



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
PROGRAMA DE POSGRADO EN GEOGRAFÍA
ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

**“DINÁMICA DEL USO DEL SUELO Y LA
FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE DE PINO CON
AILE DEL VOLCÁN COFRE DE PEROTE
(1970-2003)”.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

YOANI MONTOYA RESENDIZ

TUTOR.

DR ARTURO GARCÍA ROMERO





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.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro con mucho cariño y admiración a mi maestra y entrañable amiga:

M en G. Irma Eurosia Carrascal Galindo.

Por que su ejemplo de entusiasmo y calidad humana marcaron mi vida.....

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero agradecer a la **Universidad Nacional Autónoma de México**, la cual me ha dado la oportunidad y el privilegio de continuar con mi formación y por permitirme alcanzar una más de mis metas.

A todo el personal del **Posgrado en Geografía** por proporcionarme las facilidades para realizar mis estudios de maestría. Asimismo a los **profesores del programa de la maestría** quienes realizan su labor docente con tanto compromiso. De igual forma quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) y al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (**PAPIIT**) (Clave IN309108), por el apoyo económico otorgado para mi formación durante el posgrado y la culminación del trabajo de tesis.

Quiero agradecer de forma muy sincera a mi asesor, **Dr. Arturo García Romero**, por la confianza que ha depositado en mi, su gran dedicación a este proyecto de investigación, su paciencia, las palabras de aliento ante las adversidades, los valiosos conocimientos que me ha transmitido, pero principalmente, por su fantástica amistad y por ser tan admirable y ejemplar persona.

A los investigadores que conformaron el comité sinodal, **Dr. Enrique Propin Frejomil, Dr. Jorge López Blanco, Dra. Rebeca Guadalupe Granados Ramírez y Fernando Aceves Quesada**, muchas gracias por todo su apoyo académico y moral, por enriquecer este proyecto con su valiosa experiencia y ante todo por confiar en mi.

También quiero agradecer a todas las personas que hacen completa y feliz mi vida.

A mi bella familia, que por fortuna la vida me regalo:

A mi mamá **Alicia Resendiz Ávila**, porque mis mayores virtudes son el resultado de tu amor.

A mi papá **Francisco Montoya Martínez**, porque mi mayor ejemplo de superación son tus logros y entereza.

A mi hermano **Gerardo Francisco Montoya Resendiz** por tu apoyo incondicional.

A todos mis familiares con quienes convivo, y en especial a mis primos Karen, Daniel y Paola, a quienes espero que este tipo de trabajos algún día los motive.

A la familia que el destino me dio la oportunidad de elegir:

A **Carlos Alberto Mendoza Robles**: por todo el amor y admiración que me inspiras.
“Para el mundo tú eres alguien, pero para mí eres mi mundo”

A **Karla Ivette Mendoza Robles**, por tu cariño, paciencia para guiarme en el maravilloso mundo del paisaje y ante todo porque con tu valiosa amistad me has enseñado a ser mejor persona. A **Alicia Robles**, por todo el apoyo recibido, por su entusiasmo y por integrarme a su bella familia con tanto cariño.

A mis amigos del alma, **Teresa Garrido, Ileri Márquez, Ernesto Sánchez, Salvador Yolocautli, Pedro Pérez y Ernesto de la Rosa**, porque desde el primer momento en el que los conocí me brindaron su sonrisa y cariño, gracias porque siempre han confiado en mí, por contagiarme su alegría, por los momentos tan divertidos que hemos pasado juntos y ante todo, por sus palabras de aliento y apoyo en todo momento.

A mis entrañables amigos: Inés de la Cruz, Natalia Carranza, Luís Cuz, Cecilia Limón, Norma Hernández, Ivonne Hernández, Paola Mercado, Roberto Arteaga y Eduardo Salazar.

También quiero agradecer a todas las personas a las que sin su apoyo este trabajo no hubiera sido posible. Mil gracias, Alanís, Amiel, Ricardo, Julio, Álvaro y Cecilia.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN.....	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
HIPÓTESIS.....	11
OBJETIVO PRINCIPAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
ESTRUCTURA CAPITULAR	12
CAPÍTULO 1. FRAGMENTACIÓN, USOS DEL SUELO Y SUS CONSECUENCIAS EN LA VEGETACIÓN	14
1.1 LA FRAGMENTACIÓN DE LA VEGETACIÓN	14
1.1.1 Enfoques y conceptos fundamentales.....	14
1.1.2 Causas y consecuencias de la fragmentación	21
1.2 EFECTO DE LA DINÁMICA DE LAS CUBIERTAS Y USOS DEL SUELO	24
1.2.1 Efectos de la fragmentación y el uso del suelo en la estructura vertical de la vegetación	27
CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA.....	28
2.1 ZONA DE ESTUDIO	28
2.2 METODOLOGÍA	29
2.2.1 Elaboración de los mapas de cubiertas del suelo 1970, 1980, 1990 y 2003	30
2.2.3 Elaboración de los mapas de fragmentación del bosque de pino con aile.....	33
2.2.4 Obtención de la información en campo y levantamiento de inventarios	34
2.2.5 Clasificación del estado funcional del bosque.....	37
CAPÍTULO 3. DINÁMICA DE LAS CUBIERTAS EN EL VOLCÁN COFRE DE PEROTE 1970-2003.....	40
3.1. ESTADO ACTUAL DE LAS CUBIERTAS Y SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	40
3.1.1 Vegetación madura con uso forestal disperso	40
3.1.2 Vegetación madura con uso pecuario extensivo.....	45

3.1.3 Vegetación secundaria con uso forestal disperso	47
3.1.4 Vegetación cultivada con uso extensivo.....	48
3.1.5 Cubiertas no vegetales con uso extensivo	48
3.2 DINÁMICA DE LAS CUBIERTAS DEL SUELO EN EL VOLCÁN COFRE DE PEROTE 1970-2003	49
CAPÍTULO 4. DINÁMICA DEL USO DEL SUELO Y LA FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE DE PINO CON AILE	59
4.1 LA FRAGMENTACIÓN ACTUAL DEL BOSQUE DE PINO CON AILE	59
4.1.1 Variable tamaño	59
4.1.2 Variable forma	62
4.1.3 Variable conectividad espacial	63
4.1.4 Tipos de fragmentación	64
4.1.5 Influencia de los sistemas de uso del suelo sobre las cubiertas vegetales.....	66
4.2 DINÁMICA DE LA FRAGMENTACIÓN 1970-2003.....	70
CAPÍTULO 5. CONSECUENCIAS DE LA FRAGMENTACIÓN EN EL BOSQUE DE PINO CON AILE.....	73
5.1 FRAGMENTACIÓN DIFERENCIAL	73
5.1.1 Bosques en estado de conservación.....	77
5.1.2 Bosques en estado de regeneración.....	80
5.1.3 Bosques en estado de disturbio	81
5.2 CAUSAS DE LA FRAGMENTACIÓN	84
DISCUSION.....	86
CONCLUSIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

2.1 Claves generales y nombre de tipos de fragmentos	33
2.2 Calificaciones para valores tipificados y rangos de aplicación	38
3.1 Dinámica de las coberturas del suelo en el volcán Cofre de Perote	49
4.1 Dinámica temporal de superficies por categorías de variables	60
4.2 Dinámica temporal porcentual por categorías de variables.....	72
4.3 Dinámica temporal de número de fragmentos por categorías de variables	72
5.1-A Variables y datos de estructura vertical obtenidos en los inventarios.....	75
5.1-B Variables y datos estandarizados para estimar el valor índice medio y el estado funcional de los bosques	76
5.2. Cobertura arbustiva y dominancia de género en los tipos de fragmentos	78

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Génesis del estudio de la fragmentación y los enfoques investigativos.....	15
1.2 Análisis de las variables de la fragmentación.....	20
1.3 Causas y consecuencias de la fragmentación	22
2.1 Localización del área de estudio	28
2.2 Curva típica normal.....	38
3.1 Cubiertas del suelo 2003	41
3.2 Cubiertas del suelo 1990	50
3.3 Cubiertas del suelo 1980	52
3.4 Cubiertas del suelo 1970	54
3.5 Dinámica del cultivo de la papa en la región del volcán 1970-2003.....	57

4.1 Distribución de fragmentos de bosque de pino con aile	59
4.2 Superficie de fragmentos por categorías de variable	60
4.3 Número de fragmentos según tamaño, forma y conectividad	61
4.4 Tipos de fragmentación 2003	64
4.5 Tipología de la fragmentación del bosque de pino con aile en el volcán Cofre de Perote 2003	65
4.6 Distribución de los sistemas de suelo.....	66
4.7 Sistemas de uso del suelo del volcán Cofre de Perote 2003	68
4.8 Dinámica de superficie por categoría de variable (1970-2003)	70
4.9 Dinámica de superficie por categorías de variables en bosque cerrado 1970-2003.....	70
4.10 Dinámica temporal de número de fragmentos por categorías de variables en bosque abierto 1970-2003.....	71
5.1 Estado funcional de los bosques de bosque de pino con aile en el volcán Cofre de Perote 2003	74
5.2 Número de árboles jóvenes, adultos y de arbustos.....	78

INTRODUCCIÓN

En el centro de México los bosques templados incluyen una serie de formaciones forestales, entre las que destacan los bosques maduros de pino (*Pinus spp.*), abeto y mixtos de abeto (*Abies religiosa*) y encino (*Quercus spp.*), cuya área de distribución coincide con las principales estructuras volcánicas del Cinturón Volcánico Transmexicano (Rzedowski, 1978), entre las que destacan el Pico de Orizaba (5,760 msnm), Popocatepetl (5,450 msnm), Iztaccíhuatl (5,324 msnm), Nevado de Toluca (4,558 msnm), Malinche (4,460 msnm), Nevado de Colima (4,330 msnm), Tancítaro (4,160 msnm), Tláloc (4,150 msnm) y Cofre de Perote (4,110 msnm), éste último, área de estudio del presente trabajo.

Dentro de esta área los bosques templados son espacios de interés, no sólo por su diversidad biológica y ecosistémica, sino porque son fuente de recursos y servicios ambientales. Entre ellos, destacan la producción de alimentos y de agua para consumo humano e irrigación y la generación de energía hidráulica y eólica. Son importantes fuentes de recursos en agrobiodiversidad, endemismos, plantas medicinales y aromáticas; minerales y energéticos (Jansky *et al.*, 2002). Además, la cobertura de vegetación en bosques reduce la erosión del suelo, favorece la infiltración sobre el escurrimiento superficial y es pieza importante de la estructura del paisaje de gran interés para el desarrollo turístico, la cultura y la recreación (Altieri, 1999).

No obstante el relativo aislamiento, inaccesibilidad y riesgos asociados a las áreas forestales de montaña, la dependencia de la sociedad humana respecto de los servicios ambientales es la principal explicación de la concentración poblacional en sus entornos y de que éstos ecosistemas se encuentren entre los de mayor impacto ambiental en México (Bocco *et al.*, 2000; Fragoso *et al.*, 2001).

Entre las principales problemáticas que se presentan en los bosques de nuestro país están la pérdida de superficie forestal y la fragmentación espacial (Bocco *et al.*, 2000; Mas y Correa-Sandoval, 2000). Esta última se genera como consecuencia de la deforestación y repercute directamente en la estructura, diversidad y funcionamiento de los bosques, situación ya evidente en el caso de los bosques templados del volcán Cofre de Perote.

Entre las causas que se han señalado a estos problemas están la dinámica socio-económica que impera desde la época colonial. Desde la llegada de los españoles, la apropiación de la tierra ha sido desigual, pues favorecía a los grandes caciques que exploraron el bosque para la construcción de sus viviendas o para comercializar la madera para la construcción de vías de comunicación e infraestructura para las localidades o ciudades cercanas (Jardel, 1986). Por otra parte, la declaración en 1932 de una superficie considerable del volcán como área natural protegida generó la falta de oportunidades económicas para la población local. Las consecuencias directas de las oportunidades económicas y de la forma de legislar los bosques, así como de la tenencia de la tierra fueron: la tala intensiva, la extracción de leña, el pastoreo y los incendios. Todo esto en su conjunto ha generado una serie de conflictos entre el desarrollo y la conservación de los bosques templados en el volcán (Vargas, 1997).

En México y en específico en la zona de estudio, poco se conoce acerca de la variación espacial de los usos del suelo y de su relación con los procesos históricos del desarrollo social, los aspectos socio-económicos que los determinan, la conformación de los patrones de fragmentación y sus consecuencias sobre la ecología de los bosques. Por lo anteriormente expuesto, en este trabajo de investigación se aborda el estudio de la fragmentación y la estructura de la vegetación del bosque de pino con aile del volcán Cofre de Perote, en el estado de Veracruz. La investigación se desarrolla a escala local y desde una perspectiva integral que se enfoca en la caracterización del estado actual y de la dinámica de las cubiertas y usos del suelo, del proceso de fragmentación forestal, así como en evaluar la magnitud de las consecuencias que estos hechos y procesos han generado en términos de los cambios en la estructura vertical de los bosques. Para ello, se plantea el esquema investigativo siguiente.

Planteamiento del problema

Desde tiempos históricos, los bosques templados del volcán Cofre de Perote han sido objeto de la presión antrópica asociada a los diferentes usos de suelo agrícola, pecuario y forestal, los cuales han sido un factor clave de la pérdida de la cubierta forestal. Sin embargo, esta situación se agrava debido a que los remanentes del bosque y, en particular en el caso del bosque de pino con aile presentan diversos grados de fragmentación espacial, los cuales hacen suponer cambios en la estructura vertical de las comunidades vegetales.

Hipótesis

En el área del volcán Cofre de Perote existen distintos patrones de fragmentación forestal, los cuales están genética y funcionalmente vinculados a los sistemas de suelo. Estos patrones han provocado impactos negativos diferenciales en la estructura vertical de los bosques de pino con aile. Con base en esto, se considera que el estado funcional de los bosques de pino con aile depende en mayor medida de alguna de las variables del fragmento: tamaño, forma o conectividad.

Objetivo principal

Caracterizar los patrones de la fragmentación forestal que, asociados a los distintos sistemas de uso del suelo, afectan el estado funcional de los bosques de pino con aile del volcán Cofre de Perote. En cada caso interesa conocer el ritmo y la magnitud del proceso, su relación con la dinámica reciente del uso del suelo y sus consecuencias sobre la estructura vertical de las comunidades forestales, identificando a los principales parámetros de la fragmentación que controlan los cambios.

Objetivos específicos

- Establecer los antecedentes teóricos y conceptuales que sustentan la investigación.
- Conocer la distribución actual de las cubiertas y usos del suelo, así como sus tendencias de cambio en las últimas tres décadas.
- Caracterizar la estructura vertical de los bosques templados del volcán Cofre de Perote y los usos del suelo asociados.
- Determinar la dinámica espacial y temporal de la fragmentación, con especial atención en las variables de tamaño, forma y conectividad.
- Determinar la forma en la que influye la fragmentación diferencial en la estructura vertical de los bosques en distintos sistemas y usos del suelo.
- Explicar las causas y consecuencias de los efectos de la fragmentación y los sistemas de uso del suelo asociados.

Estructura capitular

En el **capítulo 1** se plantean las bases teóricas que sustentan este trabajo. Se exponen brevemente los enfoques y principales conceptos del estudio de la fragmentación desde la perspectiva de la Ecología del Paisaje. Como información contextual se describen las principales variables del análisis de la fragmentación, se puntualizan las diversas causas y consecuencias del problema, con especial atención en los efectos directos sobre la estructura del bosque de pino con aile, así como los métodos y herramientas para su estudio.

En el **capítulo 2** se proporciona un panorama breve de la zona de estudio y de la metodología utilizada en esta investigación. Se describen los cuatro grandes procedimientos utilizados para obtener la información cualitativa y cuantitativa que permitió describir y evaluar la problemática estudiada e identificar los hechos y procesos que dieron origen a la dinámica del uso del suelo. El primer procedimiento se refiere a los insumos utilizados para caracterizar y cartografiar la dinámica de las cubiertas del suelo en el área de estudio; el segundo explica teórica y conceptualmente las variables utilizadas para determinar la dinámica y los patrones espacio-temporales de la fragmentación forestal; en el tercer procedimiento se argumenta la forma en la que se obtuvo la información directa en campo a través de inventarios forestales y la elección de los puntos muestreados; y finalmente, se explica la técnica multivariada utilizada para obtener una clasificación de los patrones de fragmentos según la estructura de la vegetación.

En el **capítulo 3** se presenta un análisis general del estado actual de las cubiertas del suelo, se describen las condiciones naturales geográficas (altura, temperatura, tipo de suelo, etc.) con las que se relacionan, así como la estructura de la vegetación y el uso del suelo asociados; todo ello con el objetivo de obtener una explicación integral de la problemática del uso del suelo y correlacionarlo con la dinámica espacial de las áreas forestales del volcán. A través de un análisis multitemporal (1970-2003) se identifican los cambios que reflejan la disminución o incremento de las coberturas de la vegetación, entre las cuales se encuentra el bosque de pino con aile, objeto de estudio de este trabajo.

El **capítulo 4** contiene el diagnóstico actual y de la dinámica reciente de la fragmentación del bosque de pino con aile, y establece su relación con los distintos sistemas de uso del suelo del volcán. En primera instancia, se expone el estado actual de la fragmentación, incluyendo la superficie y el número de fragmentos de distinto tamaño, forma y conectividad. En segundo lugar, se analizan los cambios temporales (1970-2003) que definen las tendencias de la dinámica de la fragmentación de los bosques de pino con aile. Finalmente, se determinan de forma detallada los diversos sistemas de usos del suelo que generan un impacto directo en la conformación y dinámica de los patrones de la fragmentación forestal.

Por último, en el **capítulo 5** se presenta de manera sucinta la información substancial de este trabajo de investigación. A través de un análisis cuantitativo y cualitativo se discute la fragmentación diferencial y los efectos de ésta sobre el estado de la estructura vertical de los bosques analizados. Para generalizar y dar un panorama de la realidad del grado de impacto que presentan estos bosques, se explican tres estados funcionales con base en su estructura vertical y en su relación con la dinámica de la fragmentación y de los sistemas del uso del suelo.

CAPÍTULO 1. FRAGMENTACIÓN, USOS DEL SUELO Y SUS CONSECUENCIAS EN LA VEGETACIÓN

1.1 La fragmentación de la vegetación

Desde la perspectiva de la Ecología del Paisaje¹, la fragmentación de la vegetación es un tema que en la actualidad ha sido impulsado por la necesidad de entender la estructura, dinámica y problemas de orden ambiental y espacial que presentan diversos paisajes, principalmente forestales que han sido alterados, modificados y transformados por las actividades humanas en el transcurso del tiempo.

1.1.1 Enfoques y conceptos fundamentales

Los enfoques. La Ecología del Paisaje surge en 1939 con el biogeógrafo alemán Carl Troll (Turner *et al.*, 2001), cuya inquietud fue combinar la Ecología con la Geografía. Mientras la primera proporcionó la base conceptual y metodológica del ecosistema², y con ello los procesos ecológicos, la segunda aportó el estudio de las *estructuras espaciales* y la expresión de estas a través de la cartografía. De esta combinación el *paisaje* aparece como la expresión espacial del ecosistema y como la manifestación espacial de las relaciones entre el hombre y su medio (Farina, 2000; Burel y Baudry, 2002) (Figura 1.1). Por lo tanto, la Ecología del Paisaje toma como línea investigativa la interacción entre los patrones espaciales y las consecuencias de la heterogeneidad espacial por medio de la variabilidad de escalas (Turner *et al.*, 2001).

Bajo la óptica ecológica la fragmentación *es un proceso o transformación que afecta a una cierta porción de la superficie de un hábitat que tiene como característica la continuidad. La transformación es originada por la segmentación o división de ésta, generándose con ello subunidades llamadas fragmentos (escuela francesa) o bien parches o manchas (escuela anglosajona), los cuales se caracterizan por la disminución*

1 La Ecología del Paisaje permite comprender los fenómenos actuales gracias a la incorporación de conceptos y métodos procedentes de las ciencias naturales y sociales, así como de disciplinas capaces de efectuar retrospectivas a escalas de tiempo variables (Burel y Baudry, 2002).

2 El concepto de ecosistema se define como una categoría dentro de los numerosos sistemas físicos del universo, desde el átomo hasta el universo en su conjunto (Burel y Baudry, 2002).

de tamaño y el incremento de la distancia y el aislamiento entre ellos (Noss, 1991; Burel y Baudry, 2002, Farina, 2000; Turner *et al.*, 2001).



Figura 1.1 Génesis del estudio de la fragmentación y los enfoques investigativos

Desde el enfoque de la fragmentación el hábitat es el objeto de estudio, dado que hace referencia a un lugar, y se define como “el lugar en el que vive una especie dada” (Burel y Baudry, 2002). En sentido estricto, es el conjunto de los elementos del paisaje utilizados por una especie, aunque sean de diferente tipo (Burel y Baudry, 2002).

Los fundamentos de estudio de la fragmentación del hábitat se han planteado desde dos teorías: la teoría *biogeográfica de islas* y la *teoría de metapoblaciones*. La primera tiene como eje de estudio la influencia del aislamiento la cual es expresada a través de las variables de distancia entre fragmentos o hábitats, el tamaño de los fragmentos, la riqueza y composición de especies, considerando la colonización y extinción como procesos fundamentales. La segunda se enfoca a describir poblaciones compuestas por subpoblaciones y enfatiza el concepto de conectividad y el intercambio entre poblaciones espacialmente separadas (Forman y Godron, 1986).

El estudio de la fragmentación nace con la Ecología del Paisaje, y es desde esta ciencia que se plantean las bases teóricas y metodológicas³. No obstante, la Geografía contribuyó con una serie de conceptos, métodos y herramientas de análisis espacial que permiten entender el fenómeno de la fragmentación desde una perspectiva integral, dinámica y eminentemente espacial.

Entre los métodos más relevantes, la geografía aportó aquellos que permiten la integración, síntesis y el diagnóstico ambiental; así como los del estudio de factores biofísicos y socioeconómicos, que en buena medida son los que controlan y modifican el proceso de la fragmentación y sus efectos ecológicos en el hábitat (Armesto *et al.*, 1992; Burel y Baudry, 2002; García-Romero y Muñoz, 2002). En este sentido, destaca el conocimiento de la relación del hombre con su medio y las formas en las que se apropia de él, lo adapta y con ello lo transforma.

Además, el entendimiento y manejo del concepto de escala, la geografía también contribuyó a entender los fenómenos de forma integral por medio del estudio de las expresiones del paisaje. Asimismo, esta ciencia, proporcionó métodos y técnicas adecuadas para la obtención y el procesamiento de información espacial, por ejemplo, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los métodos de interpretación por medio de teledetección (Farina, 2000; Burel y Baudry, 2002).

De lo anterior, se observa que el estudio de la fragmentación se ha hecho desde dos grandes enfoques: el ecológico y el paisajístico o geográfico físico; la diferencia está marcada por el objeto de estudio, la escala de análisis y la metodología aplicada. Esta primera separación basada en el enfoque disciplinar, puede subdividirse, ya que muchos de los trabajos de investigación publicados permiten observar una cierta especialización y especificidad del objeto de estudio (Figura 1.1).

³ Las teorías base en Ecología del paisaje y que son tomadas y adaptadas de otras ciencias son: la Teoría de Jerarquía, la teoría del Caos, la de la Geometría Fractal y la de la Percolación para el estudio de sistemas complejos y, para el análisis espacio temporal de los sistemas ecológicos se basa en la teoría Biogeográfica de islas y la teoría de las Perturbaciones (Forman y Godron, 1986; Burel y Baudry, 2002).

La Figura 1.1 muestra diversos enfoques del estudio de la fragmentación. Los estudios con enfoque ecológico se pueden subdividir en dos subgrupos: los que se orientan a la modelación de las poblaciones y los flujos de nutrientes en paisajes fragmentados (E-I), y los que privilegian la dinámica de poblaciones y la fragmentación de los elementos no culturales del paisaje (E-II). En el enfoque paisajístico o geográfico se tienen también dos categorías de estudios: los relacionados con las cubiertas del suelo y/o de la vegetación, y las formas del relieve (G-I); y el último orientado al modelamiento con imágenes (G-II) (Figura 1.1).

El subgrupo E-I se define por trabajos donde se observa una inclinación al estudio de individuos de especies y comunidades, por lo que la línea de estudio es básicamente demográfica, y de las particularidades de sus procesos bioquímicos (Gu *et al.*, 2002; Fahrig, 2003).

En la línea del subgrupo E-II se analizan los comportamientos, desplazamientos y variabilidad demográfica de poblaciones entre fragmentos próximos. Estos estudios se caracterizan por plantear un contexto más sistemático de la fragmentación (Delin y Andren, 1999; Kozakiewicz *et al.*, 1992).

En el enfoque paisajístico-geográfico, el grupo G-I se caracteriza por abordar la fragmentación desde su correlación con las cubiertas del suelo y el uso asociado a las cubiertas y su dinámica. Desde esta perspectiva se ha tomado como hilo conductor el análisis multiespacial y multitemporal de variables del uso potencial, uso real y factores territoriales. El nivel de análisis que se persigue desde esta perspectiva, es identificar las causas o variables biofísicas o socioeconómicas que mejor expliquen la fragmentación, los elementos que han dinamizado su evolución, y aterrizar las consecuencias cualitativas y cuantitativas de manera rápida, espacial y sistemática (Veldkamp y Lambin, 2001; Galicia *et al.*, 2007; Galicia y García-Romero, 2007).

Este subgrupo se apoya en forma directa en aquel que se especializa en el modelamiento con imágenes (Douglas, 2000; Farina, 2000; Veldkamp y Lambin, 2001; Southworth *et al.*, 2004; Galicia *et al.*, 2007; Galicia y García-Romero, 2007.). La planeación es uno de los fines que se persigue ya que los resultados integrales y sistemáticos permiten proponer

medidas de corrección y planeación con las mejores decisiones y el menor costo social-cultural, biofísico y ecológico (Kurttila *et al.*, 2002; Rosell *et al.*, 2002).

Por último en el G-II, especializado en el análisis cuantitativo espacial, se estudian las variables que caracterizan a los fragmentos y a los sistemas de fragmentos (Farina, 2000). La línea investigativa se basa en el modelamiento con imágenes, por lo que se expresa como un enfoque más técnico que proporciona los escenarios temporales que permiten entender la evolución y el carácter de la dinámica del paisaje, además de que posibilita conjugar otras variables cuantitativas y cualitativas, tanto socioeconómicas como biofísicas del sistema que se estudia (Douglas, 2000; Southworth *et al.*, 2004). Las nuevas tecnologías relacionadas con la percepción remota de las que se echa mano en estos estudios, permiten el análisis de los elementos, unidades y patrones de paisajes desde la perspectiva vertical, sin embargo, es necesario complementar el estudio incluyendo la visión horizontal y temporal (Burel y Baudry, 2002).

Los conceptos.

El estudio de la fragmentación tiene como plataforma teórica y metodológica al *paisaje*, el cual es un concepto muy discutido no sólo desde el ámbito ecológico-geográfico, resultando innumerables definiciones (Farina, 2000), de las cuales dos son ampliamente citadas en la Ecología del Paisaje:

Burel y Baudry (2002) definen al paisaje como “un *nivel de organización de los sistemas ecológicos superior al ecosistema y que se caracteriza esencialmente por su heterogeneidad y por su dinámica -controlada en gran parte por las actividades humanas,- y que existe independientemente de la percepción*”.

Forman y Godron (1986) y Farina (1998), proponen que el paisaje *corresponde a un sistema territorial complejo y compuesto por un conjunto de paisajes menores o parches funcionales que interactúan todo el tiempo y de cuyas relaciones depende la dinámica del paisaje*. Además, estos mismos autores agregan que la estructura del paisaje está formada por el conjunto de parches (manchas o fragmentos) y corredores contenidos en una matriz. Todos estos elementos forman mosaicos y el conjunto de ellos forma un “patrón de paisajes” (Forman y Godron, 1986; Turner *et al.*, 2001).

La estructura del paisaje está relacionada con el número, el tipo y la configuración espacial de los elementos del paisaje. La función tiene que ver con las interacciones entre los elementos: la matriz, los corredores y los fragmentos del paisaje, esto es, flujos de energía, materiales y especies entre los ecosistemas componentes. Por dinámica se entiende la alteración de la estructura y/o la función del mosaico ecológico con el tiempo (Forman, 1995).

La matriz es el tipo de parche dominante, tiene mayor conexión con el resto de los parches o fragmentos y por ambas razones, juega un papel dominante en la dinámica y función del paisaje. De ella depende el grado de conectividad entre los parches y corredores, por lo que influye en la jerarquía de los procesos y patrones formadores de paisajes (Forman y Godron, 1986).

