



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“DIAGNÓSTICO DEL PARQUE
NACIONAL NEVADO DE TOLUCA CON
BASE EN UNIDADES DE PAISAJE”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

VERÓNICA AGUILAR ZAMORA

DIRECTORA DE TESIS: Dra. MARÍA ENGRACIA HERNÁNDEZ CERDA

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE, 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Director General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 7 de noviembre de 2005, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** de la alumna **VERÓNICA AGUILAR ZAMORA** con número de cuenta **88229986** con la tesis titulada: "**Diagnóstico del Parque Nacional Nevado de Toluca con base en unidades de paisaje**", realizada bajo la dirección de la **DRA. MARIA ENGRACIA HERNÁNDEZ CERDA**:

Presidente: DR. JOSÉ LUIS PALACIO PRIETO
Vocal: DRA. LUCÍA ALMEIDA LEÑERO
Secretario: DRA. MARÍA ENGRACIA HERNÁNDEZ CERDA
Suplente: M. EN C. MARIA CONCEPCIÓN GARCÍA AGUIRRE
Suplente: DR. ALEJANDRO VELÁZQUEZ MONTES

Sin dudar de su atención, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a. 29 de Octubre de 2007.

Dr. Juan Núñez Farfán
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente de la interesada.

Al Comité Tutoral del presente trabajo de investigación integrado por:

Dra. María Engracia Hernández Cerda

Dr. José Luis Palacio Prieto

Dr. Alejandro Velázquez Montes

A mis padres:

*Tomasa Zamora y
Angel Aguilar por todo su apoyo
y sobre todo por el amor que me han dado,
los amo.*

*A pesar de todas las cosas que hemos pasado
agradezco a Dios que aun están conmigo.*

*A mis hermanos Miguel Ángel, José Luis, Joel y Yolanda,
por su apoyo y comprensión.*

*A mis queridos sobrinos, Raúl, Larissa, Josué Alan,
Mariana y a mi pequeña (hija) Mayra, por todos los
momentos de felicidad que me han dado.*

A mis cuñadas y mi cuñado.

*Para alguien muy especial, por todo su apoyo y enseñanzas
siempre te amare.*

Agradecimientos

Agradezco a mi directora de tesis la Dra. María Engracia Hernández Cerda, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Al Dr. José Luis Palacio Prieto, por la revisión y atinados comentarios sobre la tesis.

Al Dr. Alejandro Velázquez Montes, por sus comentarios, pero sobre todo por su apoyo y el tiempo dedicado para resolver mis dudas.

A la Dra. Lucia Almeida Leñero, por su apoyo y comentarios, por ofrecerme un espacio para desarrollarme como su asistente en el laboratorio de Ecosistemas de Montaña por mas de 6 años, por apoyarme con tiempo y materiales para la culminación de la tesis, pero principalmente por brindarme su amistad, gracias Lucia.

A la M. en C. María Concepción García Aguirre, por la revisión y comentarios sobre el trabajo.

A la Dra. Beatriz Ludlow Wiechers, por sus comentarios y ayuda para lograr terminar el escrito, por todos los momentos felices que hemos compartido juntas y sobre todo por su amistad y cariño, muchas gracias Bety.

A Eduardo González, por el apoyo y orientación en la elaboración de la cartografía.

A Camilo Alcántara, por los comentarios y sugerencias sobre el trabajo, por sus sabios consejos, a Roberto Monroy, por todos los buenos que hemos compartido, a los dos muchas gracias por sus palabras de aliento durante mis momentos difíciles, son mis mejores amigos, los quiero.

A Inti Burgos, por el apoyo brindado en la etapa final de esta tesis.

A la Dra. Irma Trejo por todos sus consejos y sobre todo por su amistad, gracias ama.

A mis compañeros y alumnos del Laboratorio de Ecosistemas de Montaña: Inti, Beatriz González, Julieta, Mariana, Miriam, Yedith, Alya, Sonia, Victor, Juan, Madai.

A todas a aquellas personas que he olvidado nombrar, y que forman parte de mi vida académica y personal, muchas gracias.

ÍNDICE

	Página
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. MARCO TEÓRICO	
• Paisaje.....	4
• Ecología del paisaje.....	5
• Unidades de paisaje.....	9
• Análisis del cambio de uso del suelo.....	9
• Áreas Naturales Protegidas.....	10
4. ANTECEDENTES	13
• Fisiografía.....	14
• Tenencia de la tierra.....	15
• Fauna.....	15
5. MÉTODOS	16
6. RESULTADOS	
• Diagnóstico.....	23
• Altitud.....	23
• Pendientes.....	27
• Orientación.....	29
• Geología.....	29
• Edafología.....	33
• Hidrología.....	36
• Clima.....	39
• Unidades de paisaje geomorfológico.....	41
• Vegetación y uso del suelo en el Parque Nacional Nevado de Toluca en 2001.....	50
• Análisis del cambio de uso del suelo.....	54
• Análisis de las unidades paisaje geomorfológico y los procesos de cambio de uso del suelo que se presentan en cada una de ellas.....	58
• Agrupación de las unidades en función de los procesos de cambio de uso del suelo.....	59
• Servicios e infraestructura.....	65
• Asentamientos humanos.....	65
7. DISCUSIÓN	69
8. CONCLUSIONES	73

9. LITERATURA CITADA.....75

10. ANEXOS.....82

Anexo I. Decreto del Parque Nacional Nevado de Toluca.

Anexo II. Listado Faunístico presentado por Biocenosis y Universidad Nacional Autónoma del Estado de México. (1999), para el programa de manejo del Parque Nacional Nevado de Toluca.

Anexo III. Asociaciones vegetales Del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México (García del Valle, 1999).

Anexo IV. Unidades de suelos presentes en el Parque Nacional Nevado de Toluca y la superficie que presentan.

Anexo V. Asentamientos humanos dentro del área del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México (INEGI, 2000).

Anexo VI. Asentamientos humanos a 500 y 1 000 m de distancia de la cota de los 3 000 m snm, del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México (INEGI, 2000).

Anexo VII a. Actividad agrícola y asentamientos humanos en el Parque Nacional Nevado de Toluca.

Anexo VII b. Actividad agrícola en el Parque Nacional Nevado de Toluca.

Anexo VII c. Asentamientos humanos y actividad agrícola en el Parque Nacional Nevado de Toluca.

