

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca

Sergio Franco Maass<sup>1</sup>

Héctor Hugo Regil García<sup>2</sup>

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz<sup>3</sup>

## RESUMEN

Pese a la plena conciencia sobre los graves problemas de deforestación que sufren los bosques mexicanos, existen muy pocos estudios detallados que permitan identificar, de forma precisa, las dinámicas de perturbación-recuperación a que estos ecosistemas se encuentran sujetos. El presente trabajo, plantea una metodología detallada para analizar los procesos de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo, del Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT) para el periodo 1972-2000 aplicando métodos de cartografía automatizada y procesos de reclasificación. Se estimó una tasa de deforestación de 8,4% para dicho periodo, con un cambio en más de 2,000 ha y una pérdida anual de superficie forestal cercana a 156 ha. Se estimaron además las probabilidades de transición, a fin de conocer la disminución y/o incremento en la densidad de las zonas forestales, y en consecuencia, la dinámica de perturbación-recuperación forestal. Finalmente, fue posible caracterizar los procesos de deforestación de una de las áreas naturales protegidas más emblemáticas de México.

### PALABRAS CLAVE:

Cambios de cobertura forestal, Parque Nacional Nevado de Toluca, perturbación, recuperación, uso del suelo y vegetación.

## ABSTRACT

Despite the severe problems of deforestation that suffer the forests in México, there are only a few detailed studies to identify, in a very precise manner, the dynamics of disturbance or recovery of such ecosystems. In the present work, a detailed methodology to analyze the land cover change in the Nevado de Toluca National Park is presented. With the aid of Geographical Information Systems and the production of two land cover maps of the national park for two different years (1972 and 2000), it was possible to obtain a map of changes. The transition observed in this map was then re-classified with a loss or gain criteria and, with this, it was possible to obtain a final map of forest disturbance-recovery. The national park presented a deforestation rate of 8,4%, with a land cover change of more than 2 000 hectares along the period.

### KEY WORDS:

forest cover change, Nevado de Toluca National Park, disturbance, recovery, land use and vegetation.

- 1 Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias (CICA) Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario núm. 100 Col Centro, C. P. 50000 Toluca, Estado de México, México.  
Ce:serfm@uaemex.mx
- 2 Ce:hregil@hotmail.com
- 3 Estudiante de Doctorado en Ciencias Biomédicas del Instituto de Ecología, UNAM  
Ce:bordonez@oikos.unam.mx

## INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT) constituye una de las principales zonas de reserva de recursos naturales del Estado de México. El crecimiento de la población del Valle de Toluca y la proliferación de asentamientos humanos y de actividades productivas dentro del parque, han afectado seriamente la zona forestal, poniendo en peligro la supervivencia de un importante patrimonio ecológico.

Dentro de los principales factores que amenazan los bosques del PNNT destaca la tendencia al cambio de uso del suelo y la presión antrópica sobre los recursos forestales, lo que repercute en la disminución de la densidad del arbolado, la pérdida de la biodiversidad genética y ecosistémica, la proliferación de plagas y enfermedades y la afectación de los suelos. Sin embargo, de acuerdo con Rodríguez y Franco (2003), pese a la innegable relevancia del parque nacional como proveedor de servicios ambientales, no existen trabajos que permitan dimensionar las implicaciones inherentes a la pérdida de los recursos forestales de la región.

En este contexto, en el año 2002 se inició un proyecto para estimar la captura de carbono de las zonas forestales del parque nacional<sup>4</sup> y, uno de sus principales objetivos fue la generación de información muy detallada sobre el uso del suelo y vegetación, centrandose la atención en las dinámicas que intervienen en el proceso de deterioro o recuperación del bosque. El presente trabajo describe los procedimientos que permitieron la obtención de mapas de uso del suelo y vegetación para las fechas de 1972 y 2000; a

partir de ellos, se realizó una evaluación de la perturbación o recuperación que han sufrido los bosques regionales.

## OBJETIVO

Identificar, mediante la aplicación de técnicas de fotointerpretación digital y Sistemas de Información Geográfica, la dinámica de cambio de uso del suelo en el PNNT para determinar el grado de perturbación o recuperación forestal con base en el cambio de densidad del arbolado en el periodo 1972-2000.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

De acuerdo con Rodríguez y Franco (2003), el Parque Nacional Nevado de Toluca fue decretado en 1936 y forma parte del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Se localiza al suroeste del Valle de Toluca, entre los 18°57' y 19°13' de latitud norte y los 99°37' y 99°58' de longitud oeste. El parque se encuentra delimitado por la cota 3000 msnm, rodeando al volcán Xinantécatl, y se extiende sobre una superficie aproximada de 540 km<sup>2</sup>.