Los corredores son áreas estáticas y de morfología alargada que se conectan con otras áreas (parches y matriz), por lo que su función consiste en servir de comunicación entre diferentes patrones de paisajes. Un conjunto de corredores conforman una red (Forman y Godron, 1986; Turner *et al.*, 2001).

Los fragmentos (parches o manchas) se definen por una comunidad vegetal que aprovecha los recursos geomorfológicos y climáticos, y responden a un mismo tipo de perturbación. Son áreas homogéneas que difieren de la superficie que los rodea por sus características espaciales (forma, tamaño y proximidad), por su contenido al interior, y por su origen (Forman y Godron, 1986; Turner *et al.*, 2001). Respecto a esto último, los fragmentos se pueden clasificar en tres tipos: los *naturales maduros* que corresponden al potencial natural; los *perturbados* que se derivan del disturbio ya sea natural o cultural; y los *naturales secundarios* que son paisajes perturbados, pero donde la presión ha cesado y se produce la estabilidad y regeneración (Forman y Godron, 1986; Turner *et al.*, 2001; Burel y Baudry, 2002).

La estructura espacial del paisaje se refiere al patrón de las relaciones de distribución entre los fragmentos del sistema. Las variables que se analizan son aislamiento, contagio, yuxtaposición, forma y vecino más cercano, entre otras (Figura 1.2) (Berry, 2000; Turner *et al.*, 2001).

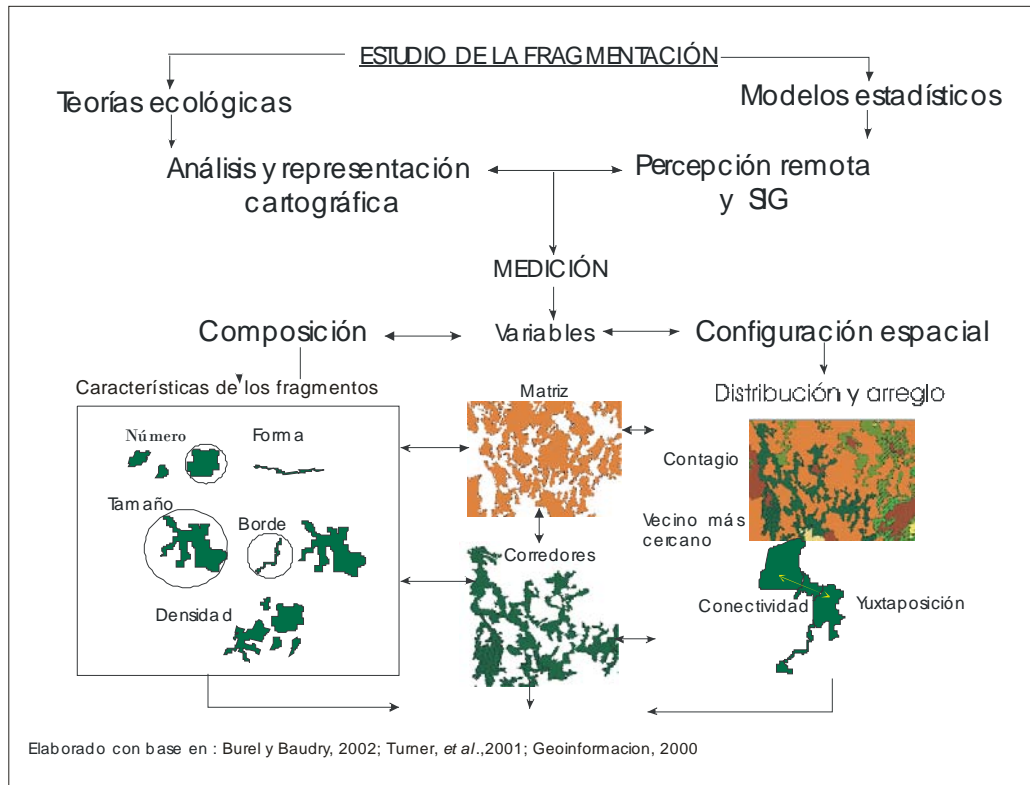


Figura 1.2. Análisis de las variables de la fragmentación

Algunas de las variables utilizadas en el estudio de la estructura –o patrón- espacial del paisaje son (Farina, 2000; Berry, 2000; Turner *et al.*, 2001; Burel y Baudry, 2002): la *fracción*, que se refiere a la proporción de la superficie ocupada por cada clase de fragmento. La *riqueza relativa*⁴ proporciona información sobre el número de clases de fragmentos. El *tamaño* proporciona información referente a la cantidad de hábitat disponible. La *conectividad* espacial implica que dos fragmentos del mismo tipo sean

4 La riqueza relativa puede ser medida por medio de dos índices: Shannon y el de Simpson, estos proporcionan información sobre la densidad de riqueza de parche (cantidad de tipos de parche/ área) (Geoinformación, 2000).

contiguos y que estén unidos en el espacio, mientras que la conectividad funcional describe el tránsito de los individuos o especies entre un fragmento y otro. El *aislamiento* se refiere a la distancia que existe entre los fragmentos, el tipo de matriz que los separa y las características de la especie en cuestión. El *perímetro* es el total de longitud del borde, y la *densidad* es el número de fragmentos de una clase sobre el área total.

El estudio de la composición y la estructura del paisaje permite, entre otros aspectos, obtener y entender, a escala de mosaicos, los patrones y el nivel de la fragmentación y, a escala de fragmentos, la diversidad y la estabilidad interna. En el primero caso –el estudio de los patrones de fragmentación- se han desarrollado herramientas matemáticas y técnicas estadísticas llamadas índices de fragmentación. Actualmente existen programas computacionales, como *Fragstats*, que han sido diseñados para obtener índices (Mas y Correa-Sandoval, 2000) a partir del procesamiento y correlación entre algunas de las variables de la composición y estructura del paisaje.

Para el caso del estudio a escala de fragmentos algunos autores han utilizado variables “base” (Mas y Correa-Sandoval, 2000) como son el área, el perímetro, la forma y la conectividad espacial (Mas y Correa-Sandoval, 2000; Williams-Linera *et al.*, 2002); y en el caso de la estabilidad al interior de los fragmentos, se utilizan diversos indicadores del suelo, el relieve, el uso del suelo y la vegetación, la cual ha sido considerada como la que mejor refleja el estado y las tendencias dinámicas del territorio (Farina, 2000).

1.1.2 Causas y consecuencias de la fragmentación

Las causas de la fragmentación son de dos tipos, las de carácter natural (Mas y Correa-Sandoval, 2000) y las antrópicas (Forman y Godron, 1986). Las primeras se caracterizan por ser parte del sistema biofísico; pueden presentarse como hechos aislados y eventuales o bien como la conjugación de circunstancias que provocan fenómenos de grandes dimensiones espaciales y/o recurrentes; estando en cualquier caso fuera del alcance y manejo del hombre. Por su parte, las causas antrópicas de la fragmentación son aquellas que se generan por la presencia y actividades de subsistencia, desarrollo y evolución del hombre en sociedad; por lo tanto, son esencialmente responsabilidad del comportamiento e intereses de los hombres (Figura 1.3).

Las causas naturales de la fragmentación son de diferente génesis, destacando: a) las de orden hidrometeorológico, como los incendios forestales (Lambin *et al.*, 2001; Galicia y García-Romero, 2007), inundaciones (Forman y Godron, 1986), huracanes, tsunamis, avalanchas de nieve y sequías (Reyes *et al.*, 2006); y, b) las de orden morfogeológico, como el vulcanismo, los eventos gravitacionales (Forman y Godron, 1986) y el cambio de curso de ríos, etc.

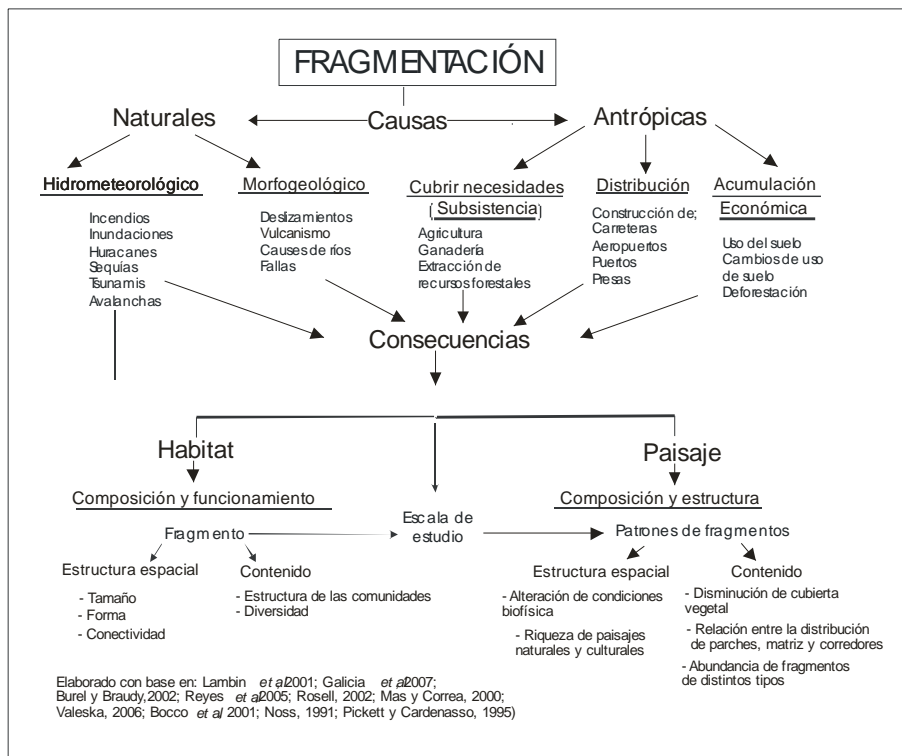


Figura 1.3. Causas y consecuencias de la fragmentación

Las causas antrópicas de la fragmentación son numerosas y diversas, no obstante se pueden agrupar en tres categorías: a) las que se relacionan con la apropiación de recursos naturales para cubrir las necesidades básicas del hombre (Reyes *et al.*, 2006), b) la adaptación y transformación para la distribución de recursos, bienes y servicios y, c) las derivadas de intereses económicos y de poder social.

Dentro de la primera categoría se ubica el desmonte para la agricultura y la ganadería, y la tala y extracción de leña y de otros recursos forestales como hojas, suelo, bellotas,

resinas, etc., actividades que el hombre realiza para cubrir sus necesidades básicas de abastecimiento de alimentos, producción de energía doméstica y obtención de un lugar para habitar y protegerse (Reyes *et al.*, 2006).

En la segunda categoría se incluye la construcción de infraestructura como carreteras, aeropuertos, puertos marítimos, presas, etc., por medio de los cuales se transforman y apropian grandes extensiones de la superficie terrestre y lo que hay sobre ella. Todas estas actividades demandadas y realizadas por la sociedad tienen como objetivo el tránsito y distribución de bienes y servicios a escala local y regional (Rosell *et al.*, 2002).

Todas las actividades que el hombre realiza ya sea para subsistir, distribuir o generar y acumular bienes económicos están estructuradas y correlacionadas entre sí. Sin embargo, cada una de ellas genera un impacto diferencial y escalar en la fragmentación del paisaje, con consecuencias diversas en la composición y funcionamiento del hábitat - que se analizan y miden a nivel de fragmento (Forman y Godron, 1986; Valeska, *s. d.*)- y en la transformación paisajístico-geográfica -que se estudia a través de la estructura espacial del paisaje.

Entre las consecuencias de la fragmentación que afectan el hábitat están los cambios en la estructura vertical de las comunidades, la disminución en la superficie del hábitat y la pérdida y reducción de especies, poblaciones y comunidades (Forman y Godron, 1986; Mas y Correa-Sandoval, 2000; Burel y Baudry, 2002; García *et al.*, 2005). También se afectan procesos ecológicos frágiles al interior del fragmento, por ejemplo, los que dependen de vectores de transmisión, dispersión de semillas, polinización de plantas y dispersión de parásitos (Forman y Godron, 1986).

Otro tipo de consecuencias debidas al cambio de la estructura espacial del paisaje son: a) la disminución de las cubiertas vegetales (Noss, 1991; Pickett y Cadenasso, 1995; Bocco *et al.*, 2001), y b) la alteración de las condiciones biofísicas, como el régimen hidrológico, el ciclo de los elementos minerales, el microclima y la estabilidad y propiedades de los suelos. Esta afectación del ambiente biofísico repercute en la calidad y disponibilidad de los recursos y por lo tanto, en la estructura, estado, extensión y distribución de los ecosistemas, comunidades y poblaciones, todo lo cual se proyecta de forma evidente en la estructura vertical de la vegetación (Pickett y Cardenazo, 1995).

1.2 Efecto de la dinámica de las cubiertas y usos del suelo

El hombre en sociedad es quien da uso al suelo y para ello necesariamente reduce y/o altera las cubiertas naturales de la superficie, ya sean de vegetación, suelo, roca o agua. Los usos del suelo son diversos y espacialmente heterogéneos; se distribuyen en complicados patrones espaciales y temporales, por lo que puede resultar conveniente referirse a ellos al nivel de grandes grupos de uso del suelo. Según algunos autores (Duch *et al.*, 1981; Soto-Mora *et al.*, 1992; Galicia *et al.*, 2007) son los siguientes:

Los usos forestales agrupan las actividades humanas que se realizan en bosques templados, selvas lluviosas y secas, y matorrales. En estos se lleva a cabo la extracción de madera y leña, la producción de carbón así como el aprovechamiento de flores, frutos, hojas, látex, taninos, fibras, semillas, celulosa y tierra de hoja para uso doméstico y comercio.

Los usos agrícolas se refieren al uso que el hombre da a los suelos al dedicarlos al cultivo. Estos pueden ser: uso agrícola de temporal o de tipo nómada (maíz, frijol y hortalizas), y uso para cultivos permanentes o semipermanentes (plantaciones forestales).

Los usos pecuarios o ganaderos se refieren a las actividades que incluyen la cría de ganado; sin embargo; la dimensión espacial del uso y su expresión en el paisaje es variada y depende del tipo de ganado y de la intensidad del aprovechamiento.

Otros usos de amplia distribución son los urbanos, que se refieren a la creación de infraestructura que el hombre realiza para formar sus pueblos y ciudades (uso habitacional, comercial, industrial y de servicios). Finalmente, están los usos mineros que se basan en la extracción de rocas y metales del subsuelo que favorecen la formación de minas subterráneas y canteras.

La dinámica del uso del suelo siempre tiene consecuencias que dependen del nivel escalar, sin dejar de considerar que las transformaciones a escala global repercuten cualitativa y cuantitativamente sobre las escalas regionales y locales (Galicia *et al.*, 2007). A nivel global, la dinámica de uso de suelo obedece a una acelerada transformación en las formas de consumo y producción generadas por las políticas económicas actuales (globalización, neoliberalismo, etc.), y al mismo tiempo han provocado procesos y

fenómenos socio-económicos y demográficos (migración de grandes masas, abandono de tierras por falta de recursos, etc.) que repercuten en la transformación de los usos del suelo tradicionales (Lambin *et al.*, 2001).

Por su parte, a nivel regional y local, en prácticamente todos los estudios consultados se señala a los sistemas agropecuarios y a la tala forestal como los factores genéricos más importantes de la dinámica del uso del suelo –y la fragmentación– en ecosistemas forestales (Bastian y Röder, 1998; Gragson, 1998; Smethurst, 2000; Bocco *et al.*, 2001; Chávez-Mejía *et al.*, 2001; Veldkamp y Lambin, 2001; Jansky *et al.*, 2002). Las deficiencias derivadas del reparto agrario, las concesiones comerciales para la extracción de madera, las políticas forestales incapaces de controlar la tala comercial y furtiva, el manejo ineficiente que promueve la plantación selectiva de ciertas especies, la incorporación de las tierras a los mercados nacionales e internacionales y la corrupción, todos ellos han sido considerados como factores del problema (Serrão *et al.*, 1996; SEMARNAP, 1998; Altieri, 1999; Lambin *et al.*, 2001; Works y Hadley, 2004).

Debido a lo anterior, el campo está presentando graves fallos de sustentabilidad que se reflejan en el abandono de la actividad productiva, situación que no es exclusiva de México. La expansión de las tierras de cultivo a nivel mundial desde 1850 abarca más de 6 millones de km² de bosques, de los cuales 1.5 han sido abandonados (Lambin *et al.*, 2001). En algunos casos se ha podido conocer que los desequilibrios ambientales debidos a la dinámica del uso del suelo se relacionan con el incremento de la pobreza, la marginación, el abandono de la actividad productiva y la emigración, todos los cuales también han sido señalados como factores derivados de la actividad socioeconómica que controlan la dirección y el ritmo de la dinámica del uso del suelo (Burel y Baudry, 2002).

Sin embargo, frente a la dificultad que supone el abordaje de la dinámica de la fragmentación que resulta de los cambios del uso del suelo y su impacto en la vegetación, la tendencia reciente ha sido hacia su estudio indirecto a través de las transformaciones espaciales de las llamadas “cubiertas del suelo” y “coberturas del suelo”. Para los fines de esta investigación se consideró lo siguiente:

En las definiciones de cubierta del suelo (en inglés *land cover*) se observa la afinidad de los siguientes criterios: a) es un material, elemento o atributo biofísico o antrópico que

está sobre la superficie del terreno (Bocco, 2001; Burel y Baudry, 2002), b) sus propiedades permiten que sea calificable y cuantificable (Galicia *et al.*, 2007), c) en estudios ecológico-paisajísticos se refiere al tipo de uso y a la magnitud y permanencia del disturbio que genera en la vegetación (Lambin *et al.*, 2001; Turner *et al.*, 2001).

El término cobertura (en inglés *coverage*) se utiliza específicamente en relación con la vegetación; algunos autores la definen como el porcentaje de la superficie del terreno cubierto por la proyección vertical de los órganos aéreos de las plantas, la cual, se puede expresar en su conjunto o por estratos de vegetación (MOPT, 1992; Galicia *et al.*, 2007).

Los términos “uso de suelo” y “cubiertas” del suelo han sido ampliamente utilizados como sinónimos (Lambin *et al.*, 2001; Galicia *et al.*, 2007), derivando en una 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. Como tendencia de investigación actual 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 LUCC (*Land Use-Land Cover*) para referirse a la unión de ambos hechos (Lambin *et al.*, 2001; Galicia *et al.*, 2007).

Bajo este enfoque se considera que la presencia del hombre y las actividades que realiza provocan impactos que pueden valorarse en términos de la transformación temporal de las cubiertas del suelo. Entre los procesos de cambio, cuyos significados han sido ampliamente identificados están la modificación, la conversión, la degradación, y la intensificación del uso de suelo (Lambin, 1997; Bocco, 2001; FRA, 2005; Galicia *et al.*, 2007).

La modificación es el cambio de condición que implica una transformación de la cubierta natural original en cubiertas de cultivo, ganadería, o bien de vegetación secundaria generada por el abandono o cambio de uso del suelo. La conversión implica un reemplazo del bosque a otro uso de la tierra o la reducción a largo plazo de la cubierta forestal por debajo del 10%. Esto implica una pérdida permanente y un cambio a otro tipo de uso (agricultura, pastizales, presas, o áreas urbanas) (Lambin, 1997; Bocco, 2001; FRA, 2005; Galicia *et al.*, 2007).

La degradación genera una declinación en la condición natural, por ejemplo, incluye cambios dentro del bosque que afectan negativamente su estructura o función, con consecuencias en su capacidad de proporcionar productos o servicios (Lambin, 1997; Bocco, 2001; Galicia *et al.*, 2007).

La intensificación del uso del suelo se encuentra asociada con sistemas agrícolas, agroforestales o de pastoreo. Un manejo intensificado puede estar basado en técnicas de alto impacto ambiental como la irrigación, utilización de fertilizantes, incendios, prácticas de labranza o la integración de diferentes actividades de producción (Lambin, 1997; Bocco, 2001; FRA, 2005; Galicia *et al.*, 2007).

1.2.1 Efectos de la fragmentación y el uso del suelo en la estructura vertical de la vegetación

Entre algunas de las consecuencias de la fragmentación y el uso del suelo en la estructura vertical de las comunidades están: que el aumento de la intensidad del disturbio reduce la estratificación vertical, la talla y el volumen aéreo total. Además, el aumento o disminución de algunas especies de plantas puede estar determinado por el uso que se haga de la cubierta, lo cual es importante ya que la densidad del follaje de especies leñosas controla el espacio horizontal y esto a su vez inhibe la germinación de otras especies que, al crecer en altura, podrían privar a las primeras de luz (Vargas, 1997; Terradas, 2001)

Como ejemplo de lo anterior, el pastoreo afecta principalmente la composición de especies y la estructura, porque el pisoteo perturba y elimina plántulas y especies erectas de bajo porte; por otro lado, a mediano y largo plazo ocurren cambios en las comunidades de plantas. Estos cambios en la condición de la estructura se incrementan cuando se suma al uso pecuario la utilización del fuego para abrir espacios para el desarrollo de los pastos, de tal manera que los efectos de esta combinación ocasionan consecuencias directas en la diversidad de especies, la biomasa y la estructura espacial de las comunidades (Vargas, 1997).

CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

2.1 Zona de estudio

El volcán **Cofre de Perote** o **Nauhcampatépetl**, del náhuatl “cerro de cuatro lados”, se localiza en el estado de Veracruz, entre las coordenadas 19°20'-19°40' de latitud norte y 97°00'-97°15' de longitud oeste, en el extremo oriental del Eje Volcánico Transversal (Rzedowski, 1978) (Figura 2.1). Se extiende aproximadamente 40 km en dirección norte-sur y 30 km en su eje este-oeste, con lo que abarca parcialmente los municipios de Perote, Xico, Ayahualulco y Rafael Ramírez. Es la séptima montaña más elevada de México y desde 1932 parte de su superficie (11,700 ha), de los 3,000 a los 4,200 msnm está protegido bajo la categoría de Parque Nacional (Narave, 1985).

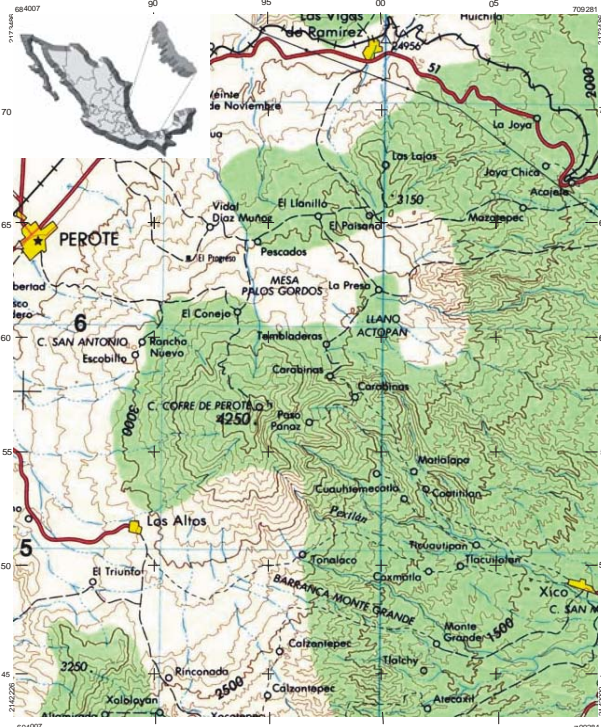


Figura 2.1 Localización del área de estudio

En el volcán existen aproximadamente 24 localidades de las cuales 12 se encuentran dentro de la zona de reserva: El Escobillo, Los Pescados y El Conejo con más de 800 habitantes cada una de ellas; y Rancho Nuevo, Dos Aguas, Carabinas, Tembladeras, Paso Panal, Plan de la Guinda, Limeta, La Magdalena y El Apostadero con menos de 350 habitantes cada una.

Otras poblaciones del volcán que están fuera de la zona de reserva son: Los Altos Veracruz, con más de 4,400 habitantes, Tonalaco con 763 habitantes y Vidal Díaz Muñoz, Veinte de Noviembre, San José Paso Nuevo, San José Aguasuelas, El Llanito, La Quemada, Los Laureles, Ingenio El Rosario y El Progreso (El Agua de Oyamel) con menos de 300 habitantes (INEGI, 2005).

En el volcán existen tres patrones de tenencia de la tierra: 43% de la superficie es ejidal, 25% federal y 32% aún no está definida. Los principales problemas de límites y de documentación de propiedad se relacionan con las disputas entre las poblaciones y localidades de diferentes municipios que tienen propiedad en la zona de reserva, y principalmente son, del municipio de Perote: Tenextepec y El Escobillo con 721 ha, El Conejo con 737 ha, Los Pescados con 1,256 ha, Colonia Agrícola (El Progreso) con 1,573 ha, Rancho Nuevo con 574 ha, La Libertad con 33 ha y Los Molinos con 13 ha; del municipio de Xico: Carabinas con 40 ha, Tembladeras con 50 ha y algunos pequeños propietarios con 362 ha; y del municipio de Ayahualuco: Ayahualulco con 3,042 ha y Tonalaco con 236 ha (INEGI, 2005).

2.2 Metodología

El estudio de la fragmentación que se realizó en el presente trabajo tiene sus bases en la ecología cuantitativa, y específicamente en el análisis espacial y del registro de medidas de distribución, forma y arreglo espacial de los fragmentos visibles (Farina, 2000).

Por medio de la aplicación de modelos en SIG se midieron las variables que comúnmente son cuantificadas para explicar y entender la fragmentación (Farina, 2000; Veldkamp y Lambin, 2001; Galicia *et al.*, 2007; Galicia y García-Romero, 2007). Las variables analizadas se dividen en dos grandes categorías: las que se relacionan con la composición del paisaje y las referentes a la configuración espacial (Farina, 2000). Cada una de ellas o en combinación permitieron obtener información para entender y explicar la fragmentación en tres escalas: fragmentos como unidad básica, patrones de fragmentos y patrones correspondientes a los sistemas de uso del suelo (Farina, 2000; Veldkamp y Lambin, 2001; Galicia *et al.*, 2007; Galicia y García-Romero, 2007). Las variables consideradas para estudiar la fragmentación son superficie, número, tamaño, forma, conectividad y riqueza (Forman y Godron, 1986; Turner *et al.*, 2001).

Entre los criterios para medir la dinámica de las cubiertas del suelo se tomó como plataforma metodológica el uso de la tecnología SIG, la cual consiste en sobreponer dos mapas de cubiertas del suelo de fechas diferentes, como base para generar un mapa de cambios. Posterior a esto, se revisan y editan los cambios poco significativos que suelen deberse a errores en la interpretación de las cubiertas de cada fecha. Se agrupan los tipos de cambio que representen un mismo proceso y de acuerdo con éstos se hace una

re-clasificación del mapa de cambios para obtener otro con la distribución espacial de los procesos. Finalmente, se evalúa la calidad de los resultados a través de métodos de verificación en campo (Galicia *et al.*, 2007).

En los siguientes párrafos se detalla el proceso metodológico, las técnicas, herramientas y procesamientos digitales que se realizaron para obtener información, cartografiarla y validarla a través del trabajo de campo.

2.2.1 Elaboración de los mapas de cubiertas del suelo 1970, 1980, 1990 y 2003

Se partió de identificar de manera preliminar las clases de vegetación del área de estudio, para lo cual se siguió un método de clasificación supervisada con la imagen de satélite de 2003. Para la elaboración de la cartografía multitemporal se utilizaron las siguientes imágenes satelitales: la del año 2003 es una imagen ETM con resolución de 30 m y las otras tres imágenes correspondientes a las fechas 1970, 1980 y 1990 son MSS con resolución de 60 m interpolado. El procesamiento de este material cartográfico se realizó en el ILWIS 3.0 academic.

Para cada fecha de análisis (1970, 1980, 1990 y 2003) se realizaron compuestos de falso color por medio del método directo, el cual consiste en que el usuario determine las bandas espectrales. Se trabajó con el compuesto 432 para cada año con la finalidad de destacar la respuesta de la vegetación a la radiación infrarroja.

La interpretación de la cobertura vegetal se realizó bajo criterios de clasificación fisonómica-estructural, es así que se identificaron 13 categorías generales de cobertura: bosques abiertos y cerrados de pino con aile, de coníferas y latifoliadas, de oyamel y de pino de alta montaña, pastizales de alta montaña, pastizales cultivados, cultivos de temporal, canteras y asentamientos humanos.

Para cada clase espectral se establecieron 20 campos de entrenamiento en el compuesto de color, con lo cual se obtuvo un primer mapa de las cubiertas del suelo en formato raster. Sin embargo, los resultados arrojados de esta clasificación no fueron confiables y concretos, ya que no se logró una óptima diferenciación y delimitación de los bosques, ni de las otras clases de cubiertas del suelo. Por ello, se realizó un segundo mapa de cubiertas del suelo, esta vez mediante la interpelación de 12 ortofotos digitales a escala 1:75,000 y resolución de 2 m por píxel (INEGI, 1995).