Anexo VII d. Actividad pecuaria en el Parque Nacional Nevado de Toluca.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada durante este trabajo.....	17
Figura2. Procesos de cambio de uso del suelo que se presenta en la cobertura vegetal del PNNT.....	22
Figura 3. Localización del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	24
Figura 4. Mapa de límites municipales del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	25
Figura 5. Mapa altimétrico del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	26
Figura 6. Mapa de pendientes del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	28
Figura 7. Mapa de orientaciones o aspecto del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	30
Figura 8. Mapa de litología del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	32
Figura 9. Mapa edafológico del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	34
Figura 10. Mapa de regiones hidrológicas y corrientes principales del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	38
Figura 11. Mapa de climas del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	40
Figura 11a. Grafica de temperatura y precipitación media anual de la estación Nevado de Toluca.....	41
Figura 12. Mapa de unidades de paisaje geomorfológico del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	44
Figura 13. Mapa de vegetación y uso de suelo en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México, para el año 2001.....	51
Figura 13a. Mapa de vegetación y uso de suelo del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México INEGI, 1976.....	55
Figura 13b. Imagen de satélite LandSat ETM, 2001, del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	56
Figura 13c. Tendencia de la vegetación y uso del suelo en el PNNT, de 1976 al 2001.....	54
Figura 14. Cluster de agrupación de las unidades paisaje geomorfológico y sus procesos de cambio de uso del suelo.....	58
Figura 15. Mapa de unidades de paisaje geomorfológico y procesos de cambio, del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	63

Figura 16. Mapa de asentamientos humanos y vías de comunicación del Parque Nacional

Nevado de Toluca, Estado de México.....67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Mapas temáticos y fotografías áreas utilizadas.....	18
Tabla 2. Intervalos altitudinales con la superficie y su relación de porcentaje en el PNNT....	27
Tabla 3. Pendientes con la superficie y el porcentaje que ocupa en el PNNT.....	27
Tabla 4. Orientación con la superficie y el porcentaje que ocupa en el PNNT.....	29
Tabla 5. Geología presente en el PNNT. (Fuente: Carta litológica, CETENAL, 1976).....	33
Tabla 6. Tipos de suelos y la superficie que ocupan en el PNT.....	35
Tabla 7. Regiones hidrológicas, Lerma-Santiago y Balsas con las cuencas y subcuencas y la superficie que presentan en el PNNT.....	39
Tabla 8. Unidades de paisaje geomorfológico y su superficie, para el PNNT.....	50
Tabla 9. Superficie y porcentajes de la vegetación y uso del suelo del PNNT para el año 2001.....	53
Tabla 9a. Superficie ocupada por la vegetación y uso del suelo dentro del PNNT en los años 1976 y 2001.....	57
Tabla 10. Grupos formados mediante el análisis de cluster, por proceso y superficie que ocupa en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.....	64
Tabla 11. Población total por municipio, presente en el parque y su área de influencia, datos de los censo de 1970, 1990 y 2000.....	66

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Unidad geomorfológica I a, Cono del Nevado de Toluca.....	43
Foto 2. Unidad geomorfológica I b, Laderas de lava y tefra.....	43
Foto 3. Unidad geomorfológica II a, Conos volcánicos de tefra.....	45
Foto 4. Unidad geomorfológica II b, Domos volcánicos de composición dacítica.....	46
5. Unidad geomorfológica II d, Laderas volcánicas de lava de composición andesítica.....	47
Foto 6. Unidad geomorfológica II f, Laderas de pómez.....	48
Foto 7. Unidad geomorfológica II g, Laderas de depósitos de flujos piroclásticos.....	48
Foto 8. Unidad geomorfológica III b, Planicie de tefra.....	49

2. INTRODUCCIÓN

Un diagnóstico ambiental está constituido por un conjunto de estudios, análisis, propuestas de acción y monitoreo que comprenden el estado ambiental del territorio. Para entender la problemática de las zonas montañosas de México, es necesario diagnosticar los diferentes elementos que conforman el paisaje, como son: las condiciones climáticas, las características del relieve, la potencialidad del suelo, la estructura de la vegetación y el tiempo en el que los diferentes procesos geomorfológicos han actuado sobre la superficie terrestre, determinando las relaciones ecogeográficas. Con apoyo de la ecología del paisaje por su carácter holístico, resulta ser una herramienta que integra los elementos físicos, bióticos y antrópicos, logrando conocer el funcionamiento de un sistema ambiental de manera integrada.

El área de aplicación de la ecología del paisaje se basa en la estructura, función y dinámica de los ecosistemas, de la interacción de la ecología (relación de los factores bióticos con los abióticos) y los factores geográficos, en una escala temporal y espacial, lo que permite estudiar y evaluar los recursos naturales y dictar las políticas de aprovechamiento, conservación o restauración y con base en esto lograr un desarrollo sustentable en el tiempo y garantizar su permanencia para las generaciones futuras.

Una característica de la ecología del paisaje es reconocer y valorar el papel que el hombre desempeña en la dinámica de la transformación del paisaje para formalizar su estudio sistemático y sus implicaciones ecológicas. Y está orientada para la planeación, manejo, conservación y desarrollo de la naturaleza y el uso de sus recursos (Naveh y Liberman, 1984).

El paisaje se define como un complejo territorial natural, homogéneo, integrado por componentes naturales de carácter biótico y abiótico, representados por el sustrato geológico, el relieve, el suelo, el clima, el agua la flora y la fauna, formado por la influencia de procesos y de la actividad modificadora de las actividades humanas en permanente interacción (Mateo-Rodríguez, 1984).

El Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT), es el más importante de los 17 parques del Estado de México, por su superficie, representa el 75% del área total de los parques del estado. El impacto antrópico en el medio ambiente es innegable, las comunidades humanas en las cuencas lacustres del centro-occidente de México han afectado a éstas, desde los primeros recolectores-cazadores, hasta las grandes urbes prehispanicas. Actualmente son zonas de gran

presión urbana que han casi provocado la desaparición de los vasos lacustres que contenían. Para el valle de Toluca, zona próxima al Nevado de Toluca, se ha encontrado que los primeros pobladores se asentaron en la zona hace aproximadamente 3 000 años y los asentamientos humanos han sido continuos desde entonces (Ludlow-Wiechers, 2004).

El parque actualmente no cumple con las funciones para las que fue creado, ya que presenta una disminución en la cobertura forestal y un deterioro de las comunidades vegetales que lo componen, debido a una serie de actividades antrópicas como son la tala clandestina, actividades agrícolas, pecuarias y mineras principalmente.

El objetivo de éste estudio efectúa un diagnóstico ambiental del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México, a partir de un análisis de unidades de paisaje geomorfológico y de los procesos de cambio de uso del suelo que se presentan en éstas, con fines de planeación y manejo de los recursos naturales. Se aborda desde un enfoque de ecología del paisaje, bajo la metodología propuesta por Zonneveld (1995) y Etter (1991).