### Obtención de los mapas de uso del suelo y vegetación

La obtención de los mapas de uso del suelo y vegetación implicó dos procesos distintos: la conversión a formato digital de las cartas de Uso del Suelo y Vegetación, escala 1:50,000 publicadas por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) en 1972 y la elaboración en ambiente digital del mapa de Uso del Suelo y Vegetación del año 2000, mediante procedimientos de fotointerpretación de fotografías aéreas

4 El proyecto "Estimación de la Captura de Carbono en las Zonas Forestales del Parque Nacional Nevado de Toluca" fue realizado con el apoyo del CONACYT, Ref. 37022-V.

digitales escala 1:37,500 y el uso de ortofotos digitales del Instituto de Investigación e Información Geográfica Estadística y Catastral del Estado de México (IIIGEEM) escala 1:20,000.

### Sistema de clasificación de uso del suelo de CETENAL

Uno de los aspectos a tomar en consideración en la investigación fue la selección del esquema de clasificación a utilizar. En este contexto, la fuente de información de uso del suelo y vegetación más confiable y detallada disponible para la zona de estudio son las cartas que publicó CETENAL en 1972. Si bien es cierto que existen otras fuentes, ninguna ofrecía el nivel de detalle necesario para caracterizar las zonas forestales en función de la densidad del arbolado.

Las cartas de Uso del Suelo y Vegetación de 1972 constan de cuatro categorías principales de uso: agrícola, pecuario, forestal y asociaciones especiales de vegetación. Dentro del uso forestal destacan los bosques naturales que a su vez se diferencian en coníferas y latifoliadas, en función de la especie dominante (pino, oyamel y encino, principalmente). En este sistema de clasificación se maneja además el concepto de vegetación secundaria, es decir, comunidades originadas por la destrucción de la vegetación primaria que pueden encontrarse en recuperación o presentar un aspecto y composición diferente (CETENAL, 1976). Finalmente, el sistema de clasificación considera la combinación de claves en función de la dominancia de las especies. De acuerdo con la metodología de CETENAL, se maneja el Índice de Abundancia-Dominancia de Braun Blanquet (CETENAL, 1976) que, en términos generales, indica el grado de importancia de cada una de las especies de la comunidad y se determina de manera estimativa por:

1. Valor de cobertura bajo
2. Cobertura del 5% de la superficie
3. Cobertura entre 25 y 50% de la superficie
4. Cobertura entre 50 y 75% de la superficie
5. Más de 75% de superficie total.

Partiendo de los lineamientos generales de clasificación aplicados por CETENAL, se procedió a la fotointerpretación de fotografías aéreas digitales del año 2000. De esta manera fue posible asegurar la comparabilidad de las leyendas de los mapas de ambas fechas.

### Validación del Mapa de Uso del Suelo 2000

Un aspecto fundamental en todo proceso de fotointerpretación consiste en la verificación de los resultados obtenidos. Para ello se aplicó la siguiente metodología:

1. Determinación del tamaño de la muestra:

$$n = \frac{z^2 s^2}{L^2 + \frac{s^2 z^2}{N}}$$

Para determinar el tamaño de la muestra, se aplicó la ecuación descrita por Chuvieco (2002):

Donde  $n$  es el tamaño de la muestra,  $L$  es el intervalo de error tolerable,  $z$  la abscisa de la curva normal para un valor determinado de probabilidad,  $s^2$  la varianza muestral y  $N$  el tamaño de la población. Para calcular el tamaño de la muestra es necesario fijar un margen de error permitido ( $L$ ), un rango de probabilidad (que fija el valor  $z$ ) y estimar, de alguna manera, la varianza muestral ( $s^2$ ).

Para estimar el error del mapa, considerando un 95% de probabilidad y suponiendo que los aciertos son del 85%, y el máximo de error permitido es de  $\pm 5\%$ , el número necesario de puntos de verificación debía ser de 196.

