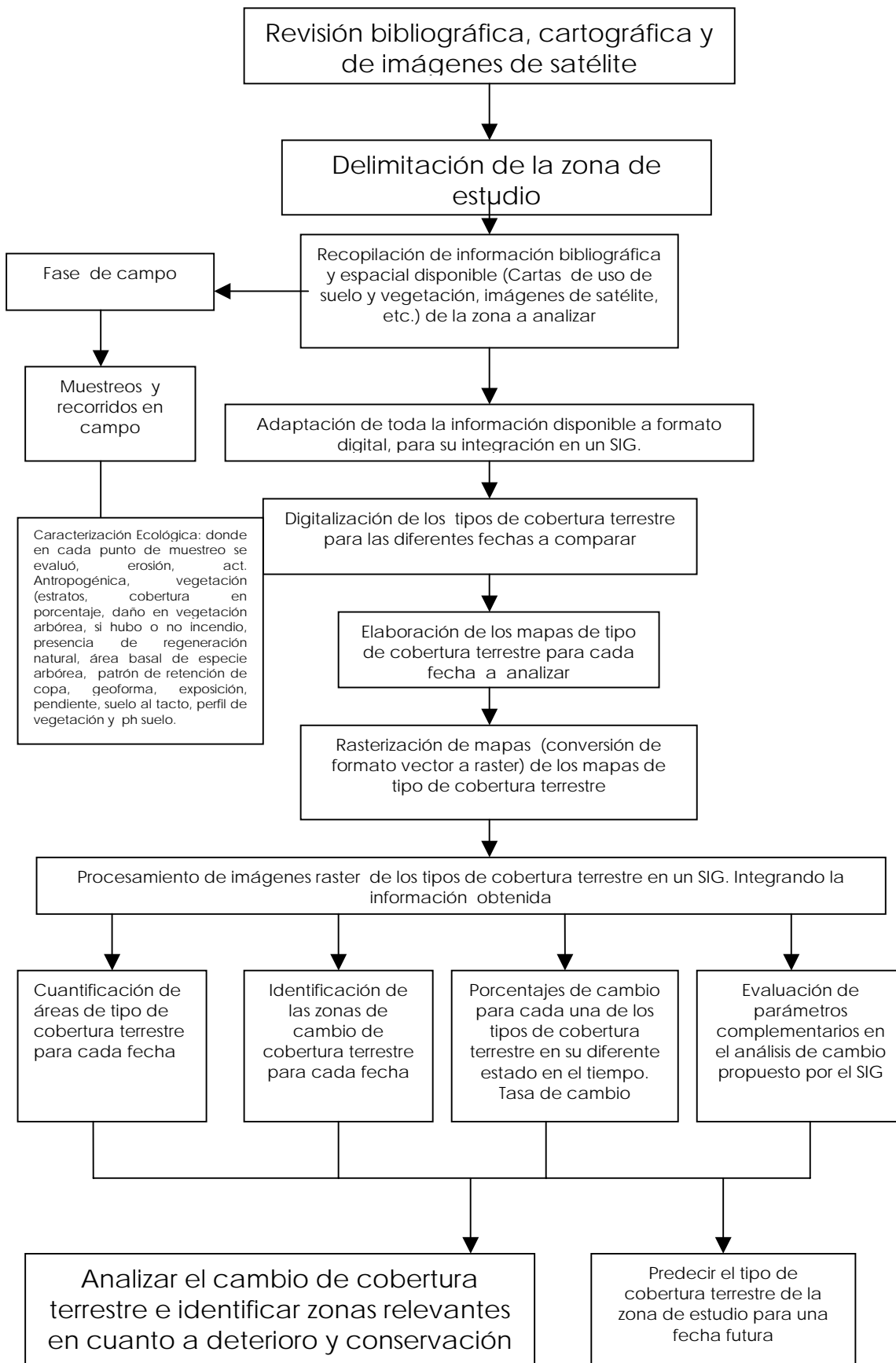
Región Iztaccíhuatl-Popocatépetl



República Mexicana

8. MATERIALES Y MÉTODO

8.1 Diagrama de flujo



8.2 Procedimiento

a. Revisión bibliográfica, cartográfica y de imágenes de satélite.

- b. Delimitación de la zona de estudio: Identificación de los límites geográficos, para organizar y buscar información, así como para la adquisición del material cartográfico (mapas de uso de suelo), e imágenes de satélite necesario.
- c. Obtención de información existente: Mapas de uso de suelo e imágenes de satélite correspondientes a la zona de estudio.
- d. Preparación de la información obtenida: consiste en dar formato digital adecuado a la información obtenida como mapas, georreferenciar las imágenes a utilizar, para poder ser visualizadas, procesadas y analizadas en un SIG.
- e. Muestreo de campo: consiste en hacer una caracterización ecológica: donde en cada punto de muestreo se evaluó, erosión, actividad antropogénica, vegetación (estratos, cobertura en porcentaje, daño en vegetación arbórea, si hubo o no incendio, presencia de regeneración natural, área basal de especie arbórea, patrón de retención de copa, geoforma, exposición, pendiente, suelo al tacto, perfil de vegetación y ph suelo.
- f. Elaboración de los mapas digitales de tipo de cobertura terrestre para las fechas a analizar:
Consiste en digitalizar en formato vector, por medio de un SIG, trazar los polígonos que corresponderán a los diferentes tipos de uso de suelo para cada fecha a partir de las imágenes existentes, es decir, se trazaron en un SIG los polígonos que corresponden a los diferentes tipos de uso de suelo y vegetación y se les dio su respectiva información a partir de la cartografía existente para 1976 se utilizó cartas de uso de

suelo y vegetación de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), para 1989 se interpretó visualmente imagen de satélite de la serie Landsat Thematic Mapper+ (TM), y para el año 2000 se interpretó imagen de satélite de la serie Landsat Enhanced Thematic Mapper + (ETM+) y corroborado con muestreos de campo.

g. Rasterización de mapas: consiste en convertir los mapas de uso de suelo de formato vector a raster, para poder llevar a cabo el procesamiento de análisis espacial de la zona de estudio.

h. Identificación de las zonas de cambio de cobertura terrestre para cada fecha.

i. Procesamiento de la información en un SIG.

Se analizaron cada uno de los tipos de vegetación, sus cambios en el tiempo y espacio. Donde se:

- obtuvieron las áreas de tipo de cobertura terrestre para cada tipo de cobertura terrestre, en las fechas analizadas.
- identificaron los puntos geográficos donde existe cambio de tipo de cobertura terrestre en cada fecha.
- comparó cada tipo de cobertura terrestre en las diferentes fechas (cuantitativa y cualitativa mente).
- generó una matriz probabilística, expresada también en una imagen probabilística mediante el método de Markov. La cual emite una imagen de los probables cambios de tipo de cobertura terrestre de la zona de estudio para el año 2010 a partir de los estados anteriores.

j. Análisis de resultados: A partir de la información obtenida, se analizó el cambio de cobertura terrestre e identificaron zonas relevantes en cuanto deterioro y conservación de la zona de estudio. Proponiendo una predicción del sistema para el año 2010. Y dar a conocer una conclusión de la investigación.

k. Conclusión. Se dará a conocer una conclusión de la investigación, a partir de antecedentes y resultados obtenidos en el procesamiento de la información.

8.3 Materiales

El material cartográfico consultado para la investigación, fueron las cartas de uso de suelo y vegetación del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e

Informática (INEGI) correspondientes a Amecameca E14B41, Huejotzingo E14B42, Cuautla E14B51 y Atlixco E14B52 escala 1:50 000.

Proyección: Transversal Mercator. Cuadrícula: UTM a cada 1000m. Procedimiento de elaboración: Fotointerpretación y verificación en campo. Fecha de vuelo: 1976.

En esta cartografía, un milímetro medido en esta escala representa 50 metros en el terreno, lo cual permite un buen detalle. Aquí pueden aparecer superficies mínimas hasta de 4 hectáreas, que es lo que se ha especificado para la escala, y en tales casos se refiere a tipos de agricultura; cuando se trata de vegetación natural el área mínima cartografiada es mayor. El grado de detalle de la información a esta escala es adecuado para una planeación en el ámbito local, o para estudios particulares sobre microregiones (INEGI, 2005).

Las imágenes de satélite interpretadas fueron de la serie Landsat la de 1989 es Enhanced Thematic Mapper (TM), y la de 2000 es Enhanced Thematic Mapper + (ETM) de acuerdo al tipo de sensor del satélite, las imágenes de satélite son conjunto de datos que se procesaron para este trabajo, en la imagen de satélite de 1989 se le aplicaron las bandas 4, 5 y 6. En el caso de la imagen de satélite del 2000 se corrigió geográficamente, la proyección: UTM y Datum NAD27, se le aplico el filtro de las bandas 4, 5 y 7, esto para una mejor visualización de la zona de estudio. Los Sistemas de Información Geográfica que se utilizaron fueron: Arc Gis 9, Arc View 3.2 e Idrisi Kilimanjaro.

9. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9.1 Determinación de la cobertura terrestre para 1976, 1989 y 2000.

A partir de los objetivos planteados y con base en la cobertura terrestre para los años 1976, 1989 y 2000 se tiene un área total en la zona de estudio de 239 943.06 hectáreas, con los siguientes 33 tipos de cobertura terrestre asignados a cada cobertura terrestre un número llamado ID, que proporciona una identificación de la cobertura de forma numérica, para un adecuado manejo matemático de los datos. Los 33 tipos de vegetación corresponden a una reclasificación de la nomenclatura usada en las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI de 1976, (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipos de cobertura terrestre de la zona de estudio

ID	TIPO DE COBERTURA VEGETAL
1	Bosque pino y otros
2	Pastizal inducido
3	Matorral inerme y otros
4	Bosque pino-Pastizal inducido
5	Bosque aile-pino
6	Bosque cedro blanco
7	Área sin vegetación aparente
8	Agricultura de temporal
9	Bosque aile y otros
10	Bosque encino
11	Agricultura de riego
12	Pastizal inducido y otros
13	Poblaciones
14	Pradera de alta montaña
15	Matorral inerme
16	Bosque táscate y otros
17	Bosque táscate
18	Bosque pino
19	Bosque pino-matorral inerme
20	Bosque oyamel
21	Bosque oyamel-pino
22	Bosque oyamel-matorral inerme
23	Bosque oyamel-aile
24	Bosque mesófilo de montaña y otros
25	Bosque de galería y otros
26	Bosque de galería
27	Bosque encino y otros
28	Bosque encino-matorral inerme
29	Selva baja caducifolia
30	Selva baja caducifolia y otros
31	Bosque cedro blanco-encino
32	Bosque pino-cedro blanco
33	Bosque pino-encino

Descripción del tipo de cobertura terrestre

Bosque de pino (ID 18): Bosque de coníferas: de amplia distribución en climas templados. Es una comunidad siempre verde constituida por árboles del género *Pinus*, de amplia distribución y con aproximadamente 49 especies, 18 variedades, 2 subespecies en las cadenas montañosas de todo el país desde los 300 m de altitud hasta los 4200 m en el límite altitudinal de la vegetación arbórea. Estos bosques son los de mayor importancia económica en la industria forestal del país por lo que prácticamente todos soportan actividades forestales como obtención de pulpa para celulosa, postería, recolección de frutos y semillas. La vegetación está dominada por diferentes especies de pino con alturas promedio de 15 a 30 m, los pinares tienen un estrato inferior relativamente pobre en arbustos, pero con abundantes gramíneas, esta condición se relaciona con los incendios y tala inmoderada. Las especies más comunes son: pino ayacahuite (*P. ayacahuite*), ocote blanco (*P. montezumae*), pino (*P. hartwegii*) entre otros (INEGI, 2005).

Pastizal inducido (ID 2): Es aquel que surge cuando es eliminada la vegetación original. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmonte de cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de áreas que se incendian con frecuencia. Son de muy diversos tipos y aunque cabe observar que no hay pastizales que pudieran considerarse como totalmente libres de alguna influencia humana, el grado de ingerencia del hombre es muy variable y con frecuencia difícil de estimar. A consecuencia de pastoreo intenso, o fuegos periódicos. También se puede ocasionar por prolongados disturbios naturales (INEGI, 2005).

Matorral inerme (ID 15): Comunidad formada por más del 70% de plantas sin espinas, como matorrales de *Larrea tridentata* (Gobernadora), *Florenxia cernua* (Hojasén) entre otras. Los matorrales son comunidades vegetales por lo general arbustivas, aunque la hay también arbóreas, e incluyen elementos tanto caducifolios como inermes que se desarrollan en una amplia zona de transición ecológica entre la Selva Baja Caducifolia y los bosques templados (de Encino o Pino-Encino) principalmente del Eje Neovolcánico (INEGI, 2005).

Bosque de oyamel (ID 20): Comunidad que se caracteriza por la altura de sus árboles que a veces sobrepasan los 30 m de altura, se desarrollan en clima semifrío y húmedo, entre los 2 000 - 3 400 m de altitud, en la mayoría de las sierras del país, principalmente en el Eje Neovolcánico; la mayor parte de los parques nacionales y naturales entran en este tipo de vegetación. Las masas arboladas pueden estar conformadas por elementos de la misma especie o mixtos, acompañados por diferentes especies de coníferas y latifoliadas; algunos bosques son densos sobre todo en condiciones libres de disturbio. Las especies que los constituyen son principalmente del género *Abies* como: oyamel, pinabete (*Abies religiosa*) y *Abies sp.* además de pino u ocote (*Pinus spp.*), encino o roble (*Quercus spp.*) y aile (*Alnus firmifolia*). La alteración de estas comunidades radica en el alto valor comercial de su madera, la cual, es utilizada para leña, aserrío, construcciones rurales y urbanas así como pulpa para el papel. El tronco de los árboles jóvenes presenta gran cantidad de trementina llamada aceite de palo o trementina de oyamel.

Bosque Cedro (ID 6): Comunidad de árboles de gran porte con una altura superior a los 15 m, comparte características ecológicas con los géneros de *Pinus*, *Abies* y *Quercus* con quienes frecuentemente se mezcla, se desarrolla en climas templado y semifrío, húmedo, están restringidos en la actualidad a pequeños manchones a lo largo de las sierras del país, principalmente en el eje Neovolcánico. Las principales especies que lo forman son: *Cupressus lindley* (*C. lusitanica*), *C. benthami*, *C. arizonica* y *C. guadalupensis* que reciben el nombre común de cedro blanco o cedro. Estas especies son muy apreciadas por su madera, lo cual está provocando la desaparición de estas comunidades dando lugar a otros usos (INEGI, 2005).

Área sin vegetación aparente (ID 7): Se incluyen bajo este rubro los eriales, depósitos litorales, jales, dunas y blancos de ríos que se encuentran desprovistos de vegetación o que ésta no es aparente, y por ende no se le puede considerar bajo alguno de los conceptos de vegetación.