1. RESUMEN

En esta investigación se efectuó un diagnóstico ambiental del Parque Nacional Nevado de Toluca, el más importante del Estado de México, a partir del análisis de unidades de paisaje geomorfológico y de los procesos de cambio de uso del suelo que se presentan en éstas, bajo un enfoque de ecología del paisaje. Las 21 unidades geomorfológicas obtenidas por Aceves (1996), se agruparon en 12, considerando factores como altitud, pendiente, orientación. La información cartográfica se digitalizó con el apoyo de ILWIS 3.0 y ArcView 3.2. Se agruparon los tipos de vegetación y uso del suelo en tres categorías: vegetación primaria, vegetación secundaria y vegetación antrópica. Se consideraron cuatro procesos de cambio en la vegetación para los periodos (1976 y 2001). 1) Deforestación, el cambio de vegetación primaria a antrópica, 2) Transformación, vegetación primaria a secundaria, 3) Revegetación, antrópica a vegetación primaria y 4) Recuperación, vegetación secundaria a primaria. Se aplicó un análisis de cluster, utilizando distancia euclidiana que permitió agrupar las unidades de paisaje geomorfológico, en cinco grupos en función de sus procesos de cambio de uso del suelo y superficie: Grupo I: Campos de lava de composición basáltico-andesítico, conos volcánicos de tefra y planicies de tefra. Grupo II: Mesa de lava cubierta de piroclastos. Grupo III: Planicie aluvial. Grupo IV: Cono del Nevado de Toluca, laderas volcánicas y domos volcánicos de composición dacítica. Grupo V: Laderas de lava y tefra, laderas de depósitos de flujos piroclásticos, laderas volcánicas de lava de composición andesítica y laderas de pómez. La vegetación se encuentra fragmentada, el 67% es vegetación conservada y el 33% corresponde a vegetación secundaria, agricultura y pastizal. La conversión a suelos agrícolas es lo que más ha modificado el paisaje. Las áreas más conservadas (bosques de *Abies* y de *Pinus hartwegii*), se localizan en la parte alta de cerro San Antonio y el cono del Volcán.

Palabras clave: Diagnóstico, unidades de paisaje, vegetación y uso de suelo, procesos de cambio, Nevado de Toluca, México.

3. MARCO TEORICO

Paisaje

La evaluación del paisaje surge como objeto de estudio de la Geografía Física Compleja, Geografía de los Paisajes o Geoecología del Paisaje, en el siglo XIX, con trabajos realizados por científicos alemanes y rusos, destacando por sus ideas, Humboldt y Dukuchaev, quienes concebían al medio como un sistema integral en el que los componentes se encuentran en interacción continua. Esta disciplina utiliza un enfoque sintético e integral proponiendo la forma más racional de uso y protección de un territorio (Mateo-Rodríguez, 1984).

Bertrand, (1970), define al paisaje como una porción del espacio caracterizada por un tipo de combinación dinámica, por consiguiente inestable, de elementos geográficos diferenciados físicos, biológicos y antrópicos, que al reaccionar entre sí, hacen del paisaje un conjunto geográfico indisociable que evoluciona en bloque, tanto bajo el efecto de las interacciones entre los elementos que lo constituyen como bajo el efecto de la dinámica propia de cada uno de sus elementos considerados separadamente.

Los cambios en el paisaje pueden ser causados por procesos naturales o por la intervención humana. Los productos por la intervención humana pueden ser planificados o no, y la urbanización, la deforestación, el desarrollo de la agricultura, la desertificación y la reforestación son considerados como sus principales causas (Forman, 1995).

El paisaje es el resultado de los procesos que actúan hoy sobre la superficie terrestre, pero también de aquellos que operaron en el pasado y dejaron en el una huella más o menos duradera. Por ello, el paisaje suele presentar rasgos heredados de periodos en que las condiciones ambientales eran diferentes a las actuales. Se trata de una entidad en continuo cambio donde los procesos activos (erosión, sedimentación, intemperismo, edafogénesis, sucesiones ecológicas, etc.) tienden a crear nuevas formas mediante la transformación de las características heredadas de periodos anteriores. De esta forma las herencias casi siempre están presentes en mayor o menor grado en el paisaje y es necesario detectarlas si se quiere establecer con precisión el papel de los procesos del pasado sobre los hoy vigentes (Velázquez y Bocco, 2003).

Los paisajes naturales de México presentan una gran diversidad porque su territorio ubicado entre las zonas tropical y templada está afectado por una orografía de cadenas

montañosas que corren paralelas a los litorales en un rango altitudinal que va de los 0 a los 5840 m snm.

Hasta ahora no hay una definición de paisaje que comprenda completamente los diferentes puntos de vista. Debido principalmente al énfasis que se da a cada uno o algunos de sus componentes, a su extensión o cobertura y a la temporalidad con que se le conciba. No obstante en las definiciones se aprecia que en todas existe la inclinación de relacionar y estructurar los componentes físicos y bióticos que conforman el medio natural.

Se puede decir que el concepto de paisaje, complejo físico-geográfico y sistema natural, son más semejantes que diferentes.

La correlación de nuevos principios y conceptos ecológicos, conjuntamente con el desarrollo de fundamentos geográficos llevados a cabo a partir de 1960, han favorecido un impulso en la rama de la ecología que es la Ecología del Paisaje.

Ecología del paisaje

El término Geoecología o Ecología del Paisaje fue acuñado por el biogeógrafo alemán C. Troll en 1939 y guarda una estrecha relación con la Geografía de los Paisajes, desarrollada por los geógrafos rusos desde finales del siglo XIX.

Troll en 1950 define a la ecología del paisaje, como el estudio de las relaciones físico-biológicas que gobiernan las diferentes unidades espaciales de una región, menciona que la ecología del paisaje no es una nueva ciencia sino que es un punto de vista especial para entender el complejo fenómeno natural.

Forman y Godron (1986), consideran que las relaciones son tanto verticales, como horizontales entre las unidades espaciales. La finalidad de los levantamientos de ecología del paisaje es referir la dinámica de los procesos ecológicos y su variación temporal, a la dinámica espacial de los ecosistemas con el objeto de aportar información y criterios para el manejo adecuado del ecosistema, dentro del contexto de planificación del uso de la tierra o suelo, como una aproximación del ordenamiento territorial (Forman y Gordón, 1986).

El enfoque de los levantamientos de ecología del paisaje se basa en la realización de un análisis integrado de las geformas, agua, suelos, vegetación y uso de la tierra, se apoya en el estudio de los patrones visibles (fenosistémicos), los cuales están compuestos de aspectos

fisionómicos o estructurales externos. Dichos patrones expresan la integración de los factores (Zonneveld, 1979).

Las fuentes de información para estos levantamientos se clasifican en: fuentes de primera mano, como es la interpretación de imágenes de satélite y aerofotografías e información de campo; fuentes de segunda mano, cartografía topográfica y temática e información bibliográfica.

Los temas abordados en los levantamientos de tipo integrado incluyen a los factores formadores del paisaje: litología, relieve, agua, suelos, cobertura vegetal, asentamientos humanos cercanos y estructura. La importancia de los distintos factores puede variar, dependiendo del área y de los objetivos del estudio (Mendoza, 1997).

En relación con el tipo de información obtenida y los objetivos planteados se puede generar un levantamiento que se clasifica, según el Centro de Investigaciones Aeroespaciales de Colombia (CIAF) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), por el nivel de análisis en: exploratorio, de reconocimiento, semi-detallado y detallado. La escala de representación está dada de acuerdo al nivel de análisis (Etter, 1991).

A cada nivel de representación le corresponde una unidad jerárquica de mapeo; se han propuesto para la ecología del paisaje cuatro niveles jerárquicos que están definidos en función del tamaño (Zonneveld, 1979):

Ecotopo: unidad holística más pequeña, caracterizada por la homogeneidad en al menos uno de sus atributos, atmósfera, vegetación, suelos, roca y agua.