## 2. Trabajo de campo:

Consistió en el levantamiento de información sobre la cobertura vegetal en 279 puntos de verificación. Para cada punto fue preciso registrar tanto la categoría de uso del suelo como la posición en coordenadas UTM (NAD 27) con un navegador GPS (Sistema Global de Posicionamiento). Es importante destacar que, con la finalidad de reducir al máximo el margen de error por la diferencia entre la realidad y la escala del mapa, fue preciso tomar los puntos de muestreo lo más alejado posible de los límites de rodal.

## 3. Matriz de confusión:

Para evaluar la precisión en la identificación de clases temáticas, se confrontaron los datos de campo con los rodales interpretados. De esta manera se elaboró una matriz de confusión que recoge los conflictos entre categorías. Se trata de una matriz bidimensional, en donde las filas se ocupan por las clases de referencia, y las columnas por las categorías deducidas de la interpretación, lógicamente ambas tendrán el mismo número y significado; en resumen es una matriz cuadrada  $n \times n$ , donde  $n$  indica el número de categorías. La diagonal de dicha matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce acuerdo entre las dos fuentes (fotointerpretación y realidad), mientras los marginales suponen errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total, expresa la

fiabilidad global del mapa. Los residuales en las filas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa, mientras los residuales en columnas implican cubiertas del mapa que no se ajustan a la realidad. De esta manera, representan errores de omisión y de comisión, respectivamente (USDA, 1995).

En términos generales, del total de 279 puntos de muestreo, 260 coinciden con la leyenda del mapa y 19 pertenecen a una categoría diferente. El mapa en cuestión presenta una confiabilidad del 93,19%, lo cual supera el nivel mínimo de validación cartográfica que es del 80%. En este sentido es posible afirmar que el mapa fue debidamente validado.

## **Análisis del cambio de uso del suelo y vegetación 1972-2000**

Como siguiente proceso para lograr determinar el grado de perturbación de las áreas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca, se realizó el análisis del cambio de uso del suelo y vegetación para el periodo 1972-2000. Para ello se siguió un procedimiento ajustado del propuesto por Bocco *et al.* (2001) basado en el análisis de la matriz de transición y de probabilidad de transición. Esto implicó la conversión de los mapas a formato matricial y el cruce tabular de los mismos con el programa de SIG IDRISI Kilimanjaro, creando así el Mapa de Cambio de Uso del Suelo y Vegetación y una matriz de transición que explica todos los cambios de cobertura sufridos en el periodo. Para efectos de la investigación, se obtuvo un mapa general de las transiciones sufridas por el bosque y tres mapas correspondientes a las transiciones de las asociaciones forestales más representativas del área de estudio: oyamel, pino y latifoliadas.

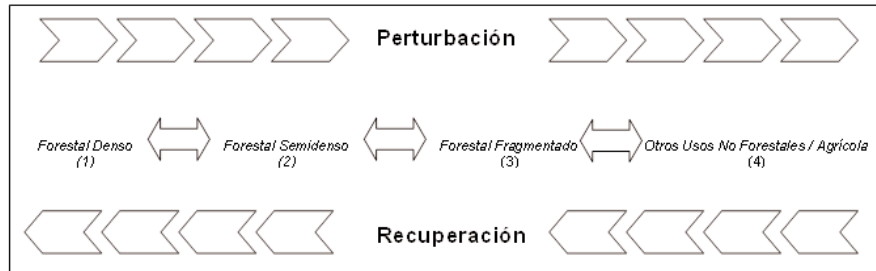


Figura 1. Dinámica de evolución de densidad para coberturas forestales

### Análisis de perturbación-recuperación forestal 1972-2000

Con base en los mapas de transiciones se procedió a generar los mapas de perturbación-recuperación.

El grado de deterioro o recuperación relativo a cada transición se determinó considerando el cambio de densidad de las distintas coberturas forestales (Fig. 1).

Tomando en cuenta el cambio sufrido por una de las coberturas, se definió su grado de pérdida o recuperación del arbolado. Por ejemplo, si se pasó de un bosque denso (1) a un bosque semidenso (2), se denominó como "perturbación moderada". Por otra parte, si se pasó directamente a un bosque fragmentado (3), se consideró como una "perturbación fuerte". Finalmente, si se pasó directamente a otros usos no forestales o agricultura (4), se asumió que se trataba de una "perturbación grave". Del mismo modo, se manejó el criterio en el sentido inverso, es decir, de la recuperación forestal, considerándose las categorías: recuperación baja, recuperación media y recuperación alta.