Dada la alta resolución y calidad de las ortofotos digitales, la delimitación e interpretación de las cubiertas del suelo se hizo directamente en pantalla a través de las variables de tono, textura, grano, patrón y forma, considerando como unidad mínima cartografiable 3 ha. Para la solución de dudas surgidas en el proceso, la interpretación se apoyó en el mapa de uso del suelo y vegetación de INEGI a escala 1:250,000, así como en la revisión de documentos bibliográficos.

Para resolver el problema de las uniones entre los polígonos digitalizados en los límites de las ortofotos, el mapa de cubiertas del suelo se sobrepuso a un fotomosaico que se realizó con las 12 ortofotos para cerrar los polígonos en cuestión. Con este proceso se obtuvo el primer mapa confiable y más preciso de cubiertas del suelo, el cual se validó con dos campañas de trabajo de campo en el que se tomaron 200 puntos de verificación del tipo de cubierta y de sus características espaciales actuales.

El mapa resultante de la interpretación y digitalización en ortofotos digitales se sobrepuso a la imagen de satélite del año 2003 para identificar y digitalizar los cambios de ese año. Para ello, la imagen de satélite se georreferenció con puntos de control extraídos de las ortofotos con la finalidad tener una correspondencia lo más exacta posible y con el mínimo error de precisión (2 m). Para obtener mayor exactitud y correspondencia entre ambos documentos cartográficos se establecieron 20 puntos de control en el compuesto de falso color bajo el criterio de identificar intersecciones de carreteras, ríos, caminos y poblados. Para el caso de las imágenes ETM del año 2003 el sigma total que se obtuvo fue de 0.2, en tanto que para las imágenes MSS de los años 70, 80 y 60 el sigma osciló entre 0.5 y 0.6, dado que su resolución es menor; sin embargo, se considera que estos valores del sigma reflejan un rango de error óptimo y una exactitud muy considerable (menor de 2m). Con este proceso se obtuvo un segundo mapa de las cubiertas del suelo con la imagen de satélite del año 2000. Con base en estos resultados se aplicó el mismo procedimiento a las otras imágenes de satélite de 1970, 1980 y 1990, las cuales no obstante tener menor resolución, los resultados obtenidos permitieron una alta correspondencia gracias a la resolución tan detallada que permitieron las ortofotos digitales.

Existen dos métodos muy utilizados para marcar los cambios de las cubiertas del suelo, el primero consiste en la identificación de los cambios por el método visual y su digitalización directa sobre las imágenes de satélite y, el otro es un método geográfico que consiste en diferenciar los cambios de forma rasterizada para asignar valores y características en

cada píxel de la imagen, con lo cual se logran identificar los cambios y las superficies de forma muy precisa. No obstante las ventajas de éste último, se utilizó un método estadístico que permitiera determinar las superficies de cambio y la forma en la que impactaron en la fragmentación del bosque de pino con aile (Muñoz y López, 2007).

Finalmente, se procedió a digitalizar los cambios en la imagen del año 2003 y con ello se obtuvo el mapa final de cubiertas del suelo del volcán Cofre de Perote, el cual sirvió de base para hacer las siguientes comparaciones temporales. Se realizó la sobreposición del mapa más reciente a la imagen correspondiente a la fecha anterior y se digitalizaron los cambios en un nuevo mapa, resultando cuatro mapas de cambios de cubiertas del suelo: 1995-2003, 1990-2003, 1980-1990 y 1980 -1970. La validación de la información contenida en los mapas de cubiertas del suelo de los años 1970, 1980 y 1990 se realizó mediante revisión bibliográfica y cartográfica (Jardel, 1986; González de Cossío, 1957; Hoffmann, 1984; Gerez, 1994; López, 2004).

2.2.2 Determinación de las variables de la fragmentación y elaboración del mapa de tipos de fragmentos.

El estudio de la fragmentación abarcó de manera exclusiva a los bosques de pino con aile, a partir de las siguientes variables:

Estimación del **tamaño**. Los fragmentos se clasificaron según su superficie en cuatro categorías; a) **muy chico**, de 0 a 10 ha; b) **chico**, de 10.1 a 100 ha; c) **mediano**, de 100.01 a 1000 ha, y d) **grande**, más de 1000.01 hectáreas.

Estimación del índice de **forma**. El Índice de Forma (IF) evalúa la complejidad de la forma de un fragmento comparándolo con un fragmento circular de la misma superficie. Se obtiene del cociente perímetro/superficie (Ecuación 1), donde el valor 1 indica una forma circular y se incrementa a medida de que la forma del parche es más compleja (deformaciones o elongaciones).

Ecuación 1.

$$IF= P/ 2\sqrt{n.s}$$

Donde IF= Índice de forma

P= Perímetro

n = Pi

s= Superficie

Los fragmentos de bosque de pino con aile se clasificaron según su forma en tres categorías; a) **uniforme**, aquellos cuyo valor de índice resultó entre 1 y 3; b) **deforme**, cuando se expresó entre 3 y 10 y; c) **muy deforme**, cuando sus valores son mayores a 10.

Estimación de la **conectividad espacial**. Se estimó en función de la distancia entre los fragmentos. El criterio para determinar esta distancia se derivó de un proceso estadístico en el que se estimó un umbral de límite de intervalo a partir de la mayor y la menor distancia entre los fragmentos. Este dato se dividió entre dos dado que sólo existen fragmentos conectados y desconectados, resultando a) fragmentos **conectados**, aquellos con menor o igual distancia de 40 m de distancia y b) fragmentos **desconectados**, los que presentaron una distancia mayor de 40.01 m.

2.2.3 Elaboración de los mapas de fragmentación del bosque de pino con aile

Mediante el análisis y combinación de los mapas reclasificados de las variables tamaño, forma y conectividad se obtuvieron 20 tipos de fragmentos para los años 2003 (Tabla 2.1), 1990 y 1980, y 21 tipos para 1971, los cuales se representaron en los mapas de fragmentación forestal para cada una de las fecha de estudio.

Tabla 2.1. Claves generales y nombre de tipos de fragmentos

Clave	Tipo de fragmento por categorías de variables
AChDeCo	Fragmento de bosque abierto, chico, deforme y conectado
AChDeDe	Fragmento de bosque abierto, chico, deforme y desconectado
AChUnCo	Fragmento de bosque abierto, chico, uniforme y conectado
AChUnDe	Fragmento de bosque abierto, chico, uniforme y desconectado
AGrDeCo	Fragmento de bosque abierto, grande, deforme y conectado
AMcDeCo	Fragmento de bosque abierto, muy chico deforme y conectado
AMcDeDe	Fragmento de bosque abierto, muy chico, deforme y desconectado
AMcUnCo	Fragmento de bosque abierto, muy chico, uniforme y conectado
AMcUnDe	Fragmento de bosque abierto, muy chico, uniforme y desconectado
AMeDeCo	Fragmento de bosque abierto, mediano, deforme y conectado
CChDeCo	Fragmento de bosque cerrado, chico, deforme y conectado
CChDeDe	Fragmento de bosque cerrado, chico, deforme y desconectado
CChUnCo	Fragmento de bosque cerrado, chico, uniforme y conectado
CChUnDe	Fragmento de bosque cerrado, chico, uniforme y desconectado
CGrMydCo	Fragmento de bosque cerrado, grande, muy deforme y conectado
CMcDeCo	Fragmento de bosque cerrado, muy chico, deforme y conectado
CMcUnCo	Fragmento de bosque cerrado, muy chico, uniforme y conectado
CMcUnDe	Fragmento de bosque cerrado, muy chico, uniforme y desconectado
CMeDeCo	Fragmento de bosque cerrado, mediano, deforme y conectado
CMeUnCo	Fragmento de bosque cerrado, mediano, uniforme y conectado

Se realizó una verificación del mapa de tipos de fragmentos del año 2000 con base en una tercera campaña de trabajo de campo, en la cual nuevamente a través de recorridos se tomaron 5 puntos de comprobación para cada tipo de fragmento, además, se identificaron los sitios óptimos para realizar los inventarios de vegetación. De este proceso se determinó una confiabilidad del 85%, ya que solo 15 fragmentos no correspondieron a la cartografía dado que ya no existían o bien porque presentaron una cobertura de bosque distinta; este grado de error se corrigió en gabinete y posteriormente se eligieron los sitios para realizar los inventarios.

Para el levantamiento de los inventarios de campo, dada la gran diversidad de los tipos de fragmentación (entre 20 y 21) en las distintas fechas del estudio, se generalizó la información bajo el siguiente esquema: en cuanto al tamaño de los fragmentos, se integraron, por una parte, las categorías muy chicos y chicos, y por otra, los medianos y muy grandes. Referente a la variable forma, se integraron las categorías deforme y muy deforme, ya que presentan una configuración espacial similar entre sí, resultando dos categorías, uniformes y deformes. Las categorías de fragmentos conectados y desconectados no tuvieron cambios.

De esta forma, el diseño para el muestreo de campo comprendió sólo seis categorías para combinar y tipificar a los fragmentos según las variables de la fragmentación. En cuanto al tamaño, quedaron fragmentos chicos (de 0 a 100 ha) y grandes (más de 100 ha); en lo referente a la forma, quedaron fragmentos uniformes (IF de 0 a 3) y deformes (IF mayor a 3); y sin cambios en la conectividad espacial, conectados y desconectados. De esta forma, se redujo a 11 el número de combinaciones de fragmentos de distinto tamaño, forma y conectividad que existen en el área de estudio y que fueron inventariados.

2.2.4 Obtención de la información en campo y levantamiento de inventarios

La vegetación ha sido reconocida como el indicador más sintético e informativo del ambiente, viable de ser abordada a escala local y regional, y de notables cualidades fenológicas que proceden, tanto de su escala espacio-temporal como de la posición que adopta dentro del sistema territorial (MOPT, 1992; García-Romero y Muñoz, 2002). Para efectos de esta investigación, se incluyeron algunos de los indicadores del enfoque Ecosistémico estructural, el cual está dirigido a la identificación y diagnóstico del estado y

tendencias del paisaje a partir del análisis comparado de diversos indicadores de la composición florística (abundancia y dominancia, biomasa y diversidad) y de la estructura fisonómica-horizonta (cobertura vegetal) y vertical (talla y estratos de vegetación)- de las comunidades vegetales (MOPT, 1992).

En cuanto a la composición florística, se consideraron los siguientes indicadores: la *abundancia*, como la estimación del número de individuos de cada especie presente en una comunidad vegetal; la *dominancia*, dada por las especies de mayor biomasa o corpulencia que limitan el desarrollo de otras especies; la *biomasa*, como la cantidad de materia vegetal que contiene una comunidad por unidad de superficie; y la *diversidad*, como el total de especies herbáceas presentes en la comunidad en relación al área de muestreo (MOPT, 1992).

La *estructura* de la vegetación se abordó en su dimensión vertical por medio de los estratos o niveles sucesivos de altura en que se encuentran distribuidos los individuos de una comunidad. También se consideró que ésta depende del arreglo de la comunidad a partir de las formas de crecimiento herbáceo, arbustivo o arbóreo de las diferentes especies y grupos de edades en un plano vertical conformado por diferentes estratos de vegetación (Bolós, 1992). De acuerdo con Guardia y Alberola (2007), la estructura vertical de la vegetación es un valioso indicador del estado de equilibrio y/o estabilidad de las comunidades vegetales.

En el análisis de la estructura vertical se consideró el estado abierto o cerrado de la cobertura vegetal como un indicador de alteraciones o disturbios generados por causas naturales o humanas. Para la zona de estudio se tomó como referencia que el contacto de árboles unos con otros refleja una vegetación cerrada; y cuando existe espacio, es decir hay huecos o claros, entre los individuos se considera como una vegetación abierta (MOPT, 1992). En este sentido, la vegetación abierta es indicadora inminente de impacto negativo porque las perturbaciones reducen el número de individuos, además de que la formación de claros condiciona gran parte de la estructura vertical ya que la dinámica de su recolonización se caracteriza porque dominan los arbustos (Crawley, 1998).

El muestreo de la vegetación se hizo mediante el método de cuadrantes (Matteucci y Colma, 1982), el cual proporciona información homogénea y disminuye el efecto de borde.

En cada parcela de 30 m x 30 m (0.09 ha) se registró la altura de todos los árboles mediante el método de proyección visual, se midió –con cinta métrica- el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) de todos los individuos mayores de 3 m (árboles adultos), y la composición se identificó a nivel de género: *Pinus*, *Alnus*, *Quercus* y *Arbutus*.

En el caso de los estratos arbustivo y herbáceo, se determinó hacer en el interior de cada parcela de 30 m x 30 m la delimitación de dos cuadrantes de 5 m x 5 m y ubicados en esquinas contrarias. En cada cuadrante se registró el número total de arbustos, se midió con cinta métrica la altura de cada arbusto, el diámetro promedio de sus ramas y se contabilizó el número total de éstas. En el caso de las hierbas, se identificó el número total de las especies, incluyendo a las gramíneas (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

La información recabada en los inventarios de campo fue utilizada para calcular las siguientes variables del contenido y la estructura vertical, consideradas como indicadores del estado funcional de los bosques de pino con aile.

Estrato arbóreo (árboles adultos): Dominancia de pinos, número total de árboles, promedio de la talla, promedio del área basal (promedio de todas las secciones transversales del tallo, tomadas a la altura de pecho (DAP)) y, suma del área basal.

Con los valores del DAP por individuo, se estimó el área basal, la cual es una medida que sirve para estimar el volumen de especies arbóreas y arbustivas. Para el caso de los árboles adultos se aplicó la siguiente fórmula (Matteucci y Colma, 1982):

$$\text{Área basal} = p(D^2/4)$$

En dónde $p = 3.141592$

D = diámetro a la altura del pecho (DAP).

Sotobosque: Cobertura del estrato herbáceo, diferencia entre las tallas promedio de árboles adultos y arbustos, diferencia de las sumas del área basal de árboles adultos y arbustos.

Regeneración: Número de árboles jóvenes (árboles menores de 3 m de altura).

2.2.5 Clasificación del estado funcional del bosque

Metodología del Valor Índice Medio

Según García de León (1989), la técnica estadística del Valor Índice Medio es útil para clasificar un conjunto de unidades territoriales, -en este caso los fragmentos de bosque de pino con aile- con base en la generación de un índice obtenido a partir de la información aportada por diversas variables. El índice permite agrupar dichas unidades a partir de la semejanza entre ellas y estructurar tipologías o regionalizaciones.

El procedimiento estadístico se basa en la obtención de un índice capaz de reflejar las condiciones generales de cada una de las unidades territoriales evaluadas “midiendo”, para ello, el comportamiento del conjunto de las variables originales que las caracteriza. Esta metodología logra su mejor aplicación cuando se enfoca a determinar los casos, dentro de un conjunto de unidades territoriales, que tienen mayor “similaridad” o semejanza entre sí.

Para obtener mejores resultados es recomendable trabajar con una matriz de variables cuantitativas generadas por el marco teórico del estudio, en la cual la información exprese “mejores” condiciones del fenómeno a cuantificar. El primer paso para calcular el índice consiste en normalizar las variables originales y evitar las diferencias que suelen encontrarse entre variables que reflejan aspectos diversos expresados en unidades distintas. Para ello, se calcula la media aritmética y el de la desviación típica de cada una de las variables originales. Con los valores resultantes se realiza la normalización de los datos originales con la siguiente ecuación: $Z_i = (X_i - \bar{X}_i) / s(i)$. En donde i es el valor de la variable; X_i es el valor de cada caso en la variable i ; \bar{X}_i es el valor de la media aritmética de la variable i ; $s(i)$ es la desviación típica de la variable i , y Z es el valor normalizado resultante de la variable i en cada caso.

Del anterior procedimiento, cada una de las variables del conjunto de casos es reducida a unidades de desviación típica, siendo estas unidades adimensionales e independientes de las unidades en que se expresaban originalmente. De esta forma, es posible comparar entre sí variables referentes a tópicos distintos.

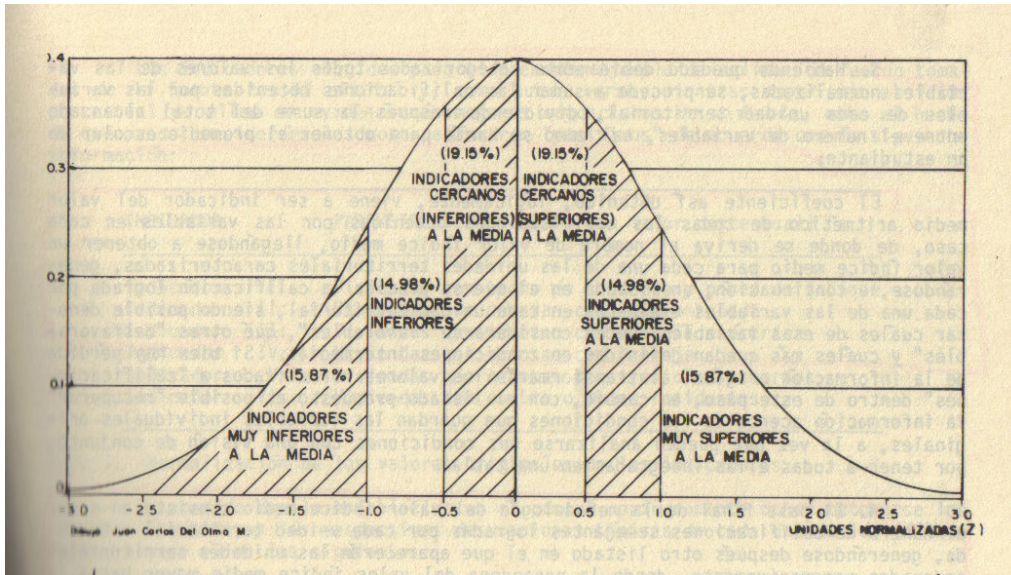


Figura 2.2. Curva típica normal. Muestra cada una de las condiciones definidas para calificar a sus indicadores según sus valores respecto a la media del conjunto, de acuerdo a la técnica estadística de valor índice medio (García de León, 1989).

El análisis de los resultados considera los siguientes aspectos: cuando la magnitud del valor de una variable es mayor que la media aritmética de esa variable, entonces el resultado de la normalización será un coeficiente positivo. Si dicho valor es menor que la media aritmética, entonces será un coeficiente negativo y por último, si el valor original es igual al de la media aritmética, entonces el coeficiente normalizado tendrá el valor de cero (Figura 2.2).

El segundo procedimiento consiste en caracterizar, para cada caso, las variables normalizadas de acuerdo con su posición con respecto a la media aritmética de la variable respectiva, proponiéndose una “calificación” para ella según el rango al que corresponda (Figura 2.2 y Tabla 2.3)

1	Coefficientes menores de -1.0
2	Coefficientes entre -0.5 y -1.0
3	Coefficientes entre -0.5 y 0
4	Coefficientes entre 0 y +0.5
5	Coefficiente entre +0.5 y +1.0

Tabla 2.2 Calificaciones para valores tipificados y rangos de aplicación (Fuente: García de León, 1989).

Una vez categorizados todos los valores de las variables normalizadas, se suman las calificaciones obtenidas por las variables de cada fragmento de bosque (unidad territorial estudiada), dividiendo después la suma del total alcanzado entre el número de variables.

De esta forma se obtiene un coeficiente, el cual es el indicador del valor medio aritmético de todas las calificaciones obtenidas por las variables en cada caso, es decir, el valor índice medio para cada fragmento de bosque. Asimismo, se genera un listado en el que se precisa la calificación lograda por cada uno de los fragmentos, en donde se especifican las variables que pueden considerarse “favorables”, “desfavorables” o “intermedias”.

Finalmente, se suman todas las calificaciones semejantes logradas por cada fragmento de bosque, generándose después otro listado en el que aparecen los fragmentos ordenados progresivamente, y enunciando, en cada uno, el número de variables que obtuvieron la misma calificación. De esta lista es posible conformar subgrupos con fragmentos de bosque caracterizados por condiciones similares y, por lo tanto, susceptibles de estructurar patrones o regionalizaciones.

CAPÍTULO 3. DINÁMICA DE LAS CUBIERTAS EN EL VOLCÁN COFRE DE PEROTE 1970-2003

3.1. Estado actual de las cubiertas y sistemas de uso del suelo

Las cubiertas del suelo comprendidas dentro de los límites de los bosques templados del volcán Cofre de Perote suman 42,628.91 hectáreas (Figura 3.1). La identificación de las formaciones vegetales y del uso del suelo vinculados a dichas cubiertas permitió clasificarlas de la siguiente forma: **a) vegetación madura con uso forestal disperso**, que se conforma por vegetación natural, principalmente de bosques cerrados de oyamel, de coníferas y latifoliadas, y de pino con aile; **b) vegetación madura con uso pecuario extensivo**, que se compone por el bosque de pino de alta montaña (*Pinus hartwegii*) y el pastizal de alta montaña o páramo de altura; **c) vegetación secundaria o inducida con uso forestal disperso**, que consiste principalmente en bosques abiertos de oyamel, de coníferas y latifoliadas y de pino con aile, así como de pastizal inducido; **d) vegetación cultivada con uso extensivo**, representada por los cultivos de temporal y pastizales; y **e) cubiertas no vegetales con uso intensivo**, que caracterizan a los espacios ocupados por asentamientos humanos urbanos o rurales, equipamiento para la población y canteras.

3.1.1 Vegetación madura con uso forestal disperso

Bosque de pino con aile

Está formado por comunidades de 10 a 30 m de altura (Narave, 1985), de composición poco diversa y con una sola especie dominante en el estrato arbóreo. Entre las principales especies están *Pinus montezumae*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. pseudostrobus* var. *Oaxacana* y *P. patula* (Rzedowski, 1978). Entre las especies más abundantes y estudiadas en la zona de estudio se encuentran el *P. montezumae* y el *P. teocote* (Narave, 1985).

Por lo general, estas comunidades se forman por dos o más especies de pinos que comparten la dominancia del dosel arbóreo, así como por individuos dispersos de coníferas perennifolias de los géneros *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Picea* y *Pseudotsuga*, y de latifoliadas, en su mayoría caducifolias, como *Alnus jorullensis*, *Juglas*, *Fraxinus*, *Platanus*, *Populus*, *Quercus rugosa* y *Quercus crassifolia*.

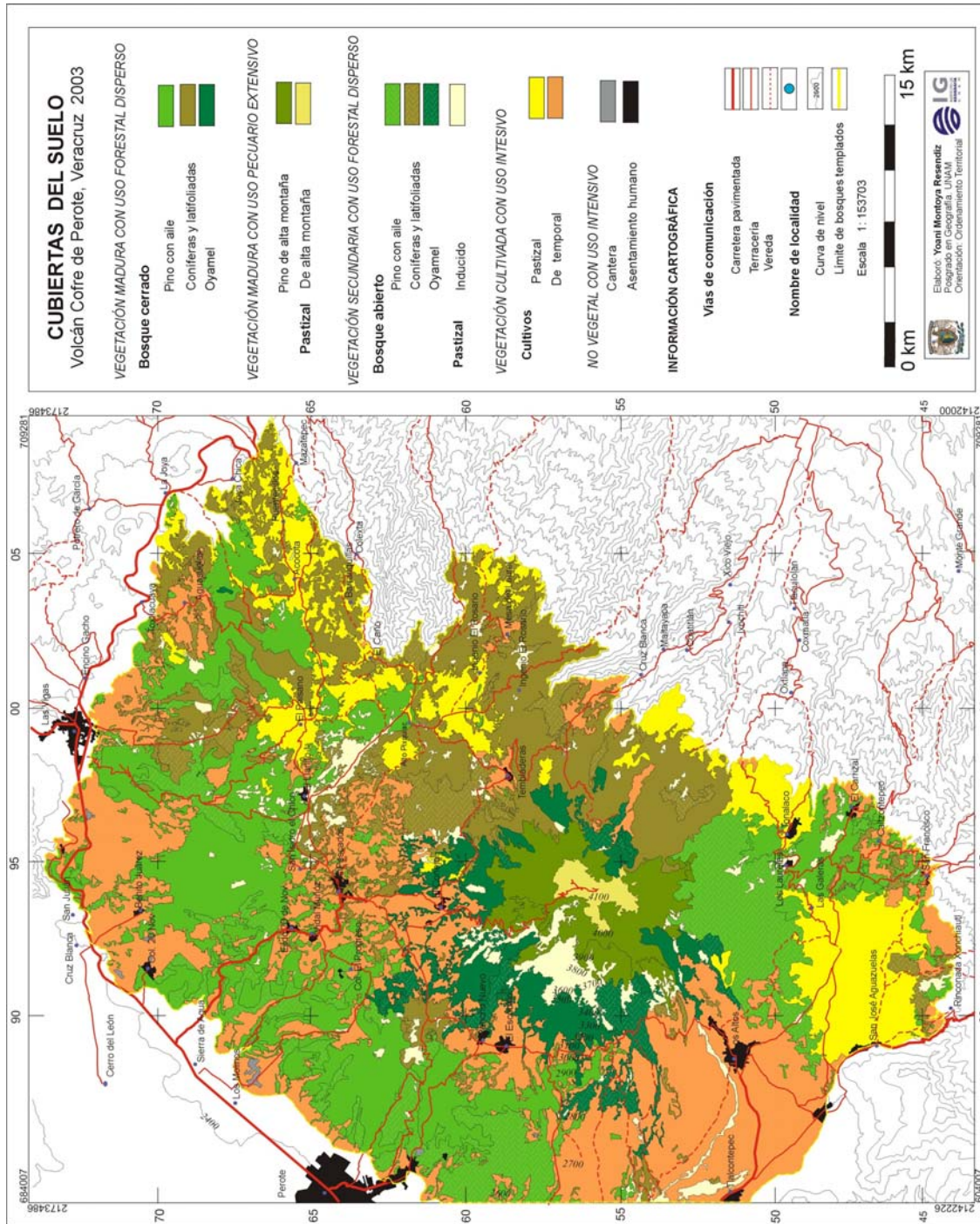


Figura 3.1. Cubiertas del suelo 2003.

En la zona de estudio, este bosque de pino se caracteriza por presentar una gran abundancia de individuos del género *Alnus*, por lo que se determinó su denominación general como bosque de pino con aile.

El ambiente muy húmedo que se presenta hacia el noreste del parque, entre la Presa Alto Pixquiac e Ingenio El Rosario, permite la presencia de *P. patula*, *P. ayacahuite* y *P. pseudostrobus*, los cuales forman comunidades densas y con sotobosques poco desarrollados.

El estrato arbustivo se compone de pinos juveniles de las mismas especies del estrato arbóreo. Se destaca también *Senecio sinuatus* y frecuentemente se encuentra *Baccharis conferta* en sitios perturbados. En el estrato herbáceo dominan las gramíneas como *Muhlenbergia macroura*, *Stipa ichu*, *Pernettya ciliata*, *Chymaphylla umbellata* y *Dugaldia integrifolia* (Rzedowski, 1978; Narave, 1985). En las partes más sombreadas del sotobosque, en lugar del estrato herbáceo, la superficie del suelo está cubierta por una densa capa de musgo (0.5 a 2 cm) y hepáticas, particularmente en los bosques más húmedos y sombreados (Rzedowski, 1978). Además, en algunas localidades se presenta de manera cespitosa *Alchemilla pectinala* que cubre prácticamente el piso del bosque (Rzedowski, 1978).

Se distribuye de 2,200 a 3,000 msnm, principalmente en los sectores norte y oeste del volcán. El factor de humedad condiciona en mayor o menor grado la presencia de ciertas especies y se desarrollan sobre suelos tipo Regosol, éstos son poco desarrollados, generalmente resultado del depósito reciente de roca y arena acarreadas, y por ello están constituidos por material suelto semejante a la roca. (Narave, 1985)

Los pinos son una fuente importante de ingresos para los habitantes de la región y durante muchos años recibieron el impacto de la civilización, por ello actualmente se encuentran perturbados, muy aclarados y con pastoreo ovicaprino. Al mismo tiempo, un considerable número de individuos se encuentran ocoteados (*P. teocote* y *P. patula*) (Narave, 1985).

Bosque de oyamel

Los bosques de oyamel (*Abies religiosa*), también conocido como “abeto”, “pinabete” y “axcoyatl” forma comunidades de 15 a 25 m de altura, aunque en ocasiones se han observado árboles viejos de hasta 35 m de altura en sitios relativamente conservados (Narave, 1985).