Faceta terrestre: es una combinación de ecotopos, formando un patrón de relaciones espaciales, y están fuertemente relacionadas con las propiedades de al menos uno de los atributos o componentes del terreno, puede ser la forma del terreno, el suelo o la roca.

Sistema terrestre: es una combinación de facetas de terreno, que forman una unidad de mapeo a escala de reconocimiento.

Paisaje principal: es una combinación de sistemas de terreno, en una región geográfica.

La ciencia del paisaje se ocupa del estudio de las interacciones de componentes como el clima, la roca o el material originario y el relieve, a partir de los cuales se pueden delimitar unidades discretas en el espacio, y medir procesos de mediano y largo plazo. El componente biológico integrado por la vegetación y la fauna, permiten subdividir el paisaje en unidades prácticas para propósitos de estudio (Velázquez y Bocco, 2003).

Considerando la ecología del paisaje, Velázquez y Bocco, (2003) proponen una plataforma conceptual, cuyo objetivo es contribuir a orientar la práctica concreta del enfoque de paisaje, en la conservación de ecosistemas templados de montaña que comprende:

Innovaciones tecnológicas. El desarrollo de los sistemas de información geográfica, de la percepción remota, de los sistemas de manejo de bases de datos digitales y de los posicionadores geográficos, muestran un avance sin precedentes. El acceso a esta información es cada vez menos costoso por lo que su obtención, manejo e intercambio son relativamente fáciles. Como consecuencia, la gran base de datos existente es cada vez más poderosa y los estudios sobre cambio global, deforestación, desertificación, inundaciones, sequías, fragmentación, biodiversidad, y otros, se pueden llevar a cabo con la información disponible en portales electrónicos.

Las fuentes de información utilizadas se clasifican en fuentes de primera mano, como es la interpretación de imágenes de satélite y aerofotografías, así como la información obtenida en campo, y en fuentes de segunda mano, representadas por la cartografía topográfica y temática e información bibliográfica.

El conocimiento de los principales indicadores ambientales como la dinámica geomorfológica, (definido como el modelado de las formas del relieve) y la extensión de la cobertura vegetal son elementos naturales que definen o indican las condiciones ambientales actuales, como puede ser, el grado de alteración del medio natural por la influencia antrópica al efectuar cambios en el terreno, favoreciendo los procesos de erosión y/o sedimentación y reducción de hábitats, por lo que es de gran importancia considerarlos en la generación y definición de planes de manejo de recursos naturales.

Dimensión espacial. Los mapas, referidos aquí como modelos espacialmente explícitos, son un producto fundamental de la ciencia del paisaje. El relieve es el componente que permite dividir en unidades discretas y de manera lógica el paisaje, ya que el suelo, los componentes biológicos e incluso algunos sociales se ajustan, en la mayoría de los casos, a las formas del terreno. Cada componente del paisaje puede ser plasmado en un mapa, pero la construcción lógica de las unidades de paisaje requiere de un proceso integral, basado en la definición de límites de

entidades naturales. La topodiversidad y la biodiversidad se ajustan, en este concepto a través de las unidades de paisaje.

Topodiversidad. La topodiversidad, entendida como la diversidad entre diferentes agregados de laderas homogéneas en cuanto a exposición, aislamiento, erosión, escorrentía, pedogénesis y otros atributos, juega un papel fundamental en la expresión de la biodiversidad de las actividades humanas. Los componentes físicos del paisaje (roca madre, relieve, suelo) son menos dinámicos que los bióticos, interactúan en forma coherente. La mayor parte de los procesos que controlan los cambios en la biodiversidad son resultado directo de la influencia de estos componentes, así como de la misma actividad humana.

Relieve. El estudio de este elemento, ha sido prácticamente ignorado en las tareas de manejo, conservación y restauración a pesar de sus implicaciones en los ciclos biogeoquímicos, en la dinámica de los ecosistemas y en los procesos productivos. Por ello, un estudio de paisaje que no parta de un análisis del relieve carece de fundamentos suficientes para entender la dinámica de una región.

La ciencia del paisaje se centra en espacios reales, es decir, tiene por objeto de estudio una porción de territorio. Los procesos ecológicos en un espacio real dependen en alguna medida de las condiciones sociales locales. La acción humana, no obstante, ocurre de manera diferente en cada unidad de paisaje, y el conjunto de las formas de apropiación y uso del territorio, por unidad de paisaje, modifica la estructura de este último en una dirección contraria a su condición original (Bissonette 2002).

Bajo este enfoque de ecología del paisaje se han realizado algunos estudios, entre los que se pueden mencionar el estudio de Geoecología del paisaje e impacto ambiental en la Sierra Nevada (López, 1994), regionalización geomorfológica y de paisaje de la zona costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México (Mendoza, 1997), en el sur de la cuenca de México un estudio de ecología y conservación del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) (Velázquez, 1993); así como el estudio de planificación ambiental en la cuenca del río Magdalena (Jujnovsky, 2003), entre otros.

Factor social de la ciencia del paisaje. En la ciencia del paisaje los actores sociales son vistos como el factor que desencadena los procesos dominantes, tanto en la perturbación como en la conservación de los recursos naturales.

Una característica de la ecología del paisaje es reconocer y valorar el papel que el hombre desempeña en la dinámica de la transformación del paisaje para formalizar su estudio sistemático y sus implicaciones ecológicas. Y está orientada para la planeación, manejo, conservación y desarrollo de la naturaleza y el uso de sus recursos (Naveh y Liberman, 1984).

Unidades de paisaje

Para la definición de las unidades de paisaje se ha planteado que se desarrollan en el contacto entre la litosfera, la atmósfera y la hidrosfera, esta superficie de contacto es frecuentemente estudiada por la geomorfología, disciplina que más ha contribuido a la definición de unidades homogéneas (Bocco-Verdinelli y Ortiz-Pérez, 1994).

Se han generado distintas definiciones de unidades de paisaje. Naveh & Lieberman (1984), definen una unidad de paisaje como un área homogénea en suelo, clima, potencial biológico, etc, que se puede plasmar en un mapa y cuyos límites se determinan por un cambio en una o más características. Zonneveld (1995) por su parte define al paisaje como la unidad mínima cartografiable que permite indicar espacialmente los principales componentes de un ecosistema.

La ecología del paisaje tiene al menos tres grupos fuertes o escuelas que desarrollan sus ideas y analizan el paisaje desde su perspectiva. 1) los Planificadores (usan el análisis del paisaje y analizan la estructura espacial del mismo con fines de explotación y manejo de recursos), 2) los geógrafos (estudian el paisaje desde el punto de vista histórico – hasta geológico – investigan geoformas y asumen que estructuras espaciales iguales van a contener procesos, coberturas y usos de suelo similares, lo hacen con el fin de “reducir” la complejidad de un análisis) 3) la de los ecólogos (estudian el paisaje desde el punto de vista de la vinculación con la diversidad biológica).