Agricultura de temporal (ID 8): Se clasifica como tal al tipo de agricultura de todos aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, sea independiente del tiempo que dura

el cultivo en el suelo. Área en la que el suelo es utilizado para realización de labores agrícolas. Se distingue de acuerdo con la temporalidad del uso agrícola en el área.

Bosque de encino (ID 10): Comunidad vegetal formada por diferentes especies aproximadamente (más de 200 especies) de encinos o robles del género *Quercus*; estos bosques generalmente se encuentran como una transición entre los bosques de coníferas y las selvas, pueden alcanzar desde los 4 hasta los 30 m. de altura o menos abiertos o muy densos; se desarrollan en muy diversas condiciones ecológicas desde casi el nivel del mar hasta los 3000 m de altitud. Este tipo de comunidad se encuentra muy relacionada con los de pino, formando una serie de mosaicos difíciles de cartografiar dependiendo de la escala que se esté trabajando; con respecto a las características de distribución, tanto de encinos como de pinos, son muy similares. Las especies más comunes de estas comunidades son encino laurelillo (*Quercus laurina*), encino nopis (*Q. magnoliifolia*), roble (*Q. crassifolia*), entre otros.

Agricultura de riego (ID 11): Los cultivos reciben agua mediante algún sistema de riego durante todo el ciclo agrícola. Considera los diferentes sistemas de riego (método con el que se proporciona agua suplementaria a los cultivos, durante el ciclo agrícola, en el sitio de información), básicamente, es la manera de cómo se realiza la aplicación del agua.

Poblaciones (ID 13): Área poblada donde existe un agrupamiento de construcciones, son asentamientos humanos.

Pradera de alta montaña (ID 14): La forman comunidades de pocos centímetros de altura, con aspecto cespitoso (Pradera), amacollado (zacatonal) o arrosetado, localizado generalmente arriba de los 3500 msnm, después del límite altitudinal de la vegetación arborea y cerca de las nieves perpetuas. Su distribución está restringida a las montañas y volcanes más altos de la República. La constituyen principalmente especies de gramíneas. En la región Popocatepetl-Iztaccihuatl, se distinguen tres asociaciones de zacatonal alpino la dominada por *Muhlenbergia quadridentata*, que ocupa algunos sitios carentes de bosque entre 3 700 y 3 800 m. de altitud; la del *Calamagrostis tolucensis* y *Festuca tolucensis*, que es la más extendida entre los 3 800 y 4 200

m; la *Fetusca livida* y *Arenaria bryoides*, propia de algunos parajes entre 4 200 y 4 300 metros. La última constituye un zacatal más bajo y abierto con abundancia de plantas acojinadas de *Arenaria*. La actividad de tipo ecoturístico, es también importante en estas zonas de pastizales (INEGI, 2005).

Bosque táscate: Son bosques formados por árboles escuamifolios (hojas en forma de escama) del género *Juniperus* a los que se les conoce como táscate, enebro o cedro, con una altura promedio de 8 a 15 m. de regiones subcálidas templadas y semifrías, siempre en contacto con los bosques de encino, pino-encino, selva baja caducifolia y matorrales de zonas áridas. Las especies más comunes y de mayor distribución son *Juniperus flaccida*, *J. deppeana*, *J. monosperma* y algunas especies del género *Quercus* y *Pinus*.

Bosque mesófilo de montaña (ID 24): Vegetación fisonómicamente densa, propia de laderas montañosas que se encuentran protegidas de los fuertes vientos y de excesiva insolación donde se forman las neblinas durante casi todo el año, también crece en barrancas y otros sitios resguardados en condiciones más favorables de humedad. En el bosque mesófilo es notable la mezcla de elementos arbóreos con alturas de 10 a 25 m. o aún mayores, es denso y la mayoría de sus componentes son de hoja perenne, también se encuentran árboles caducifolios que en alguna época del año tiran sus hojas, es común la presencia de plantas trepadoras y epifitas debido a la altura humedad atmosférica y abundantes lluvias. Generalmente se encuentran entre los 800-2 400 m. Son muchas las especies que lo forman pero las más comunes son micoxcuáhtl (*Engelhardtia mexicana*), liquidambar (*Liquidambar styraciflua*), encino, roble, pino y ocote.

Bosque de galería (ID 26): Comunidad arbórea que se encuentra en los márgenes de los ríos o arroyos en condiciones de humedad favorables. Son frecuentes los bosques de galería formados por sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), además de otras especies como fresnos, álamos entre otras.

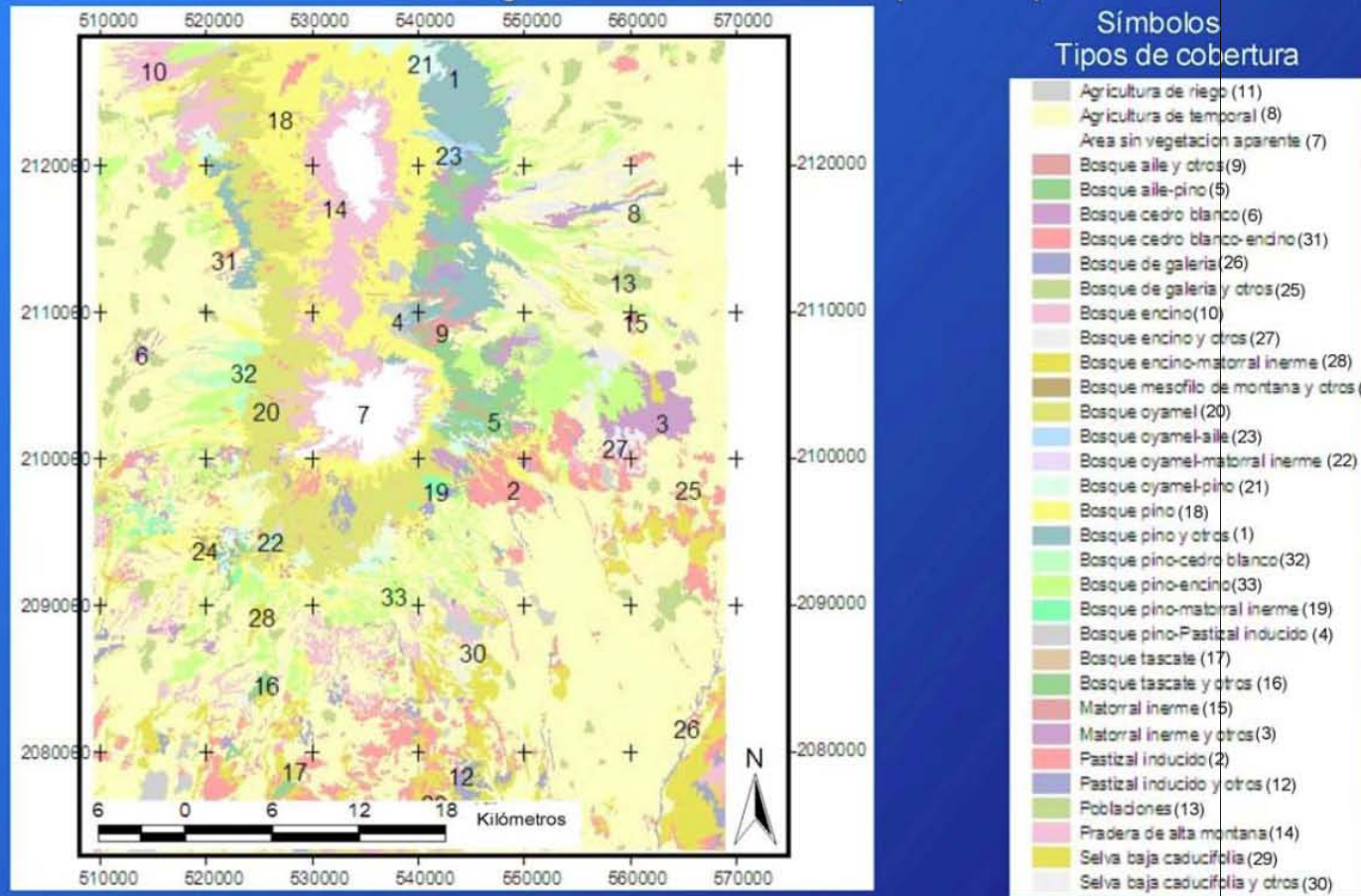
Selva baja caducifolia (ID 29): Se desarrolla en condiciones climáticas en donde predominan los tipos cálidos subhúmedos, semisecos o subsecos. Se encuentra principalmente sobre laderas de cerros con suelos de buen drenaje. Esta selva presenta corta altura de sus componentes arbóreos (normalmente

de 4 a 10 m, muy eventualmente de hasta 15 m. o un poco más). El estrato herbáceo es bastante reducido y sólo se puede apreciar después de que ha empezado claramente la época de lluvias y retoñan o germinan las especies herbáceas. Las formas de vida suculentas son frecuentes. Especies importantes: *Bursera simaruba* (chaka palo mulato); *Bursera* spp. (copal). Es una de las selvas de mayor distribución en México.

Los demás tipos de cobertura son combinaciones de los anteriormente descritos.

9.2 Distribución espacial de la cobertura terrestre 1976

Cobertura terrestre de la región Iztaccíhuatl-Popocatépetl en 1976



Mapa elaborado en el Laboratorio de Geomática, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Carrera de Biología, UNAM.

Teste de licenciatarios
"Cambio de tipo de cobertura terrestre mediante imágenes de satélite de la región Iztaccíhuatl-Popocatépetl"

1:400 000



Figura 1. Mapa de cobertura terrestre en 1976 de región Izta-Popo

En la gráfica siguiente se presenta el porcentaje de tipo de cobertura terrestre correspondiente a la imagen de la Figura 1 en la cual esta representada la cobertura terrestre en el año 1976.

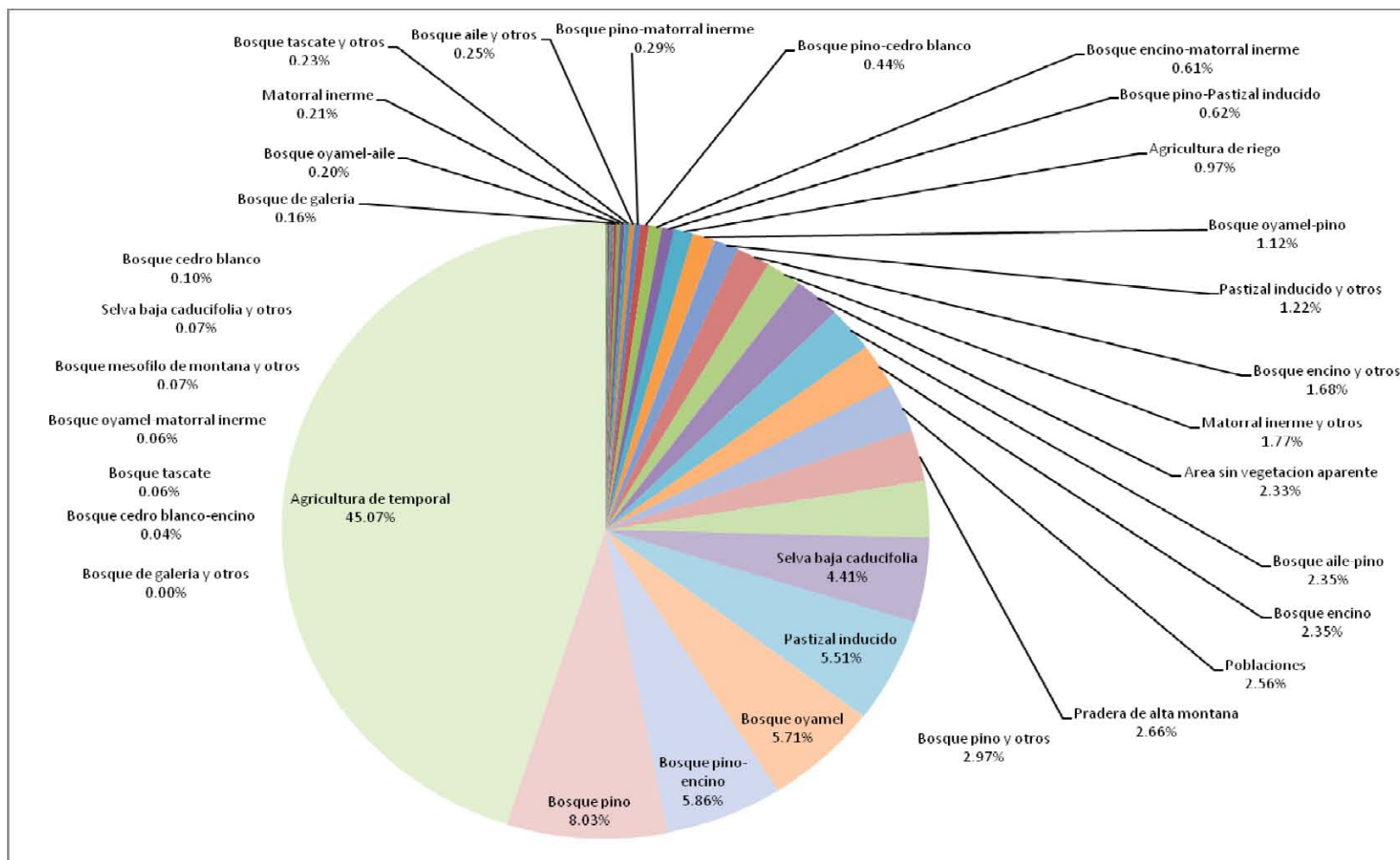
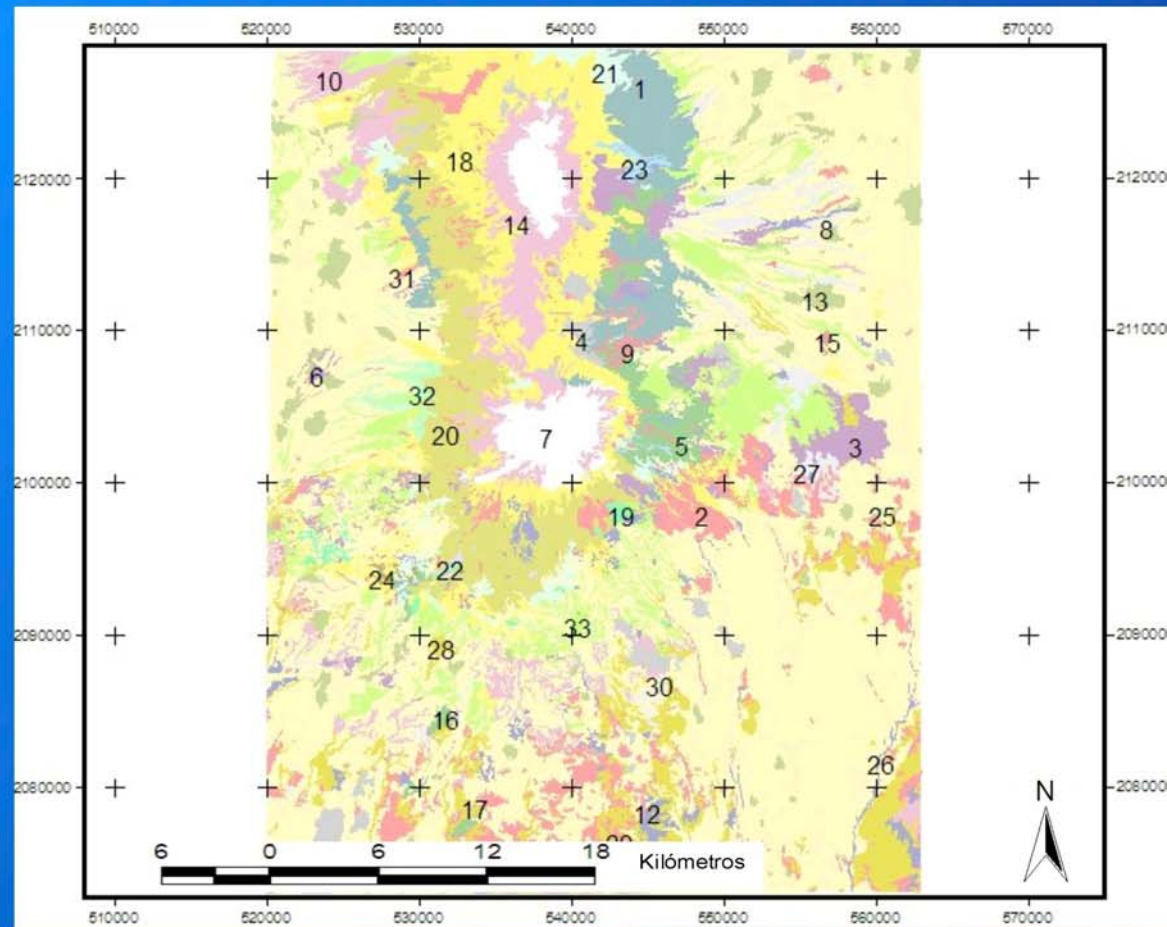