De esta manera se generaron los mapas definitivos con los cuales fue posible analizar la dinámica de perturbación-recuperación forestal.

### Obtención de la tasa de deforestación anual

Como dato complementario, se obtuvo la tasa de deforestación global y por especie forestal, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\ln \left( \frac{S_{2000}}{S_{1972}} \right)}{t}$$

Donde:  $S_{1972}$  es la Superficie forestal en 1972,  $S_{2000}$  es la Superficie forestal en el año 2000,  $t$  es la diferencia de tiempo en años,  $K$  la tasa de deforestación anual y  $\ln$  el Logaritmo natural (Rosete *et al.*, 1997).

## RESULTADOS

### El uso del suelo y vegetación 1972-2000

Como resultado de la reclasificación de los mapas con el sistema de clasificación de CETENAL se obtuvieron dos mapas con una leyenda similar de 14 categorías, haciendo énfasis en la densidad del arbolado para cada especie. Se aplicó el principio de dominancia y de la presencia o no de asociaciones secundarias de vegetación: los bosques en cuyas leyendas no

hay otra asociación vegetal, fueron considerados como *bosques densos*; los bosques que presentaban alguna asociación vegetal secundaria, agricultura o simplemente sin vegetación, fueron considerados como *bosques semi-densos*; cualquiera de las leyendas de asociaciones vegetales, agricultura o desprovista de vegetación en cuyas asociaciones secundarias aparece alguna cobertura forestal, fueron considerados como *bosques fragmentados*. Es importante destacar que, en el caso de categorías de la leyenda que incluían la combinación de dos especies forestales, se simplificó considerando tan solo la especie dominante. Por otra parte, dada su escasa cobertura en el área natural protegida, los bosques de aile y encino se agruparon para formar una sola categoría

de bosque de latifoliadas. Para efectos de simplificación en el análisis, se consideraron dos categorías adicionales: agricultura (incluyendo todas sus posibles combinaciones) y otros usos no forestales (incluyendo pastizales, matorrales inermes, zonas desprovistas de vegetación y cuerpos de agua).

La tabla 1 permite observar la cobertura en hectáreas de las 14 categorías de uso del suelo y vegetación en el año de 1972, y la figura 2 la distribución espacial de las zonas forestales en esa misma fecha.

De la misma manera, la tabla 1 y la figura 3 permiten conocer la superficie ocupada y la distribución de los bosques en el año 2000.

Tabla 1. Cobertura de los usos de suelo y vegetación en el PNNT 1972-2000

CATEGORÍA	1972 (HA)	%	2000(HA)	%
Agrícola	8 346,34	15,85	8 023,16	15,23
Forestal Oyamel Denso	13 301,44	25,25	13 040,22	24,76
Forestal Oyamel Semidenso	1 098,72	2,9	1 776,36	3,37
Forestal Oyamel Fragmentado	1 048,28	1,99	1 347,64	2,56
Forestal Cedro Denso	0,00	0,00	140,92	0,27
Forestal Cedro Semidenso	0,00	0,00	118,80	0,23
Forestal Cedro Fragmentado	0,00	0,00	37,56	0,7
Forestal Pino Denso	13 279,24	25,21	7 814,52	14,84
Forestal Pino Semidenso	3 676,8	6,98	5 667,32	10,76
Forestal Pino Fragmentado	2,339	4,44	4 691,48	8,91
Forestal Latifoliado Denso	859,64	1,63	1 060,52	2,1
Forestal Latifoliado Semidenso	1 175,12	2,23	963,24	1,83
Forestal Latifoliado Fragmentado	519,12	0,99	574,92	1,9
Otros usos no forestales	7 028,28	13,34	7 414,60	14,8