Análisis del cambio de uso del suelo

En la actualidad los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios en la cobertura del suelo y la deforestación son importantes y necesarios porque proporcionan la base para conocer

las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada. La naturaleza intrínseca de los ecosistemas encierra como motor inherente una serie de aspectos dinámicos. Durante las últimas décadas, no obstante, el hombre, se ha convertido en el principal desencadenador de la actividad transformadora de los ecosistemas. Su impacto global ha sido evaluado desde diversas perspectivas entre las que destacan la pérdida de biodiversidad y el calentamiento global, entre muchas otras consecuencias ambientales de mayor relevancia regional tales como la alteración de ciclos hidrológicos, introducción de especies exóticas y pérdida de hábitats, entre otros (Vitousek et al., 1997), en Velázquez y Bocco, 2003.

Una manera confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es a través del estudio de la dinámica espacio temporal de la cubierta vegetal (Berry et al., 1996). Diversos autores han enfatizado la necesidad de cuantificar dicho grado de conversión y expresarlo en términos de los factores desencadenadores del cambio, dando principal énfasis a aquellos productos de la acción antrópica. La dinámica de la cubierta vegetal y su uso están íntimamente relacionados y es por eso que esta línea de investigación requiere para su abordaje de disciplinas tanto sociales como naturales. A este tema se le denomina análisis del cambio de uso/coertura del suelo (LUCC, land use/cover change. Turner y Meyer 1994, Lambin, et al., 2001).

El conocimiento de los indicadores ambientales como la dinámica geomorfológica, representada por las formas del relieve y la extensión de la cobertura vegetal son elementos naturales que definen o indican las condiciones ambientales actuales, es decir el grado de modificación del medio natural por parte del hombre, al efectuar cambios en la superficie, favoreciendo la tasa de erosión y/o sedimentación, la reducción del hábitat, de ecosistemas, por lo que deben ser considerados en las propuesta de manejo y conservación de los recursos naturales.

Áreas Naturales Protegidas (Parques Nacionales)

Las áreas naturales protegidas (ANP) fueron creadas con el objetivo de conservar y proteger los ecosistemas más representativos del país. Actualmente representan uno de los elementos más importantes para la conservación de la naturaleza, aunque la creación de las ANP no se han

tomado en cuenta las consideraciones locales y regionales de carácter social y económico que han provocado una mala funcionalidad de estas áreas.

La conservación y la protección de la biodiversidad así como de los recursos naturales del país son acciones urgentes a realizar y las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son un elemento clave para lograrlo. Por tal motivo, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) por medio de la Dirección General de Parques y Reservas propuso en 1983, la creación de un sistema de Áreas Naturales Protegidas (SINAP) conformado por áreas naturales prioritarias de carácter federal, por su alta biodiversidad. En 1998 la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) retoma esta propuesta contemplando la integración de dicho sistema.

En México la primera Ley ambiental que regula las ANP es la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), emitida en 1988 y que ha tenido una serie de modificaciones. La ley establece 6 categorías de AP, reserva de la biosfera, parque nacional, monumento natural, áreas de protección de flora y fauna y santuarios.

En los últimos 15 años se han logrado avances significativos en el establecimiento de áreas protegidas de competencia federal. En 1994 la superficie bajo protección era de 13.4 millones de hectáreas con 103 áreas protegidas, para el 2000 se tenían 119 áreas protegidas con una superficie de 15.848 millones de hectáreas (CONANP, 2007).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas ha logrado establecer bajo seis categorías de protección federal, 22 712 284 ha, en un total de 161 Áreas Protegidas, hasta octubre de 2007. Estas áreas se clasifican en las siguientes categorías que se muestran en la siguiente tabla (CONANP, 2007):

Número de áreas	Categoría	Superficie (ha)
37	Reserva de la Biosfera	11 581 344
68	Parque Nacional	1 505 643
4	Monumento Natural	14 093
6	Áreas de protección de Recursos Naturales	3 350 654
29	Áreas de Protección de Flora y Fauna	6 259 861
17	Santuarios	689
Total 161		Total 22 712 284

Dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP), los parques nacionales son los más numerosos; estos se crearon con el objetivo de conservación y recreación, para el mejoramiento de las condiciones de vida y el bienestar de los asentamientos humanos;

para la conservación de los ecosistemas y protección de cuencas hidrológicas. Están destinados para uso público; siempre y cuando se realicen actividades relacionadas con la protección de sus recursos naturales, el incremento de su flora y fauna y, en general, actividades orientadas a la preservación de los ecosistemas que albergan (INE, s/f). De ahí la importancia de caracterizar y evaluar estas áreas de manera expedita, ya que desde su creación existe una ausencia de datos no sólo de vegetación o fauna del área, sino también de la acción humana, que en muchos casos antecede a la propia creación de los parques (Villers et al., 1998).

Los parques nacionales representan una de las categorías de las áreas naturales protegidas más deterioradas ya que fueron expropiados sin el pago de la indemnización correspondiente, quedando expuestas a la invasión y colonización, así como a la explotación agrícola, ganadera y forestal.

La administración de los parques nacionales ha pasado de un sector gubernamental a otro. Durante el gobierno de Lázaro Cárdenas, dependían del Departamento Forestal que fue transformada en la Oficina de Bosques Nacionales; posteriormente en 1977 asciende a la categoría de Dirección General, dependiente de la Subsecretaría de Recursos Forestales de la Secretaría de Agricultura y Ganadería. Posteriormente, a principios de los años ochenta, es transferida a la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), y después a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). En 1992 regresa a la Secretaría de Agricultura y Recursos hidráulicos (SARH), y finalmente en 1995 es transferida a la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), quedando a cargo una de sus dependencias el Instituto Nacional de Ecología (INE) de la misma (SEMARNAP, 1996). Para el año 2000 se crea la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), como órgano desconcentrado de la SEMARNAP. La administración del parque fue transferida al gobierno del Estado de México en noviembre de 1995.

Por mandato del Artículo 26 Constitucional y el Artículo 5 de la Ley de Planeación, el Plan Nacional de Desarrollo (PND), es el instrumento base de la Planeación del Ejecutivo Federal con un horizonte de seis años y es rector de las acciones de toda la Administración Pública federal. Las Áreas naturales Protegidas se han incluido en los procesos de planificación del desarrollo económico nacional a través de los Planes de Desarrollo y es a partir del periodo 1995-2000 donde adquieren mayor relevancia (CONANP, 2007).