Figura 2. Gráfica de porcentaje de cobertura terrestre de la zona de estudio en el año 1976.

Al interpretar la figura 1 y 2, se observa el predominio de Agricultura de temporal, representando casi la mitad de la cobertura terrestre de la zona de estudio, después (con mucho menor porcentaje) al Bosque de pino, con un porcentaje del 8.03%, las siguientes coberturas con importancia similar a dicho bosque es el Bosque de pino-encino y el Bosque de oyamel, ya que están presentes con el 5.86% y el 5.71%, respectivamente. La Selva Baja caducifolia ocupa el 4.41% de área de estudio, y la última cobertura representativa es el Pastizal inducido con el 5.51%, los demás tipos están presentes en menor proporción. Es importante destacar, que la delimitación de los tipos de cobertura terrestre, se basó en la cartografía temática de las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI, así como también la nomenclatura reclasificada de las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI, con clave: E14B42, E14b41, E14B51 Y E14B52.

9.3 Distribución espacial de la cobertura terrestre 1989.

Cobertura terrestre de la región Iztaccíhuatl-Popocatépetl en 1989



Símbolos Tipos de cobertura

[Grey]	Agricultura de riego (11)
[Yellow]	Agricultura de temporal (8)
[White]	Área sin vegetación aparente (7)
[Red]	Bosque aile y otros (9)
[Green]	Bosque aile-pino (5)
[Purple]	Bosque cedro blanco (6)
[Pink]	Bosque cedro blanco-encino (31)
[Blue]	Bosque de galería (26)
[Light Green]	Bosque de galería y otros (25)
[Light Pink]	Bosque encino (10)
[Light Blue]	Bosque encino y otros (27)
[Yellow-Green]	Bosque encino-matorral inerte (28)
[Brown]	Bosque mesófilo de montaña y otros (24)
[Light Yellow]	Bosque oyamel (20)
[Light Blue-Green]	Bosque oyamel-aile (23)
[Light Purple]	Bosque oyamel-matorral inerte (22)
[Light Green]	Bosque oyamel-pino (21)
[Yellow]	Bosque pino (18)
[Dark Blue]	Bosque pino y otros (1)
[Light Green]	Bosque pino-cedro blanco (32)
[Light Green]	Bosque pino-encino (33)
[Light Green]	Bosque pino-matorral inerte (19)
[Light Blue]	Bosque pino-Pastizal inducido (4)
[Light Brown]	Bosque tascate (17)
[Light Green]	Bosque tascate y otros (16)
[Light Purple]	Matorral inerte (15)
[Light Purple]	Matorral inerte y otros (3)
[Light Red]	Pastizal inducido (2)
[Light Blue]	Pastizal inducido y otros (12)
[Light Green]	Poblaciones (13)
[Light Pink]	Pradera de alta montaña (14)
[Yellow]	Selva baja caducifolia (29)
[Light Green]	Selva baja caducifolia y otros (30)

1:400 000

Localización



Mapa elaborado en el
Laboratorio de Geomática
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
Carrera de Biología, UNAM



Tests de Licenciatura
"Cambio de tipo de cobertura terrestre
mediante imágenes de satélite de la
región Iztaccíhuatl-Popocatépetl"

Figura 3. Mapa de cobertura terrestre en 1989 de región Iza-Popo

En la gráfica siguiente se presenta el porcentaje de tipo de cobertura terrestre correspondiente a la imagen de la Figura 3 en la cual esta representada la cobertura terrestre en el año 1989.

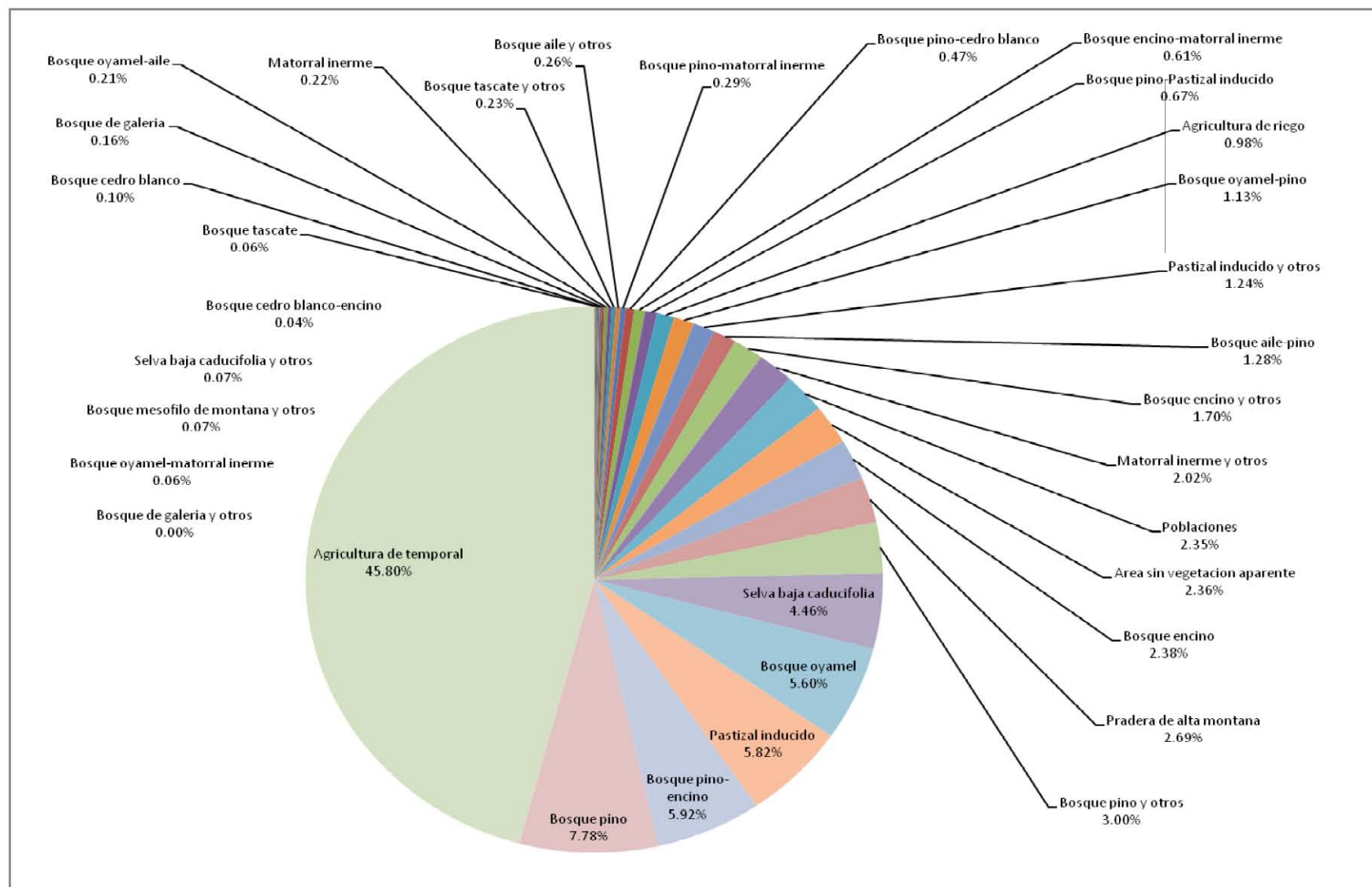


Figura 4. Grafica de porcentaje de cobertura terrestre de la zona de estudio en el año 1989.

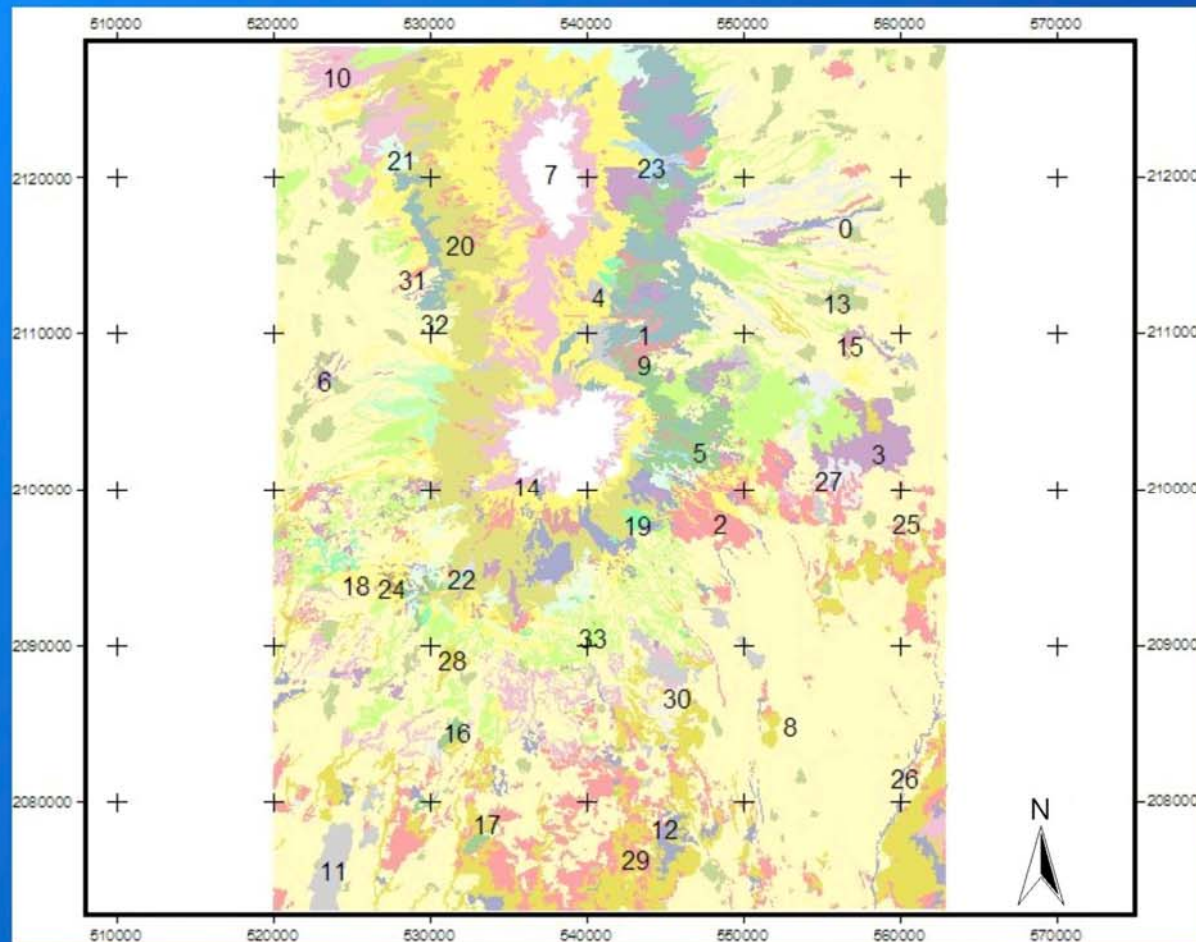
En la figura 3 se observa la distribución de la cobertura para el año 1989 y en la figura 4 la proporción presente de cada una de las coberturas terrestres.

De manera similar al año 1976, existe un predominio de Agricultura de temporal, representando casi la mitad de la cobertura terrestre de la zona de estudio, después al Bosque de pino como la segunda cobertura representativa de la zona, con un porcentaje del 7.78%, con similar proporción esta presente el Bosque de pino-encino, el Pastizal inducido y el Bosque de oyamel (5.92%, 5.82% y 5.60%, respectivamente). La Selva baja caducifolia esta presente en un 4.46%, con menor presencia pero con porcentaje representativo se observa al Bosque de pino y otros, los demás tipos de cobertura terrestre presentan un menor porcentaje con relación a los antes mencionados. Es importante mencionar que la delimitación de los polígonos de cobertura vegetal, se basaron en la interpretación de la imagen de satélite de 1976, tomando en cuenta la nomenclatura de tipos de cobertura manejados por INEGI, en algunas áreas, fue difícil la interpretación del los bosques de pino, sin embargo se logró delimitar los polígonos correspondientes a cada tipo de cobertura terrestre.

A continuación se delimitan las coberturas terrestres mediante interpretación de la imagen de satélite del año 2000, y trabajo de campo.