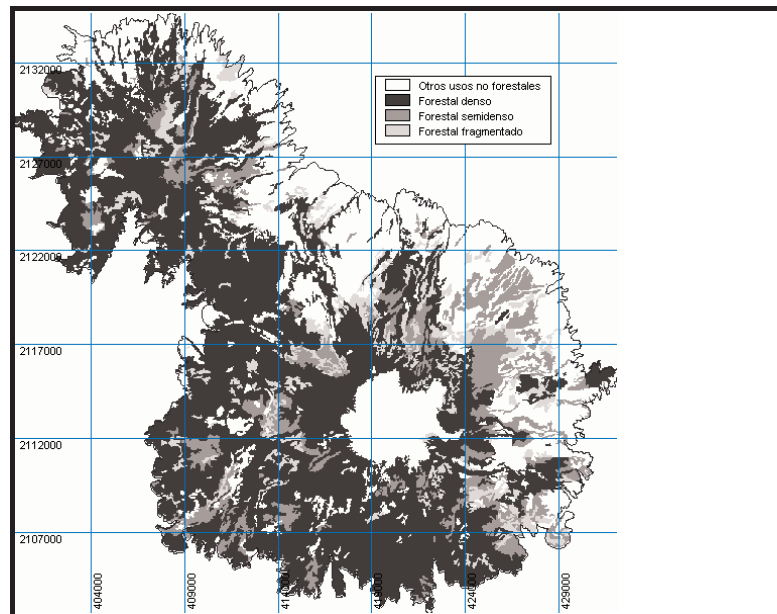


Figura 2. Distribución de bosques densos, semidensos y fragmentados en 1972

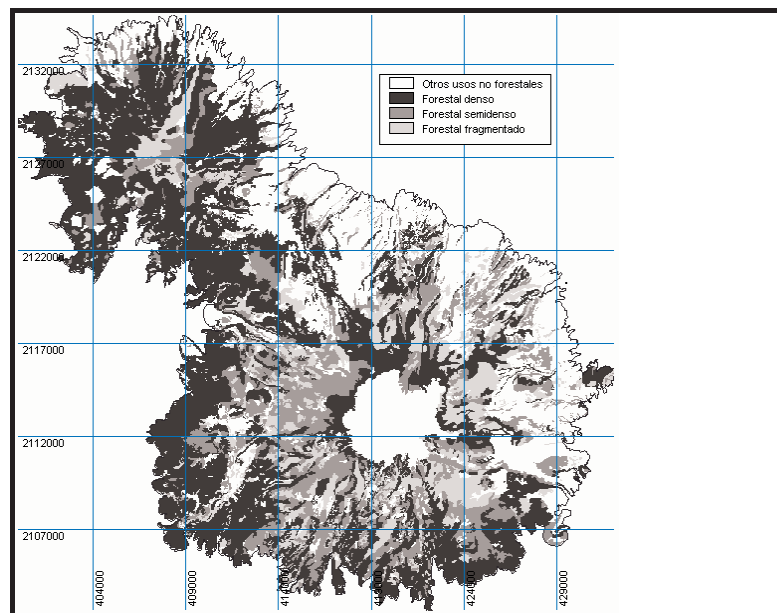


Figura 3. Distribución de bosques densos, semidensos y fragmentados en el año 2000

### El cambio de uso del suelo 1972-2000

La tabla 2 consiste en la matriz de transición que muestra los cambios sufridos en el uso del suelo y vegetación medidos en hectáreas para el periodo de 28 años que comprende el estudio.

### La perturbación-recuperación forestal 1972-2000

Para el análisis de perturbación-recuperación de los bosques en el área natural protegida se obtuvieron cuatro mapas, tres de los cuales

correspondieron a la dinámica de perturbación-recuperación de cada especie forestal, y uno a la perturbación-recuperación de manera global. La figura 4 permite observar la distribución general de las zonas boscosas que sufrieron algún grado de perturbación o recuperación.

La dinámica general de perturbación-recuperación de la cubierta forestal se puede apreciar en la tabla 3. Es evidente que existe un franco proceso de perturbación que supera por mucho las cifras de recuperación forestal.