Los estratos arbustivos y arbóreo inferior no están bien definidos, aunque suelen presentar individuos juveniles de *Abies religiosa* y de otras especies que no sobrepasan los siete metros de altura como *Rubus truilobus*, *R. pringlei*, *Solanum nigrescens*, *Buddleia parviflora*, *Ribes ciliatum* y *R. microphylla*. El estrato herbáceo está dominado por una gran cantidad de plántulas de *Abies religiosa*, aspecto de mucho interés ya que puede indicar tolerancia a la sombra en las primeras fases de crecimiento y un gran potencial de regeneración de la especie. Entre las especies dominantes en el estrato herbáceo, están *Chymaphylla umbellata*, *Monotropa hypopitis*, *Polemonium grandiflorum*, *Castilleja canescens*, *C. tenuiflora*, *Penstemon gentianoides*, *Hackelia mexicana*, *Oxilobus arbutifolius*, *Pernettya ciliata*, *Stipa ichu*, *Physalis orizabae* y *Phacelia platycarpa*. El estrato rasante está formado principalmente por musgos de los géneros *Rhytidium*, *Thuidium*, *Bryum* y *Morina* (Narave, 1985).

En el edificio volcánico se distribuye entre los 3,000 y 3,500 msnm en función de la topografía y exposición, correspondiendo con un piso bioclimático ubicado por debajo de los *P. hartwegii*. Se presenta en amplias franjas de las laderas de barlovento, coincidiendo con el área de mayor precipitación pluvial, humedad y temperaturas medias anuales moderadas (7 a 20°) (Rzedowski, 1978). El tipo de suelo es *Ranker-regosol*, el cual se caracteriza por tener una capa superficial oscura y rica en humus; aunque dada su preferencia por laderas de fuerte inclinación y por el desmonte, la susceptibilidad a la erosión es alta (Narave, 1985; Challenger, 1998).

En la actualidad, el bosque se distribuye en manchones, siendo los mejores conservados los que se encuentran hacia el noroeste, al sur del pueblo del Escobillo y en los alrededores de El Conejo. En este último, las masas mejor conservadas se encuentran en algunas barrancas al oeste del ejido El Escobillo (Narave, 1985; Challenger, 1998).

El principal aprovechamiento comercial del oyamel es para la elaboración de pulpa para papel (por el tamaño de su fibra y por carecer casi en su totalidad de resina), y con menor importancia como madera aserrada para ebanistería, fabricación de muebles y durmientes. Las puntas y ramas se aprovechan para ornato de temporada de navidad (Hernández, 1984).

El uso local en comunidades como El Conejo⁵ es para obtener tejamanil y para la fabricación de cargueros, morillos en la construcción de casas, cubiertas de gallineros y chiqueros, leña para combustible (Hernández, 1984), horcones y vigas tabla para la construcción de cercas, y además para uso medicinal (López, 2004).

El desmonte para cultivos de papa, avena y haba, seguido del pastoreo, son las dos principales formas de presión antrópica sobre este tipo de cubierta vegetal (Lagunes y Hernández, 1994; López, 2004). El cultivo de la papa requiere el movimiento de la capa más superficial del suelo, exponiéndolo al deslave y erosión por agua y viento.

Los incendios provocados para inducir el rebrote de los pastos para la actividad silvopastoril son otra importante causa de la deforestación, y de entre ellos destacan los eventos de 1954 y 1964 cerca del poblado el Escobillo. El problema se intensifica sobre todo durante la primavera (Lagunes y Hernández, 1994; López, 2004).

Bosque de coníferas y latifoliadas

Está formado por comunidades de 10 a 30 m de altura (Narave, 1985), de composición pluriespecífica en el estrato arbóreo, con especies como *Quercus rugosa*, *Q. crassifolia* y *Alnus arguta*. La estructura vertical es compleja, con uno o dos estratos arbóreos y uno o dos estratos arbustivos comúnmente bien desarrollados (Rzedowski, 1978).

El sotobosque generalmente es denso, con una altura promedio de 3 m, y está dominado por individuos arbóreos juveniles y arbustos típicos de ambientes forestales, entre ellos *Cestrum thyrsoides*, *Fuchsia thymifolia*, *Senecio angulifolius*, *Salvia spp.*, *Eupatorium*

⁵ López (2004) reporta 14 formas de aprovechamiento de los recursos que se explotan de este bosque, de los cuales la obtención de madera es destinada para la construcción de techos (tejamanil), según este autor se explotan individuos con promedio de edad de 62 años, diámetro de 77cm y altura de 31 m.

mairitianum o *Baccharis conferta* (Rzedowski, 1978; Giménez de Azcarate *et al.*, 2003). El estrato herbáceo se caracteriza por ser discontinuo, con una cobertura promedio del 20%, y especies dominantes como *Stellaria cuspidata*, *Acaena elongata*, *Cirsium ehrenbergii* y *Salvia spp.* (Rzedowski, 1978; Giménez de Azcarate *et al.*, 2003).

Se distribuye dentro de un rango altitudinal que va de los 2,500 a los 3,100 msnm, en laderas de pendientes muy variables y sin una preferencia clara en cuanto a la orientación. Los suelos en donde se desarrolla son de tipo Andosol, los cuales muy delgados, su espesor es menor de 10 cm y descansa sobre un estrato duro y continuo, tal como roca, tepetate o caliche (Giménez de Azcarate *et al.*, 2003).

El elevado número de pueblos y rancherías hace que esta comunidad forestal se encuentre fuertemente perturbada por talas, entresacas, pastoreo, fuego y transformación de la cubierta vegetal, lo que hace que converjan especies propias, tanto del bosque maduro (especies arbóreas principalmente) como de sus fases de sustitución (arbustos de leñas blandas y herbáceas subnitrófilas), situación que es común en la mayoría de estos bosques en otras regiones del país. (Giménez de Azcarate *et al.*, 2003).

Actualmente los encinos (*Quercus spp.*) son muy escasos en la zona de estudio, y su principal aprovechamiento comercial es para la elaboración de duela, carrocerías de camionetas de redilas y mangos de herramientas; en menor importancia la población los utiliza como combustible industrial y doméstico (Robles, 1982).

3.1.2 Vegetación madura con uso pecuario extensivo

Bosque de pino de alta montaña

Los bosques monoespecíficos de *Pinus hartwegii* (pino de alta montaña) forman comunidades de 15 a 20 m de altura (Narave, 1985). Presentan una estructura vertical relativamente sencilla, que consiste en un solo estrato arbóreo de cobertura generalmente abierta (Giménez de Azcarate *et al.*, 2003).

El estrato herbáceo se compone principalmente de gramíneas amacolladas que llegan a tener alturas de 1.60 m, entre las que destacan *Stipa ichu*, *Trisetum spicatum*, *Calmagrostis tolucensis* y *Muhlenbergia macroura* (Narave, 1985; Challenger, 1998). Otras especies comunes son *Lupinus montanus* que se ha observado ampliamente

distribuido hasta los 4,000 msnm (Rzedowski, 1978). El sotobosque generalmente presenta un estrato arbustivo constituido por pinos juveniles de la misma especie (*P. hartwegii*), salvo en sitios rocosos en los que se presentan *Juniperus monticola* y *Berberis schiedeana* (Narave, 1985). Asimismo se presentan *Senecio spp.* y *Lupinus montanus* como elementos más representativos que llegan a alcanzar alturas de 1.5 metros (Giménez de Azcarate *et al.*, 2003). También son comunes especies colonizadoras agresivas de sucesión secundaria como la rosa silvestre (*Rosa sp.*) y la zarzamora (*Rubus sp.*) (Challenger, 1998).

Hay variaciones en la fisonomía de esta vegetación, sobre todo en los sitios en que está expuesta a los fuertes vientos, por ejemplo, en la ladera este del volcán, muy próximo al poblado de Tembladeras (Figura 3.1), en donde los árboles son de menor tamaño (5-8 m), con las ramas cortas y la copa en forma irregular o redondeada (Robles, 1982).

En laderas orientadas al oeste las comunidades están mejor protegidas del viento, como ocurre en los alrededores de la Laguna Negra, donde los árboles miden de 10 a 20 metros de altura, son de forma piramidal y sus ramas están extendidas (Narave, 1985). Con frecuencia su follaje y tronco presentan el líquen *Usnea strigulosa* y las macollas están ocupadas por representantes del estrato rasante (Briófitos como *Tuidium sp.*, *Politrichum sp.* o *Camplilopus sp.*) (Giménez de Azcarate *et al.*, 2003).

Este bosque se distribuye de los 3,500 a los 4,000 msnm. Bioclimáticamente está condicionado a la parte alta y fría de la montaña y es más resistente a la sequía en comparación con otros bosques como el de oyamel. Otro factor característico es su vecindad con la vegetación del páramo de altura (Narave, 1985; Challenger, 1998).

Esta cobertura forestal se encuentra dentro de la zona definida como Parque Nacional, por lo que el uso del suelo legal es de tipo recreativo; no obstante, la ganadería de caprinos y la tala ilegal son frecuentes (Narave, 1985).

Pastizal de alta montaña o páramo de altura

Las gramíneas son las especies más abundantes y que imprimen la fisonomía a este tipo de vegetación, siendo las principales especies *Calamagrostis toluensis*, *Festuca toluensis*, *Trisetum spicatum*, *Arenaria bryoides*, *Draba nivicola* y *D. jorullensis*. Se

destacan también por su abundancia *Cirsium nivale*, *Gnaphalium lavaendulum*, *Oxilobus arbutifolius*, *Erysimum aff. macradenium* y *Castilleja toluensis*. Un elemento importante en la fisonomía de este tipo de vegetación lo constituyen los musgos, por ejemplo, en laderas muy inclinadas y rocosas, donde llegan a formar colonias extensas (Narave, 1985; Challenger, 1998).

En cuanto a su estructura vertical, el pastizal de alta montaña se caracteriza por formar comunidades exclusivamente herbáceas y que, por lo general, no exceden los 50 cm de altura. Sin embargo, en algunas laderas rocosas, *Juniperus monticola* y *Berberis schiedeana* se presentan a manera de arbustos dispersos de apariencia rastrera. Este tipo de vegetación se presenta en las partes altas del volcán, entre los 4,000 y los 4,200 msnm (Rzedowski, 1978), coincidiendo con ambientes caracterizados por las bajas temperaturas y suelos superficiales, rocosos y/o arenosos, y pobres en materia orgánica (Narave, 1985). Dado que toda su área de distribución queda dentro de los límites del Parque Nacional, su uso del suelo legal es de tipo recreativo, sin embargo, se llega a presentar la ganadería extensiva de ovinos, de bajo impacto.

3.1.3 Vegetación secundaria con uso forestal disperso

Los bosques secundarios presentan una composición arbórea y una estructura vertical que son similares a las de los bosques maduros, aunque como es de esperar, la proporción de individuos arbóreos disminuye y se incrementa la presencia de especies arbustivas y herbáceas. Algunas de las especies indicadoras de perturbación más frecuentes son *Salix cana*, *Baccharis conferta*, *Arbutus sp.* y *Muhlenbergia sp.*, siendo la especie *Baccharis conferta* característica de las fases sucesionales más comunes de estos bosques (Hernández, 1984).

Este tipo de cobertura forestal se distribuye en las cercanías a poblados importantes, por lo que hay una fuerte presión antrópica asociada al uso forestal disperso ya que se extrae madera para los aserraderos de Perote, Los Molinos y Sierra de Agua y Cruz Blanca, Tembladeras y Alto Pixquiac. El uso agrícola está ampliamente distribuido, principalmente entre los poblados de Francisco I. Madero y el Escobillo, Sierra de Agua y Ejido 20 de Noviembre. El uso pecuario extensivo es característico del interior de los bosques abiertos cercanos a los poblados El Conejo y los Pescados.

3.1.4 Vegetación cultivada con uso extensivo

Cultivo de temporal

Este tipo de cubierta del suelo es importante, tanto por la superficie que ocupa (115,119 hectáreas que equivalen al 27% del total) (Figura 3.1), como por el amplio número de polígonos, de los cuales se identificaron 279. El cultivo de papa es la actividad que ocupa la mayor superficie en la zona, seguida del cultivo de maíz, haba y avena.

Se distribuyen en todo el volcán en tres grandes porciones: a) una franja que rodea al volcán por las laderas bajas, siendo extensa en el tramo que va de la comunidad de Toxtlacuaya al pueblo El Triunfo; angosta entre los poblados Sierra de Agua y Francisco I. Madero, y nuevamente extensa entre los poblados El Escobillo, los Altos y Tlanconteno; b) una zona amplia de las laderas medias, principalmente entre los poblados Ejido 20 de Noviembre, Vidal Muñoz, El progreso, El Conejo, Los Pescados y El Llanito y; c) una tercera representada por porciones dispersas y de mucho menor superficie que se distribuyen al sur y este, entre los poblados de Rinconada Xonchiatl, Ejido el Rosario y Tembladeras.

Pastizales cultivados

El Pastizal cultivado se localiza en dos sectores uno al noreste y otro al sur del volcán, en 65 polígonos (47,321 ha) que representan el 11.10% de la superficie total. Los pastizales del sector sur están formados por gramíneas de gran tamaño, básicamente silvestres y que cubren casi el 100% de la superficie de esta zona. Son aprovechados para la producción comercial –a escala local- de ganado ovino, principalmente por pobladores de Aguasuelas y El Triunfo. Los pastizales del sector noreste son del tipo *horchart*, cultivados para la actividad ganadera de bovinos. La producción se destina al autoconsumo en general, y al comercio, en el poblado La Joya, donde existe una gran demanda de carne y leche para la actividad restaurantera, así como para la venta de lácteos.

3.1.5 Cubiertas no vegetales con uso extensivo

Los asentamientos humanos se distribuyen de forma dispersa en 26 polígonos y 2,985.89 ha, que representan un 0.70% de la superficie total. De menor importancia son las canteras, de las cuales se identificaron 10 polígonos (486 ha y 0.11% de la superficie total), que se concentran en las laderas bajas del sector oeste del volcán.

En las minas a cielo abierto la actividad está destinada a la extracción de líticos, sobre todo tepetzil y arena rosa que son utilizados para la elaboración de blocks y tabiques que se comercializan de forma local y foránea, principalmente en los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala. La mayoría de las fábricas bloqueras se distribuyen contiguas a las minas o bien en lugares como Sierra de Agua, Los Molinos y Perote.

3.2 Dinámica de las cubiertas del suelo en el volcán Cofre de Perote 1970-2003

Vegetación madura con uso forestal disperso. El cambio más significativo afectó al bosque cerrado de pino y aile, ya que en el año de 1970 contaba con una superficie 9,650 ha y para el año 2003 ésta se redujo a tan sólo 7,385 ha. La mayor pérdida se presentó en la década de 1970 a 1980 cuando la superficie forestal disminuyó en 1,525 ha que representan el -16% de su superficie original (Tabla 3.1) (Figura 3.2, 3.3 y 3.4).

Tabla 3.1. Dinámica de las coberturas del suelo en el volcán Cofre de Perote.

Cobertura	Área (has)				Dinámica de superficie (has)				Cambio de coberturas %		
	1970	1980	1990	2003	80-70	90-80	0.3-90	2003-1970	80-70	90-80	0.3-90
Vegetación madura con uso forestal disperso											
Bosque cerrado de Coníferas y Latifoliadas	6.782	6.339	5.759	5.499	-444	-580	-260	-1.283	-7	-9	-5
Bosque de Oyamel	2.085	1.840	1.689	1.691	-245	-151	2	-394	-12	-8	0
Bosque de Pino con Ilite	9.650	8.126	7.561	7.385	-1.525	-565	-176	-2.266	-16	-7	-2
Vegetación madura con uso pecuario extensivo											
Bosque de Pino de alta montaña	1.228	1.228	1.290	1.355	0	62	65	126	0	5	5
Pastizal de alta montaña	286	286	286	286	0	0	0	0	0	0	0
Vegetación secundaria con uso forestal disperso											
Bosque abierto de Coníferas y Latifoliadas	1.305	1.465	1.557	1.589	160	93	32	284	12	6	2
Bosque abierto de Oyamel	847	967	934	934	120	-33	1	87	14	-3	0
Bosque abierto de Pino con Ilite	4.372	4.631	5.031	5.267	259	399	236	895	6	9	5
Bosque abierto de Pino de alta montaña	351	351	351	351	0	0	0	0	0	0	0
Pastizal inducido	1.278	1.458	1.648	1.696	180	190	48	418	14	13	3
Vegetación cultivada con uso extensivo											
Cultivos de temporal	10.363	11.168	11.527	11.512	805	359	-15	1.149	8	3	0
Pastizal cultivado	3.830	4.451	4.665	4.732	620	214	68	902	16	5	1
Cubiertas no vegetales con uso extensivo											
Asentamientos humanos	265	290	299	299	24	9	0	33	9	3	0
Canteras	0	45	49	49	45	3	0	49	-100	8	0

Vegetación madura con uso pecuario extensivo. De este grupo de cubiertas, el cambio más significativo afectó al bosque de pino de alta montaña, el cual mostró un fuerte incremento de su superficie al pasar de 1,228 ha en el año 1970 a 1,355 ha en 2003. El incremento más importante se identificó en la década comprendida entre los años 1990 y 2003, con 65 ha que representan una ganancia del 5% respecto de su superficie original (Tabla 3.1) (Figura 3.2, 3.3 y 3.4).

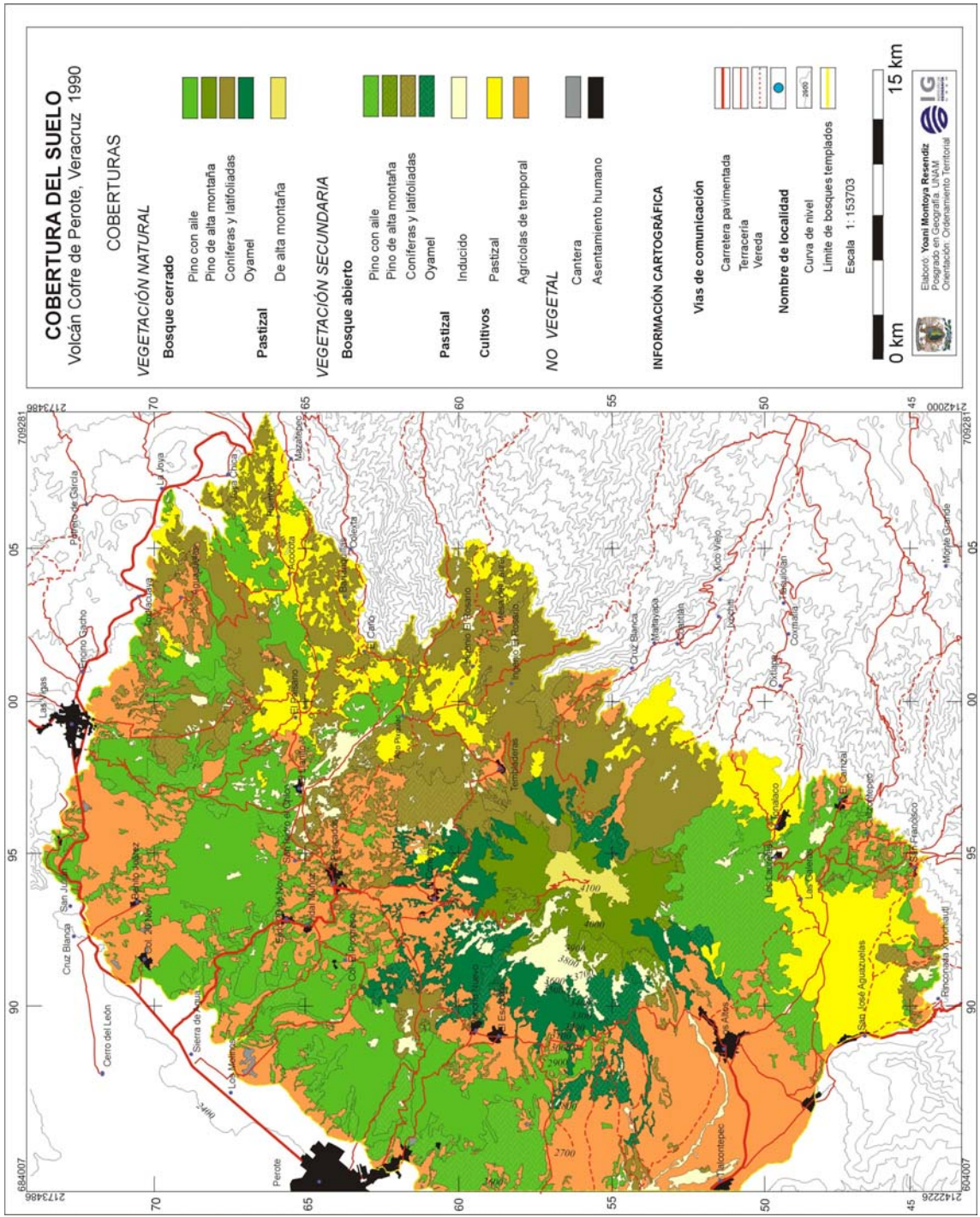


Figura 3.2. Cubiertas del suelo 1990

Vegetación secundaria con uso forestal disperso. El cambio más significativo lo reveló el bosque abierto de pino con aile, el cual obtuvo un notable incremento de su superficie al pasar de 4,372 en el año 1970 a 5,267 ha en 2003. El cambio más importante se identificó en la década comprendida entre 1980 y 1990 con un incremento de 895 ha que representan un 9% respecto de su superficie original (Tabla 3.1) (Figura 3.2, 3.3 y 3.4).

Vegetación cultivada con uso extensivo. El cambio más significativo lo revelaron los cultivos de temporal, al pasar de 10,363 ha en el año 1970 a 11,512 ha en 2003. La dinámica más importante se identificó en la década comprendida entre 1970 y 2003, con un incremento de 1,149 ha que representan una ganancia del 8% respecto de su superficie original (Tabla 3.1) (Figura 3.2, 3.3 y 3.4).

Cubiertas no vegetales con uso intensivo. De este grupo de cubiertas, el cambio más significativo afectó a los **asentamientos humanos**, ya que para el año de 1970 contaban con una superficie de 265 ha y para el año 2003 ésta se incrementó a 298. La dinámica más importante se identificó en la década comprendida entre 1980 y 1990 con un incremento de 24 ha y con un porcentaje de ganancia del 9% (Tabla 3.1).

Las **canteras** se caracterizan por una dinámica peculiar, ya que en el año de 1970 no existían, sin embargo, para el año 2003 surgieron 47 ha de esta categoría. La dinámica de mayor impacto se presentó en la primera década de análisis -entre 1970 y 1980, cuando se presentó un incremento de 45 ha que representan una ganancia del 98% (Tabla 3.1) (Figura 3.2, 3.3 y 3.4).

Contexto general de la dinámica de cubiertas en el periodo 1970-2003

La dinámica del uso del suelo presenta diferencias de sentido y magnitud entre los distintos tipos de cubiertas del suelo, siendo posible diferenciar 3 principales tipos de procesos: conversión, expansión y estabilidad. En cuanto a los procesos de conversión, se identificó que 3,947 ha correspondieron a pérdidas de superficie de las cubiertas vegetales, afectando principalmente al bosque de pino con aile que se redujo en 2,265 ha (-57.45%), seguido del bosque de coníferas y latifoliadas con 1,283 ha (-32.54%), y finalmente el bosque de oyamel con 394 ha (-10.01%).

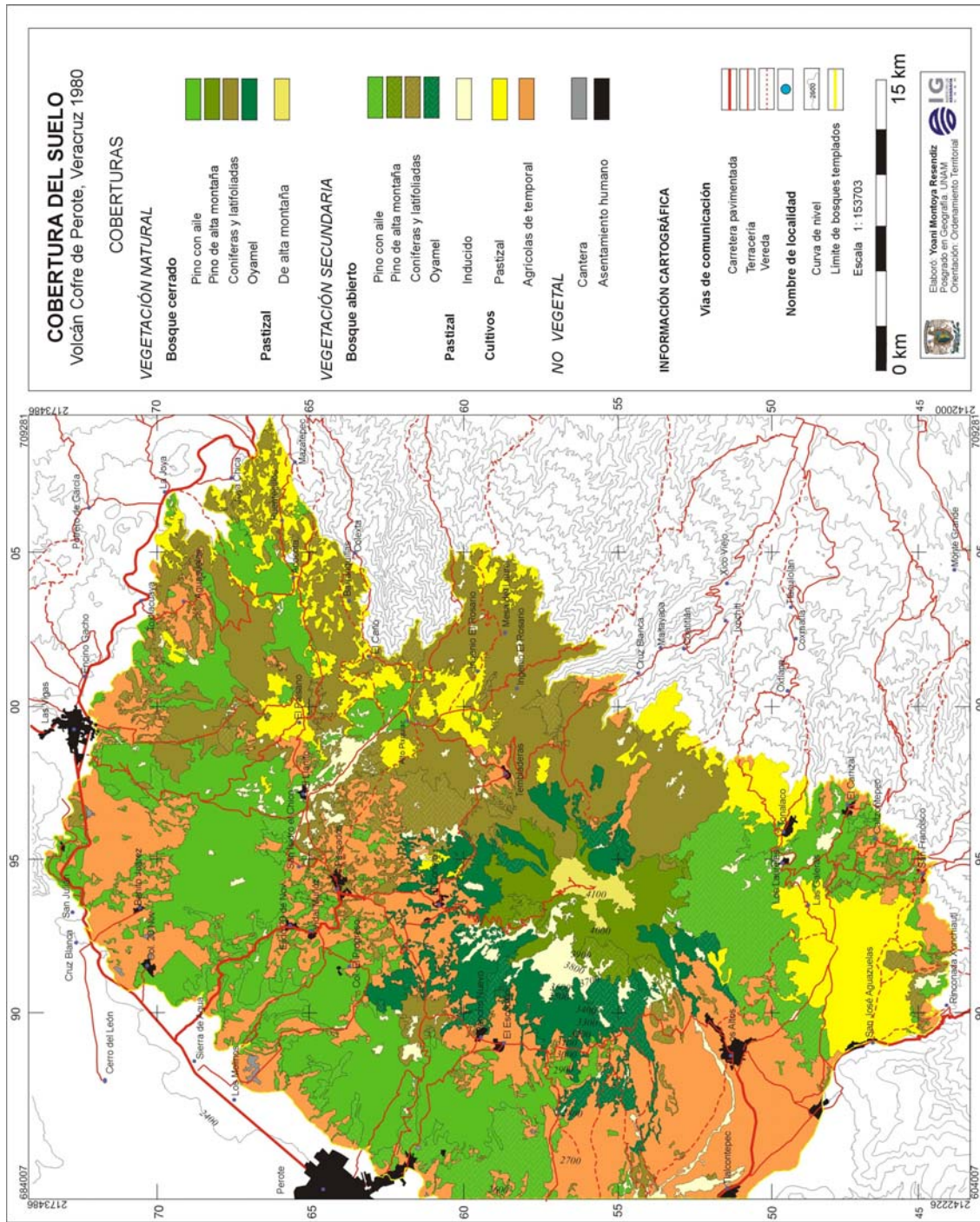


Figura 3.3 Cubiertas del suelo 1980

Por otra parte, los procesos de expansión abarcaron una superficie de 3,943 ha, de las cuales los cultivos de temporal registraron una mayor ganancia con 1,149 ha (29.13%), el Pastizal cultivado se incrementó en 902 ha (22.87%), el bosque abierto de pino con aile 895 ha (22.69%) y el pastizal inducido en 418 ha (10.60%). Otras cubiertas con avances menos importantes fueron el bosque de coníferas y latifoliadas con 284 ha (7.20%), el de pino de alta montaña con 126 ha (3.21%), y el abierto de oyamel con 87 ha (2.22%), así como las canteras con 48 ha (1.23%) y los asentamientos humanos con 33 ha (0.85%). Finalmente, las cubiertas que no presentaron cambios significativos son el pastizal de alta montaña y el bosque abierto de pino de alta montaña.

Causas de la conversión

Para identificar las causas de los procesos de conversión que afectaron negativamente a las coberturas forestales, es necesario referir el área de estudio a partir de la vocación forestal que por naturaleza le corresponde, así como de la serie de problemáticas socioeconómicas y de tenencia de la tierra que le han llevado en el transcurso del tiempo a configurarse espacial y socialmente como un paisaje agrícola (Jardel, 1986).

Entre 1952 y 1978 la actividad forestal estuvo afectada por un decreto de veda en todo del Parque Nacional. Sin embargo, el periodo se caracterizó por el desacato a los lineamientos federales de deforestación, ya que contrario a lo esperado la extracción clandestina se incrementó exponencialmente, principalmente en algunas comunidades como El Conejo, Tembladeras y el Escobillo (Jardel, 1986).

Como respuesta a las restricciones federales sobre la actividad forestal, los productores locales se retiraron, al tiempo que surgió el oportunismo de otros; este fue el caso de los pobladores de *Las Vigas de Ramírez*, quienes ante la falta de competencia obtuvieron permisos para la extracción de maderas muertas y con ello, la realización de cortas de saneamiento. La consecuencia directa de esta situación fue el monopolio sobre la extracción por más de 20 años, por lo cual este lugar se convirtió en el centro de operaciones de la explotación maderera (Goldberg, 1983; Geréz, 1994).