9.4 Distribución espacial de la cobertura terrestre 2000.

Cobertura terrestre de la región Iztaccíhuatl-Popocatépetl en 2000



Símbolos Tipos de cobertura

- Agricultura de riego (11)
- Agricultura de temporal (8)
- Área sin vegetación aparente (7)
- Bosque aile y otros (9)
- Bosque aile-pino (5)
- Bosque cedro blanco (6)
- Bosque cedro blanco-encino (31)
- Bosque de galería (26)
- Bosque de galería y otros (25)
- Bosque encino (10)
- Bosque encino y otros (27)
- Bosque encino-matorral inerte (28)
- Bosque mesófilo de montaña y otros (24)
- Bosque oyamel (20)
- Bosque oyamel-aile (23)
- Bosque oyamel-matorral inerte (22)
- Bosque oyamel-pino (21)
- Bosque pino (18)
- Bosque pino y otros (1)
- Bosque pino-cedro blanco (32)
- Bosque pino-encino (33)
- Bosque pino-matorral inerte (19)
- Bosque pino-Pastizal inducido (4)
- Bosque tascate (17)
- Bosque tascate y otros (16)
- Matorral inerte (15)
- Matorral inerte y otros (3)
- Pastizal inducido (2)
- Pastizal inducido y otros (12)
- Poblaciones (13)
- Pradera de alta montaña (14)
- Selva baja caducifolia (29)
- Selva baja caducifolia y otros (30)

1:400 000

Localización



Mapa elaborado en el
Laboratorio de Geomática
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
Carrera de Biología, UNAM



Tests de Licenciatura
"Cambio de tipo de cobertura terrestre
mediante imágenes de satélite de la
región Iztaccíhuatl-Popocatépetl"

Figura 5. Mapa de cobertura terrestre en 2000 de región Izta-Popo

En la figura 5 se observa la distribución de la cobertura para el año 2000 y en la figura 6 la proporción de cada una de ellas.

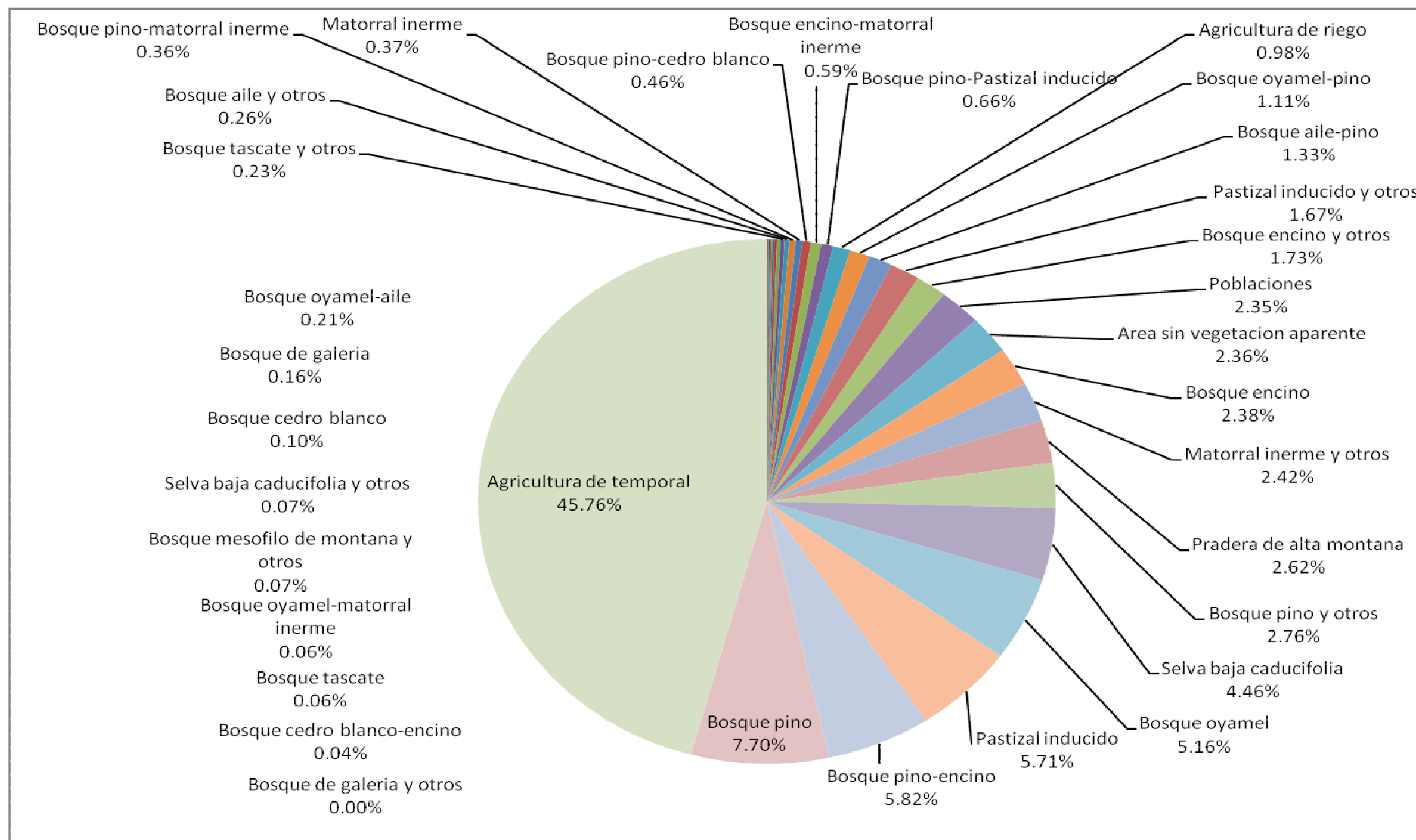


Figura 6. Gráfica de porcentaje de cobertura terrestre de la zona de estudio en el año 2000.

Para el año 2000 (Figura 6) se observa el predominio de Agricultura de temporal con un 45.76% representando casi la mitad de la cobertura terrestre de la zona de estudio, después al Bosque de pino, con un porcentaje del 7.70%. Con similar proporción están presentes tres tipos de cobertura: el Bosque de pino-encino, el Pastizal inducido y el Bosque de oyamel, con un porcentaje del 5.82%, 5.71% y 5.16%, respectivamente. La Selva baja caducifolia esta presente en un 4.46%, con menor presencia pero con porcentaje representativo se observa al Bosque de pino y otros con el 2.76%, el Bosque de pino y otros esta presente con un porcentaje del 2.76% el cual es similar en proporción a la Pradera de alta montaña con el 2.62%, Bosque de encino tiene menor proporción con 2.38%, Poblaciones y Área sin vegetación aparente están con casi igual porcentaje 2.35 y 2.36%, Bosque de encino y otros con el 1.73%, Pastizal inducido y otros presente con el 1.66%, las siguientes 2 tipos de cobertura con similar proporción son Bosque aile-pino y Bosque oyamel -pino 1.11 y 1.33% y los demás tipos de cobertura están presentes con menos de 1%. Con los muestreos de campo se corroboró las coberturas vegetales, correspondientes al año 2000, pues mediante la caracterización ecológica, se apoyo la interpretación de la imagen de satélite. En los muestreos de campo se observó, que zonas de deterioro, aprovechamiento, de regeneración y de conservación, las cuales sirven como guía para analizar el paisaje correspondiente a la zona de estudio.

9.5 Comparación espacial, cuantitativa y cualitativa

Cuadro 2. Comparación de las superficies de cada tipo de cobertura terrestre en las diferentes fechas analizadas

ID	TIPO DE COBERTURA	AREA Ha 1976	AREA Ha 1989	AREA Ha 2000
25	Bosque de galería y otros	5.99	5.99	5.99
6	Bosque cedro blanco	2 28.08	228.08	228.08
27	Bosque encino y otros	4 039.06	4 039.06	4 095.60
32	Bosque pino-cedro blanco	1 055.16	1 106.61	1 100.90
33	Bosque pino-encino	14 057.45	14 057.45	13 805.84
31	Bosque cedro blanco-encino	99.94	99.94	99.94
1	Bosque pino y otros	7 112.36	7 112.36	6 559.38
22	Bosque oyamel-matorral inerme	138.09	138.09	138.09
13	Poblaciones	6 142.16	5 573.59	5 573.59
17	Bosque táscate	149.02	149.02	149.02
24	Bosque mesófilo de montaña y otros	157.45	157.45	157.45
30	Selva baja caducifolia y otros	170.49	170.49	170.49
8	Agricultura de temporal	108 089.60	108 726.81	108 634.33
3	Matorral inerme y otros	4 248.97	4801.25	5 743.90
18	Bosque pino	19 269.18	18 464.47	18 268.57
11	Agricultura de riego	2 325.31	2 325.31	2 325.31
26	Bosque de galería	376.45	373.18	376.45
14	Pradera de alta montana	6 376.64	6 376.64	6 217.33
28	Bosque encino-matorral inerme	1 458.12	1 458.12	1 401.58
23	Bosque oyamel-aile	487.65	487.65	487.65
4	Bosque pino-Pastizal inducido	1 498.91	1 579.07	1 576.27
15	Matorral inerme	514.94	514.94	868.52
16	Bosque tascate y otros	539.79	539.79	539.79
29	Selva baja caducifolia	10 581.58	10 581.58	10 581.58
7	Area sin vegetacion aparente	5 597.34	5597.34	5 597.34
9	Bosque aile y otros	611.26	611.26	611.26
5	Bosque aile-pino	5 626.93	3 037.89	3 146.56
10	Bosque encino	5 646.58	5 646.58	5 646.58
21	Bosque oyamel-pino	2 679.96	2 679.96	2 642.30
19	Bosque pino-matorral inerme	689.03	689.03	848.96
20	Bosque oyamel	13 701.70	13 285.72	12 249.83
12	Pastizal inducido y otros	2 936.00	2 936.00	3 971.49
2	Pastizal inducido	1 3217.49	1 3821.77	1 3555.78

9.6 Cambio de cobertura terrestre de 1976 a 1989.

Cambio de cobertura terrestre de 1976 a 1989 de región Izta-Popo

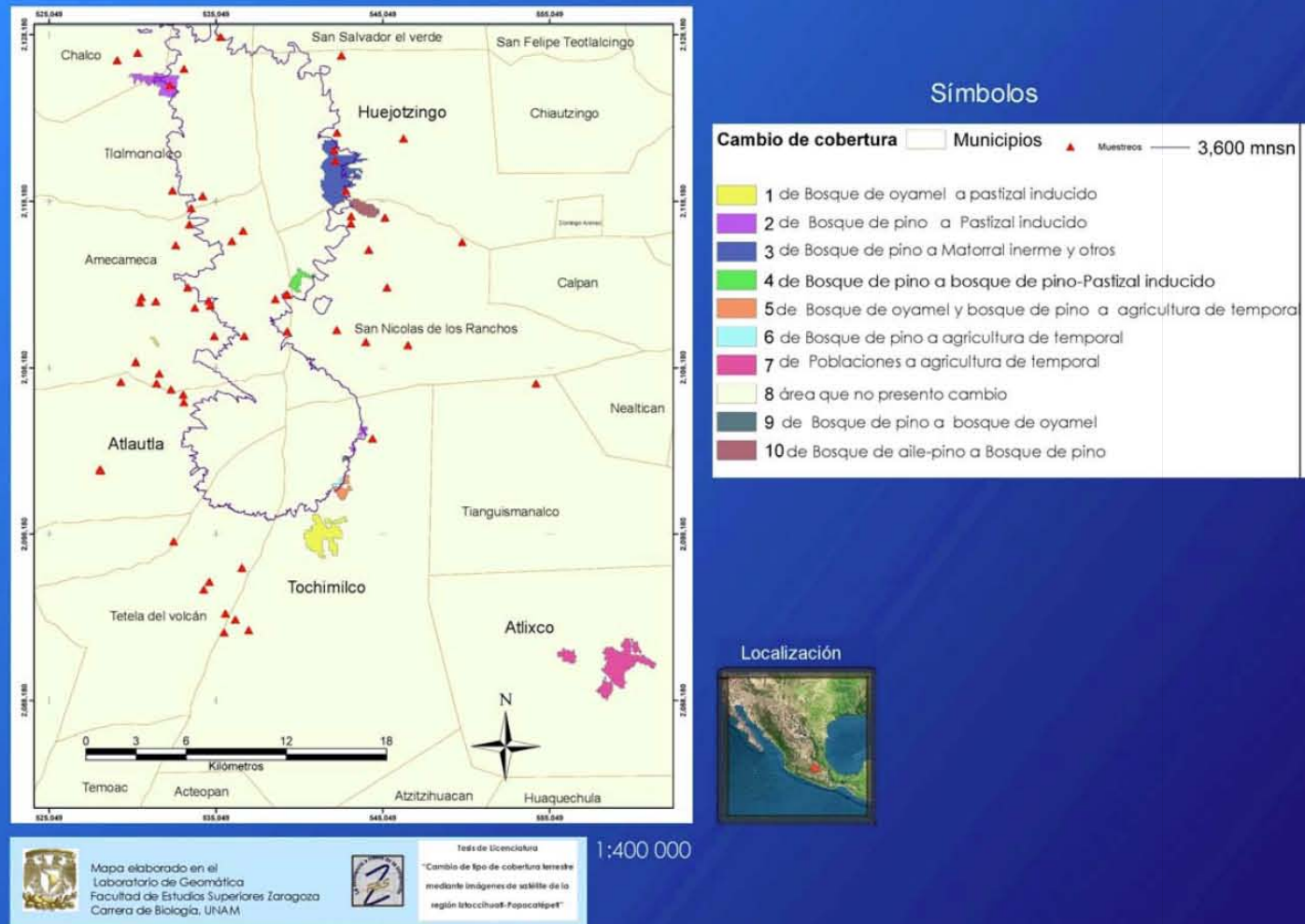


Figura 7 Mapa de cambio de cobertura terrestre de 1976 a 1989 de la región Izta-Popo

Cuadro 3. Cambios de cobertura terrestre de 1976 a 1989

Número de condición de cambio	Descripción del cambio de cobertura terrestre	Superficie en Ha
9	Cambió de Bosque de pino a bosque de oyamel.	11.00
6	Cambió de Bosque de pino a agricultura de temporal.	18.00
5	Cambió de Bosque de oyamel y bosque de pino a agricultura de temporal.	73.00
4	Cambió de Bosque de pino a bosque de pino-Pastizal inducido	77.00
10	Cambió de Bosque de aile-pino a Bosque de pino.	112.00
2	Cambió de Bosque de pino a Pastizal inducido.	231.00
1	Cambió de Bosque de oyamel a pastizal inducido.	324.00
7	Cambió de Poblaciones a agricultura de temporal	547.00
3	Cambió de Bosque de pino a Matorral inerme y otros.	558.00
8	Área que no presento cambio.	237 992.05

Los cambios más relevantes que se observan en la Figura 7 y explicados en Cuadro 3 son:

1.-En el municipio de Huejotzingo, identificado con la condición de cambio 3, el cuál describe que hubo un cambio de Bosque pino (ID 18) a Matorral inerme y otros (ID 3), en una superficie de 558 ha. y pertenece en gran parte a Área Natural Protegida (ANP), este proceso de cambio se llevó a cabo en un periodo de 13 años, esto significa que se perdieron 43 ha promedio al año de Bosque de pino.