Tabla 2. Matriz de transición de uso del suelo 1972-2000

		2000														
Agrícola	Oyamel Denso	Oyamel Semidenso	Oyamel Fragmentado	Cedro Denso	Cedro Semidenso	Cedro Fragmentado	Pino Denso	Pino Semidenso	Pino Fragmentado	Latifoliadas Denso	Latifoliadas Semidenso	Latifoliadas Fragmentado	Otros Usos	Área	Pérdida de superficie en la cobertura original	
																6192,92
93,92	10954,92	1139,92	790,96	0,00	2,28	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	319,32	13301,44	2346,52	
22,44	715,52	127,44	195,64	0,00	24,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,32	1098,72	971,28	
14,16	502,32	167,64	133,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	230,20	1048,28	914,32	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
202,20	0,00	0,00	0,00	34,44	0,00	3,56	6493,60	3749,76	2268,88	0,00	0,00	0,00	526,80	13279,24	6785,64	
166,40	0,00	0,00	0,00	0,12	12,76	0,00	741,00	1252,52	1241,44	0,00	0,00	0,00	261,84	3676,08	2423,56	
293,12	0,00	0,00	0,00	16,96	16,80	5,24	323,44	369,08	921,32	0,00	0,00	0,00	393,04	2339,00	1417,68	
53,60	0,00	0,00	0,00	5,92	0,40	0,40	0,00	0,00	0,00	426,84	244,48	82,32	45,68	859,64	432,80	
48,80	0,00	0,00	0,00	23,28	2,52	4,48	0,00	0,00	0,00	290,56	424,40	224,04	157,04	1175,12	750,72	
69,52	0,00	0,00	0,00	3,20	12,80	1,60	0,00	0,00	0,00	162,76	99,00	82,16	88,08	519,12	436,96	
866,08	650,68	183,72	141,64	11,72	18,76	1,04	220,04	248,16	225,68	58,48	97,04	125,60	4179,64	7028,28	2848,64	
1830,24	2085,30	1648,92	1213,68	140,92	118,80	37,56	1320,92	4414,80	3770,16	633,68	538,84	492,76	3234,96	52671,26		



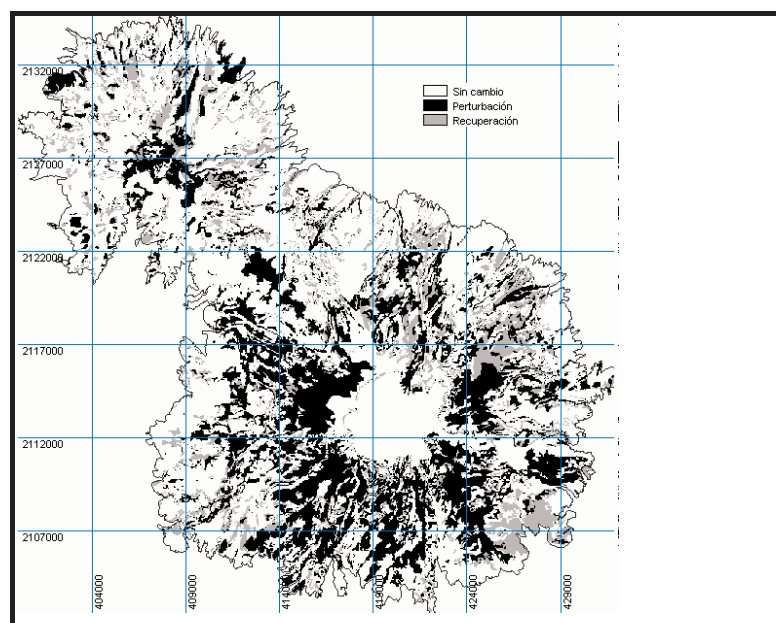


Figura 4. Distribución de las zonas de perturbación-recuperación en el periodo 1972-2000

**Perturbación-recuperación en oyamel 1972-2000:** La tabla 3 permite observar, de acuerdo con los criterios de reclasificación utilizados, la dinámica de perturbación-recuperación en

los bosques de oyamel. Es importante destacar que, dados los valores totales de perturbación y deterioro, esta especie se encuentra en un relativo equilibrio.

Tabla 3. Perturbación-recuperación de la cubierta forestal

PERTURBACIÓN-RECUPERACIÓN FORESTAL (HA)	OYAMEL	PINO	LATIFOLIADAS	TODAS LAS ESPECIES
Perturbación grave	413,24	729	109	1 241,52
Perturbación fuerte	826,72	3 053,96	288,16	4 173,44
Perturbación moderada	1 579,92	6 265,72	626,12	8 478,40
<b>Total</b>	<b>2 819,88</b>	<b>10 048,68</b>	<b>1 023,28</b>	<b>13 893,36</b>
Recuperación alta	867,44	259,48	180,36	1 364,28
Recuperación media	843,68	703,76	358,12	1 972,60
Recuperación baja	1 110,24	1 481,92	575,96	3 243,28
<b>Total</b>	<b>2 821,36</b>	<b>2 445,16</b>	<b>1 114,44</b>	<b>6 580,16</b>
Balance				
Recuperación-perturbación	1,48	-7 603,52	-908,82	731,320

**Perturbación-recuperación del pino 1972-2000:** Como se aprecia en la tabla 3, la dinámica de cambio del bosque de pino presenta una mayor tendencia a la perturbación que hacia la recuperación de la especie. De las más de 13 mil hectáreas que presentan algún grado de perturbación, poco más de 10 mil corresponden al bosque de pino. Esto contrasta significativamente con una recuperación poco mayor a 2 mil hectáreas. Evidentemente, el bosque de pino se encuentra seriamente amenazado.