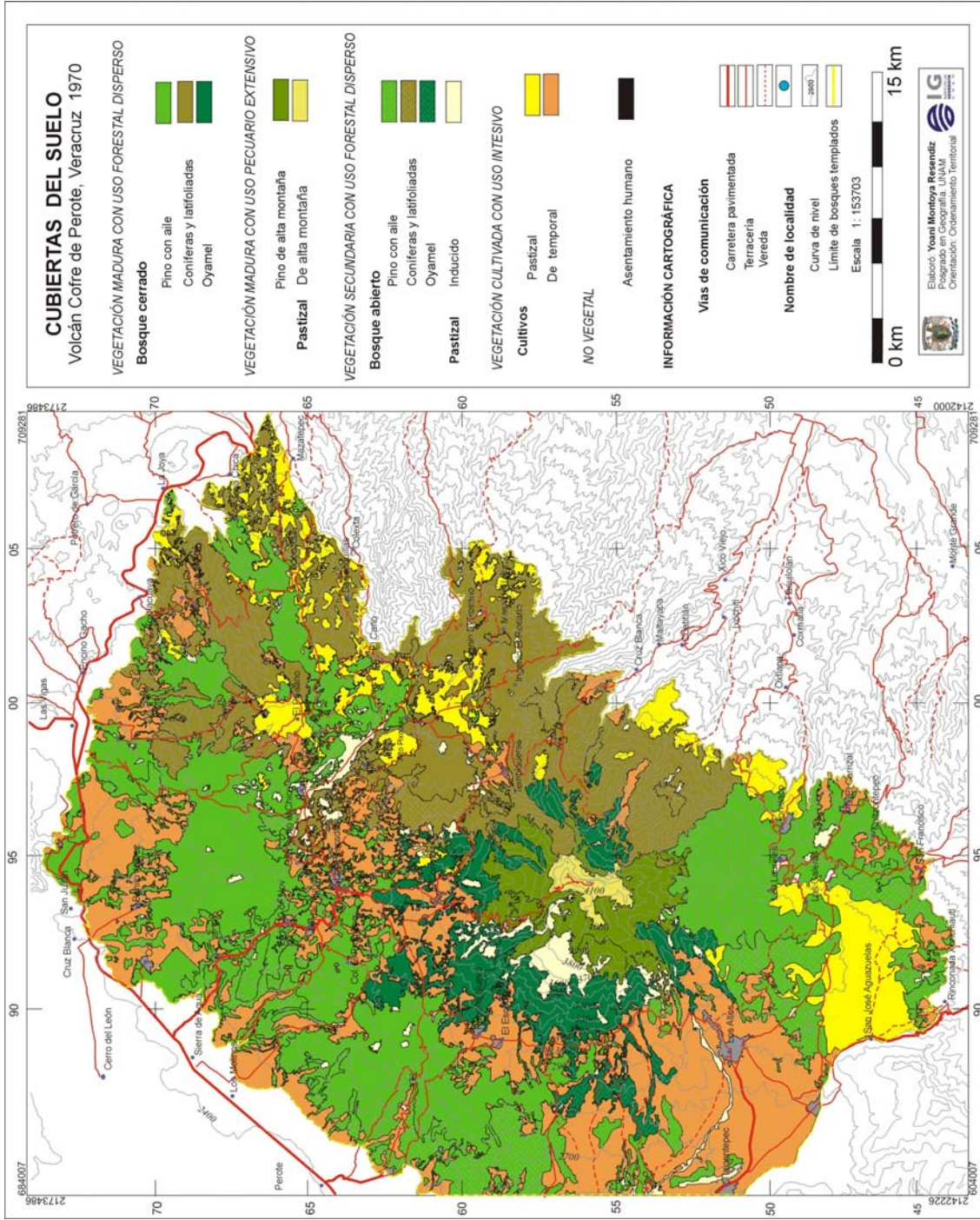


Figura 3.4 Cubiertas del suelo 1970.

Así, el periodo de 1970 a 1978 se define por una gran actividad forestal que proporcionaba suficientes ingresos a la población, la cual por esta razón se mantuvo poco interesada por las actividades agrícolas. Sin embargo, el abuso maderero y la arbitrariedad gubernamental produjeron la inconformidad que llevó a los habitantes a organizarse para confiscar las instalaciones del aserradero en 1973, hecho que marcó el preludio de una sentida depresión económica (Geréz, 1994) (Figura 3.2, 3.3 y 3.4).

La población afectada por la crisis económica tuvo como alternativa el cultivo de la papa, tanto en las propiedades desmontadas como en las que no lo estaban. En consecuencia, bajo el proceso expansivo de la zona agropecuaria se produjo un fuerte saqueo del bosque de pino y oyamel⁶ (Almeida, 1997).

Así, la actividad agrícola despegó con el apoyo de intermediarios de Perote y Puebla, (adelantos y préstamos para asegurar la compra de la cosecha) (Geréz, 1994), lo que dejó ver desde el inicio, la dependencia de los cultivos respecto de factores externos y su vulnerabilidad.

En el periodo comprendido entre 1978 y 1982 ocurrió el levantamiento de la veda, y como respuesta a esto se generó un proyecto para promover el desarrollo forestal. El primer intento se enfocó a impulsar la silvicultura, aunque los resultados no fueron favorables debido a la oposición originada por el descontento de las comunidades. Dos ejemplos de esto, son las plantaciones abandonadas en los ejidos Villa Aldama y Sierra de Agua, ya que para el año 1997 los árboles -que ya tenían 18 años- no proveyeron de ningún beneficio a los pobladores (Almeida, 1997).

Ante esta situación los programas de aprovechamiento se suspendieron y nuevamente en 1982 se declara otra veda forestal que duraría hasta 1987. Uno de los argumentos utilizados por el gobierno del Estado fue que la deforestación que hacían los campesinos

⁶ Almeida (1997) expone, de forma integral y detallada, 4 etapas del desarrollo forestal, en estas integra algunos factores legislativos (a la protección al bosque) y de aprovechamiento del bosque, con los cuales es posible explicar la forma y el papel que jugaron estos factores en el estado y evolución de las coberturas estudiadas y su repercusión. Estas fases son: El bosque vedado y el PIDER (1952-1978); el levantamiento de la veda y el desarrollo forestal (1978-1982); cinco años de veda y la estimulación de actividades agropecuarias (1982-1987); el reinicio de los aprovechamientos forestales y el papel del PRODICOP (1987-1992).

afectaba la cuenca que abastecía de agua a Xalapa. De esta forma, la respuesta fue otra vez la estimulación de actividades agropecuarias (Almeida, 1997).

Ante la presión de la población local y de muchos otros grupos de la sociedad, la veda se levantó en el año 1987, dando paso a la reactivación de los aprovechamientos forestales a través del Programa de Desarrollo Integral del Cofre de Perote (PRODICOP), que duraría hasta 1992. Este fue de carácter regional, sin embargo, se enfrentó a dos principales obstáculos: la hostilidad de las comunidades decepcionadas por las experiencias del aprovechamiento forestal y del cultivo de la papa, ya que para entonces era el competidor más fuerte de la superficie forestal (Jardel, 1986; Almeida, 1997).

Causas de la expansión

Los principales procesos expansivos que en el área de estudio afectaron a las cubiertas de uso agropecuario, están principalmente asociados a la agricultura de la papa, la cual se ha caracterizado a lo largo del tiempo por una serie de altibajos de producción. Del año de 1970 a 1976 esta actividad mantuvo un ritmo de crecimiento constante, logrando pasar de 11,760 ha cosechadas y una producción de 80,700 t a 9,800 ha con un volumen de 101,800 t.

En 1977 el ritmo positivo decayó drásticamente debido principalmente a un intenso periodo de sequía, al monopolio de los mercados y la competencia de otras regiones paperas. Los productores se recuperaron de esta situación hasta 1980, cuando cosecharon 10,007 ha y obtuvieron una producción de 98,891 t. En los siguientes años se presentó otra desaceleración, y sólo hasta 1984 consiguieron otra buena cosecha, no tan importante como las anteriores, en la que obtuvieron 85,278 t (Figura 3.3).

Hasta 1974 los principales problemas en la zona estuvieron relacionados con la falta de apoyo gubernamental a la agricultura, el desmonte para introducir cultivos de maíz y papa, el bajo precio de la papa en el mercado y la emigración regional hacia la zona cafetalera-cañera y a los centros urbanos. Ante este panorama, se implementó el Programa de Inversiones Publicas para el Desarrollo Rural (PIDER). Con el PIDER se

impulsaron programas de infraestructura y productivos, los cuales, según Almeida (1997), no tuvieron éxito debido a diversas circunstancias⁷.

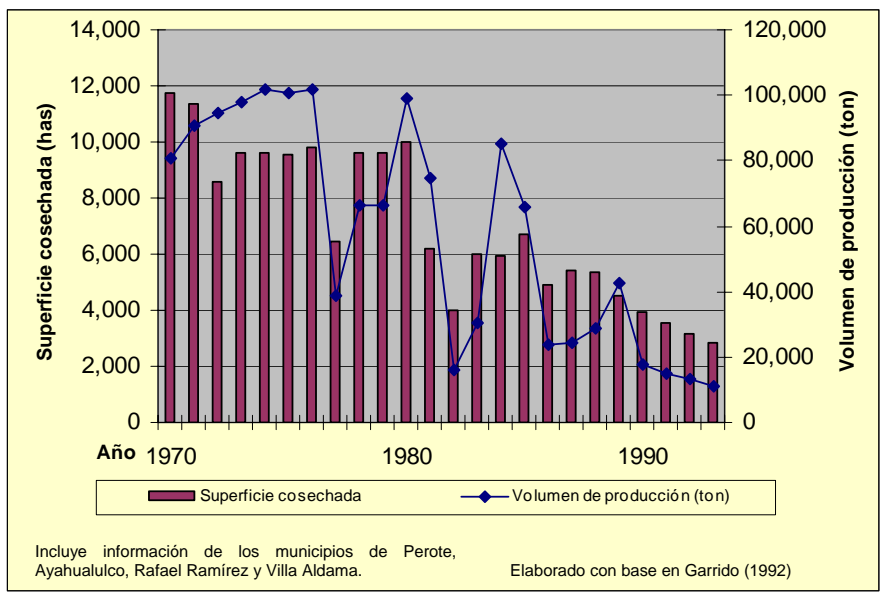


Figura 3.5 Dinámica del cultivo de la Papa en la región del volcán 1970-2003

El gobierno apoyó la actividad pecuaria de bovinos y ovinos como actividad complementaria a la agricultura. La primera fue impulsada mediante la construcción de establos para ganado lechero en las comunidades de Caltzontepic y El Escobillo, así como con la formación de empresas colectivas como granjas lecheras en el poblado El Conejo y con la construcción de una bodega en Tembladeras, lugar donde el cultivo de la papa estaba desplazando a la ganadería.

⁷⁴“Descuido de factores en la elaboración de proyectos, concepción de desarrollo, ausencia de programas para la organización campesina, de asistencia técnica y capacitación, la viabilidad a largo plazo de proyectos con financiamiento, la asesoría permanente y el aseguramiento del mercado de los productos, pero sobre todo, el desconocimiento de las necesidades de la población local y de las características ambientales”. Por ejemplo, se llevó ganado de Chihuahua a la comunidad productora de papa El Escobillo (esta tiene parte de sus tierras dentro del parque nacional); los animales no eran de la calidad necesaria para la producción lechera, algunos eran estériles o bien estaban enfermos, por cual, para 1984 más de la mitad de este ganado había muerto por desnutrición, ya que los socios se negaron a sacrificar parte de sus parcelas a la producción de forrajes, ya que la papa era más rentable. Las vacas que sobraron se repartieron entre la población y el establo se usó como bodega para la papa. Otro ejemplo, fue el proyecto pecuario en Tembladera, lugar donde había gran presión sobre la tierra dado que el 5% era ejidal y el 100% las parcelas privadas estaban dentro del parque. Así, mientras que gran parte de la inversión en estos rubros se perdió, en el ámbito forestal se impulsaron programas de reforestación en Perote, Ayahualulco Ixhuacan y Tatatila.

La dotación de infraestructura y servicios se derivó básicamente del auge papero de la década del 70 al 80. A partir de la bonanza económica, los productores de núcleos ejidatarios se organizaron para solicitar infraestructura para la actividad agrícola, así como para mejorar las condiciones de vida de la población. De esta forma, consiguieron que el gobierno instalara la red de energía eléctrica y de agua potable, y la apertura y pavimentación de calles (Moreno, 1997).

Otro factor causal que explica la reducción de la superficie forestal durante el periodo de estudio, se relaciona con los usos del suelo intensivos, principalmente por la expansión de los asentamientos humanos y la apertura de nuevas áreas de extracción de líticos en canteras. Estas últimas, surgen como alternativa económica derivada de la inestabilidad de las actividades forestales, agrícolas y pecuarias. Así, desde 1970 aparecieron las primeras minas y fábricas de block's, y para 1980 la superficie ocupada era de 452.31 ha, principalmente destinadas a la extracción de tepetzil y arena rosa.

Causas de la estabilidad

La estabilidad que manifestaron el pastizal de alta montaña y el bosque abierto de pino de alta montaña durante el periodo de estudio se explica por dos razones principales, una referente a los caracteres del entorno biofísico y otra a la legislación federal sobre el suelo de conservación. En el primer caso, la estabilidad se explica por la distribución de estas cubiertas en la zona más alta -por encima de la cota de los 3000 m-, abrupta e inaccesible del volcán. Asimismo, están inmersas en la región federal de protección al ambiente, donde a excepción de ciertos programas temporales dictaminados por instancias como la CONAFOR, la extracción de madera está legalmente prohibida. Si bien es evidente que hay uso y extracción ilegal de los recursos del bosque, estos no han tenido un impacto directo importante sobre la superficie de las cubiertas forestales.

CAPÍTULO 4. DINÁMICA DEL USO DEL SUELO Y LA FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE DE PINO CON AILE

La dinámica del uso del suelo en el periodo 1970 a 2003 muestra que el cambio más significativo es la disminución de la superficie de la vegetación madura con uso forestal disperso, destacando el caso de los bosques cerrados y abiertos de pino con aile cuya área de distribución se contrajo en 22,656 ha (-23.48 %). Por esta razón, en este capítulo se analiza la dinámica pormenorizada de sus transformaciones espaciales y en particular, el proceso de fragmentación que -a través de cambios de tamaño, forma y conectividad entre fragmentos- afecta a los bosques remanentes.

4.1 La fragmentación actual del bosque de pino con aile

Para el año 2003, el bosque de pino con aile se distribuyó en 247 fragmentos, con una superficie de 12,652 ha. De estos totales, la mayor proporción correspondió a las cubiertas de bosque cerrado, con 132 fragmentos distribuidos en 7,385 ha (53.44%). Por su parte, las cubiertas de bosque abierto abarcaron 115 fragmentos, distribuidos en 5,267 ha (46.56%) (Figura 4.1)

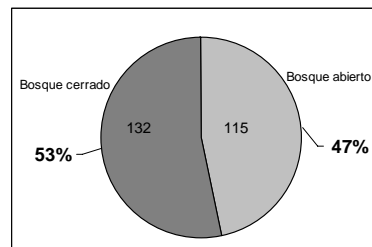


Figura 4.1. Distribución de fragmentos de bosque de pino con aile.

En una primera aproximación los resultados muestran una relación inversa entre la superficie y el número de fragmentos en las tres variables de la fragmentación analizadas. Por ejemplo, respecto al tamaño, los fragmentos grandes abarcaron la mayor superficie, mientras que los fragmentos muy chicos y chicos fueron los más numerosos. En cuanto a la forma, los fragmentos deformes abarcaron la mayor superficie; aunque los uniformes fueron más abundantes al registrar un mayor número total de fragmentos. Finalmente, en lo que respecta a la conectividad, los fragmentos conectados fueron dominantes, tanto por la superficie que ocupan como por el número total de fragmentos (Figura 4.2).

4.1.1 Variable tamaño

Los resultados totales indican que el tamaño de los fragmentos de bosque de pino con aile presentó una notable variabilidad de entre 0.5 y 1,662 ha. Sin embargo, los fragmentos grandes fueron dominantes al distribuirse en 5,877ha, que representan el 46% del total. En contraste, los fragmentos muy chicos abarcaron una superficie poco significativa de 527 ha, equivalente al 4.17% del total (Figuras 4.2, 4.3, y

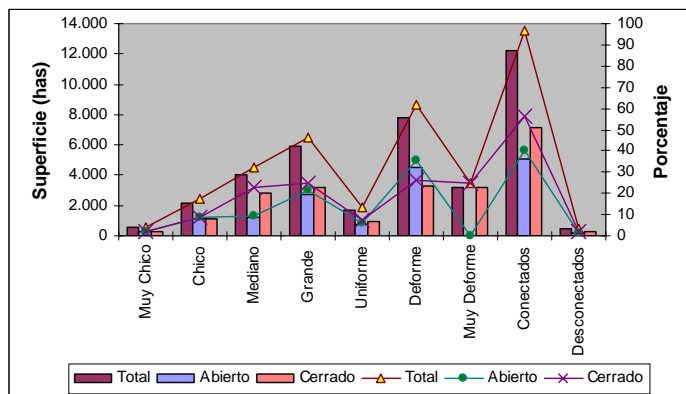


Figura 4.2 Superficie de fragmentos por categorías de variable

Tabla 4.1).

Tabla. 4.1 Dinámica temporal de superficies por categorías de variables

VARIABLES	Superficie (has)											
	Total				Bosque abierto				Bosque cerrado			
Categorías	1970	1980	1990	2003	1970	1980	1990	2003	1970	1980	1990	2003
Tamaño												
Muy Chico	423.20	510.32	597.10	527.33	242.89	247.97	327.68	263.77	180.31	262.34	269.41	263.57
Chico	1,982.66	1,821.06	1,783.91	2,205.10	1,290.88	1,149.80	1,031.54	1,089.31	691.78	671.27	752.37	1,115.79
Mediano	5,092.26	4,424.57	4,730.84	4,042.43	2,838.32	1,460.75	1,898.41	1,195.36	2,253.94	2,963.82	2,832.43	2,847.08
Grande	6,524.44	6,001.24	5,479.36	5,876.86	0.00	1,772.94	1,772.94	2,718.38	6,524.44	4,228.31	3,706.42	3,158.48
Forma												
Uniforme	2,233.68	1,665.34	2,015.30	1,720.43	1,408.95	747.70	811.58	773.96	824.73	917.63	1,203.73	946.47
Deforme	7,471.07	6,863.55	6,869.48	7,772.81	2,946.65	3,883.75	4,218.99	4,492.84	4,524.42	2,979.80	2,650.48	3,279.97
Muy Deforme	4,317.81	4,228.31	3,706.42	3,158.48	0.00	0.00	0.00	0.00	4,317.81	4,228.31	3,706.42	3,158.48
Conectividad												
Conectados	13,533.69	12,373.61	12,132.90	12,203.46	4,079.01	4,453.55	4,837.09	5,074.10	9,454.67	7,920.06	7,295.81	7,129.36
Desconectados	488.87	383.58	458.30	448.26	293.07	177.91	193.48	192.71	195.80	205.68	264.82	255.55

La comparación entre bosques cerrados y abiertos revela que esta diferencia no influye en el tamaño de los fragmentos. Por ejemplo, en el bosque cerrado los fragmentos grandes ocuparon una mayor superficie (3,159 ha y 24.96% del total) comparada con la obtenida por los fragmentos chicos (264 ha y 2.08%). De igual forma, en el bosque abierto los fragmentos grandes ocuparon la mayor superficie (2,718 ha y 21.49%), comparada con la de los fragmentos chicos (264 ha y 2.08%). A este respecto vale la pena resaltar que los fragmentos chicos, tanto de bosques cerrados como abiertos, ocuparon casi la misma superficie (Figuras 4.2 y 4.3).

Al comparar el tamaño promedio de los fragmentos en las distintas categorías de tamaño de los fragmentos -muy chicos, chicos, medianos y grandes (ver metodología en capítulo 2)-, los datos muestran una situación esperada, ya que el mayor tamaño promedio

corresponde a fragmentos grandes con 1,469 ha, seguidos de los fragmentos medianos con 239 ha, los chicos con 29 ha, y los muy chicos con 3.5 ha (Figuras 4.2 y 4.3).

Nuevamente la comparación entre coberturas cerradas y abiertas no refleja una influencia clara de esta diferencia sobre el tamaño promedio de los fragmentos. Por ejemplo, en el caso de los bosques cerrados el tamaño promedio de los fragmentos grandes fue de 1,579 ha, seguidos de los fragmentos medianos con 356 ha; los chicos con 28 ha y los muy chicos con 3.2 ha. Para los fragmentos de bosque abierto los resultados son similares, ya que el mayor tamaño promedio correspondió a los fragmentos grandes con 1,359 ha, seguidos de los fragmentos medianos con 239 ha, los chicos con 29 ha y los muy chicos con 3.7 ha (Figuras 4.2 y 4.3).

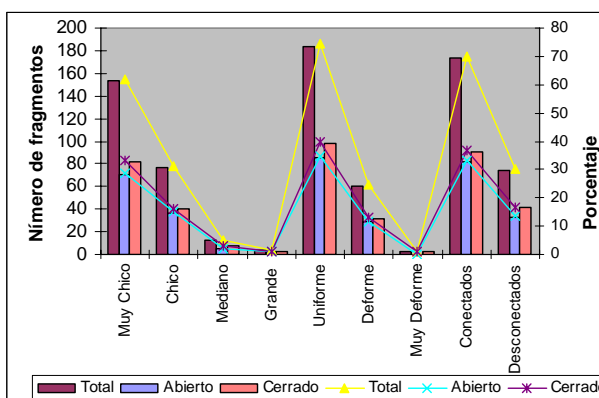


Figura 4.3 Número de los fragmentos según distintas categorías de tamaño, forma y conectividad.

En cuanto a la cantidad de fragmentos por categoría de tamaño, se tiene que los fragmentos de bosque muy chicos fueron los más abundantes, con 153 fragmentos que representan el 61.94% del total, seguidos de los chicos con 77 fragmentos (31.17%), los medianos con 13 (5.16%) y los grandes con 4 (1.62%) (Figuras 4.2 y 4.3).

La comparación entre bosques cerrados y abiertos muestra que, en el primer caso los tamaños más abundantes fueron los muy chicos con 82 fragmentos (33.20% del total) y los chicos con 40 fragmentos (16.19%), en tanto que sólo se registraron 8 fragmentos medianos (3.24%) y 2 grandes (0.81%). En los bosques abiertos se presentó esta misma situación, siendo los tamaños más abundantes los muy chicos con 71 fragmentos (28.74%) y los chicos con 37 fragmentos (14.98%), seguidos, aunque en mucha menor cuantía, por los medianos con 5 fragmentos (2.02%) y los grandes con 2 fragmentos (0.81%) (Figuras 4.2 y 4.3).

En conclusión, el análisis del tamaño de los fragmentos de bosque de pino con aile revela una situación esperada, toda vez que mientras los fragmentos muy chicos y chicos fueron los más numerosos, abarcaron una superficie muy inferior a la obtenida por los fragmentos medianos y grandes que, si bien son poco representativos en cuanto a su número, se distribuyeron en extensos fragmentos que en conjunto representan la mayor superficie del área forestal. De manera inesperada, la diferencia entre coberturas de bosque abiertas y cerradas no fue significativa desde la perspectiva del tamaño de los fragmentos, sin embargo, se decidió mantener a lo largo del estudio esta diferencia, debido al fuerte impacto paisajístico y ambiental que la cobertura vegetal tiene en áreas forestales.

4.1.2 Variable forma

La aplicación del Índice de Forma (IF) (ver metodología en capítulo II) al total de los fragmentos del bosque de pino con aile dio como resultado una variabilidad de entre 1.2 y 13.0. Los fragmentos deformes y muy deformes fueron los más representativos al ocupar una extensa superficie de 7,772.81 ha (61.44% del total) en el primer caso, y 3,158.48 (24.96%) en el segundo. En contraste, los fragmentos uniformes se distribuyeron en una superficie minoritaria de 1,720.43 ha (13.60 %) (Figuras 4.2 y 4.3).

Una tendencia similar se observa al comparar los bosques cerrados y abiertos. Por ejemplo, la mayor superficie del bosque cerrado correspondió a los fragmentos deformes con 3,279.97 ha (25.93% del total) y muy deformes con 3,158.48 ha (24.96%), en tanto que los fragmentos uniformes sólo abarcaron 946.47 ha (7.48%). En los bosques abiertos se presentó la misma situación, siendo los fragmentos deformes los más representativos al sumar 4,492.84 ha (35.51%), en tanto que los fragmentos uniformes sólo obtuvieron 773.96 ha (6.12%).

En cuanto a la distribución del número de fragmentos por categoría de forma, los datos muestran un comportamiento contrario al caso de las superficies. Así, mientras que las cubiertas de bosque uniformes fueron las más abundantes con 184 fragmentos (74.49% del total), por su parte, sólo se registraron 61 fragmentos deformes (24.70%) y 2 fragmentos muy deformes (0.81%) (Figuras 4.2 y 4.3).

La comparación entre los bosques cerrados y abiertos muestra una situación similar en ambos casos. Por ejemplo, en el bosque cerrado la mayor abundancia correspondió a las cubiertas uniformes con 98 fragmentos (39.68%), seguidas de las cubiertas deformes con 32 fragmentos (12.96%), y las muy deformes con sólo 2 fragmentos (0.81%). En los bosques abiertos se presenta la misma situación, siendo las cubiertas uniformes las más abundantes con 86 fragmentos (34.82%), en tanto que las cubiertas deformes registraron sólo 29 fragmentos (11.74%) y no se identificaron fragmentos muy deformes (Figuras 4.2 y 4.3).

Finalmente, al comparar el IF promedio de los fragmentos en las distintas categorías de forma, los datos muestran una situación esperada, ya que el menor IF corresponde a los fragmentos uniformes con 2.04, seguido de los fragmentos deformes con 4.52 y los fragmentos muy deformes con 12.85. Al considerar el IF promedio de los fragmentos de bosques cerrados también la tendencia fue la que se esperaba, ya que los fragmentos de menor IF fueron los uniformes con 2.05, seguidos de los fragmentos deformes con 4.55 y los fragmentos muy deformes con 12.85. La misma situación resultó del análisis del IF promedio de los bosques abiertos, ya que el menor IF corresponde a los fragmentos uniformes 2.03, seguidos de los fragmentos deformes con 4.48 (Figuras 4.2 y 4.3).

4.1.3 Variable conectividad espacial

Los resultados indican que la conectividad espacial calculada para el total de los fragmentos de bosque de pino con aile varió entre 0.5 y 1710 m (ver metodología en capítulo 2). De acuerdo con la superficie total que ocupan, las cubiertas conectadas fueron dominantes al abarcar 12,203.46 ha (96.46% del total), en tanto que los fragmentos desconectados se distribuyeron en una superficie comparativamente muy inferior de 448.26 ha (3.54%) (Figuras 4.2 y 4.3).

Al igual que ocurre con las demás variables analizadas, en este caso la diferencia entre bosques cerrados y abiertos no parece tener influencia sobre la conectividad de los fragmentos. Por ejemplo, en el bosque cerrado los fragmentos conectados sumaron una extensa superficie de 7,130 ha (56.35%), comparada con la de los fragmentos desconectados que fue de 256 ha (2.02%). En el caso de los bosques abiertos se presenta una situación similar, con los fragmentos conectados ocupando la mayor

superficie de 5,074 ha (40.11%) y los desconectados con sólo 193 ha (1.52%) (Figuras 4.2 y 4.3).

De igual forma, al considerar el número total de fragmentos, la categoría de bosques conectados fue la más abundante al registrar 173 fragmentos (70.04%), contra sólo 74 fragmentos desconectados (29.96%). Por su parte, los resultados entre bosques cerrados y abiertos muestran que esta diferencia no influye en la conectividad forestal. Por ejemplo, en el bosque cerrado las cubiertas conectadas fueron las más abundantes al sumar 91 fragmentos (36.84%), superando a las cubiertas desconectadas que sumaron 41 fragmentos (16.60%). En lo que respecta al bosque abierto se presenta la misma tendencia, con predominio de los bosques conectados, de los cuales hay 82 fragmentos (33.20%), y escasa presencia de bosques desconectados con sólo 33 fragmentos (13.36%) (Figuras 4.2 y 4.3).

4.1.4 Tipos de fragmentación

El mapa del año 2003 muestra los 20 tipos de fragmentos de pino con aile que resultaron de la combinación de las variables de tamaño, forma y conectividad de los fragmentos, la cual se realizó mediante la sobreposición de capas en SIG y la reclasificación tipológica y espacial del mapa resultante (Figuras 4.4 y 4.5).