4. ANTECEDENTES

Se consultaron fuentes bibliográficas principalmente sobre flora y fauna, alrededor de 44 estudios bióticos en el parque (Zúñiga, 2006) y abióticos, que en su mayoría están enfocados a estudios geológicos, geomorfología, clima, edafología y limnología, la literatura sobre otros temas, se relacionan con legislación, manejo, turismo y toponimia, para el Nevado de Toluca. Los primeros trabajos botánicos fueron realizados por Villalpando (1968) en la zona alpina del Nevado, haciendo estudios de los reinos Animalia y Plantae y elabora un listado florístico de la vegetación alpina del cráter describiendo cuatro zonas ecológicas. En 1976 Vela et al., registran la distribución altitudinal de bosques de *Pinus hartwegii*, *Pinus montezumae*, *Abies religiosa* y zacatonal alpino. González-Trapaga (1986) describe las asociaciones en la vegetación alpina y el análisis fitogeográficos de la vegetación alpina del Nevado de Toluca. Almeida-Leñero et al. (1997) hace un estudio fitosociológico comparativo de la vegetación alpina de los volcanes Popocatepetl y Nevado de Toluca. Zúñiga (2006) efectúa una revisión de los trabajos sobre vegetación realizado en el Nevado de Toluca.

Las investigaciones más recientes han tenido como objetivo un monitoreo espacial del parque, entre los primeros estudios están los de Sandoval (1987) que realiza un análisis cartográfico sobre el uso del suelo y la vegetación del Parque Nacional Nevado de Toluca. En 1993, la subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre publica un Plan de Manejo para el parque, el cual carece de trabajo de campo y se limita a una recopilación de la información. Zetina (1995) hace una propuesta de manejo, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales para el Parque Nacional Nevado de Toluca.

Los estudios sobre las erupciones del Volcán Nevado de Toluca fueron realizadas por Bloomfield, 1974, 1975; Bloomfield y Valastro, 1977, Macías et al. 1997). Aceves (1996) hace un análisis geológico-geomorfológico del Nevado de Toluca. Los estudios geomorfológicos de la carta Nevado de Toluca fue elaborada por Vilchis (2001).

Hayama (1971) y Navarro (1976) realizaron estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas del Nevado de Toluca, para la región este y sur del mismo PNNT.

Por su importancia forestal, el PNNT ha sido objeto de diversos estudios forestales, entre los que destacan los trabajos de Villers-Ruíz y López-Blanco (1995), hacen una evaluación del

uso agrícola y forestal del suelo de la cuenca del río Temascaltepec dentro del PNNT, y también, Villers-Ruíz, et al. (1998), desarrollan una propuesta metodológica para la evaluación de los bosques templados de México, caso de estudio Nevado de Toluca, mientras que García del Valle (1999), realiza una evaluación forestal del PNNT, y proporciona datos de porcentaje de superficie ocupada por tipo de vegetación.

Fue decretado como Parque Nacional por el Presidente Lázaro Cárdenas, el día 15 de enero de 1936 (Anexo I), destinándose éste a la conservación perenne de la flora y de la fauna comarcanas (Diario Oficial, 1936). El límite inferior del parque fue trazado por el Departamento Forestal de Caza y Pesca, siguiendo la curva de nivel de los 3 000 msnm. Dentro del cual quedó comprendida la Reserva Forestal Nacional (Código Forestal, 1970).

Con base a este decreto el PNNT, comprende una superficie de 51 000 ha, esta extensión es reconocida también por la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF, 1993), mientras que el programa de manejo del PNNT, reporta una superficie de 53 913 ha, el cual para fines prácticos se redondea a 54 000 ha. Tomando como base la delimitación definida con base en el perímetro que se presenta a partir de los 3 000 m snm, tiene una superficie de 53 757 ha, Con un error de 156 ha, con respecto a la superficie reportada por CEPANAF, 1993.

Fisiografía

Se encuentra dentro de la provincia del Eje Volcánico Transmexicano (EVT), en la subprovincia de lagos y volcanes de Anáhuac en su límite SW, abarcando los Valles de Toluca.

El Nevado de Toluca es la cuarta montaña más alta de México se localiza a una altitud de 4,690 m snm, después del Pico de Orizaba (5 675 m), el Popocatepetl (5 465 m) y el Iztaccihuatl (5 230 m). En su cima el volcán muestra un cráter de 0.5 a 1.5 km de diámetro, con una abertura en el lado oriental. En el cono del volcán se presentan dos pequeños lagos el del Sol y la Luna, separados por un pequeño domo de dacita que se levanta en su base (Vázquez-Selem & Klaus, 2004).

EL PNNT se ubica a 22 km, al suroeste de Toluca y 80 km. al suroeste en línea recta de la Ciudad de México. Al sur se encuentra limitado por la Sierra Madre del Sur, al oriente con la Sierra volcánica de Tenango, los volcanes de Jalatlaco y la Sierra Chichinautzin, al noroeste se

encuentra la Sierra de los Montes de La Gavia (que incluye el volcán San Antonio) así como la Sierra Mazahua y al oeste las estribaciones de la Sierra de Nanchititla (Aceves, 1996).

La cima del volcán presenta bordes dentados, donde resaltan varios picachos, el más alto de todos localizado en el extremo S es el Pico del Fraile (4 690 m snm), el Pico del Águila en el NW (4 550 m snm.), el Espinazo en el centro E (4 ,400 m snm) y el Espinazo del Portezuelo al NE (4 300 m snm), además de dos elevaciones en la parte abierta del cráter hacia el E-SE y SE, con una altitud de 4 100 y 4 200 m snm, respectivamente (Aceves, 1996).

Tenencia de la tierra

En términos generales el régimen de tenencia de la tierra, SARH (1992) señala que 59% del área del parque es propiedad ejidal (30 000 ha), el 29% es privada (15 000 ha), el 10% es propiedad federal (5 000 ha) y el 2% restante no está identificada (1 000 ha).

Fauna

Hentschel-Ariza, (1999), realizaron un programa de manejo con un listado de la fauna silvestre del PNNT y su área de influencia (Anexo II). Que reporta 92 especies de vertebrados: 6 de anfibios, (2 endémicas), 6 de reptiles (3 endémicos), 24 de mamíferos (2 endémicos) y 56 de aves, aclarando la falta de registros de anfibios. Se hace énfasis en la necesidad de elaborar estudios más detallados y así poder entender la problemática a la que se enfrenta la fauna silvestre del PNNT.

Se menciona la presencia de otras especies como: coyotes, zorras, mapaches, cacomixtles, conejos, hurones, ardillas, tuzas, armadillos, murciélagos, roedores como el conejo zacatuche o teporingo (*Romerolagus diazii*), en el área del zacatonal alpino. Esta especie es endémica de la región central de Eje Volcánico Transmexicano, incluida en la Norma Oficial Mexicana 059 como especie en peligro de extinción, por la reducción sistemática de su hábitat y su carácter de especie endémica.

5. METODOS

De acuerdo a los objetivos planteados y a la escala de trabajo, el presente estudio, se elaborara según los niveles de análisis aceptados y utilizados en el Centro de Investigaciones Aeroespaciales de Colombia (CIAF) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), (modificado por Etter, 1991), que incluye tres fases principales (Figura 1):

Fase preliminar: Recopilación y análisis de la información (Tabla 1). Se recopiló la información bibliográfica y cartográfica disponible sobre topografía, geología, edafología, hidrología, geomorfología, climas y vegetación y uso del suelo e información de los censos de INEGI, se obtuvieron fotografías aéreas e imágenes de satélite.