Porcentaje de cambio con relación al área total de la zona de estudio:0.23%

2.-el siguiente cambio importante por su superficie es el ubicado en Tochimilco identificado con condición de cambio 1, que describe un cambio de Bosque de oyamel (ID 20) a Pastizal inducido (ID 2), en una superficie de 324 ha. el proceso de cambio esta muy cercano al ANP, y equivale a perder 25 ha. promedio al año de Bosque de oyamel.

Porcentaje de cambio con relación al área total de la zona de estudio: 0.13%

3.- el cambio que quedó totalmente dentro del ANP, es de los más relevantes, es el del municipio de San Nicolás de los Ranchos, identificado con condición de cambio 4, el cuál describe que cambio de Bosque de pino (ID 18) a Bosque pino-Pastizal inducido (ID 4), en una superficie de 77 ha. Lo que significa haber perdido al menos 3 ha. De Bosque de pino al año para este periodo de tiempo.

Porcentaje de cambio con relación al área total de la zona de estudio:

0.03%

4.- otro cambio representativo es el que se ubica en el municipio de Atlixco, con condición de cambio 7, de Poblaciones (ID 13) a Agricultura

de temporal (ID 8), con superficie de 547 ha. quizás esta última condición de cambio puede llegar a ser incongruente, sin embargo,

pudo deberse a una confusa interpretación de la imagen de satélite, ya que es en ocasiones difícil establecer el criterio de interpretación de cada píxel en una imagen de satélite.

El error pudo deberse al tipo de material analizado, pues para 1976 es cartografía de INEGI, la cual es basada en fotografía aérea y para 1989 fue imagen de satélite, los cuales son criterios diferentes, pero es el material disponible para la zona de estudio, ya que no se cuenta con imágenes de satélite del años anteriores al 1976, pues la era satelital comienza en los años de la década de los setenta, sin embargo no hay material disponible suficiente actualmente.

Porcentaje de cambio con relación al área total de la zona de estudio:0.22%

Los demás cambios se observan en el Cuadro 3, donde se expresan todos los cambios cuantitativa y cualitativamente.

Superficie de cambio de 1976 a 1989:

Superficie total de zona de estudio: 239 943.06 hectáreas.

Superficie total de cambio de 1976 a 1989: 1 951 hectáreas.

Que corresponde al 0.81% de superficie, que cambió en el periodo antes mencionado.

A continuación se presenta el mapa de cambio de cobertura terrestre de 1989 a 2000, que es el resultado del procesamiento digital, mediante el SIG. A partir de la comparación de las imágenes de cobertura terrestre de 1989 y 2000.

Cambio de cobertura terrestre de 1989 a 2000 de región Izta-Popo

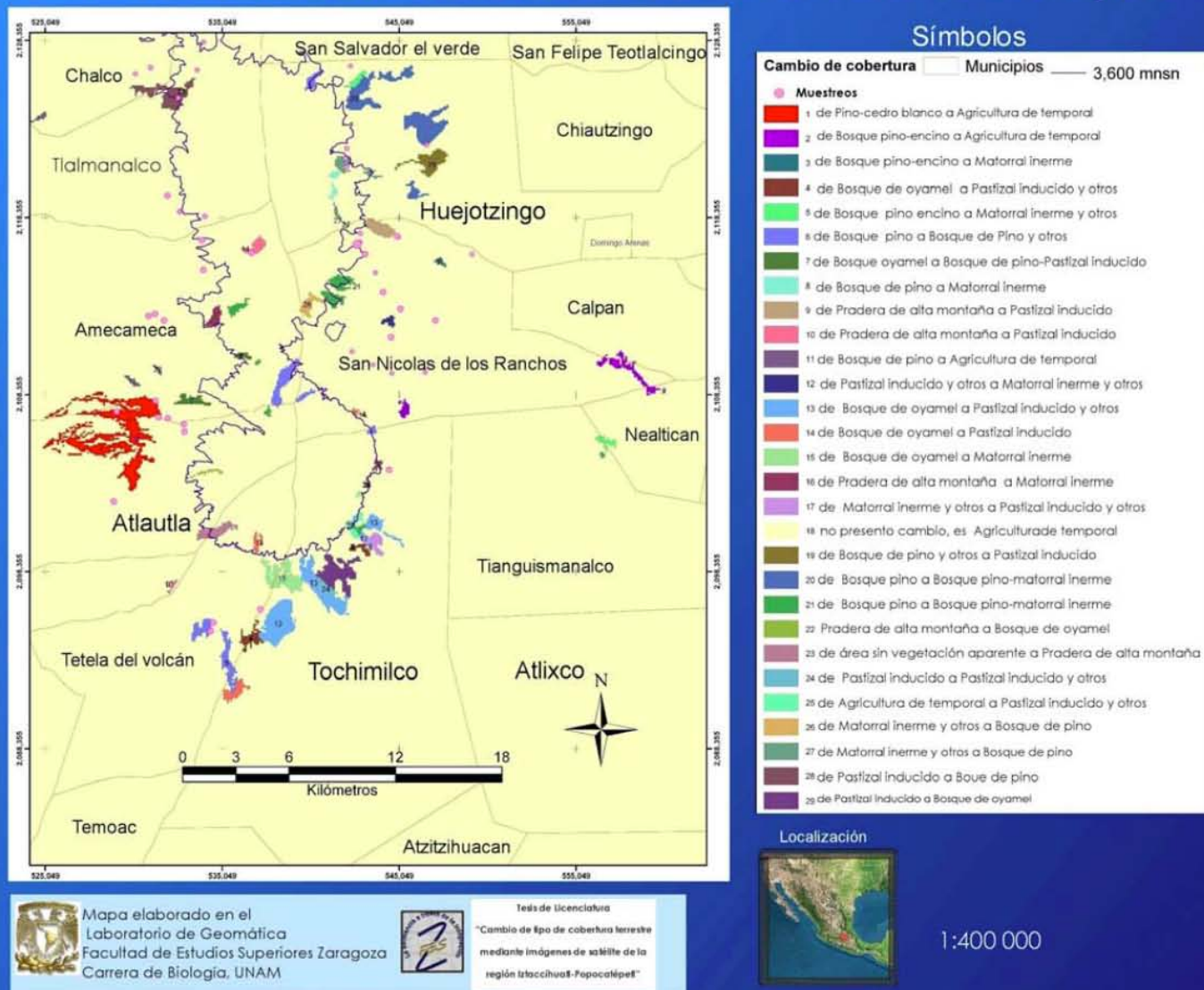


Figura 8. Mapa de cambio de cobertura terrestre de 1989 a 2000 de región Izta-Popo.

Cuadro 4. Cambios de cobertura terrestre de 1989 a 2000.

Condición de cambio	Descripción del cambio de cobertura terrestre	Superficie en Ha
11	Cambió de Bosque de pino a Agricultura de temporal.	9.00
3	Cambió de Bosque pino-encino a Agricultura de temporal.	18.00
22	Cambió de Pradera de alta montaña a Bosque de oyamel.	24.00
12	Cambió de Pastizal inducido y otros a Matorral inerme y otros.	31.00
8	Cambió de Bosque de pino a Matorral inerme.	43.00
24	Cambió de Pastizal inducido a Pastizal inducido y otros.	45.00
25	Cambió de Agricultura de temporal a Pastizal inducido y otros.	50.00
17	Cambió de Matorral inerme y otros a Pastizal inducido y otros.	61.00
16	Cambió de Pradera de alta montaña a Matorral inerme.	63.00
5	Cambió de Bosque de pino-encino a Matorral inerme.	75.00
26	Cambió de Bosque pino-Pastizal inducido a Bosque pino.	75.00
10	Cambió de Pradera de alta montaña a Pastizal inducido.	76.00
27	Cambió de Matorral inerme y otros a Bosque de pino.	91.00
7	Cambió de Bosque de oyamel a Bosque de pino-Pastizal inducido.	101.00
2	Cambió de Bosque de pino-encino a Agricultura de temporal.	104.00
9	Cambió de Bosque de pino a Bosque aile-pino.	112.00
23	cambió de Área sin vegetación aparente a Pradera de alta montaña.	114.00
14	Cambió de Bosque de oyamel a Pastizal inducido.	121.00
4	Cambió de Bosque de oyamel a Pastizal inducido y otros.	122.00
19	Cambió de Bosque de pino y otros a Pastizal inducido.	139.00
6	Cambió de Bosque pino a Bosque de Pino y otros.	195.00
20	Cambió de Bosque de pino y otros a Matorral inerme y otros.	227.00
15	Cambió de Bosque de oyamel a Matorral inerme.	230.00
21	Cambió de Bosque pino a Bosque pino-matorral inerme.	243.00
28	Cambió de Pastizal inducido a Bosque de pino.	246.00
29	Cambió de Pastizal inducido a Bosque de oyamel.	263.00
13	Cambió de Bosque de oyamel a Pastizal inducido y otros.	629.00
1	Cambió de Pino-cedro blanco a Agricultura de temporal.	853.00
18	Área que no presentó cambio y corresponde Agricultura de temporal.	241263.07

Los cambios más relevantes que se observan en la Figura 8 y explicados en Cuadro 4 son:

1.- En los municipios de Atlautla y zona sur de Amecameca, Edo. Mex. Identificado con la condición de cambio 1, el cuál describe, que cambió de Bosque Pino-cedro blanco (ID 32) a Agricultura de temporal (ID 8), en una superficie de **853** ha. donde se localiza un punto de muestreo que pertenece a la localidad llamada C. Las minas perteneciente al municipio de Amecameca, en Edo. México, esta clasificada de acuerdo a la caracterización ecológica de campo como una comunidad de aprovechamiento, lo cual coincide con la interpretación de la imagen de satélite. Esto significa haber perdido 77 ha. promedio al año de Bosque de pino en un periodo de 11 años.

Porcentaje de cambio con relación al área total de zona de estudio: 0.35%

2.- otro cambio muy importante, no solo por su dimensión sino también por que se lleva a cabo muy cerca del límite del ANP, es que se presenta en el Municipio de Tochimilco, Edo. Mexico, identificado con la condición de cambio 13, que describe un proceso de cambio de Bosque de oyamel (ID 20) a Pastizal inducido y otros (ID 12), en una superficie de **629** ha. en los muestreos de campo se observa que esta área de cambio es vecina de una zona de aprovechamiento forestal llamada Barranca el Americano. Este proceso de cambio representa haber perdido casi 57 ha. promedio al año de Bosque de oyamel.

Porcentaje de cambio con relación al área total analizada: 0.26%.

3.- el siguiente cambio importante, no solo por la dimensión que presenta, sino también por que parte de esta área se encuentra dentro de ANP, es el de Amecameca que es donde cae en ANP, y San Nicolás de los Ranchos que aunque no cae totalmente dentro de ANP, se sitúa en el límite de esta, corresponde a la condición de cambio 21, que describe un cambio

de Bosque pino (ID 18) a Bosque pino-matorral inerme (ID 19), con una superficie de **243 ha.** en muestreos de campo se observa que esta área se encuentra rodeada por zonas de conservación, en la localidad llamada Nextlacutla, y presencia de *Pinus Montezumae*. Este proceso de cambio representa haber sido modificado en más de 10 ha. promedio al año, de Bosque de pino.

Porcentaje de cambio con relación al área total: 0.10%

4.- otro cambio interesante es el que comparten Tochimilco y Tetéla del Volcán, también en el límite del ANP, con la condición de cambio 15, que describe un cambio de Bosque de oyamel (ID 20) a Matorral inerme (ID 15), con una superficie de 230 ha. Este proceso de cambio representa haber perdido 21 ha. promedio al año de Bosque de oyamel.

Porcentaje de cambio con relación al área total: 0.09%

5.- Otro cambio representativo es el de municipio de Huejotzingo, en Puebla, con condición de cambio 20, que cambió de Bosque pino y otros (ID 1) a Matorral inerme y otros (ID 3), que aunque no cae dentro de ANP, cómo en la década pasada para este mismo municipio, comprende una superficie de **227 ha.** es importante, pues incide cambio de tipo de deterioro en un mismo municipio. En muestreo de campo, se observó que es una localidad de aprovechamiento con presencia de incendio fuerte. Este proceso de cambio representa haber perdido 21 ha. promedio al año, de Bosque de pino y otros. Porcentaje de cambio con relación al área total: 0.09%.

6.- Otro cambio que se presenta en este mismo municipio Huejotzingo, con condición de cambio 19, que describe un cambio de Bosque de Pino y otros (ID 1) a Pastizal inducido (ID2), comprende un área de **139 ha.**

En campo se registró como comunidad de aprovechamiento, localidad llamada C. Xenique, una localidad cercana a este cambio de degradación es, Hielosochio la cual presenta zona de recuperación, es importante hacer mención de lo anterior pues, es un municipio que parece estar interesado en su recuperación. Este proceso significa haber perdido 13 ha. promedio al año, de Bosque de pino y otros. Porcentaje de cambio en relación al área total estudiada es de: 0.05%.

7.- el siguiente cambio que destaca es el localizado en Tochimilco, Tetéla del Volcán y San Nicolás de los Ranchos, su condición de cambio es 14, que describe un cambio de Bosque de oyamel (ID 20) a Pastizal inducido (ID 2), comprende un área de **121** ha. en campo se observaron áreas cercanas de aprovechamiento. Este proceso emite que se perdió 11ha. promedio por año de Bosque de oyamel. Porcentaje de cambio en relación al área total estudiada es de: 0.05%.

8.- el siguiente cambio que se da en su mayoría en San Nicolás de los Ranchos , Calpan y Nealtitán, con condición de cambio de 2, y describe un cambio de Bosque de pino-encino(ID 33) a Agricultura de temporal (ID 8),comprende un área de **104** ha. En este proceso se perdió 9 ha. promedio por año. Porcentaje de cambio en relación al área total estudiada es de: 0.04%.

9.- el último cambio más relevante es el ubicado en Amecameca, su condición de cambio es 10, y describe un cambio de Pradera de alta montaña (ID 14) a Pastizal inducido (ID 2), con área de **76** ha. en campo se pudo observar que siendo una zona de degradación, existe recuperación del Bosque.

Superficie de cambio de 1989 a 2000:

Superficie total de zona de estudio: 239 943.06 hectáreas.

Superficie total de cambio de 1989 a 2000: 4,360.00 hectáreas.

Que corresponde al 1.81% de la superficie total.