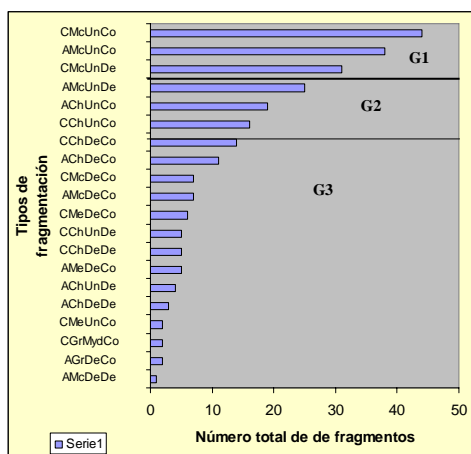


Figura 4.4 Tipos de fragmentación 2003.

El análisis cuantitativo de los distintos tipos de fragmentos permitió determinar 3 grupos principales de fragmentos, los cuales se establecieron mediante la determinación de rangos estadísticos, restando el menor número de fragmentos al mayor y con ello se obtuvo un umbral de rango. El grupo G3 incluye a los catorce tipos de fragmentos menos abundantes (7 son cerrados y 7 abiertos), con 1 a 14 fragmentos de cada tipo. El grupo G2 incluye sólo a tres tipos de fragmentos (2 abiertos y 1 cerrado) representados por 16 a 25 fragmentos de cada tipo. Finalmente, el grupo G3 incluye a los tres tipos de fragmentos más abundantes en el área (2 cerrados y 1 abierto), con 31 a 44 fragmentos de cada tipo.

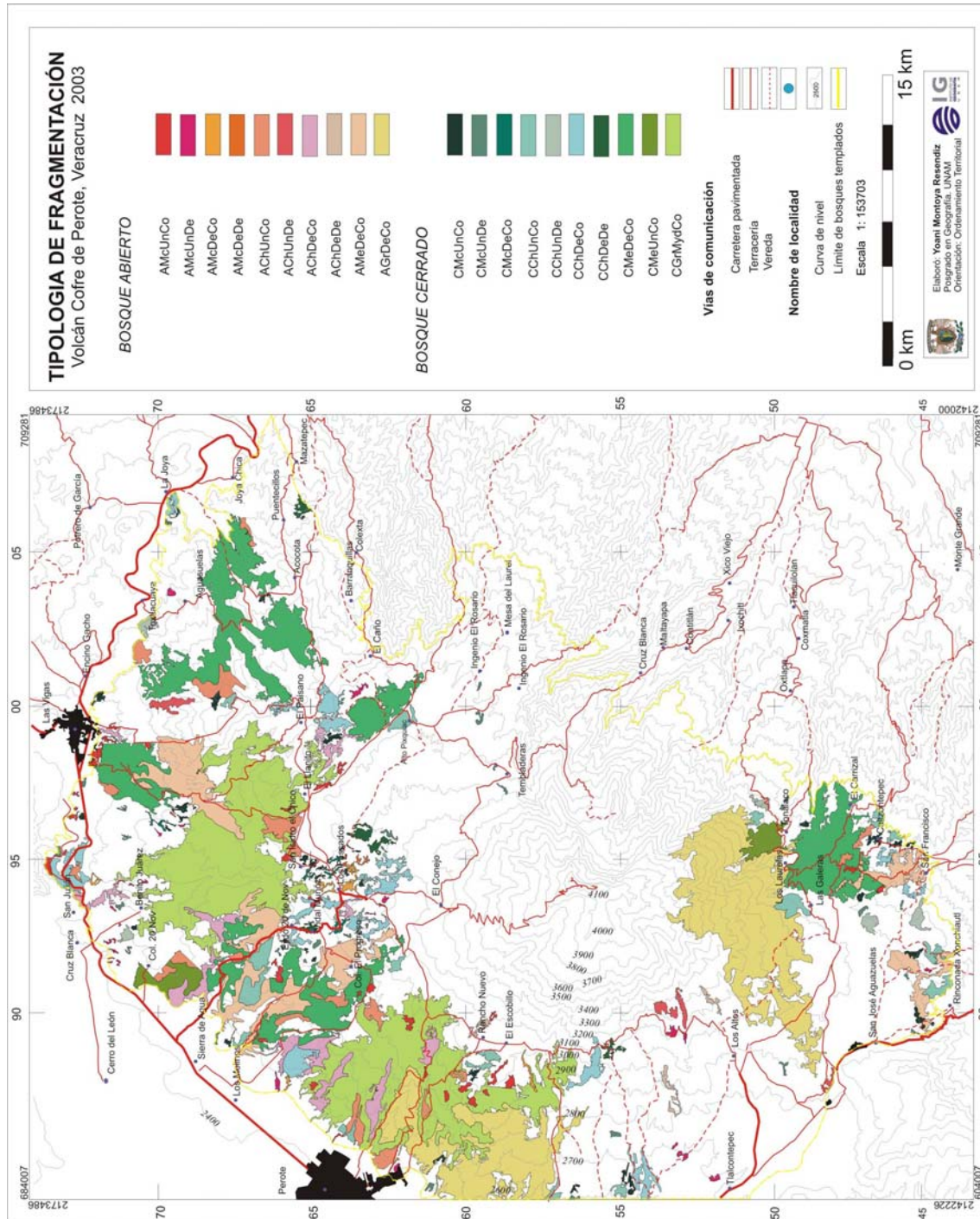
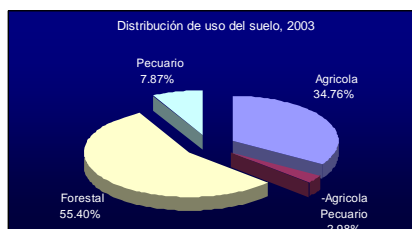


Figura 4.5. Tipología de la fragmentación

4.1.5 Influencia de los sistemas de uso del suelo sobre las cubiertas vegetales

El análisis visual y directo de los patrones de distribución de las cubiertas del suelo obtenidas por fotointerpretación permitió determinar cuatro principales sistemas de uso del suelo. Se asume que estos sistemas tienen una importante influencia sobre la distribución actual de los distintos tipos de fragmentos forestales y en consecuencia, sobre el estado general de los bosques de pino con aile (Figura 4.6). Los sistemas de uso del suelo identificados son el agrícola, el agrícola-pecuario, el forestal y el pecuario. Es necesario señalar que las cubiertas de uso del suelo habitacional y de infraestructura no se consideraron para el análisis de este capítulo, debido a que se distribuyen en pequeñas cubiertas que en ningún caso albergan fragmentos de bosque; no obstante, sí se tomó en cuenta su distribución en el interior de los sistemas de uso,



desde donde se retomaron como factores explicativos de la fragmentación y del estado de la estructura vertical del bosque en el capítulo V.

Figura 4.6 Distribución de los sistemas de uso del suelo

Sistema de uso del suelo forestal. Se distribuye en una superficie de 23,560 ha, equivalentes al 55.4% del área de estudio. Se caracteriza por el predominio de los aprovechamientos forestales de carácter disperso, pero al mismo tiempo intensivo y extensivo dependiendo de la zona. Las principales actividades vinculadas a este uso son la extracción legal y furtiva de madera (principalmente de pino), y la extracción de leña, tanto de pino como de aile para uso doméstico. La importancia de la actividad está asociada a una gran cantidad de pequeñas localidades que están inmersas o próximas al área forestal (Figura 4.7), como es el caso de las comunidades Tlancontepec, Perote, Sierra de Agua, Los Molinos, Cruz Blanca, San Julián, Ejido 20 de Noviembre, Benito Juárez, Vidal Muñoz, Colonia El Progreso, San Isidro el Chico, Casa Blanca, El Llanillo, El Paisano, Tembladeras, Tonalaco, Los Laureles, El Carrizal, Caltzontepic, Las Vigas, Toxtlacuaya, Acocota, Ingenio el Rosario, La Joya, Puenteillas, El Escobillo, Rinconada Xonchiatl y Las Galeras.

La extracción de madera para fines comerciales está restringida por diversas causas: a) la delimitación de la zona de reserva a partir de los 3,000 msnm; b) la falta de una cultura para el manejo forestal planificado; y c) la tenencia de la tierra ejidal y de pequeña propiedad dificulta la organización para la obtención de programas de aprovechamiento de madera. Sin embargo, existen algunos lugares donde se desarrolla una actividad forestal representativa, por ejemplo, en el Ejido Rancho Nuevo la madera de *P. montezumae* se utiliza en la industria papelera para la construcción y ebanistería, así como para puntales de minas y postes (Lagunes y Hernández, 1994); y su resina para obtener brea y aguarrás. A pesar de ser una de las especies más explotadas, los efectos dañinos de la actividad están parcialmente controlados por medio de la reforestación con la misma especie.

Por su parte el Aile es una especie de rápido crecimiento, aunque tradicionalmente su madera ha sido poco valorada y comparativamente menos comercial que la de los pinos. Hasta 1979 la Subsecretaría Forestal y de la Fauna permitía su tala por considerar a esta especie como una plaga que dificultaba el desarrollo de pinos jóvenes, no obstante lo cual, en fechas recientes se encontró que presenta propiedades que le atribuyen un alto valor como combustible y es para este fin que se destina y promueve su explotación (Lagunes y Hernández, 1994).

Los pobladores de comunidades como Los Pescados, El Conejo⁸ y Aguasuelas usan el Aile para obtener leña, fabricar horcones, cercas para el ganado, elaboración de mangos de herramientas y sillas rústicas de baja calidad (Robles, 1982; López, 2004).

Sistema de uso del suelo agrícola. Ocupa el segundo lugar de importancia con 14,360 ha (33.77%), estando principalmente destinado al cultivo de papa, maíz, haba y avena. Destaca por su superficie la agricultura de la papa, con sus respectivas variedades, siendo la de mayor relevancia la de tipo Gema, seguida de la Motzamba y Atlántica, Gigantis, Alpha, Toyoca, Perote, San José Flor Blanca y San José Flor Morada (Martínez, 2005).

⁸ Para el bosque de pino, López (2004) reporta 16 formas de aprovechamiento, en promedio la madera se usa para el cercado de casas, para lo que se explotan individuos que en promedio presentan una edad de 45 años, diámetro de 43 cm y altura de 25 m. Los otros usos más relevantes están destinados a la fabricación de vigas, muebles, ventanas, puertas para ganado, alfardas y uso medicinal, leña.

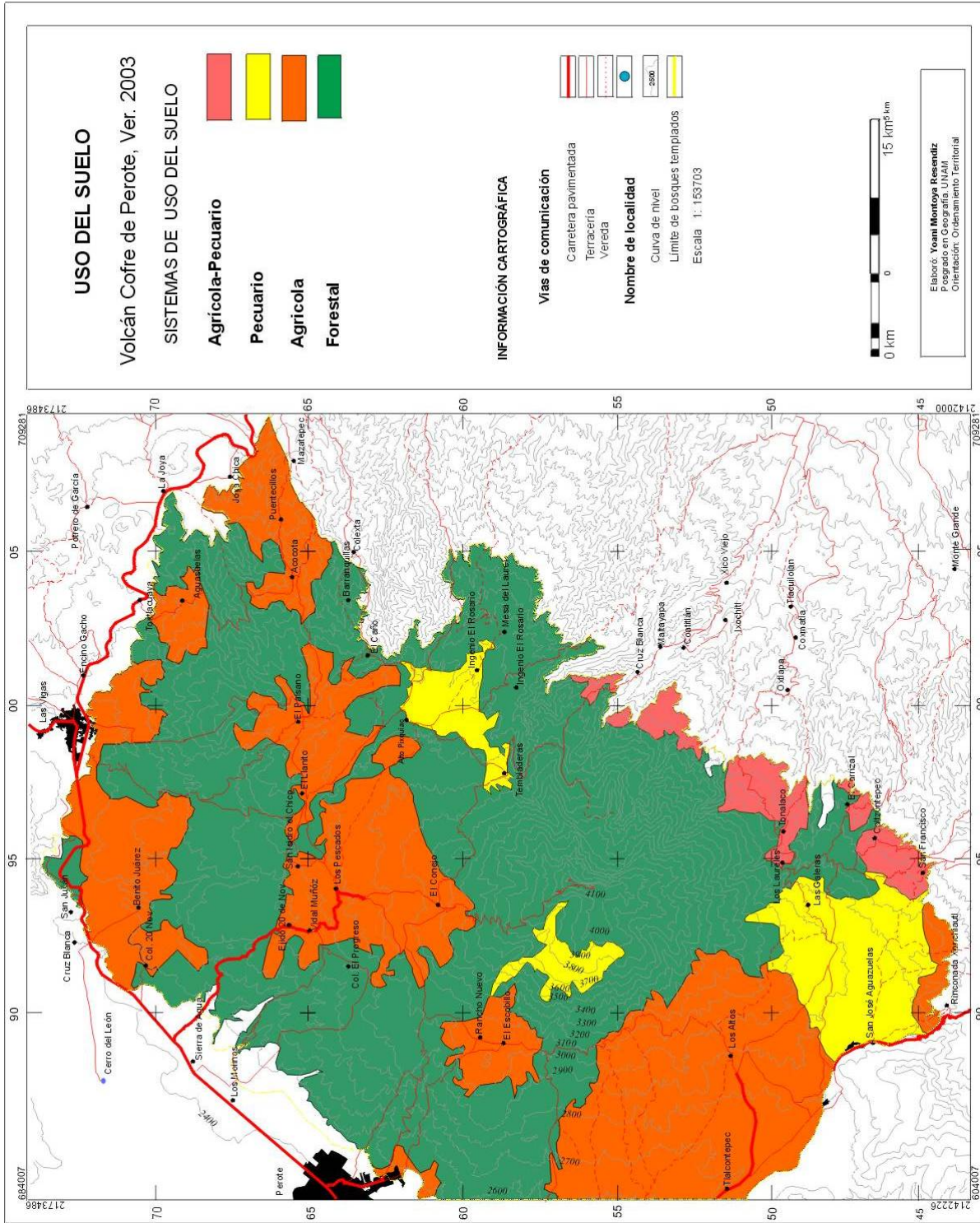


Figura 4.7. Mapa de sistemas de uso del suelo en el volcán Cofre de Perote 2003.

Las comunidades El Llanito⁹ y El Conejo presentan extensas y numerosas parcelas con cultivos de papa (Martínez, 2005). Los factores que han favorecido la actividad en ambos poblados son por una parte su distribución en laderas medias de la parte norte del volcán, donde las pendientes son suaves y los suelos bien desarrollados y estables. Además, según algunos habitantes, los propietarios en estos poblados son empresarios que tienen apoyo económico por parte del gobierno y que cuentan con bodegas para la comercialización en el estado de Veracruz.

En otras zonas del volcán la actividad agrícola es de manutención y se desarrolla en condiciones desfavorables, caracterizadas por suelos sobre pendientes abruptas que impiden la introducción de nuevas tecnologías e inducen la erosión por lluvia y viento (Martínez, 2005).

La cosecha se hace en los meses de octubre a enero, sin embargo, el producto de octubre a diciembre se vende en fresco y el obtenido en el último mes de la temporada se utiliza exclusivamente como semilla para el siguiente ciclo de cultivo. La venta se realiza a pequeños comerciantes en Xalapa y Huixcolotla (Puebla) o bien, a intermediarios o coyotes que compran a pie de huerta (Martínez, 2005).

Sistema de uso del suelo pecuario. Se distribuye en una superficie comparativamente inferior de 3,345 ha (7.9% del total), destinadas principalmente al pastoreo de ganado caprino y ovino. Los pastizales del sector sur están formados por gramíneas silvestres de gran tamaño y cobertura del 100%. Aunque no son pastos cultivados funcionan como si lo fueran, y su manejo y utilización para la actividad ganadera de ovinos beneficia principalmente a los pobladores de las localidades Aguasuelas y El Triunfo. Con base en las entrevistas realizadas sabemos que la producción es comercial de escala básicamente local. En cambio, los pastizales del sector noreste consisten en pastos de tipo *horchart*, cultivados para la actividad ganadera de bovinos. La producción se destina al autoconsumo y al comercio, principalmente en el poblado La Joya, donde hay una gran demanda de carne y leche para la actividad restaurantera y la venta de lácteos.

⁹ Martínez (2005) indica que se siembra un 30% de la superficie solamente de papa; también se combina con otros: 3% de papa-maíz-avena, 3% de papa y maíz, 27% de papa-maíz-avena-haba y 37% de papa-maíz-frijol. El maíz y el frijol son básicamente para autoconsumo. La tenencia de la tierra en esta comunidad es ejidal.

Sistema de uso del suelo agrícola-pecuario. Es el sistema de uso del suelo menos representativo al ocupar solo 1,265 ha (3.0% del total). Se distribuye en el sector sureste del volcán, justo en la zona de transición del bosque de pino con aile al bosque mesófilo de montaña. La ganadería y la agricultura de mantenimiento se desarrollan con graves problemas, como lo refleja la alta densidad de parcelas abandonadas y el constante recambio de actividad, entre agrícola a pecuaria.

4.2 Dinámica de la fragmentación 1970-2003

La dinámica de la variable tamaño durante el periodo de estudio, dejó ver que el cambio más significativo afectó a los fragmentos medianos que redujeron su superficie en 1,050 ha, es decir, una pérdida porcentual de -4.37%. En cuanto a la variable forma, los fragmentos muy deformes registraron un cambio más significativo al reducir su superficie en 1,159 ha, es decir, una disminución porcentual de -5.83%. Y en cuanto a la variable conectividad, el cambio más importante correspondió a los fragmentos conectados que disminuyeron su superficie en 1,330 ha, es decir un -0.057% (Figura 4.8 y 4.9) (Tabla 4.2 y 4.3).

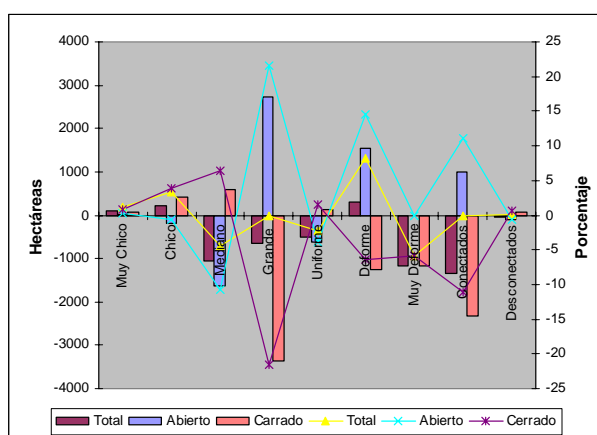


Figura 4.8. Dinámica de superficie por categoría de variable (1970-2003).

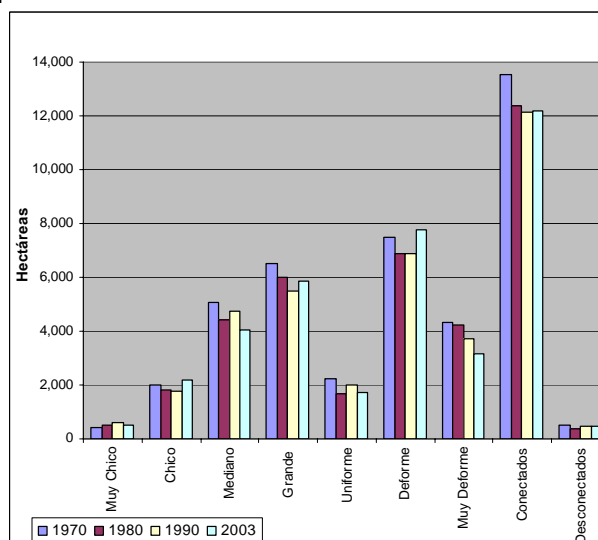


Figura 4.9. Dinámica de superficie por categoría de variable en bosque cerrado (1970-2003).

En el caso exclusivo de los bosques de cobertura cerrada, la variable tamaño reveló que el cambio más relevante se presentó en los fragmentos grandes que disminuyeron su superficie en 3,366 ha, lo que equivale al -21.6%. Respecto a la variable forma, el cambio más importante fue la disminución de superficie de los fragmentos deformes y muy deformes, que redujeron su área en 1,244 y 1,159 (-6.34% y -5.83%), respectivamente. En cuanto a la conectividad, el cambio se presentó en los fragmentos conectados ya que disminuyeron su superficie en 325 ha (11.1%) (Figura 4.10) (Tabla 4.2 y 4.3).

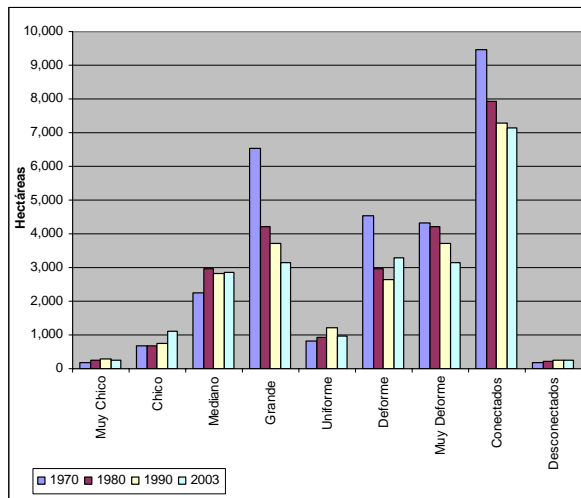


Figura 4.10 Dinámica de superficie por categorías de variables en bosque abierto (1970-2003).

En lo que respecta a la dinámica de los bosques abiertos, la variable tamaño obtuvo el cambio más significativo en los fragmentos medianos, los cuales incrementaron su superficie en 2,718.4 (21.49%). Respecto a la variable forma, el cambio más importante fue el incremento de superficie de los fragmentos deformes, con 1546.2 ha (14.5%). En cuanto a la conectividad, la dinámica estuvo controlada por el incremento de los fragmentos conectados, con 995.08 ha (11.02%) (Figura 4.11) (Tabla 4.2 y 4.3).

Tabla. 4.2 Dinámica temporal porcentual por categorías de variables

Porcentajes												
VARIABLES	Total				Bosque abierto				Bosque cerrado			
Categorías	1970	1980	1990	2003	1970	1980	1990	2003	1970	1980	1990	2003
Tamaño												
Muy Chico	3.02	4.00	4.74	4.17	1.73	1.94	2.60	2.08	1.29	2.06	2.14	2.08
Chico	14.14	14.27	14.17	17.43	9.21	9.01	8.19	8.61	4.93	5.26	5.98	8.82
Mediano	36.31	34.68	37.57	31.95	20.24	11.45	15.08	9.45	16.07	23.23	22.50	22.50
Grande	46.53	47.04	43.52	46.45	0.00	13.90	14.08	21.49	46.53	33.14	29.44	24.96
Forma												
Uniforme	15.93	13.05	16.01	13.60	10.05	5.86	6.45	6.12	5.88	7.19	9.56	7.48
Deforme	53.28	53.80	54.56	61.44	21.01	30.44	33.51	35.51	32.27	23.36	21.05	25.93
Muy Deforme	30.79	33.14	29.44	24.96	0.00	0.00	0.00	0.00	30.79	33.14	29.44	24.96
Conectividad												
Conectados	96.51	96.99	96.36	96.46	29.09	34.91	38.42	40.11	67.42	62.08	57.94	56.35
Desconectados	3.49	3.01	3.64	3.54	2.09	1.39	1.54	1.52	1.40	1.61	2.10	2.02

En el periodo analizado, se observó que el número total de fragmentos de bosque de pino con aile (abierto y cerrado) se incrementó paulatinamente en las dos primeras décadas, ya que de 197 fragmentos que había en el año 1970, para 1980 el número se elevó a 231 y para 1990 la cifra llegó a 256 fragmentos. No obstante, para el año 2003 el comportamiento cambió, al registrarse una caída del número de fragmentos a 247 (Tabla 4.3)

Tabla. 4.3 Dinámica temporal de número de fragmentos por categorías de variables.

Variable	Categorías	No total de fragmentos				%				Diferencia de fragmentos	Cambio porcentual
		70	80	90	03	70	80	90	03		
Tamaño	Muy chico	106	140	161	153	53.81	60.61	62.89	61.94	47.00	8.14
	Chico	74	73	74	77	37.56	31.60	28.91	31.17	3.00	-6.39
	Mediano	14	15	18	13	7.11	6.49	7.03	5.26	-1.00	-1.84
	Grande	3	3	3	4	1.52	1.30	1.17	1.62	1.00	0.10
Forma	Uniforme	144	168	188	184	73.10	72.73	73.44	74.49	40.00	1.40
	Dedeforme	51	61	66	61	25.89	26.41	25.78	24.70	10.00	-1.19
	Muy deforme	2	2	2	2	1.02	0.87	0.78	0.81	0.00	-0.21
Conectividad	Conectado	149	170	185	173	75.63	73.59	72.27	70.04	24.00	-5.59
	Desconectado	48	61	71	74	24.37	26.41	27.73	29.96	26.00	5.59

CAPÍTULO 5. CONSECUENCIAS DE LA FRAGMENTACIÓN EN EL BOSQUE DE PINO CON AILE

5.1 Fragmentación diferencial

En el área de estudio la fragmentación forestal de los bosques de pino con aile es tipológica y espacialmente diferencial, estando caracterizada por 11 tipos de fragmentos (Figura 5.1), cada uno de los cuales refiere una combinación específica de cobertura vegetal, tamaño, forma y conectividad. Es importante recordar que estos tipos de fragmentos son resultado de la simplificación y del análisis inicial de las variables tamaño, forma y conectividad (ver metodología en capítulo 2).

De acuerdo con el marco teórico presentado en el primer capítulo, el estilo de la fragmentación se relaciona con el estado funcional fragmento manifiesto a través de la estructura vertical de la comunidad vegetal que lo ocupa. Por ello, en este capítulo se aborda la correlación entre los once tipos de fragmentación y la estructura vertical de las comunidades de bosque de pino con aile.

Es muy importante resaltar que durante el trabajo de campo se identificó que hay un manejo y aprovechamiento forestal en gran parte de los bosques de la zona de estudio, por lo cual, se consideró incluir también esta variable en el análisis de los resultados con la finalidad de ampliar y enriquecer la explicación del impacto de la actividad antrópica en la estructura vertical del bosque de pino con aile.

Para clasificar a los tipos de fragmentos y determinar así los patrones de fragmentación y su relación con el estado funcional del bosque, se aplicó la metodología del valor índice medio, a partir de la información de nueve variables de la estructura de la vegetación del bosque de pino con aile. El proceso estadístico para determinar la clasificación de los fragmentos se basa en los datos de las variables contenidas en las tablas 5.1-A y 5.1-B. Es importante resaltar que tres de los once tipos de fragmentos se repiten, dado que revelaron cambios en la estructura de la vegetación debidos a la intervención humana, por lo cual se consideró sumamente relevante diferenciar esta situación.

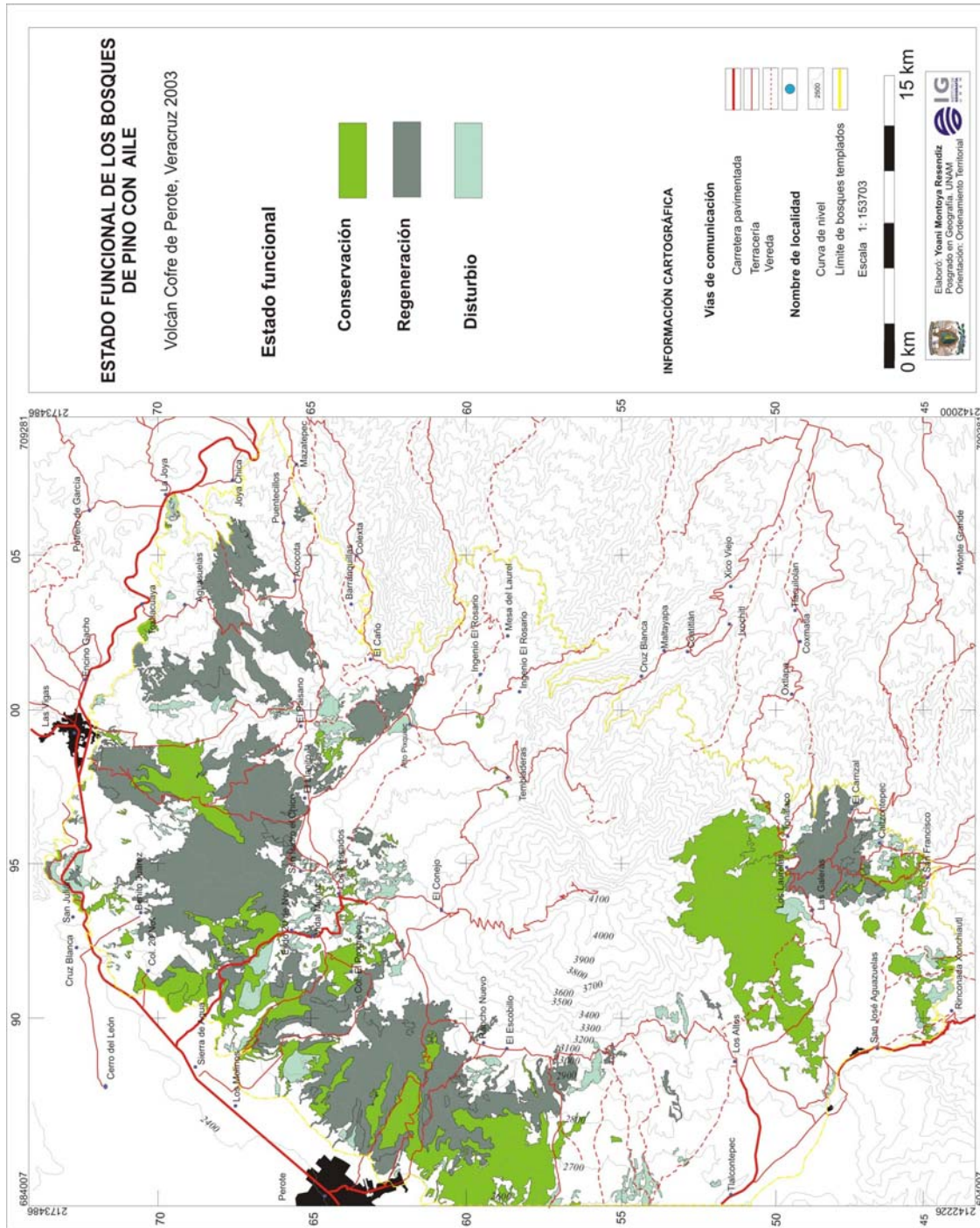


Figura 5.1. Estado funcional de los bosques de pino con aile en el volcán Cofre de Perote 2003.