Los temas integrales incluyen los factores formadores del paisaje: relieve, litología, edafología, hidrología, cobertura vegetal y su relación con los asentamientos humanos.

El material cartográfico empleado, estuvo integrado por la cartografía topográfica, litológica, edafológica, de vegetación y uso del suelo a escala 1:50 000, la carta hidrológica de aguas superficiales escala 1:250 000, de INEGI, la carta de climas a escala 1: 1 000 000 de CONABIO y la carta geomorfológica de Aceves, (1996).

El material fotográfico consistió de fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro a escala 1:37 500 y 1:75 000 (época seca), además de imágenes de satélite LandSat ETM (marzo y noviembre de 2001).

La información cartográfica de topografía (curvas de nivel y principales vías de comunicación), litología, edafológica, hidrología (subcuencas y corrientes perennes e intermitentes), y climas, se digitalizó con el apoyo del Sistema de Información Geográfica (SIG). ILWIS 3.0 (Integrated Land and Water Information System), diseñado por el Instituto de Levantamiento Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC) en Enschede, Países Bajos (ILWIS, 1990). La edición final de la cartografía se realizó con el SIG, ArcView versión 3.2, escala 1:200 000.

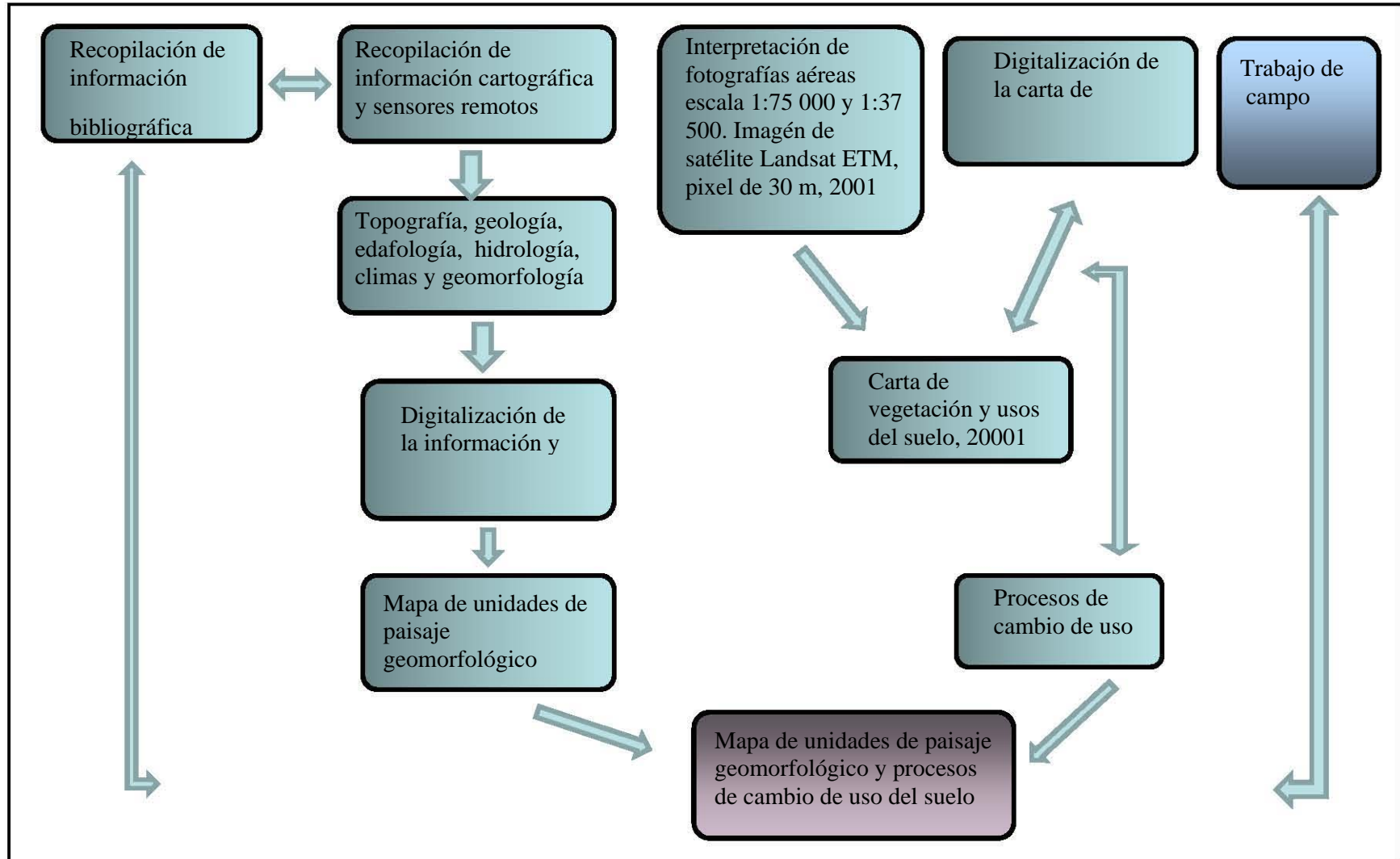


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada durante este trabajo.

Tabla 1: Mapas temáticos y fotografías áreas utilizadas

Material	Escala	Año	Fuente	Localidad
cartas topográficas	1:50 000	1976	INEGI	Nevado de Toluca E14A47; Tenango E14A48; San Miguel Zinacantepec E14A37
cartas litológicas	1:50 000	1976	INEGI	Nevado de Toluca E14A47; Tenango E14A48; San Miguel Zinacantepec E14A37
cartas edafológicas	1:50 000	1976	INEGI	Nevado de Toluca E14A47; Tenango E14A48; San Miguel Zinacantepec E14A37
carta hidrológica de aguas superficiales	1:250 000	1982	Secretaría de Programación y Presupuesto	Ciudad de México, E14-2
carta de geomorfología	1:100 000	1996		
carta de climas	1:1 000 000	1997	CONABIO	Hoja México
cartas de vegetación y uso del suelo	1:50 000	1976	INEGI	Nevado de Toluca E14A47; Tenango E14A48; San Miguel Zinacantepec E14A37
46 fotografías aéreas	1:37 500	diciembre 1983	INEGI	
16 fotografías aéreas	1:75 000	diciembre 1993 y 1994	INEGI	
2 imágenes de satélite Landsat ETM	píxel 30 m.	marzo y noviembre de 2001		Código de la imagen Phat Row 2747 y 2647

Se digitalizaron las curvas de nivel a equidistancias de 10 y 20 m a partir de las cartas topográficas a escala 1:50 000 dependiendo de la información disponible en las cartas topográficas; en formato vectorial y posteriormente fueron transformadas a formato raster (celdas), con el fin de facilitar el análisis morfométrico para cuantificar los elementos del relieve de forma automatizada con el SIG, lo que permite la manipulación de la información de tablas y mapas georreferenciados (Bocco-Verdinelli y Ortíz-Pérez, 1994).