9.8 Matrices proporcionales cruzadas de cambios de cobertura terrestre

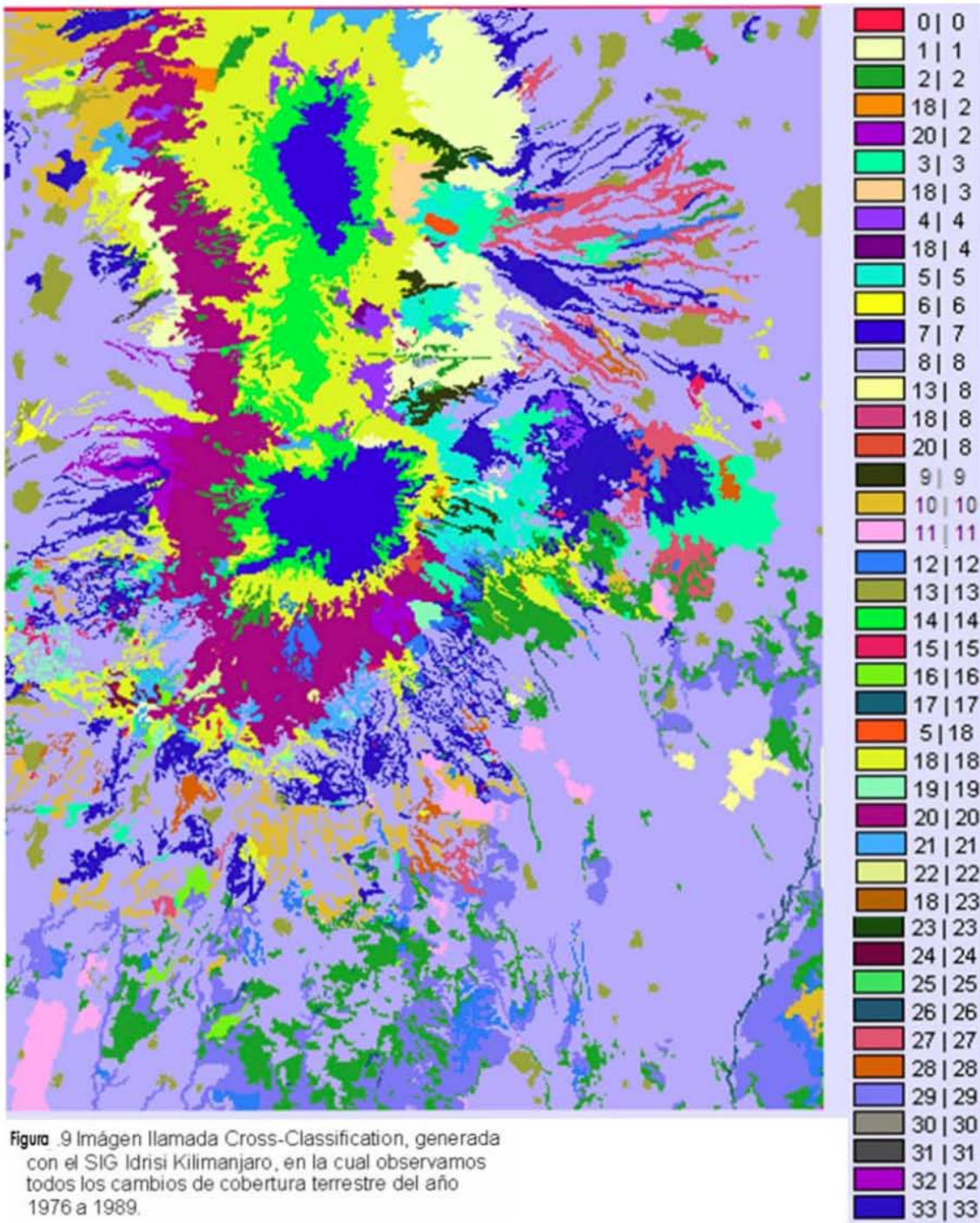
En el Cuadro 5 se presenta la matriz de proporcional cruzada, que expresa las proporciones que corresponden a los cambios entre todas las combinaciones posibles de cobertura de los años 1976 a 1989. La fila superior y primera columna (numeradas del 1 al 33) corresponden al ID del tipo de cobertura, de manera que en las intersecciones de dichas celdas se indica la proporción de dicho cambio. Las celdas donde converge el mismo ID de fila y columna, indica la proporción de cobertura que no presentó cambio de 1976 a 1989, los valores que se encuentran fuera de esta diagonal representan el cambio de cobertura terrestre. Los datos resultantes se observan en decimales ya que la matriz es proporcional y el valor ubicado en el renglón extremo inferior y columna extrema derecha corresponde a la sumatoria de los cambios proporcionales para cada cobertura (renglón). El valor unitario corresponde a la totalidad de cambios correspondientes a la imagen de la figura 9.

Cuadro 5. Matriz proporcional de clasificación cruzada de 1976

0	0.0085	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0085
1	0	0.0301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0301
2	0	0	0.0552	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0.0014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0576
3	0	0	0	0.0177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
4	0	0	0	0	0.0064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0067
5	0	0	0	0	0	0.0127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0127
6	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001
7	0	0	0	0	0	0	0	0.0233	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0233
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4511	0	0	0	0	0.0023	0	0	0	0	0.0001	0	0.0003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4537
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0026
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0237
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0096	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0096
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0121
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0234
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0266	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0266
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0022
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0023
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0006
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0769	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0774
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0029
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0554	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0554
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0112
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0006
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0021
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0007	0	0	0	0	0	0	0	0.0007
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0016	0	0	0	0	0	0.0016
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0169	0	0	0	0	0.0169
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0	0.006	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.044	0	0	0.044	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0007	0	0	0.0007	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0004	0	0	0.0004
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0046	0	0.0046
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0585	0.0585
	0.0085	0.0301	0.0552	0.0177	0.0064	0.0132	0.001	0.0233	0.4511	0.0026	0.0237	0.0096	0.0121	0.0257	0.0266	0.0022	0.0023	0.0006	0.0807	0.0029	0.0571	0.0112	0.0006	0.0021	0.0007	0	0.0016	0.0169	0.006	0.044	0.0007	0.0004	0.0046	0.0585	1

Entre los valores más destacados de la matriz de cambio se observa que la columna **18** que corresponde a Bosque de pino presentó 4 tipos de cambio, esto significa que un mismo tipo de cobertura en este caso, la que corresponde a Bosque de pino, cambió a Pastizal inducido, Matorral inerme y otros, Bosque pino-Pastizal inducido y Agricultura de temporal, con una proporción de 0.001, 0.0023, 0.0003 y 0.0001 respectivamente. Otro cambio, lo manifiesta la columna **20**, que corresponde a Bosque de oyamel, que presentó 2 tipos de cambio, a Pastizal inducido y a Agricultura de temporal, con proporciones de 0.0014 y 0.0003 respectivamente.

En la Figura 9 se muestra la imagen de clasificación cruzada correspondiente a la matriz del Cuadro 5. Se observan todas las intersecciones de columnas y filas de la tabulación, indicado por los números asignados a cada tipo de cobertura terrestre (ID). Se muestra la distribución espacial como el área de las coberturas que cambian de 1976 a 1989. Así, los valores que presentan el mismo número en ambos lados significa que no hubo cambio, mientras que tienen diferente número significa que si presentó variación. Es importante destacar que hay una columna asignada con número 0 la cual corresponde a una área no clasificada, derivada del procesamiento digital.



Por ejemplo se puede destacar el caso del color violeta que en los extensos cambia de Bosque de oyamel a Pastizal inducido, aquí en la imagen lo podemos constatar ubicando en la tabulación de la derecha el ID de la cobertura denotado como:

20 | 2, y localizamos este cambio espacialmente en la imagen de su color correspondiente; otro ejemplo se ubica en la tabulación 18 | 3

que corresponde al cambio de Bosque de pino a Matorral inerme otros, denotado con color naranja claro localizado en la parte norte central de la imagen.

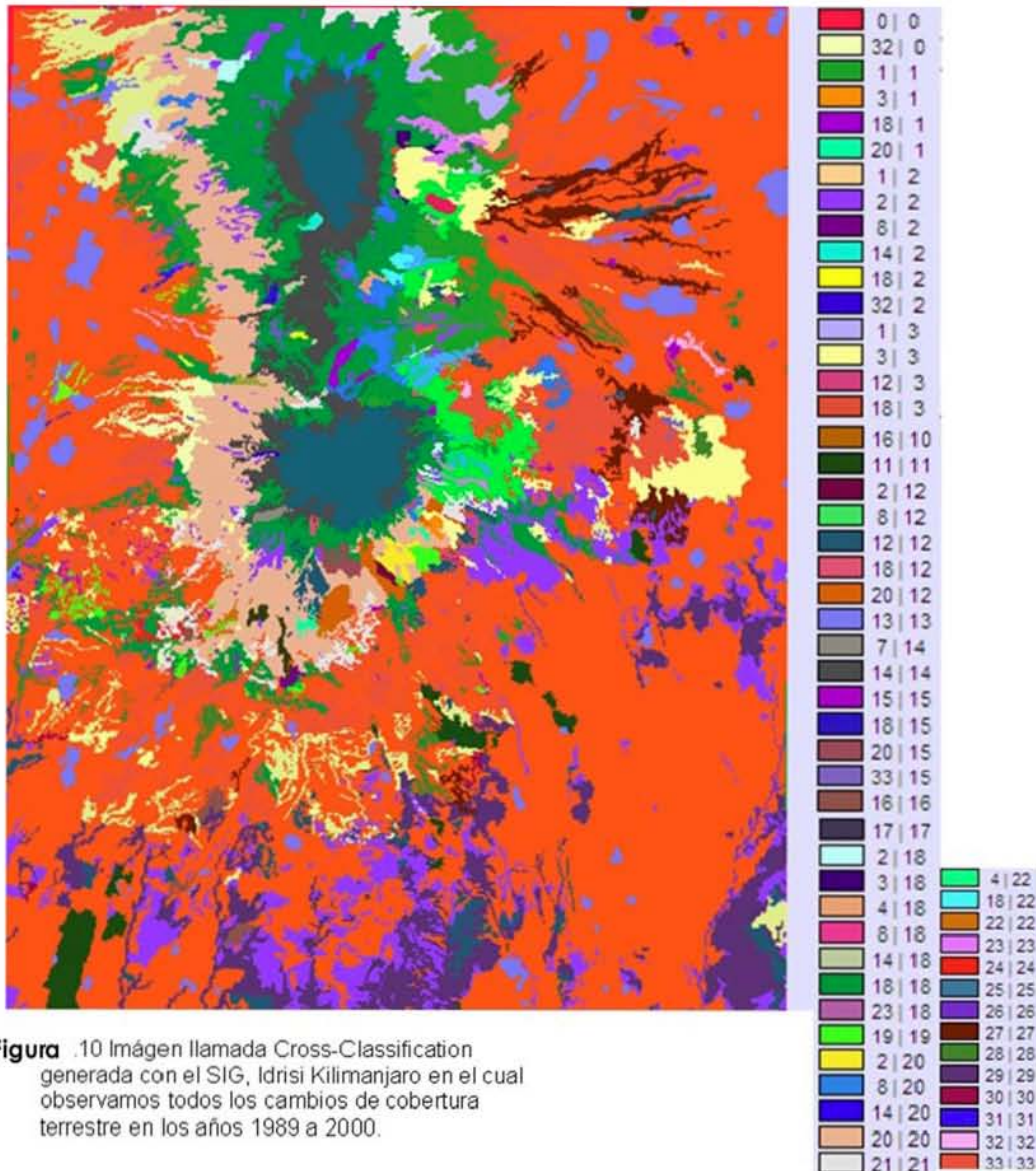
En el Cuadro 6 se presenta la matriz de proporción cruzada, que expresa las proporciones que corresponden a los cambios entre todas las combinaciones de cobertura de 1989 a 2000.

Es una matriz que expresa las proporciones correspondientes a los cambios entre todas las combinaciones de cobertura de los años 1989 a 2000. La fila superior y primera columna (numeradas del 1 al 33) corresponden al ID del tipo de cobertura, de 1989 de manera que en las intersecciones de dichas celdas se indica la proporción de dicho cambio. Las celdas donde converge el mismo ID de fila y columna, indica la proporción de cobertura que no presentó cambio de 1989 a 2000. Los valores que se encuentran fuera de esta diagonal, son valores que se observan en decimales ya que la matriz es proporcional y el valor ubicado en el renglón extremo inferior y columna extrema derecha corresponde a la sumatoria de los cambios proporcionales para cada cobertura (renglón). El valor unitario corresponde a la totalidad de cambios correspondientes a la imagen de la figura 10.

Entre los valores más destacados de la matriz de cambio se observa que la columna **18**, que corresponde al Bosque de pino, presento 8 tipos diferentes de cambio, los cuales son, Bosque de pino y otros, Pastizal inducido, Matorral inerme y otros, Bosque aile-pino, Agricultura de temporal, Pastizal inducido y otros, Matorral inerme y Bosque oyamel- matorral inerme, con proporciones de: 0.001, 0.0001, 0.0002, 0.0005, 0.0002, 0.0002, 0.0003 y 0.0006 respectivamente.

La columna **20** que corresponde al Bosque de oyamel, presento 6 tipos diferentes de cambio: a Pastizal inducido y a Agricultura de temporal, Bosque de pino y otros, Matorral inerme y otros, con proporciones de: 0.0005, 0.001, 0.0003, 0.0001, 0.0029, y 0.001 respectivamente y el Bosque de pino-encino a Matorral inerme y otros, Agricultura de temporal y Matorral inerme con 0.0008, 0.0001 y 0.0002 respectivamente.

En la figura 10 se observa la imagen de clasificación cruzada en donde se observan todas las intersecciones de columnas y filas su distribución espacial, la superficie, las coberturas cambiantes de 1976 a 1989. La columna asignada con número 0 corresponde a área no clasificada. La tabulación de la derecha corresponde a números que son los que se le asignaron a cada tipo de cobertura terrestre llamados anteriormente ID, así que los valores que presentan el mismo número de ambos lados significa que no presento cambio, los que tienen diferente número significa que hubo cambio o en el color su color correspondiente.



Por ejemplo el color amarillo fuerte, que en la tabulación corresponde al cambio 18|2 ubicado en la parte central de la imagen, se puede corroborar este dato en la matriz de cambio (Cuadro 6), leyendo el valor de la intersección de las celdas, columna 18 con fila 2, que denota un cambio de Bosque de pino a Pastizal inducido, otro ejemplo se ve de color lila claro para el que su tabulación es 1 | 3 corresponde al cambio de Bosque de pino

y otros a Matorral inerme y otros. La Selva baja caducifolia no presento ningún cambio, lo cual se corrobora en la tabulación 29 | 29 con color azul marino muy oscuro, ubicada en la parte sur de la imagen.