Tabla 5.1-A. Variables y datos de estructura vertical obtenidos en los inventarios

Tipo de fragmento	Estrato arbóreo (árboles adultos)					Sotobosque			Regeneración
	Dominancia de pinos (V1)	Número de árboles (V2)	Promedio de talla (V3)	Promedio de área basal (V4)	Suma de área basal de árboles (V5)	% de cobertura estrato herbáceo (6)	Diferencia de la talla entre árboles adultos y arbustos (V7)	Diferencia de suma entre área basal de árboles adultos y arbustos (V8)	No de árboles jóvenes (menores a 3 m) (V9)
AChDeCo	100	23	1778	1068	24570	100	99	996	11
CGrUnCo	100	31	1029	869	26947	35	97	12174	175
CChUnDe	100	28	2064	850	23793	60	96	1533	82
AGrDeCo	100	47	2132	699	32857	5	98	541	1
CGrDeCo	100	83	1137	383	31822	30	97	7261	0
AChDeDe	100	15	1080	1462	21929	15	98	4837	14
AChUnCo	95	61	1062	559	34097	95	96	522	0
CGrDeCo	100	33	1376	895	29530	50	94	990	33
CChDeDe	99	188	744	107	20186	55	98	520	48
AGrDeCo	94	36	1164	652	23487	40	95	729	28
CGrDeCo	100	28	1079	567	15889	71	94	786	0
CChUnCo	87	83	1034	244	20213	40	97	705	26
AChDeCo	93	54	1018	491	26507	67	89	250	2
CChDeCo	92	167	781	153	25499	35	79	273	9
AChUnDe	100	37	665	194	7190	70	82	61	21

Asimismo, se establecieron grupos de variables que hacen referencia a distintos aspectos de la estructura vertical de la vegetación forestal. Cuatro variables corresponden a características de la cobertura del estrato arbóreo: cantidad de árboles adultos, promedio de talla de árboles adultos, promedio de área basal de árboles adultos, suma de área basal de árboles adultos y dominancia de pinos. Otras variables definen el desarrollo fisonómico del sotobosque: cobertura del estrato herbáceo, diferencia de talla entre árboles adultos y arbustos, y diferencia de la suma entre el área basal de los árboles adultos y de los arbustos. Finalmente, una variable hace referencia al número de individuos jóvenes (altura menor a 3 m).

El análisis de los datos permitió establecer que los fragmentos forestales son representativos de tres distintos patrones de fragmentación, que a su vez reflejan tres distintos estados funcionales más o menos próximos a una situación de regeneración y conservación de las áreas forestales (Tabla 5.1 -B).

La tabla 5.1-B muestra los valores estandarizados correspondientes a las variables de la cobertura del estrato arbóreo, desarrollo del sotobosque y presencia de individuos jóvenes. Asimismo, indican las calificaciones obtenidas por las distintas variables en cada tipo de fragmento, el valor índice medio de las calificaciones anteriores y, finalmente, las calificaciones del estado funcional de los fragmentos.

Tabla 5.1-B. Variables y datos estandarizados para estimar el valor índice medio y el estado funcional de los bosques

Patrón de fragmentación	Tipo de fragmento	Valores normalizados									Calificación de variables o unidades tipificadas									Valor índice medio	Estado funcional del bosque	
		Estrato arbóreo (árboles adultos)					Sotobosque				Regeneración	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8			V9
		Dominancia de pino (V1)	No. de árboles (V2)	Promedio de talla (V3)	Promedio de área basal (V4)	Suma de área basal (V5)	Cobertura estrato herbáceo (V6)	Diferencia de promedio de talla entre árboles adultos y arbustos (V7)	Diferencia de suma de área basal entre árboles adultos y arbustos (V8)	No. de árboles jóvenes (menos a 3m) (V9)												
1	AChDeCo	0,67	-0,76	1,32	1,25	0,04	1,88	0,77	-0,35	-0,43	2	4	1	1	3	1	2	3	3	2,22	Conservación	
	CGrUnCo	0,67	-0,60	-0,42	0,70	0,40	-0,63	0,56	3,05	3,27	2	4	3	2	3	4	2	1	1	2,44		
	CChUnDe	0,67	-0,66	1,98	0,65	-0,08	0,34	0,40	-0,19	1,17	2	4	1	2	3	3	3	3	1	2,44		
	AGrDeCo	0,67	-0,28	2,14	0,24	1,28	-1,78	0,75	-0,49	-0,65	2	3	1	3	1	5	2	3	4	2,67		
	CGrDeCo	0,67	0,44	-0,17	-0,63	1,13	-0,82	0,56	1,56	-0,68	2	3	3	4	1	4	2	1	4	2,67		
	AChDeDe	0,67	-0,92	-0,30	2,33	-0,35	-1,40	0,67	0,82	-0,36	2	4	3	1	3	5	2	2	3	2,78		
2	AChUnCo	-0,56	0,00	-0,34	-0,15	1,47	1,69	0,33	-0,49	-0,68	4	3	3	3	1	1	3	3	4	2,78	Regeneración	
	CGrDeCo	0,67	-0,56	0,39	0,77	0,78	-0,05	0,05	-0,35	0,07	2	4	3	2	2	3	3	3	3	2,78		
	CChDeDe	0,40	2,55	-1,08	-1,39	-0,62	0,15	0,69	-0,49	0,41	3	1	5	5	4	3	2	3	3	3,22		
	AGrDeCo	-0,72	-0,50	-0,11	0,11	-0,12	-0,43	0,17	-0,43	-0,05	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3,22		
	CGrDeCo	0,67	-0,66	-0,30	-0,12	-1,26	0,76	0,00	-0,41	-0,68	2	4	3	3	5	2	3	3	4	3,22		
	CChUnCo	-2,64	0,44	-0,41	-1,01	-0,61	-0,43	0,58	-0,44	-0,09	5	3	3	5	4	3	2	3	3	3,44		
3	AChDeCo	-1,18	-0,14	-0,44	-0,34	0,33	0,61	-0,88	-0,58	-0,63	5	3	3	3	2	4	4	4	4	3,44	Disturbio	
	CChDeCo	-1,28	2,13	-0,99	-1,26	0,18	-0,63	-2,55	-0,57	-0,47	5	1	4	5	3	4	5	4	3	3,78		
	AChUnDe	0,67	-0,48	-1,26	-1,15	-2,56	0,73	-2,10	-0,63	-0,20	2	3	5	5	5	2	5	4	3	3,78		

Teóricamente se considera que un bosque de pino dinámicamente estable presenta árboles maduros que varían entre 8 y 25 m; sus troncos son generalmente derechos y corpulentos, ya que el valor de sus fustes en lugares no explotados pasa de 1 m pero comúnmente varía entre 20 y 60 cm. Muchas veces estos bosques se presentan puros, es decir, están dominados por una sola especie y sin mayor intervención de otros elementos leñosos. En tales casos no existe prácticamente más que un estrato arbóreo, uno herbáceo y uno rasante. El fuerte desarrollo del estrato herbáceo, cuyos componentes cuantitativamente más importantes son gramíneas, suele resultar favorecido por los frecuentes incendios, mismos que también generalmente eliminan los arbustos. Sin embargo, la dominancia de las gramíneas parece ser a menudo un fenómeno natural e independiente del disturbio. Asimismo, la presencia de individuos arbóreos juveniles estará indicando un grado de regeneración, sobre todo en los fragmentos de bosque de pino con aile (Rzedowski, 1978).

El análisis del valor índice medio permitió identificar un patrón de fragmentación conformado por tipos de fragmentos que se caracterizaron por índices con calificaciones de 1 o 2 y un rango entre 2.22 y 2.67 reflejando mejores características de la estructura de vegetación y del estado de conservación. Otro patrón está conformado por tipos de fragmentos que obtuvieron calificaciones de 4 o 5 y un rango de entre 3.44 y 3.78, el cual presentó características desfavorables de la estructura de la vegetación, es decir, presentan más disturbio. Un tercer patrón incluye a los tipos de fragmentos que obtuvieron valores de índice medio entre 2.78 y 3.22, los cuales se han interpretado como bosques perturbados en estado de regeneración.

Del conjunto de tipos de fragmentos forestales que se identificaron en el área de estudio, existen dos tipos que definen como estados dinámicamente opuestos. Por una parte están los bosques cerrados, de tamaño grande, uniforme y conectado, los cuales se han interpretado como indicativos de una situación o estado favorable y más próxima a la conservación de la comunidad vegetal que los ocupa. En el lado opuesto se ubican los bosques abiertos, de tamaño chico, deforme y desconectado, los cuales son indicativos de un estado desfavorable y más próximo a una situación de disturbio que impide la regeneración de la comunidad vegetal.

5.1.1 Bosques en estado de conservación

Corresponde a un patrón de fragmentación caracterizado por una riqueza de cinco tipos de fragmentos de bosques cerrados, de tamaño grande, y conectados: CChUnDe, CGrUnCo, AChDeCo, CGrDeCo y AGrDeCo. Estas características hacen suponer para ellos como condición próxima la estabilidad en buena medida favorecida por la protección asociada a una cobertura continua de árboles. El tamaño grande proporciona mayor superficie de hábitat; en tanto que la conectividad espacial asegura el intercambio de especies de flora y fauna proveniente de otros fragmentos. De hecho, los corredores suelen corresponder a amplias salientes del fragmento principal que lo conectan con otros fragmentos de menor tamaño.

La estructura vertical de las comunidades vegetales refleja las condiciones positivas de su estructura espacial. De forma general, se trata de bosques monoespecíficos de pino con dominancia del 100% (0.67, que es su valor normalizado), y sin presencia de especies fitoindicadoras de perturbación por fuego, como el *Aile* y el *Arbutus* que son frecuentes en

el volcán (Tabla 5.3). Aunque las comunidades no presentaron el mayor número de árboles adultos, ya que los valores variaron de entre 23 y 83 individuos (-76 a 0.44), éstos son de gran talla con dominancia de individuos maduros de pino con tallas promedio de entre 10.29 y 21.32 m (-0.42 a 2.14), y sólo en algunos casos se identificaron árboles plantados de entre cuatro y ocho años, y tallas menores a 10.5 m. De forma general se puede indicar que son árboles maduros ya que su promedio de área basal varia entre 383 a 1.068 m² (-0.63 a 1.25) y la suma de ellas varia entre 24,570 a 32,857 m² (-0.04 a 1.28).

Tipos de fragmentos	No de especies herbáceas	No de especies arbustiva	Índice de tocones	No de individuos		Dominancia de género								
						Pinus		Alnus		Quercus		Arbutus		
				Aj	Aa	Ar	Aj	Aa	Aj	Aa	Aj	Aa	Aj	Aa
AChDeCo	10	2	0.0000	11	23	16	90.9	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	0.0
CGrUnCo	13	1	0.1505	175	31	7	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CChUnDe	14	1	0.1273	82	28	27	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AGrDeCo	19	2	0.0576	1	47	103	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CGrDeCo	11	3	0.0000	0	83	8	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CChDeDe	8	1	0.0885	48	188	2	97.9	98.9	0.0	0.5	0.0	0.0	2.1	0.5
AGrDeCo	13	2	0.0703	28.0	36.0	23	96.4	94.4	0.0	0.0	0.0	5.6	3.6	0.0
AChDeDe	7	1	0.2586	14	15	4	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AChUnCo	7	3	0.0714	0	61	165	0.0	95.1	0.0	3.3	0.0	1.6	0.0	0.0
CGrDeCo	13	5	0.0294	33.0	33.0	41.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CGrDeCo	10	2	0.1667	0	28	6	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CChUnCo	7	4	0.0692	26	83	111	88.0	86.7	3.8	8.4	3.8	2.4	3.8	2.4
CChDeCo	6	3	0.1898	9	167	8	44.4	92.2	0.0	0.0	0.0	0.6	55.6	7.2
AChDeCo	10	3	0.9643	2	54	7	50.0	92.6	50.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0
AChUnDe	9	1	0.1276	21	37	24	85.7	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0

Tabla 5.2. Cobertura arbustiva y dominancia de género en los tipos de fragmentos

Con formato: Fuente: 8 pt

En lo que respecta al sotobosque, el estrato herbáceo aunque no presenta una tendencia clara ya que varia entre 5 y 100%, si se identifican cambios notables de cobertura que se relacionaron con el tamaño de los fragmentos; siendo la cobertura inferior al 50% en fragmentos grandes y mayor a 60% en fragmentos chicos.

También mostró una riqueza de entre 11 y 19 especies (Tabla 5.3); y una gran diferencia de las tallas promedio y de área basal entre los árboles adultos y los arbustos, ya que sus valores variaron respectivamente entre 96.41 y 98.57 (0.56 a 0.77) y 541 a 12.174 m² (-0.43 a 3.05) lo cual sugiere escaso desarrollo proporcional del sotobosque, caracterizado

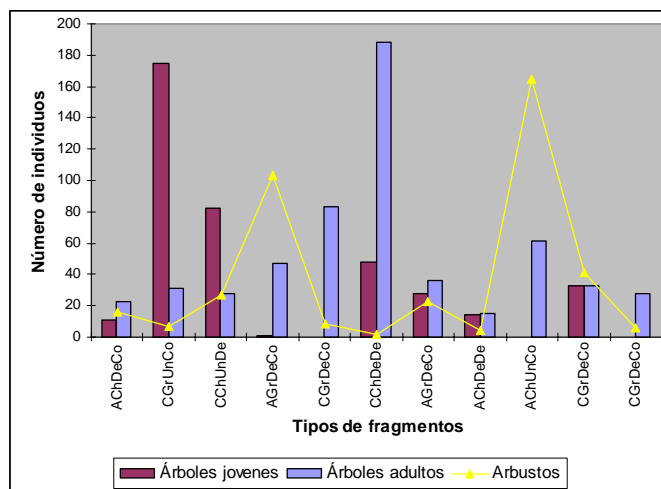


Figura 5.2. Número de árboles jóvenes, adultos y de arbustos

además, por una escasa riqueza de especies, entre las que dominan individuos de los géneros *Baccharis* y *Senecio*.

Es importante mencionar que si bien este patrón de fragmentación se distribuye dentro del cinturón de vegetación potencial de pino, muchos de los fragmentos forestales no corresponden a bosques remanentes de esa vegetación primaria, sino que con frecuencia se trata de antiguas reforestaciones –principalmente con individuos de *Pinus montezumae* y *Pinus patula*- que se hicieron para compensar la extracción en áreas donde se procura mantener el potencial de aprovechamiento forestal, o bien, para mejorar la fisonomía de áreas que han sido destinadas a la conservación con fines turísticos. Sin embargo, cabe destacar que estas comunidades tienen características fisonómicas y de funcionamiento próximas al de otras comunidades naturales.

Como es de esperar, la regeneración es característicamente alta, así lo demuestra el número de árboles jóvenes que está en el rango de 0 a 175 individuos menores de tres metros de altura (-0.68 a 3.27) y además, presenta una correspondencia de mayor regeneración en bosques cerrados. (Figura 5.2).

El escaso desarrollo del sotobosque en estas comunidades se explica por la falta de iluminación debida al dosel arbóreo cerrado como por las técnicas de corte y quema que se practican como parte del manejo forestal. Algunos pobladores comentaron que “cuando ya están muy grandes éstos arbustos impiden el crecimiento de los pinitos”. El uso recreativo también está generando buenas condiciones en los bosques, ya que la población procura extraer la madera de la reserva por medio de permisos para no dañar su imagen. Otro aspecto importante, es que no existen asentamientos humanos circunscritos en estos fragmentos; por lo tanto no hay una fuerte presión por parte de la población.

De este patrón de fragmentos, dos tipos de ellos llaman la atención por ser fragmentos de tamaño chico (CChUnDe y AChDeCo), y la explicación de que hayan presentado un estado de conservación está vinculado al cuidado y manejo que se hace de estos bosques; el primero es un bosque reforestado, en el cual actualmente hay un manejo forestal; y el otro, porque es parte de un la reserva ecológica.

5.1.2 Bosques en estado de regeneración

Corresponde a un patrón de fragmentación formado por 5 tipos de fragmentos de bosques abiertos y cerrados, de distintos tamaños y conectividad, aunque característicamente deformes (CChDeDe, AGrDeCo, AChDeDe, AChUnCo y CGrDeCo). Su origen se relaciona con el abandono de la actividad humana generadora de disturbio, así como con la puesta en marcha de un proceso de estabilidad y regeneración que los coloca en un estado funcional intermedio entre la estabilidad y el disturbio.

La morfología irregular de los fragmentos incrementa su exposición y sensibilidad al entorno. Sin embargo, los bosques corresponden al potencial natural y, en el caso de los fragmentos grandes, proporcionan mayor superficie de hábitat favoreciendo el intercambio de especies de flora y fauna.

Como es de esperar, la diversidad de tipos de fragmentos se refleja en una complejidad de información, la cual impidió identificar un patrón específico de la estructura vertical de la vegetación. Sin embargo, en términos generales, fue posible determinar que la comunidad vegetal característica consiste en bosques monoespecíficos de pino, con alta dominancia de entre 94 y 100% (-0.72 a 0.67), y con muy poca presencia de especies fitoindicadoras de perturbación por fuego, como el *Aile* y el *Arbutus* (Tabla 5.3 y Figura 5.2). En estas comunidades se presentan el mayor número de árboles adultos; sin embargo hay una variabilidad de número de árboles 15 hasta 188 individuos (-0.92 y 2.55), el estrato arbóreo es de talla mediana, con los individuos más altos de entre 7.44 y 13.75 m (-1.08 a 0.39) mientras que el promedio de las tallas promedio de la muestra fue de 12 m. De forma general, se puede indicar que no hay una tendencia en árboles maduros ya que su promedio de área basal varía entre 107 a 1,462 m² (-1.39 a 2.33) y la suma de ellas oscila entre 15,889 a 34,097 m² (-1.26 a 1.47).

En lo que respecta al sotobosque, si bien destaca por su escaso desarrollo, se observó que el estrato herbáceo también mostró una amplia variabilidad de la estructura y composición ya que la cobertura varía entre 15 y 95% (-1.40 a 1.69), y la riqueza se movió entre 7 y 13 especies (Tabla 5.3); además también expresó una menor diferencia del promedio entre las tallas y el área basal de los árboles adultos y los arbustos, ya que sus valores variaron entre 94.41 y 98.07 (0.005 a 0.69), y 520 y 4,837 m² (-0.49 a 0.82), respectivamente; lo cual sugiere un mayor desarrollo proporcional del sotobosque,

caracterizado además por una escasa riqueza de entre 1 y 5 especies (Tabla 5.3 y Figura 5.2) entre las que se encuentran individuos de los géneros *Baccharis*, *Senecio* y *Eupatorium*.

La diversidad de resultados se reflejó también en algunos indicadores del estado de los bosques y la regeneración forestal. Por ejemplo, mientras que el número de árboles jóvenes, menores de tres metros, varió entre 14 y 48 individuos en tres de los cinco tipos de fragmentos, en los otros dos se encontraron una nula presencia de regeneración. Sin embargo, fue posible identificar en campo, entre los principales están: los estratos herbáceos altamente desarrollados, así como los cultivos de papa que se introducen a la sombra del bosque, los cuales impiden el crecimiento de las plántulas de pino.

Es importante mencionar que, de la misma forma que el caso anterior, en éste, el patrón de fragmentación también se distribuye dentro del cinturón de vegetación potencial del bosque de pino; aunque muchos de los fragmentos corresponden a antiguas reforestaciones de *Pinus montezumae* y *Pinus patula*, las cuales presentan las características fisonómicas y funcionales propias de comunidades naturales maduras. Además, la distribución de este patrón coincide con la de los sistemas de usos del suelo agrícola y agrícola-pecuario, cuyos sistemas de manejo de recursos incluyen no sólo la expansión de cultivos y potreros sobre los remanentes forestales, sino también la introducción de estos tipos de aprovechamiento en el interior y a la sombra de los bosques.

En este patrón de fragmentos se observa que se repiten el de tipo CGrDeCo, lo cual obedece a que mientras uno de ellos es una reforestación joven, el otro es reforestación muy vieja; en la primera, las condiciones están dadas porque existe un sotobosque más desarrollado, y en el segundo no existe sotobosque dado que dentro del bosque se introduzca cultivos de papa, es por esta razón que se decidió mostrar ambas situaciones.

5.1.3 Bosques en estado de disturbio

Corresponde a un patrón de fragmentación caracterizado por una riqueza de 3 tipos de fragmentos de bosques abiertos, de tamaño chico: AChUnCo, AChDeCo y AChUnDe. Estas características hacen suponer, para ellos, una condición de menor estabilidad y mayor disturbio; en buena medida generada por la intensificación de las presiones

asociadas a los usos del suelo. La inestabilidad propia de estos ambientes es favorecida por la falta de protección asociada a una cobertura vegetal abierta o discontinua y al tamaño chico de los fragmentos que sugiere una pérdida de la superficie disponible para el hábitat. Además, los fragmentos de tamaño chico, característicamente deformes, están conectados por corredores sumamente angostos, lo que corresponden a condiciones morfológicas adversas -comúnmente laderas, barrancos, cauces, lomeríos- a los cuales representan obstáculos físicos del terreno (Figura 5.1)

La estructura vertical de las comunidades vegetales reflejan las condiciones negativas de su estructura espacial. Se trata de bosques pluriespecíficos con menor dominancia que varía de entre 87 a 100% (0.67 a -2.64), y la presencia de especies fitoindicadoras de perturbación por fuego, como el *Alnus* y el *Arbutus* que son frecuentes en el volcán (Tabla 5.3 y Figura 5.2). Las comunidades presentaron un número de árboles que varía entre 37 y 167 individuos (-0.48 a 2.13) y son de baja talla; el promedio de sus tallas varía entre 6.65 y 10.34 m (-1.26 a 0.41). De forma general se puede indicar que son bosques muy poco desarrollados ya que su promedio de área basal varía entre 153 a 491 m² (-1.26 a 0.34) y la suma de ellas varía entre 7,190 a 26,507 m² (-2.56 a 0.33). La razón de estas características obedece a que, casi todos los árboles son nativos, que enfrentan las condiciones geomorfológicas de estos lugares, por lo que son árboles gruesos y muy separados.

En lo que respecta al sotobosque, las condiciones desfavorables de estructura la reflejaron, por una parte el estrato herbáceo que aunque no presenta una tendencia clara ya que varía entre 35 y 70%, sí se identifican cambios notables de cobertura vegetal de los fragmentos, siendo la inferior al 50% en fragmentos cerrados y mayor a 60% en fragmentos abiertos; y también mostró una riqueza de entre 6 y 10 especies (Figura 5.2), y una mayor abundancia de pastos; por otro lado, menor diferencia entre las tallas promedio y la del área basal de los árboles adultos y los arbustos, ya que sus valores variaron entre 79.35 y 97.47 (-2.55 a 0.58) y 61 a 705 m² (-0.63 a -0.44) respectivamente, lo cual sugiere un mayor desarrollo proporcional del sotobosque, caracterizado además por una mayor riqueza de arbustiva entre las que dominan individuos de los géneros *Baccharis* y *Senecio*, *Eupatorium* y *Jarilla*.

Es importante mencionar que si bien este patrón de fragmentación se distribuye dentro del cinturón de vegetación potencial de pino, muchos de los fragmentos forestales no corresponden a bosques remanentes de esa vegetación primaria, sino que con frecuencia se trata de antiguas reforestaciones –principalmente con individuos de *Pinus montezumae* y *Pinus patula*- que se hicieron para compensar la extracción en áreas donde se procura mantener el potencial de aprovechamiento forestal o bien, para mejorar la fisonomía de áreas que han sido destinadas a la conservación con fines turísticos. Sin embargo, cabe destacar que estas comunidades tienen características fisonómicas y de funcionamiento próximas al de otras comunidades naturales.

La presencia de esta últimas especies de bosques refleja la alteración por fuego, por procesos de erosión del suelo y por la presión a la que están expuestos, debido a que están rodeados por parcelas de cultivo y, principalmente, por encontrarse entre poblados importantes como Los Pescados, El Conejo y Vidal Muñoz.

Como es de esperar, la regeneración es característicamente muy baja, como lo demuestra el hecho de que el número de árboles jóvenes está en el rango de 2 a 26 individuos menores de tres metros de altura (-0.63 a 0.09). Esto se debe en gran medida a que es una regeneración natural y además, porque las condiciones del relieve son adversas (laderas abruptas) en casi todos estos patrones de fragmentos. Se suma a lo anterior, que no hay un cuidado especial dentro de éstos bosques, ya que la mayoría son islas o remanentes de bosques antiguos que están prácticamente abandonados y sólo se han mantenido por las condiciones del relieve. Las especies que se están regenerando son *Pinus pseudostrobus* y *Pinus patula*.

El mayor desarrollo del sotobosque en estas comunidades se explica por la mayor iluminación debida al abierto dosel arbóreo, como por las técnicas de corte y quema que se practican como parte del manejo forestal, por lo cual los arbustos son más numerosos y más desarrollados. Por lo tanto, de forma general, estos bosques presentan matorrales que cubren una mayor superficie en los fragmentos. Otro aspecto importante es que existen asentamientos humanos muy próximos a estos fragmentos y por lo tanto hay una fuerte presión por parte de la población; de manera que, la distribución de estos de patrones de fragmentos coincide con las porciones de uso del suelo predominantemente agrícola, por lo cual, estos bosques están continuamente siendo reducidos en superficie

para dedicarla a los cultivos. Como se observa en el mapa, estos patrones de fragmentos han quedado como islas por lo que el intercambio tanto de energía como de especies está limitado por la forma y la ausencia de corredores y como efecto directo es menor la comunicación con masas forestales más grandes.

Para concluir, con basen en los resultados se puede especificar que las causas del disturbio son la apropiación de los recursos del suelo y del bosque ya que en este nivel de fragmentación es evidente la conversión de cubierta forestal para transfórmala en parcelas de cultivo y que a raíz de las diversas problemáticas socioeconómicas entre las poblaciones, actualmente se presenta un abandono total y, en algunos casos, una fuerte presión antrópica: agricultura, ganadería y urbanización.

5.2 Causas de la fragmentación

La fragmentación que se presenta en la zona ha sido resultado del proceso histórico de apropiación de la tierra en la zona y, en la actualidad, por la acción antrópica de los pueblos cercanos. Se pueden establecer cuatro grandes momentos espacio-temporales que dieron origen a la perturbación y fragmentación de los bosques de pino con aile en el volcán: 1) durante la Precolonia, los grupos étnicos locales obtuvieron de la zona los recursos naturales para cubrir sus necesidades de sobrevivencia; 2) en la Colonia se marcan los cambios drásticos en el paisaje, ya que hay una adaptación y transformación para la distribución de recursos, bienes y servicios; 3) en la Revolución Mexicana, por la dotación de tierras; y 4) desde su declaración como área natural protegida. Estas dos últimas etapas se caracterizan por la lucha de intereses económicos y de poder social (Robles, 1982).