**Perturbación-recuperación en bosques de latifoliadas 1972-2000:** Finalmente, como se presenta en la tabla 3, la dinámica de cambio en los bosques de latifoliadas (principalmente aile), presenta un cierto estado de equilibrio entre la pérdida y recuperación en esta especie.

#### Obtención de la tasa de deforestación

##### Tasa de deforestación general

Para efectos del análisis de deforestación general, se tomaron en cuenta únicamente las categorías de bosque denso y semidenso. No se incluyó la categoría de bosque fragmentado porque la densidad del arbolado es tan baja que no

se consideró como un espacio boscoso significativo.

La tasa general de deforestación anual para el Parque Nacional Nevado de Toluca a lo largo del periodo estudiado fue de 0,48% anual, lo que representa una pérdida anual de 156,02 hectáreas de superficies boscosas. De manera general, el área natural protegida ha perdido, entre 1972 y el año 2000, el 8,4% de su superficie boscosa, es decir, 4 mil 368,56 hectáreas.

##### Tasa de deforestación por especie

Considerando el mismo procedimiento, se calculó la tasa de deforestación para cada especie. La tabla 4 condensa la información agregando el incremento/decremento anual y general. Dado que las plantaciones de cedro fueron introducidas después de 1972, no fue posible calcular una tasa de deforestación para esta especie.

Como puede observarse, el bosque de pino presenta una dinámica de deforestación de más del 1% de pérdida anual y, en contraparte, el bosque de oyamel presenta una ligera recuperación. Esto se explica porque la población regional otorga al pino un mayor valor comercial.

Tabla 4. Tasas de deforestación por especie

CATEGORÍA	1972 (HAS)	2000 (HAS)	TASA DE	INCREMENTO O	INCREMENTO O
			DEFORESTACIÓN ANUAL %	INCREMENTO O DECREMENTO ANUAL HA	INCREMENTO O DECREMENTO TOTAL HA
Forestal Oyamel	14 400,16	14816,58	0,150	+ 23,13	+ 416,42
Forestal Cedro	0,00	259,72	-	+9,27	259,72
Forestal Pino	16 955,32	13481,84	-1,270	- 192,97	- 3 473,48
Forestal Latifoliadas	2 034,76	2023,76	-0,027	- 0,61	- 11,00

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### El uso del suelo y vegetación

Derivado del análisis del uso del suelo y vegetación, fue posible obtener datos muy importantes: en 1972, los bosques densos y semidensos de oyamel representaban más del 50% de la superficie total del parque. Aunque la agricultura ocupaba poco más del 15%, el grado de conservación del área protegida era significativamente mayor al encontrado en el año 2000. Para esta segunda fecha se presentó una disminución importante en el bosque denso de pino (más de 40%). Un aspecto interesante es que las zonas agrícolas han venido disminuyendo como resultado de los cambios regionales en los patrones de apropiación y explotación del área protegida. En este contexto, la disminución del arbolado se explica por procesos de extracción intensiva y semi intensiva con fines comerciales. La pérdida de coberturas forestales densas ha dado paso a un incremento en otros usos y en cubiertas forestales de menor densidad.

### El cambio de uso del suelo y vegetación

Como resultado de la tabulación cruzada entre los mapas de 1972 y el año 2000, se obtuvo el mapa de las transiciones de las principales coberturas del suelo, así como la matriz de transición correspondiente. Dentro de las transiciones más importantes destacan aquellas que implicaron un cierto deterioro de la vegetación natural: la pérdida de densidad de los bosques de oyamel (1930,88 hectáreas); la pérdida de densidad de los bosques de pino (7205,28 hectáreas); la pérdida de densidad de bosques de latifoliadas (625,56 hectáreas). Como es posible observar, se trata de más de 9 mil hectáreas de bosques afectados.

Es importante reconocer, sin embargo, que hubo transiciones hacia la recuperación de los bosques: los bosques de oyamel se recuperaron en cerca de 2157,16 hectáreas y los bosques de latifoliadas tuvieron un cambio positivo de 290,56 hectáreas.