9.9 Predicción del cambio de cobertura terrestre para el año 2010

El Cuadro 7 expresa la matriz de transición del modelo matemático Markov, mediante valores que representan una proporción probabilística del estado de la cobertura, para el año 2010. Como en las matrices anteriores, la fila superior y primera columna, corresponden al ID del tipo de cobertura. La fila inferior extrema expresa el valor unitario del tipo de cobertura, comprobando que es la totalidad de proporción del tipo de cobertura.

Cuadro 7. Matriz de transición probabilística de Markov en función de su proporción para 2010

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33				
1	0.9011	0.0212	0.0777	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
2	0.0619	0.9224	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0041	0	0	0	0	0	0	0.0174	0	0.0186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0.0162	0	0.8698	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
4	0	0	0	0.995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0427	0	0	0	0.0011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
5	0	0	0	0	0.9945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.0182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
8	0	0.0007	0	0	0	0	0	0.9953	0	0	0	0.0002	0	0	0	0	0	0.0001	0	0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
12	0	0	0.0097	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9451	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
14	0	0.0093	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9818	0	0	0	0.0101	0	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9772	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0017	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
18	0.0122	0.0014	0.0021	0	0.0055	0	0	0.0023	0	0	0	0.0028	0	0	0.0031	0	0	0.8889	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
20	0.0086	0	0.0157	0.005	0	0	0	0.0012	0	0	0	0.0478	0	0	0.0163	0	0	0	0	0.9775	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
21	0	0	0.0132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0197	0	0	0	0	0	0.9803	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0197	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.0163	0	1	
32	0	0.045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.955	0	1	
33	0	0	0.0118	0	0	0	0	0.0012	0	0	0	0	0	0	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.045	0.9837	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	33	

Matriz de transición Probabilística para 2010

Los valores de la matriz del Cuadro 7 emiten la siguiente información: la diagonal formada por las intersecciones de mismo número de fila y columna, son valores que sugieren la proporción con la cual, se presentará el cambio, es decir, las celdas que presenten valor de 1, corresponde a coberturas que no presentarán cambio y las celdas que presenten números menores a uno, son las coberturas que presentarán transformación. Los valores destacados de esta diagonal son los que presentan la celda formada por columna 3 con fila 3 y 18 con 18, pues presentan los valores más bajos de la diagonal que son 0.8698 y 0.8889 respectivamente, y corresponden al Bosque de pino y Matorral inerme y otros, dichas coberturas predicen las mayores transformaciones para 2010, mediante los valores resultantes a lo largo de sus respectivas columnas. Los valores que quedan fuera de la diagonal son las proporciones con las que se transformaran las coberturas terrestres respectivas a la celda.

Cuadro 8. Matriz de transición probabilística Markov, en función de su área

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
1	6209	148	536	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6891
2	0	13015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	236	0	252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13558
3	93	0	5532	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5746	
4	0	0	0	1528	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1596	
5	0	0	0	0	3155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3155	
6	0	0	0	0	0	239	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	239	
7	0	0	0	0	0	0	5381	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5481
8	0	74	0	0	0	0	0	108543	0	0	0	17	0	0	0	0	0	16	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108699	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	612	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	612
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5685	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5685
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2309
12	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	3680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3716
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5813	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5813
14	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6183	0	0	0	84	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6328
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	871	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	871
16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	546	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	547
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150
18	225	25	38	0	101	0	0	42	0	0	0	51	0	0	57	0	0	17686	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18345
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	695	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	695
20	105	0	193	62	0	0	0	14	0	0	0	587	0	0	200	0	0	0	0	11101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12262
21	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2615	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2650
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	303	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	303
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	488	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	498
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	386	0	0	0	0	0	0	0	386
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4058	0	0	0	0	0	0	4058
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1449	0	0	0	0	0	1449
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10557	0	0	0	0	10557
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	166	0	0	0	166
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102	0	0	0	102
32	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	0	0	77
33	0	0	163	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13548	13773
	6632	13322	6533	1588	3256	239	5381	108615	612	5686	2309	4390	5613	6283	1174	546	150	18181	695	11424	2615	445	488	157	11	386	4058	1449	10557	166	102	74	223137	236685

La matriz del Cuadro 8 determina cuantitativa y cualitativamente las probables transiciones, que se denotan con mayor claridad en la tabla 9, la cuál se muestra y describe a continuación.

En el Cuadro 8 se observa que con respecto a las áreas, que de igual manera que en la matriz del Cuadro 7 los valores más grandes, están en la diagonal formada por las intersecciones de mismo número de columna que de fila ya que corresponde al área que no presentará cambio, la única diferencia es que en la matriz del Cuadro 8 se expresa la probabilidad de transición en superficie, hectáreas, ya que esta matriz se vale de cada píxel de la imagen para su despliegue de valores, y como cada píxel corresponde a una superficie de 1 hectárea, se expresan los valores en hectáreas. Así como en el Cuadro 7, aquí también se denota que los valores que están en fuera de esta diagonal matricial, cuantifican la superficie de probable transición.

A continuación se presenta en el Cuadro 9 una matriz, en la cuál la fila superior y la primera columna, están asignadas con números los cuales corresponden al ID de la cobertura terrestre, en cada celda expresa una superficie dada en hectáreas, las cuales son áreas probables de transición para el año 2010, en la zona de estudio. De tal manera que los valores de estas celdas expresan la superficie de transición probable para cada tipo de cobertura, por lo tanto los valores de cero informan que no habrá cambio en la superficie correspondiente a la intersección de sus celdas, y las que presentan valores mayores de cero es la superficie en hectáreas de cambios probables de acuerdo a la predicción del modelo de Markov. El objetivo de esta matriz es realizar la sumatoria de cada una de las columnas, ya que así se logra visualizar cuantitativamente la superficie total de probable transición para cada tipo de cobertura, como se muestra en

los valores de las celdas de la última fila, por lo tanto la celda que corresponde a la intersección de última columna con última fila, expresa la sumatoria de los totales de cada columna, interpretando este valor como la superficie total, esperada de transición según modelo matemático markov, para el año 2010, que son 4060 hectáreas de un total de 239 943.06 hectáreas que corresponden a menos del 2% de la zona de estudio. Los valores destacados de esta matriz se observan gráficamente en la Fig. 11.

Cuadro 9. Matriz detransición probabilística Markov en función de su área para 2010

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33			
1	0	146	536	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	682	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	236	0	252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	543
3	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	214	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
8	0	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	16	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	156	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	225	25	38	0	101	0	0	42	0	0	0	51	0	0	57	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	679	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20	105	0	193	62	0	0	14	0	0	0	0	587	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1161	
21	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
33	0	0	163	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	225	
	423	307	1001	62	101	0	0	72	0	1	0	710	0	100	303	0	0	515	0	323	0	142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4060	

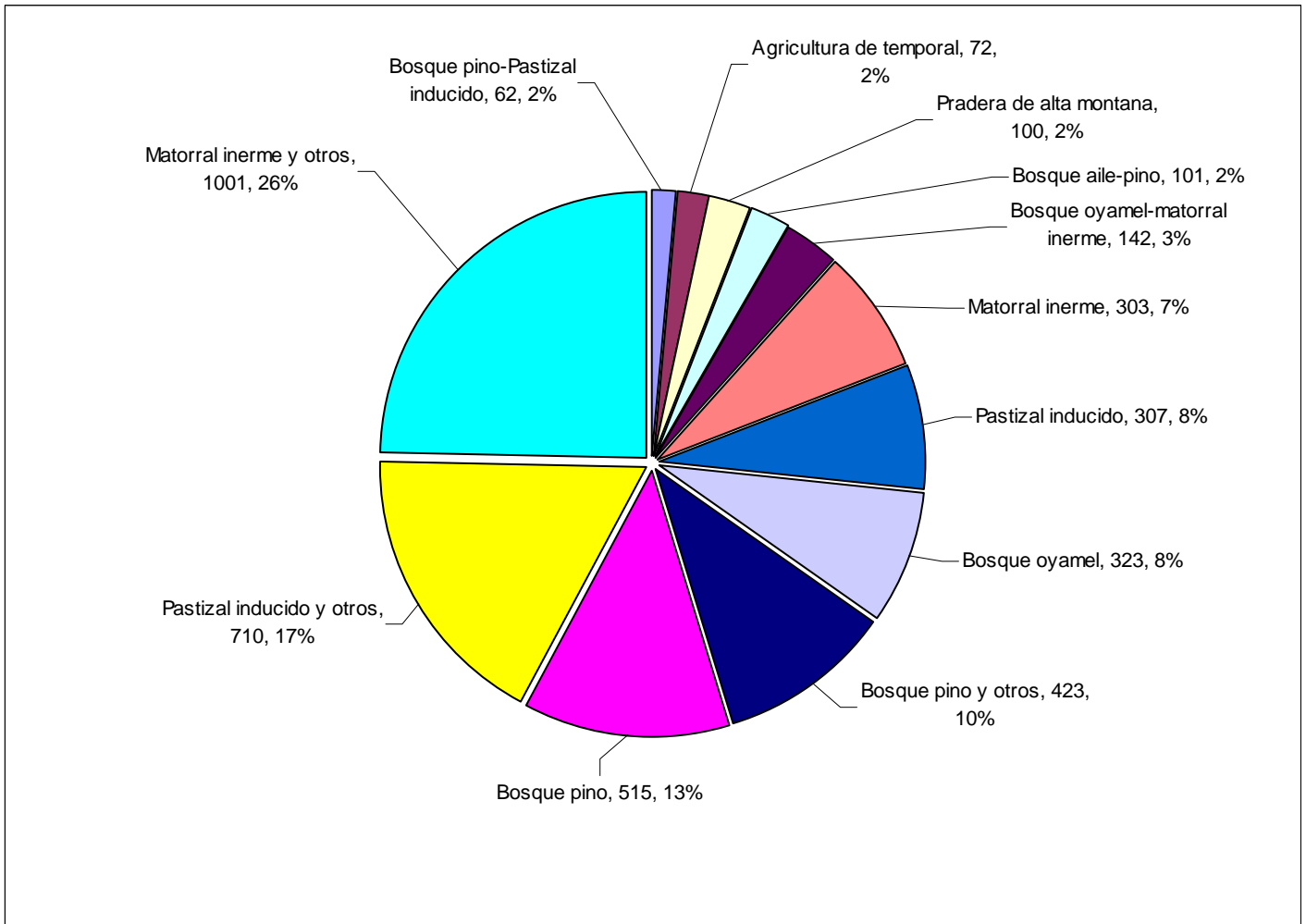


Figura 11. Gráfica de coberturas terrestres de transición probables para 2010

En la Figura 11 se observa una gráfica que expresa los valores más destacados de la matriz del Cuadro 9, en la cuál vemos las proporciones de los tipos de cobertura que presentarán transición, para 2010, destacando el Matorral inerme y otros con 1001 hectáreas que representan un 26% del todas de transiciones predichas para 2010, después el Pastizal inducido y otros con 710 hectáreas que son el 17%, Pastizal inducido con 307 hectáreas que son el 8% y el Matorral inerme con 303 hectáreas que son el 7%, es notable que estos cuatro tipos de cobertura son de degradación, es por ello que importante ubicarlas espacialmente para identificar las zonas relevantes en cuanto a deterioro y conservación de la zona de estudio, en contraste se predice Bosque de pino con 515 hectáreas, Bosque de pino y otros con 423 hectáreas y Bosque de oyamel con 323 hectáreas, con el 13,10 y 8% respectivamente dichas coberturas se consideran zonas de conservación. Ambas tipos de condición tanto de deterioro como de conservación, se ubican espacialmente en las imágenes de la fig. 12.

Zona de probable deterioro

De acuerdo a la Matriz de superficie de transición probabilística Markov. (Cuadro 9). La superficie probable de transición para las coberturas terrestres consideradas zonas de deterioro es:

Cuadro 10. Superficie de zona de deterioro para 2010

Cobertura terrestre	Superficie en hectáreas
Matorral inerme y otros (ID 3)	1001 ha
Pastizal inducido y otros (ID 12)	710 ha
Pastizal inducido (ID 2)	307 ha
Matorral inerme (ID 15)	303 ha
Superficie Total de probable deterioro	2321 ha

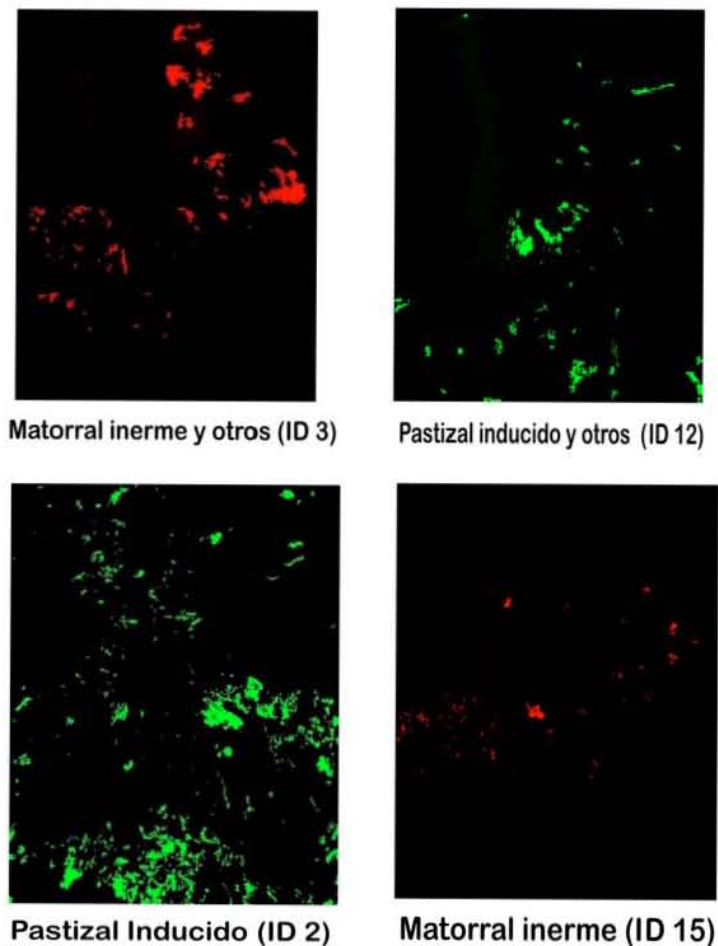


Figura 12. Ubicación espacial de la probable transición a zona de deterioro por tipo de cobertura.