De esta forma, el periodo analizado en este trabajo se caracteriza porque la fragmentación reciente del bosque de pino con aile es consecuencia directa de la dinámica socioeconómica de la población de las dos últimas etapas antes mencionadas.

La depresión económica que se presentó en 1973 y el cierre de aserraderos fueron los principales agentes causales de que la población haya tomado como alternativa económica el cultivo de la papa, ya fuera en sus propiedades desmontadas, o bien, en las que no lo estaban. Con todo esto, la actividad agrícola despegó con el apoyo de intermediarios de Perote y Puebla; a lo cual también se sumó la dotación de servicios

básicos como la apertura y construcción de carreteras para la distribución y comercio de la actividad papera. Así, el efecto de estas acciones, en el primer periodo de análisis de 1970 a 1980, es el incremento en el número de fragmentos, ya que pasó de 197 a 231. En el segundo periodo, de 1982 a 1987, con la declaración de la veda forestal también se estimularon las actividades agropecuarias de forma tal que, de 231 fragmentos se incrementó a 256.

El periodo de 1990 a 2003 tiene como antecedente el intento de aprovechamiento forestal, con nulo éxito hasta antes de 1987, y posteriormente con poco resultado; sin embargo, la disminución del número de fragmentos obedeció a la gran reforestación que se llevó a cabo en toda la zona del volcán, principalmente, en aquellas parcelas abandonadas por su improductividad; y también en las orillas de los grandes fragmentos de bosque.

De lo anterior, los resultados indican que la fragmentación actual se caracteriza por presentar fragmentos *perturbados y naturales secundarios*. Los primeros se generaron a partir del disturbio por el desmonte para introducir parcelas de cultivo, la ganadería extensiva, incendios, y por el saqueo ilegal; los segundos son el resultado de áreas perturbadas donde la presión ha cesado, y por lo tanto, hoy en día hay una regeneración a tal grado que los bosques ya tienen un funcionamiento evidentemente natural.

DISCUSION

La participación que tienen los sistemas de usos del suelo forestal, agrícola, pecuario, agrícola-pecuario y habitacional en el deterioro y conservación de los bosques templados del volcán Cofre de Perote también han sido reportados por otros autores para otras partes del mundo (Lambin *et al.*, 2001; Turner *et al.*, 2001). Los resultados de este trabajo coinciden con el planteamiento de estos autores que sugieren que la combinación de la expansión de la agricultura, la extracción ilegal y el crecimiento de las áreas urbanas son la causa de la disminución de las cubiertas naturales. Sin embargo, para la zona estudiada hay que agregar que estos sistemas son el reflejo de la expansión de la actividad pecuaria, la falta de alternativas de empleo, la variabilidad de los periodos de producción agrícola y fuertes problemas de tenencia de la tierra; éstas, son situaciones que históricamente conformaron la relación entre los pobladores y el uso y aprovechamiento del suelo y de los recursos forestales en la zona.

Algunos autores (Bocco *et al.*, 2001; Jansky *et al.*, 2002) coinciden en que la accesibilidad disminuye a partir de altos gradientes topográficos y altitudinales (>3,500 msnm) y también, que las restricciones legales (Giménez de Azcárate *et al.*, 2003) limitan el desarrollo agropecuario. En el caso de los bosques templados del volcán esta situación es parcialmente concordante, sin embargo se identificaron las siguientes particularidades. Sin bien el decreto que señala como área protegida a la zona comprendida a partir de los 3,000 msnm y las condiciones de inaccesibilidad en las laderas altas son dos factores que han determinado hasta cierto punto una “estabilidad y conservación” de las cubiertas de vegetación madura con uso forestal disperso del bosque de pino de alta montaña, de los pastizales de alta montaña y parte del bosque de pino con aile; es evidente que existe un impacto generado por la tala ilegal, los incendios generados para poder extraer la madera de forma legal y la introducción de ganado; por lo tanto, las restricciones a la zona de conservación son frecuentemente violadas y evidencian la falta de vigilancia por parte de las autoridades, la carencia de fuentes de empleo y la problemática de la tenencia de la tierra.

Las cubiertas de vegetación madura con uso forestal disperso de bosque de pino con aile, bosque de coníferas y el bosque de oyamel, destacan por ser las que mayor impacto presentaron, el cual ha sido generado tanto por el avance de la frontera agrícola, por la

introducción de la actividad pecuaria como actividad alterna a la agricultura, por la tala ilegal y por la falta de programas de aprovechamiento forestal y la constante presión que ejerce la población sobre estos bosques dada su proximidad a ellos. De esta forma, en la zona de estudio se confirma el planteamiento de Farina (1998) y Galicia y García-Romero (2007), quienes indican que la matriz del paisaje ejerce un fuerte control sobre la dinámica de la zona, reflejándose por una alta conversión generada por la pérdida de superficie 39,466 ha, y a la dinámica reciente de las coberturas del suelo que mostró una tendencia de expansión del cultivo con 11,488 ha (29.13%) y del pastizal cultivado con 9,018 ha (22.87%).

Las cubiertas de bosque abierto de pino con aile, el pastizal inducido, las canteras y los asentamientos humanos, también reflejaron un proceso de expansión; sin embargo, no tan significativo como los sistemas de agricultura y ganadería. Esta situación corresponde en parte a una larga historia de expansión y diversificación de los usos del suelo en el volcán (Bocco *et al.*, 2001). No obstante que sí existe un número importante de localidades en el volcán, su crecimiento urbano no ha repercutido de forma considerable en la pérdida de las cubiertas forestales; más bien, este proceso de expansión es la respuesta a la improductividad de los suelos por la falta de nutrientes y de manejo (Goldberg, 1983). Ante esta situación la población y el gobierno federal han impulsado la introducción del ganado vacuno, el cual tampoco ha rendido frutos importantes; caso contrario es la actividad de extracción de materiales ya que la apertura de canteras se ha presentado desde 1980 como alternativa de empleo por parte de muchos pobladores de la zona.

De acuerdo con Jardel (*s.d.*), el problema de la deforestación en el volcán Cofre de Perote inició en tiempos de la Colonia Española, y se intensificó desde finales del siglo XIX. Desde entonces, las políticas forestales del gobierno federal han fallado frente al incremento de la demanda, la falta de oportunidades económicas, la tala clandestina y la corrupción (Bocco *et al.*, 2001; Works y Hadley, 2004). Con este trabajo se reafirma lo ya planteado por estos autores; sin embargo, con los resultados obtenidos es posible especificar los bosques de mayor impacto. De esta forma se identificó la pérdida de 39,466 ha de cubiertas vegetales, principalmente de bosque de pino con aile del cual se perdieron 22,656 ha (-57.45%), le sigue el bosque de coníferas y latifoliadas con 12,833 ha (-32.54%) y, finalmente, el bosque de oyamel con 3,944 ha (-10.01%).

Esta dinámica de estabilidad, expansión y conversión de las cubiertas del suelo en el volcán Cofre de Perote y su impacto en los recursos forestales, obedece principalmente a los cambios recientes en el manejo de recursos de las actividades agrícolas (Toledo *et al.*, 1989; Serrão *et al.*, 1996; Rzedowski, 1998; Ochoa-Gaona y González, 2000; Preston *et al.*, 2003). Sin embargo, en las últimas décadas, la caída en los precios de la papa y la falta de programas de desarrollo y subsidios a la agricultura (Toledo *et al.*, 1989; Ochoa-Gaona y González, 2000) incrementaron la pobreza, el atraso, la marginación y la vulnerabilidad (Giménez de Azcárate *et al.*, 2003), así como la frecuencia y duración de los periodos de abandono (Bocco *et al.*, 2001). Ante esta situación la respuesta emergente por parte del gobierno ha sido el otorgamiento de permisos de explotación en zonas de reserva y la promoción de actividades económicas alternas como la ganadería.

Los resultados que se han presentado en esta investigación complementan de forma importante el estudio de fragmentación que se ha realizado en el volcán Cofre de Perote. Mientras Williams-Linera *et al.* (2002), abordaron las causas y consecuencias de la fragmentación del bosque mesófilo de montaña en parte de la ladera oriente del volcán, el presente trabajo de tesis proporciona la parte faltante del contexto para el bosque templado de pino con aile, los cuales se distribuyen la mayor parte del volcán, en la porción restante de las laderas del volcán.

Los resultados expuestos durante el desarrollo de esta investigación reafirman el planteamiento de los autores ya mencionados. Aún cuando son comunidades que bioclimáticamente funcionan de forma distinta, se identificó que de igual forma, los bosques templados históricamente han sido seriamente fragmentados (González de Cossío, 1957). Así, la pérdida del bosque de pino con aile reveló que durante el periodo de 33 años se perdió el 57.45% de esta cubierta, mientras que la pérdida del bosque mesófilo fue del 90%.

Mientras que las causas de la fragmentación y la pérdida del bosque de pino con aile en la zona fría y templada del volcán son debidas al uso agrícola para el cultivo de la papa y a la falta de programas de aprovechamiento forestal, las causas que han determinado la disminución de los bosques mesófilos están relacionadas directamente al crecimiento urbano (González de Cossío, 1957).

En todo el volcán los suelos más fértiles y de menor pendiente son los que mayor pérdida de coberturas naturales presentan; contrario a ello, en las áreas donde las pendientes son más fuertes existe menor disminución de superficies de bosques templados. De continuar esta tendencia se podría llegar a situaciones ya documentadas, como en el caso de algunos bosques de Costa Rica, en donde se identificó que los bosques en un primer momento se removieron completamente de las pendientes suaves (0-5%) pero que actualmente aún en las pendientes más abruptas (>60%) se cuenta con menos de una tercera parte del área total del bosque original (Sader y Joyce, 1988). En este contexto, la única condición que evitará el avance de la fragmentación es la condición de los bosques que están protegidos por el decreto de la zona de reserva, lo cual implica que los bosques de pino con aile que se encuentran distribuidos a menos de los 3,000 msnm son los que corren el mayor peligro de desaparecer.

Los fragmentos de bosque de pino con aile abiertos y chicos que están vinculados al sistema agrícola y forestal, también están muy próximos a las poblaciones; estos fragmentos son los que mayor disturbio revelaron. Mientras que en el caso de los fragmentos de bosque mesófilo son de tamaño grande y se encuentran relativamente alejados de zonas urbanas.

En otros bosques, se ha documentado que la apertura de caminos son el agente causal de la desaparición del bosque debido a la fragmentación y al acceso fácil para la deforestación y colonización (p. e. Costa Rica: Sader y Joyce, 1988; Perú: Young, 1994). Con base en la fragmentación analizada, tanto en esta investigación como en la de la porción del bosque mesófilo, se puede decir que existe una similitud en la causa de la fragmentación, ya que en los bosques de pino con aile, durante el auge papero, la construcción de vías de comunicación y la dotación de servicios generó una fragmentación importante.

De acuerdo con Burel y Baudry (2002) las características de forma, tamaño y conectividad son influenciadas por la matriz que los rodea; sin embargo, la fragmentación del bosque de pino con aile del volcán de Perote también está determinada por la influencia que tiene el relieve, ya que, por la forma del volcán, se aprecia un cinturón de vegetación muy similar al potencial, mismo que favorece hasta cierto punto la conectividad, una alta deformidad y fragmentos de grandes superficies.

La fragmentación de los bosques de pino con aile se caracteriza porque la frontera agrícola se ha ampliado en detrimento de los fragmentos grandes generado con ello numerosos fragmentos chicos. Al mismo tiempo, la forma que van tomando los fragmentos en el espacio y en el tiempo, obedece a las limitaciones que generan la variabilidad de pendientes y de barrancos; éste último aspecto, está relacionado con la conectividad que presentan los fragmentos, ya que, de la influencia de estas condiciones de relieve, la conectividad espacial se expresa en corredores alargados que corresponden a pequeños cauces de ríos o bien a barrancos. Esta situación parcialmente confirma, una vez más, que en los bosques templados mexicanos la agricultura y la influencia de las zonas pobladas explican el proceso de fragmentación (Ochoa-Gaona y González, 2000); ya que, en este caso, el relieve tiene un papel importante en la función de la conectividad.

Como lo reflejan otros estudios en el mundo y en México (Forman y Godron, 1986; Ochoa-Gaona y González, 2000), las causas de la fragmentación identificadas en la zona de estudio, son evidentemente culturales y antrópicas. Esto se corroboró a través del análisis cartográfico y mediante la comunicación directa con la población, la cual reafirmó que las actividades agrícolas, ganaderas, la extracción de árboles y de materiales para construcción, son las actividades que realizan los pobladores de la zona para subsistir (Reyes *et al.*, 2006).

De esta forma, se puede concluir que la realidad reflejada por la dinámica socioeconómica y la determinación de sistemas de uso de suelo concuerdan con el planteamiento teórico de Rudel (1998), el cual establece que la ausencia de oportunidades económicas alternativas y el aumento del número de casas obliga a la gente a abrir tierras para el cultivo.

CONCLUSIONES

Desde una perspectiva dinámica, la vegetación madura con uso forestal disperso, reveló las pérdidas más trascendentes en todo en el periodo de 1970 a 2003. Los grupos de cubiertas que ganaron superficie, al sustituir al área forestal, son aquellas que se relacionan con las actividades humanas: las de vegetación cultivada con uso extensivo y las no vegetales con uso extensivo.

La pérdida considerable de las cubiertas forestales de vegetación madura puede explicarse, principalmente, por auge del cultivo de papa que se dio desde 1960 y que tuvo repercusiones evidentes para 1970, logrando momentos clímax en los años de 1970, 1976, 1981 y 1984. Así, el ritmo y condiciones alternas de estos momentos de esta actividad se tradujo en el desmonte para introducir los cultivos, principalmente en la porción fría del volcán; la cual se localiza entre las zonas de distribución del bosque de pino con aile y la del bosque de oyamel, principalmente entre los Poblados Los Altos, El Conejo y Los Pescados.

El bosque de pino con aile del volcán Cofre de Perote, Veracruz es un ecosistema que actualmente se distribuye en 247 fragmentos de bosque básicamente producto de reforestaciones viejas; sin embargo, se caracteriza porque ya presentan un funcionamiento casi natural.

También se identificó que los sistemas del uso forestal disperso y el agrícola se relacionan de forma directa con la fragmentación actual de los bosques de pino con aile. De esta forma, los fragmentos abiertos y deformes reciben una muy alta influencia de los cuatro sistemas de uso de suelo. Los de tipo cerrado y muy deformes son afectados, principalmente, por los sistemas forestal y agrícola. Los de tipo abiertos y medianos, son influenciados principalmente por el sistema pecuario y agrícola pecuario. Y finalmente, a de tamaño chicos y deformes los impacta el sistema agrícola y el agrícola–pecuario.

De esta forma, los fragmentos pequeños, que son los más numerosos precisamente caracterizan áreas de bosques remanentes pequeños en paisajes agrícolas densamente poblados. Los fragmentos grandes corresponden a zonas menos accesibles, como a la

zona de conservación o es propiedad comunal; por lo cual no es posible explotar los recursos forestales de forma arbitraria.

La fragmentación en la zona de estudio ha sido generada como un proceso y una transformación que han sufrido los bosques templados del volcán Cofre de Perote, principalmente los bosques de pino con aile. Aún cuando hay un alto grado de pérdida de superficie forestal, sigue persistiendo un cinturón de vegetación muy similar al potencial; mismo que presenta hasta cierto punto una continuidad.

Tres patrones de fragmentación, y la estructura vertical de los bosques evidenciaron tres estados funcionales: el de conservación, que está estrechamente relacionado con una vegetación natural o reforestada madura; el estado de regeneración, propiciado por una vegetación secundaria que resultan de las áreas perturbadas donde la presión ha cesado y, finalmente, el estado de disturbio, mismo que está vinculado al impacto ya sea natural o cultural.

La conservación del bosque, así como su regeneración es característica de fragmentos grandes y conectados, ya que en ellos se presentan los árboles de mayor tamaño con mayor área basal y sin presencia de individuos indicadores de fuego; en contraparte se identificó que la perturbación se presenta con mayor frecuencia en fragmentos pequeños y desconectados, por ello las variables del sotobosque revelaron que son más sensibles a la fragmentación, ya que su sotobosque presenta mayor desarrollo de gramíneas y de arbustos.

Para finalizar, se puede concluir que en el área de estudio la fragmentación forestal que afecta a los bosques de pino con aile es tipológica y espacialmente diferencial, y se caracterizó por once tipos de fragmentos. Estos, a su vez, reflejan tres distintos estados funcionales más o menos próximos a una situación de estabilidad y conservación de las áreas forestales.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, E. Y. (1997), *Recomposición de la producción y del mercado de la madera en el Cofre de Perote*, Tesis de maestría en ciencias en desarrollo rural regional, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Méx.
- Altieri, M. A. (1999), *Agroecología, Bases científicas para una agricultura sustentable*, Nordan Comunidad, Editorial Cooperativa Uruguaya.
- Armesto, J. J., C. Smith-Ramírez, P. León y M. T. K. Arroyo (1992), "Biodiversidad y conservación del bosque templado en Chile", *Ambiente y Desarrollo* 8: 19-24.
- Bastian, O. y M. Röder (1998), "Assessment of landscape change by land evaluation of past and present situation", *Landscape and Urban Planning* 41: 171-182.
- Berry J. K. (2000), "Usando medidas para analizar la fragmentación de bosques", *Geoinformación* 11.
- Bocco, G., A. Velázquez y A. Torres (2000), "Comunidades indígenas y manejo de recursos naturales, Un caso de investigación participativa en México", *Interciencia* 25(2): 9-19.
- Bocco, G., M. Mendoza y A. Velásquez (2001), "Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping - a tool for land use planning in developing countries", *Geomorphology* 39: 211-119.
- Bolós, M. (1992), *Manual de Ciencia del Paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones*, Ed. Masson, Barcelona, España.
- Burel, F. y J. Baudry (2002), *Ecología del Paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. Ediciones Mundi-Presa, Madrid, España.
- Challenger, A. (1998), *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. CONABIO, México.
- Chávez-Mejía, M. C., G. Nava-Bernal, L. Velázquez-Beltrán, Y. Nava-Bernal, J. Mondragón-Pichardo, H. Carbajal-Esquivel, A. M. Pedraza-Fuentes, B. G. Reyes-Reyes, C. Arriaga-Jordán (2001), "Agricultural research for development in the mexican highlands: collaboration between a research team and campesinos", *Mountain Research and Development* 21(2): 113-117.
- Crawley, M. J. (1998), *Plant ecology*, 2a ed., Blackwell Science, Oxford.
- Delin, A. E. y H. Andren (1999), "Effects of habitat fragmentation on Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in a forest landscape", *Landscape Ecology* 14(1).
- Douglas, O. F (2000), "Forest fragmentation in Loudoun County, Virginia, USA evaluated with multitemporal Landsat imagery", *Landscape Ecology* 16: 627-642.
- Duch, J. A., A. Bayona, C. Labra y A. Gama (1981), "Sistema de evaluación de las tierras para la determinación del uso potencial agropecuario y forestal en México", *Geografía Agrícola* 1: 21-46.
- Fahrig, L. (2003), "Effects of habitat fragmentation on biodiversity", *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 34: 487-515.
- Farina, A. (1998), *Principles and methods in landscape ecology*, Chapman & Hall, London, UK.

- Farina, A. (2000), *Landscape ecology in action*, Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, USA.
- Forman, R. T. T. (1995), *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Forman, R. T. T. y M. Godron (1986), *Landscape ecology*, John Wiley and Sons, Nueva York.
- FRA (2005), *Terms and definitions*, Global Forest Resources Assessment Update, Forestry Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fragoso, A., A. Velásquez, B. Bocco y G. Cortés (2001), "El enfoque de paisaje en el manejo forestal de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México", *Investigaciones Geográficas* (Boletín del Instituto de Geografía, UNAM) 46: 58-77.
- Galicia, L. y A. García-Romero (2007), "Land cover and land use changes in highland temperate forest of Izta-Popo National park, central Mexico", *Mountain Research and Development* 27(1): 48-57.
- Galicia, L., A. García-Romero, L. Gómez-Mendoza y M. I. Ramírez (2007), "El cambio de uso del suelo como factor de degradación ambiental: una perspectiva geográfica", *Ciencia* 58 (4): 50-59.
- García de León, A. (1989), "La metodología del Valor Índice Medio", *Boletín del Instituto de Geografía-UNAM* 9: 69-87.
- García Rubio, G., B. Shmook e I. Espejel-Carvajal (2005), "Dinámica del uso del suelo en tres ejidos cercanos a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo", *Investigaciones Geográficas* (Boletín del Instituto de Geografía, UNAM) 58: 122-139.
- García-Romero, A. y J. Muñoz (2002), *Métodos y técnicas para el estudio del territorio: el paisaje en el ámbito de la geografía*, Temas Selectos de Geografía de México, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Gerez, P. (1994), "Bosques, vedas y cultura forestal en el Cofre de Perote, ¿En verdad funcionan las vedas? Parece que no", *La Jornada Ecológica*, 13 de septiembre, Página cuatro.
- Giménez de Azcarate, J., M. L. Ramírez y M. Pinto (2003), "Las comunidades vegetales de la Sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México, México): clasificación, composición y distribución", *Lazaroa* 24: 87-111.
- Golberg, A. D. (comp.) (1983), *El Cofre de Perote. Investigaciones ecológicas en un área conflictiva*, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Ver, México.
- González de Cossío, F. (1957), *Xalapa. Breve reseña histórica*, Talleres Gráficos de la Nación, México.
- Gragson, T. (1998), "Potential versus actual vegetation: human behavior in a landscape medium", en: BALÉE W. (ed.), *Advances in historical ecology*, Columbia University, New York, USA.
- Gu, W. D., R. Heikkilä e I. Hanski (2002), "Estimating the consequences of habitat fragmentation on extinction risk in dynamic landscapes", *Landscape Ecology* 17: 699-710.

- Guardia, F. y G. Alberola (2007), *Estructura de la vegetación de un bosque nuboso del Parque Nacional Volcán Barú*, (Edición digital para dominio público) Tesis de Biología Ambiental, Escuela de Biología, Universidad de Panamá, Centro de Estudios de Recursos Bióticos, Universidad de Panamá.
- Hernández, M. A (1984), *Estructura y regeneración del bosque natural de oyamel (Abies religiosa (H.B.K) Scht. Et. Cham.) en el Cofre de Perote, Ver.*, Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de Agronomía, Departamento Forestal, Coahuila, México.
- Hoffmann, O. (1984), "Geografía diversificada de los altos de Veracruz, el municipio de Xico", INIREB-ORSTOM (LIDER).
- INEGI (2005), *II Censo de población y vivienda*, Principales resultados por localidad (ITTE).
- Jansky, L., J. Ives, K. Fururyashiky y T. Watanabe (2002), "Global mountain research for sustainable development", *Global Environmental Change* 12: 231-232.
- Jardel, E. J. (1986), "Efecto de la explotación forestal en la estructura y regeneración del bosque de coníferas de la vertiente oriental del Cofre de Perote, Veracruz", *Biotica* (Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos) 11(4): 247-270.
- Kozakiewicz, A., M. Kozakiewicz y B. Choszczewska (1992), "Small mammal communities of the nature reserve "Luknajno Lake" coastal zone", *Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody* 11: 121-130.
- Kurttila, M., J. Uutera, S. Mykrä, S. Kurki y T. Pukkala (2002), "Decreasing the fragmentation of old forests in landscapes involving multiple ownership in Finland: economic, social and ecological consequences", *Forest Ecology and Management* 166(1-3): 69-84.
- Lagunes, F. y D. Hernández (1994), *Análisis estructural de dos bosques naturales de Abies religiosa y Pinus montezumae-Pinus teocote, en el Ejido Rancho Nuevo, municipio de Perote, Ver.*, Tesis, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Xalapa, Ver. México.
- Lambin, E. F., B. L. Turner, H. J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P. S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skånes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkamp, C. Vogel, C. y J. Xu (2001), "The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths", *Global Environmental Change* 11(4): 261-269.
- López, H. (2004), *El uso de las principales especies forestales en el ejido El Conejo, municipio de Perote Ver*, Tesis, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Xalapa, Ver., México.
- Mas, J. F. y J. Correa-Sandoval (2000), "Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida "Los Retenes", Campeche, México", *Investigaciones Geográficas* (Boletín del Instituto de Geografía, UNAM) 43: 41-59.
- Matteucci, D. S. y A. Colma (1982), *Metodología para el estudio de la vegetación*, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C.
- MOPT (1992), *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente, Madrid, España.

- Moreno, M. A. (1997), *Propuesta para la optimización del servicio de abastecimiento público de agua en el ejido Agua de los Pescados, municipio de Perote, Ver*, Tesis, Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, Xalapa, Ver., México.
- Mostacedo, B y T. Fredericksen (2000), *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*, Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR), Bolivia.
- Muñoz-Villers LE, López-Blanco J. 2007. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropicaland biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing* (29:71-93).
- Narave, F. H. (1985), "La vegetación del Cofre de Perote", *Biótica* (Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos) 10(1): 35-63.
- Noss, R. F. (1991), "Landscape connectivity: different functions and different scales", en: Hudson, W. E. (ed.), *Landscape linkages and biodiversity*, Island Press, Washington D.C.
- Ochoa-Gaona, S y M. González (2000), "Land-use and deforestation in the highlands of Chiapas", *Applied Geography* 20, 17-42.
- Pickett, S. y M. L. Cadenasso (1995), "Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems", *Nature* 269: 331-334.
- Preston, D., J. Fairbairn, N. Paniagua, G. Maas y M. Yevara (2003), "Grazing and environmental change on the Tarija Altiplano, Bolivia", *Mountain Research and Development* 23: 141-148.
- Reyes, H., M. Aguilar, J. R. Aguirre e I. Trejo (2006), "Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000", *Investigaciones Geográficas* (Boletín del Instituto de Geografía, UNAM) 59: 26-42.
- Robles, M. (1982), *Análisis del aprovechamiento de la madera de la región del Cofre de Perote, Veracruz*, Tesis de licenciatura, Facultad de ciencias, UNAM.
- Rosell, C., G. Alvarez, S. Cahill, R. Campeny, A. Rodríguez y A. Séiler (2002), *COST 341, La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España*, Ministerio de Medio Ambiente, Informe inédito, Madrid.
- Rudel, T. K. (1998), "Is there a forest transition? Deforestation, reforestation, and development", *Rural Sociology* 63: 533-552.
- Rzedowski, J. (1978), *Vegetación de México*, Limusa, México.
- Rzedowski, J. (1998), "Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México", en: Rammamoorthy, T. P., R. A. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.), *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*, Instituto de Biología, UNAM, México.
- Sader, S. A. y A. T. Joyce (1988), "Deforestation rates and trends in Costa Rica, 1940 to 1983", *Biotropica* 20: 11-19.
- SEMARNAP (1998), *Inventario nacional de los recursos naturales*. SEMARNAP, México.
- Serrão, E., D. Nepstad y R. Walker (1996), "Upland agricultural and forestry development in the Amazon: sustainability, criticality and resilience", *Ecological Economics* 18: 3-13.
- Smethurst, D. (2000), "Mountain Geography", *The Geographical Review* 90(1): 35-56.

- Soto-Mora C., L. Fuentes-Aguilar y A. Coll-Hurtado (1992), *Geografía Agraria de México*, Instituto de Geografía, UNAM.
- Southworth, J., D. Munroe y H. Nagendra (2004), "Land cover change and landscape fragmentation: comparing the utility of continuous and discrete analyses for a study area in Western Honduras", *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101: 185-205
- Terradas, J. (2001), *Ecología de la vegetación*, Omega, Barcelona.
- Toledo, V. M., J. Carabias, C. Toledo, C. González-Pacheco (1989), *La producción rural en México: alternativas ecológicas*. Colección Medio Ambiente 6, Fundación Universo Veintiuno, México.
- Turner, M. G., R. H. Gardner y R. V. O'Neill (2001), *Landscape Ecology in theory and practice*, Springer-Verlag, New York.
- Valeska, S (s. d.), *Fragmentación y su efecto sobre la densidad y diversidad de especies vegetales presentes en el sotobosque, en Caramavida octava región*, Universidad de Chile, Ecología de Ambientes Fragmentados.
- Vargas, M. F (1997), *Parques Nacionales de México*, vol. II Región Norte y Sur, Instituto Nacional de Ecología – SEMARNAT, México.
- Veldkamp, A. y E. F. Lambin (2001), "Predicting land use change", *Agriculture Ecosystems and Environment* 85(1-3): 1-6.
- Williams-Linera, G., R. H. Manson y E. Isunza (2002), "La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México", *Madera y Bosques* 8: 73-89.
- Works, M. A. y K. Hadley (2004), "The cultural context of forest degradation in adjacent Purepechan communities, Michoacan, Mexico", *The Geographical Journal* 170(1): 22-38.
- Young, K. R. (1994), "Roads and the environmental degradation of tropical montane forests", *Conservation Biology* 8: 972-976.