### La dinámica de perturbación-recuperación

Una vez realizada la valoración de los cambios de cobertura del suelo y tomando en cuenta que estas dinámicas no necesariamente implicaban una afectación de la cubierta natural, se procedió a la valoración del grado de perturbación o recuperación ocurrido en los diferentes rodales de bosque. Para ello fue necesario crear sendos mapas de densidad del arbolado y evaluar la dinámica de transición. De esta manera fue posible obtener algunas conclusiones de interés:

1. En los bosques de oyamel, que tienen una tendencia a la recuperación, prevalecen en cierto equilibrio la perturbación moderada y la recuperación baja.
2. Los bosques de pino presentaron una marcada tendencia hacia la perturbación moderada, signo inequívoco del proceso de extracción selectiva al que han estado sujetos.
3. Los bosques de latifoliadas presentaron una situación similar a los bosques de oyamel con un relativo equilibrio entre la perturbación moderada y la recuperación baja. En todo caso se tiene un balance positivo hacia el aumento de densidad de este tipo de cobertura.
4. En cuanto al análisis general del grado de perturbación y recuperación forestal, fue posible confirmar una tendencia hacia la perturbación moderada, presente en más de 8 mil hectáreas. Se trata de un proceso de tala selectiva que viene afectando seriamente la biodiversidad genética de los bosques.

### Las tasas de deforestación

Como ya se ha mencionado, la tasa general de deforestación fue del 0,31% anual, lo que representa una pérdida de más de 150 hectáreas de bosque todos los años. El Parque Nacional Nevado de Toluca ha perdido, entre 1972 y 2000, más de 4,200 hectáreas de bosque, lo que representa el 8,4% de la cobertura forestal original. Es importante destacar que de los tres tipos de cobertura forestal, son los bosques de pino los que están sufriendo una disminución que rebasa las 120 hectáreas anuales, es decir, más de 3,300 en el periodo estudiado. Así, durante 28 años se perdió más del 20% de los bosques de pino. Los bosques de latifoliadas presentan cifras de deforestación significativamente menores que representan 11 ha en el periodo estudiado. A pesar de la escasa superficie cubierta con bosques de aile y encino, su disminución representa un creciente proceso de fragmentación y representa un serio peligro de desaparición de diversas especies endémicas del área protegida. Finalmente, los bosques de oyamel presentaron tendencias de incremento del orden del 0,10% anual. De este modo, entre 1972 y 2000 la superficie de este tipo de bosques se incrementó en más de 400 hectáreas, es decir, 2,8% de su superficie original. A manera de conclusión final es posible afirmar que la perturbación sufrida en el área de estudio es realmente alarmante. Esto cobra especial relevancia dada su categoría de "Parque Nacional" que le confiere la máxima prioridad de protección. En este contexto es imprescindible desarrollar estrategias de protección al legado natural del poniente del Estado de México. La creación de planes de ordenamiento ecológico, la aplicación del marco legal vigente y el desarrollo de mecanismos de

concientización y empoderamiento de la población local pueden coadyuvar a frenar este deterioro.

### REFERENCIAS

- Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La Dinámica del Cambio de Uso del Suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM Núm. 44:18-38.
- CETENAL. 1976. Instructivo para la Elaboración de la Carta de Uso del Suelo. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México D. F. 46 p. (Inédito).
- Chuvieco, E. 2002. Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel. España. 586 p.
- Rodríguez, B. y S. Franco. 2003. La identificación de servicios ambientales entre zonas urbanas y rurales: captura de carbono en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *In: F. Carreño et al. Planeación del Territorio y Ambiente en América Latina*, Tomo II. UAEM. Toluca. p: 243-260.
- Rosete, F., A. Ordóñez y O. Masera. 1997. Dinámica de cambio de uso del suelo y emisiones de carbono en la Meseta Purépecha: "El Caso de la Comunidad Indígena de Santiago Tingambato". Reporte de investigación, UNAM, 31 p.
- USDA. 1995. Guidelines for the use of digital imagery for vegetation mapping. Washington, D.C. 176 p.

Manuscrito recibido el 28 de junio de 2005.

Aceptado el 17 de febrero de 2006.

Este documento se debe citar como:

Franco Maass, S., H.H. Regil García y J.A.B. Ordóñez Díaz. 2006. Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Madera y Bosques* 12(1):17-28.