En las imágenes de figura 12, se ubican las zonas de probable deterioro en la zona de estudio con base al análisis de Markov, por tipo de cobertura terrestre, donde se encuentran 4 tipos de

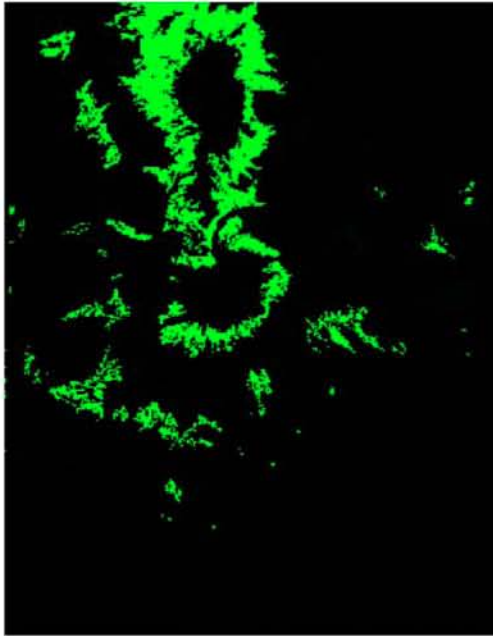
cobertura indicados en la figura, con su respectivo ID. Los cuales se ubican en los municipios de Huejotzingo, San Nicolás de los Ranchos, Atlautla y Amecameca.

Zona de conservación de acuerdo a proceso Markov.

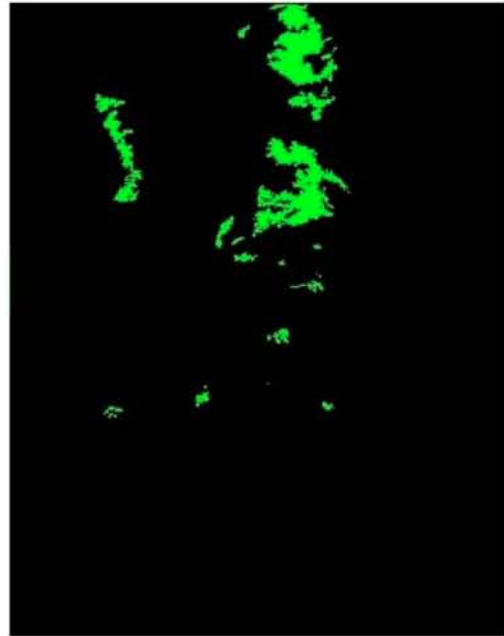
De acuerdo a la Matriz de superficie de transición probabilística Markov. (Cuadro 9). La superficie probable de transición para las coberturas terrestres consideradas zonas de conservación es:

Cuadro 11. Superficie de zona de deterioro para 2010

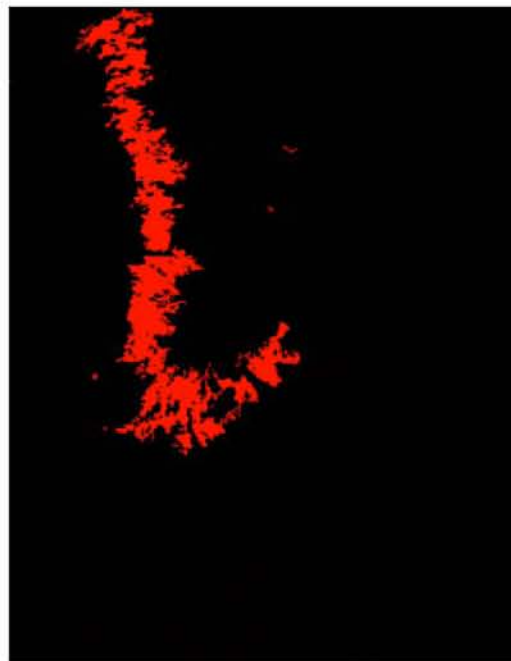
Cobertura terrestre	Superficie en hectáreas
Bosque pino (ID 18)	515 Ha
Bosque pino y otros (ID 1)	423 Ha
Bosque oyamel (ID 20)	323 Ha
Superficie Total de probable de Conservación	1261 Ha



Bosque de pino (ID 18)



Bosque pino y otros (ID 1)



Bosque oyamel (ID 20)

Figura. 13 Ubicación espacial de la probable transición a zona de conservación por tipo de cobertura.

En la Figura 13 se muestra la zona de probable conservación, denominada por tres tipos de cobertura: Bosque de pino, Bosque pino y otros y Bosque oyamel. Donde espacialmente se ubican las zonas mencionadas de conservación de dichas coberturas. Las que se ubican en los municipios de Tlalmanalco, Chalco, parte de Huejotzingo, Atlautla y parte de Tochimilco.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que en la región Iztaccíhuatl-Popocatepetl, la cobertura terrestre se manifiesta en 33 tipos diferentes, los cuales están presentes en tres fechas 1976, 1989 y 2000, donde la cobertura terrestre que predomina para las tres fechas es la Agricultura de temporal, pues representa casi la mitad de la cobertura de la zona de estudio, luego el Bosque de pino, el cual se distribuye espacialmente en a lo largo de las tres fechas presentando una disminución del mismo en cada fecha, después el Bosque de pino encino distribuyéndose casi constantemente en las tres fechas, el Bosque de oyamel presenta una disminución a través del tiempo, el Pastizal inducido presenta en el primer periodo un aumento en su distribución, pero para el segundo periodo una disminución entre las demás coberturas presentan distribuciones que se consideran casi constantes a través del tiempo.

En general la zona resulta relativamente estable, el periodo de 1989 a 2000, resulto más dinámico que el de 1976 a 1989.

Los municipios donde hay que poner especial atención son: Huejotzingo, en Puebla, que presento cambios de degradación de Bosque de pino a matorral inerme, dentro de ANP, y que incide el cambio en los dos periodos, y por lo tanto en la tendencia para 2010, para el municipio de Tochimilco, que presenta cambios de degradación aunque no se presentan dentro de ANP, si están muy cerca de su cota. San Nicolás de los Ranchos, también presenta cambios de degradación en el primer periodo totalmente dentro de ANP. Tetela del volcán aunque solo presento cambio de degradación, en el segundo periodo se observa cerca de ANP, y el último municipio con el cambio de cobertura más grande en el segundo periodo es el de Amecameca el cual es el único que presenta zonas de reforestacion-recuperacion de su Bosque.

Se recomienda evaluar el plan de manejo de los recursos naturales, si es que existe y como se lleva a cabo en estos municipios o proponer un adecuado plan de manejo a partir de los procesos identificados.

Las tendencias propuestas por el método Markov, es decir, las probables transiciones para el año 2010, con base en el modelo matemático de Markov, con el cual se predice mediante matrices de transición probabilística en función de su proporción y sus respectivas superficies para cada año, el estado probable para cada una de las coberturas terrestres identificadas. La predicción de superficie total de transición es de 4060 ha, de las cuales la superficie de probable cambio a zona de deterioro para 2010 es de 2321 ha. y predicen cambiar a Pastizal inducido y Matorral inerme destruidos espacialmente en los municipios de Tochimilco, San Nicolás de los Ranchos y Huejotzingo, principalmente. La zona de probable conservación es de 1261 ha. y predicen conservar el Bosque de pino y Bosque de oyamel en los municipios donde se distribuyó desde 1976, solo que exceptuando zonas de posible degradación, el Bosque de oyamel se presenta solo en zona oeste del ANP.

En el municipio de Atlixco en el periodo de 1976 a 1989 se describe un cambio de Poblaciones a Agricultura de temporal con 547 ha. lo cual es incongruente y esto pudo deberse a una confusa interpretación de la imagen de satélite.

Dado la dificultad de especificar futuro, las predicciones modelan el análisis del trabajo y con estas predicciones se observan tendencias. Estos análisis contribuyen a una comprensión mejor de los umbrales que implican cambios en intensidad del cambio de cobertura, así lo publican en trabajos internacionales como el de Lambin *et al.*, 2002,

quienes explican la importancia que tiene las predicciones en el cambio de paisaje.

Con todos estos resultados obtenidos del procesamiento digital mediante Sistemas de Información Geográfica, se establece que se lograron satisfactoriamente los objetivos planteados, y la información resultante de cada uno de los procesos, son útiles para investigaciones relacionadas con el tema, ya que, toda esta información es posible integrarla en varios Sistemas de información Geográfica, en los cuales puede consultarse todas las imágenes raster y vector para futuros análisis e investigaciones, así como también darle usos didácticos, de difusión y como información fidedigna para establecer un apoyo en la consideración de planes y políticas de manejo para la zona de estudio, tal y como se hace mención en la justificación de esta investigación.

En la mayoría de los estudios en México para el periodo 1976-1989, hay aumentos de zonas Agrícolas y reducción de Bosques de pino y aumento de poblaciones, pero en el caso de la zona de estudio, el periodo más dinámico se registra de 1989 a 2000, y los cambios para cada periodo de tiempo no superan el 2% de la superficie total, es por eso que se considera la región Iztaccihuatl-Popocatepetl, relativamente estable, pero no se debe dejar de poner atención en las áreas identificadas de cambio, pues es importante llevar a cabo un adecuado plan de manejo de los recursos naturales y poder prever el futuro de la zona de estudio.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Aplin P., 2004. Remote sensing: land cover. *Progress in Physical Geography* 28, 2:283-293
- Basharin E., 2004, *The Life and Work of A. A. Markov*, Algebra and its Applications. Vol. 386:3-26, 2004
- Burel F. y J. Baudry. 2002. *Ecología del Paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones*. Ediciones Mundi Prensa. España
- Cabeza-Pérez A. 1993. *Elementos para el diseño de paisaje. Naturales, artificiales y adicionales*. Trillas. Serie Arquitectura del paisaje. México D.F.
- Chávez C. y B.N. Trigo. 1996. Programa de Manejo para el Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl. Colección Ecología y Planeación- UAM.
- Forman, R.T. 1995. *Land mosaic. The ecology of landscape and regions*. Cambridge. University Press, Cambridge.
- Galicia L., García R.A., Gomez-Mendoza L., Ramírez R.I. 2004. El cambio de uso de suelo como factor de degradación ambiental: una perspectiva geográfica. Instituto de Geografía UNAM.
- Galofaro L. 2003. *Land & Scape Series: Artscapes, El arte como aproximación al paisaje contemporáneo*, Editorial Gustavo Gili GG®, S.A. Barcelona España.
- García Romero A., Garza-Merodio G., Galicia Sarmiento L., Vazquez Selem L., Carpa Pedol L. (2004). Modelo multiescalar de la dinámica de los usos del suelo y sus consecuencias sobre la estructura y funcionalidad de los Bosques en las montañas del centro de México. Instituto Geografía. Proyecto de investigación. UNAM.

- INEGI. 2005. Guía para la interpretación de cartografía. Uso del suelo y vegetación. Aguascalientes, Ags. México. 40-60 pag.
- Ingegnoli, Vittorio. (2002). Landscape ecology: a widening foundation. Berlin: Springer. Ecología de paisajes.
- Jensen, R. J. 2000. Remote sensing of environment. An earth resource perspective. Prentice Hall Series in Geographic Information Science. USA.
- Lambin E.F., Rounsevell M.D.A., H.J. Geist. 2002. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Department of Geography, University of Louvain, Place Louis Pasteur 3, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium*
- Lira J. 1997. La Percepción Remota. Nuestros ojos desde el espacio. La Ciencia/33 para todos. Fondo de Cultura Económica. SEP-CONACYT
- López B.F. (2003). Degradación Forestal y cambios de uso de tierra en una zona con influencia urbana. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, México.
- Margalef R. 1984. Visión del paisaje desde la Ecología. I Coloquio Paisaje y Geosistema (Barcelona, abril 1980) Monografies de l' EQUIP, 1.103

- Meentemeyer, V., y Box, E. O. (1987). Scale effects in Landscape studies. En M.G. Turner. Landscape heterogeneity and disturbance. Springer-Verlag, New York : 15-34.
- Ortiz-Solorio C. A., Cuanalo de la Cerda H.(1984). Metodología del Levantamiento Fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras. Colegio de Posgraduados Chapingo, México.
- Palacio-Prieto J.L., Sánchez Salazar M.T. , Casado Izquierdo J.M. , Propin Frejomil E. , Delgado Campos J. , Velázquez Montes A. , Chias Becerril I. ,

Ortiz Alvarez M.I., González Sánchez J., Negrete Fernández G. , Gabriel Morales J. , Márquez Huitzil R., Niedo Manzano T. , Jiménez Rosenberg R. , Muñoz López E. , Ocaña Nava D. , Juárez Aguirre E. , Anzaldo Gómez C. , Hernández Esquivel J.C. , Valderrama Campos K. , Rodríguez Carranza J. , Campos Campuzano J.M. , Vera Llamas H. , Camacho Ramírez C.G.

- 2004. Indicadores para la caracterización y ordenamiento territorial. Instituto de Geografía, UNAM Instituto Nacional de Ecología – INE, Subdirección de Ordenamiento Ecológico Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas – CONANP Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - CONABIO Consejo Nacional de Población, SEGOB, Dirección General de Planeación en Población y Desarrollo INEGI, Jefatura de Análisis de Econometría INEGI, Coordinación de Estudios Regionales INEGI, Dirección de Estrategia Económica y Financiera

- Romme, W.H. 1982. Fire and Landscape diversity in subalpine forest of Yellowstone Nacional Park. *Ecology Monograph*, 52: 199-221
- Singh, 1989, Digital change detection techniques using remotly-sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10(6):989-1003.
- Steenbergen C. y Wouter R. con la colaboración de Smienk., 2001, La proyectación de los jardines europeos. *Arquitectura y paisajes*, Editorial Gustavo Gili GG®, S.A. Barcelona España, pag. 19 y 20.
- Velásquez A., Jean F. Mas, Palacio J.L. Instituto de Geografía, UNAM. 2002. Análisis del cambio de uso del suelo Convenio INE-IGg (UNAM)Oficio de autorización de inversión 312.A.-00215)
- Whiston Spirn A. 1990. *Architecture in the Landscape: Toward a Unified Vision*, en *Landscape Architecture*, 80, Agosto.
- Soria, J., C Ortiz F. Islas y V. Volke.1998. *Sensores Remotos, Principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales; Experiencias en México*. CONACYT-Colegio de Postgraduados-Sociedad mexicana de la ciencia del Suelo. Publicación especial No. 7.Mexico. 93pp
- Steenbergen Clemens, Wouter Reh, con la colaboración de Smienk., 2001, La proyectación de los jardines europeos. *Arquitectura y paisajes*, Editorial Gustavo Gili GG®, S.A. Barcelona España, pag. 19 y 20.

- Velásquez A., Mas J.F., Palacio J.L., Díaz J., Mayorga R., Alcántara C., Castro R., Fernández T. Instituto de Geografía, UNAM. (2002). Análisis del cambio de uso del suelo Convenio INE-IGg (UNAM) Oficio de autorización de inversión 312.A.-00215
- Whiston Spirn A.1990, Architecture in the Landscape: Toward a Unified Vision, en Landscape Architecture, 80, Agosto.
- <http://www.centrogeo.org.mx>,(2007)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Cartograf>, (2007)
- <http://www.teledet.com.uy/quees.htm>, (2007)