El mapa de curvas de nivel transformado a formato raster se utilizó para la generación del Modelo Digital del Terreno (MDT), el cual se define como la representación digital de la superficie terrestre generada por una computadora; dicho modelo está compuesto por conjunto de puntos con las coordenadas X, Y, Z que son registrados en una base de datos. La generación de

este modelo consiste en la interpolación de los valores con los cuales se obtiene una matriz de celdas con valores individuales de altitud. Esta interpolación se realiza a partir de las curvas de nivel, calculándose para cada pixel las distancias más cortas a las dos curvas de nivel más cercanas mediante una relación lineal (Palacio, 1992). El MDT sirvió de base para la generación de las cartas, hipsométrica, de pendientes y de orientación del terreno por medio del SIG.

Los mapas altimétrico y de pendientes así como el de orientaciones se elaboraron a partir del MDT, para que dichos mapas pudieran ser interpretados fue necesario construir tablas de clasificación por intervalos, obteniendo mapas más generales.

Para la elaboración del mapa altimétrico ó hipsométrico, se definieron los intervalos de los valores que serian delimitados, para lo cual se tomó en cuenta la altura máxima y mínima del área de estudio en el mapa topográfico original, con el fin de que expresara de manera inmediata y clara el relieve. Los intervalos de altitud se establecieron en una tabla de clasificación dentro del SIG, la información de esta tabla se utilizó para agrupar el mapa en formato raster en intervalos de altitud sobre el nivel del mar. Este mapa se expresó con una gama de colores que van de los fríos (verdes-amarillos) que corresponden a las zonas más bajas y a los cálidos (naranjas-rojos) en las zonas más altas; esto permite apreciar al mapa en tercera dimensión (Lugo-Hubp, 1988).

El mapa de pendientes, fue elaborado por medio de la transformación de las distancias entre curvas de nivel a valores de pendiente (inclinación del terreno). Para establecer los intervalos que tenían que representarse en el mapa, se consideraron, la escala, la equidistancia entre curvas de nivel y las condiciones fisiográficas (Lugo-Hubp, 1988).

La descripción de las unidades de suelo que utiliza CETENAL (FAO, 1995), sirvió de base para elaborar el mapa edafológico y la descripción de los suelos.

El mapa geomorfológico tiene como objetivo registrar y proporcionar información de manera sistemática de las formas del relieve (por su jerarquía), el origen (morfogénesis), los materiales que las conforman (litología y suelos), los procesos geomorfológicos que actúan sobre estas y la edad (cronología) de las formas del relieve.

Para el mapa de unidades de paisaje geomorfológico se tomó como base el mapa de unidades geomorfológicas de Aceves (1996), que presenta un enfoque geológico. Las 21 unidades geomorfológicas que él describe se agruparon en 12 unidades de paisaje geomorfológico. Dicho mapa se digitalizó y se ajustó a las necesidades y objetivos del trabajo.

Para la elaboración del mapa de vegetación y uso del suelo actualizado al año 2001, se siguió el criterio del ITC, que consiste en interpretar las comunidades vegetales a partir de fotografías aéreas (Zonneveld, 1979, 1995)

Se realizó una primera delimitación de la vegetación y uso del suelo mediante fotointerpretación de las fotografías aéreas a escala 1:37 500 y 1:75 000 (época seca), esta información se digitalizó y sirvió de base para la interpretación de la imagen de satélite, por ser la fuente de información más reciente con que se contaba.

Las imágenes de satélite Landsat ETM utilizadas para armar el mosaico que cubre la zona de estudio fueron la 2747 y la 2647 (época seca). Estas imágenes se georreferenciaron y posteriormente se hicieron combinaciones de bandas con el fin de obtener un compuesto en falso color con la mejor combinación espectral, con la cual se interpretaron de manera visual los diferentes tipos de vegetación. El compuesto utilizado fue el 452, que corresponde a las bandas infrarrojo cercano, infrarrojo medio y rojo.

La leyenda utilizada para el etiquetado de los polígonos de los tipos de vegetación, se basó en la clasificación de la carta de vegetación y uso del suelo de INEGI, las cuales se agruparon en 19 categorías. Se tomo como base la información de los muestreos de vegetación de García del Valle (1999). Anexo III.

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin et al. 2001).

Con la finalidad de hacer el análisis del cambio de vegetación y uso del suelo en el parque del año de 1976 al 2001. Se digitalizó el mapa de vegetación y uso del suelo de INEGI de 1976, se poligonizó y se etiquetó considerando las categorías empleadas para la interpretación de la imagen de satélite.

La superficie de los asentamientos humanos no se cuantificó, queda incluida dentro de las áreas agrícolas y de pastizal.

Los tipos de vegetación y uso del suelo, se agruparon en tres categorías: 1) vegetación primaria, incluye a los bosques de coníferas y latifoliadas. 2) vegetación secundaria, bosques con vegetación secundaria o algún tipo de disturbio. 3) vegetación antrópica, se incluyeron las actividades agrícolas, pecuarias y los asentamientos humanos.

Para generar el mapa de procesos de cambio para los dos periodos (1976 y 2001), se consideraron cuatro procesos de cambio que se presentan en la cobertura vegetal.

1) Deforestación por el cambio de vegetación primaria a antrópica, 2) Transformación de vegetación primaria a secundaria, 3) Revegetación de antrópica a vegetación primaria y 4) Recuperación de vegetación secundaria a primaria (Figura 2).

Para hacer el análisis de la distribución de las localidades ubicadas dentro del parque, así como de las que se encuentran a una distancia de 500 y 1 000 metros del límite del PNNT, de la base de datos de INEGI de año 2000, se ubicaron en el mapa topográfico. Se tomaron los datos de población por localidad de los censos de 1970, 1990 y 2000, para observar el crecimiento de las comunidades localizadas dentro y fuera del parque del parque, así como la información de las principales actividades que realizan.

Fase de campo: Se realizaron recorridos de campo para verificar la distribución de la vegetación presentada en las cartas de vegetación INEGI, así como la información obtenida de la fotointerpretación de las fotografías aéreas e imágenes de satélite. En estas salidas se generó una base de puntos de los sitios visitados, con ayuda de un GPS.

Durante los recorridos se tomaron fotografías digitales para ilustrar las unidades de paisaje geomorfológico, la ubicación de los asentamientos humanos, actividades agrícolas y pecuarias que se realizan en el área.

Fase final: Las bases de datos generadas de las cartas temáticas, y de los mapas de vegetación y uso del suelo de las dos épocas (1976 y 2001), permitieron generar estadísticas para cada uno de estos.

Las unidades de paisaje geomorfológicos a escala 1:100 000, se analizaron en función de los procesos de cambio de uso del suelo, que presentan en iguales superficies, mediante un análisis de cluster, con el programa PC-OPD, Versión 3.17, y esto se relaciono con sus características edafológicas, climáticas, de pendiente, altitud, y orientación, obteniendo una tabla síntesis de las unidades de paisaje geomorfológico con sus procesos de cambio. Mediante el análisis de cluster se reconocen las agrupaciones por la igualdad de valores en la distancia euclidiana.

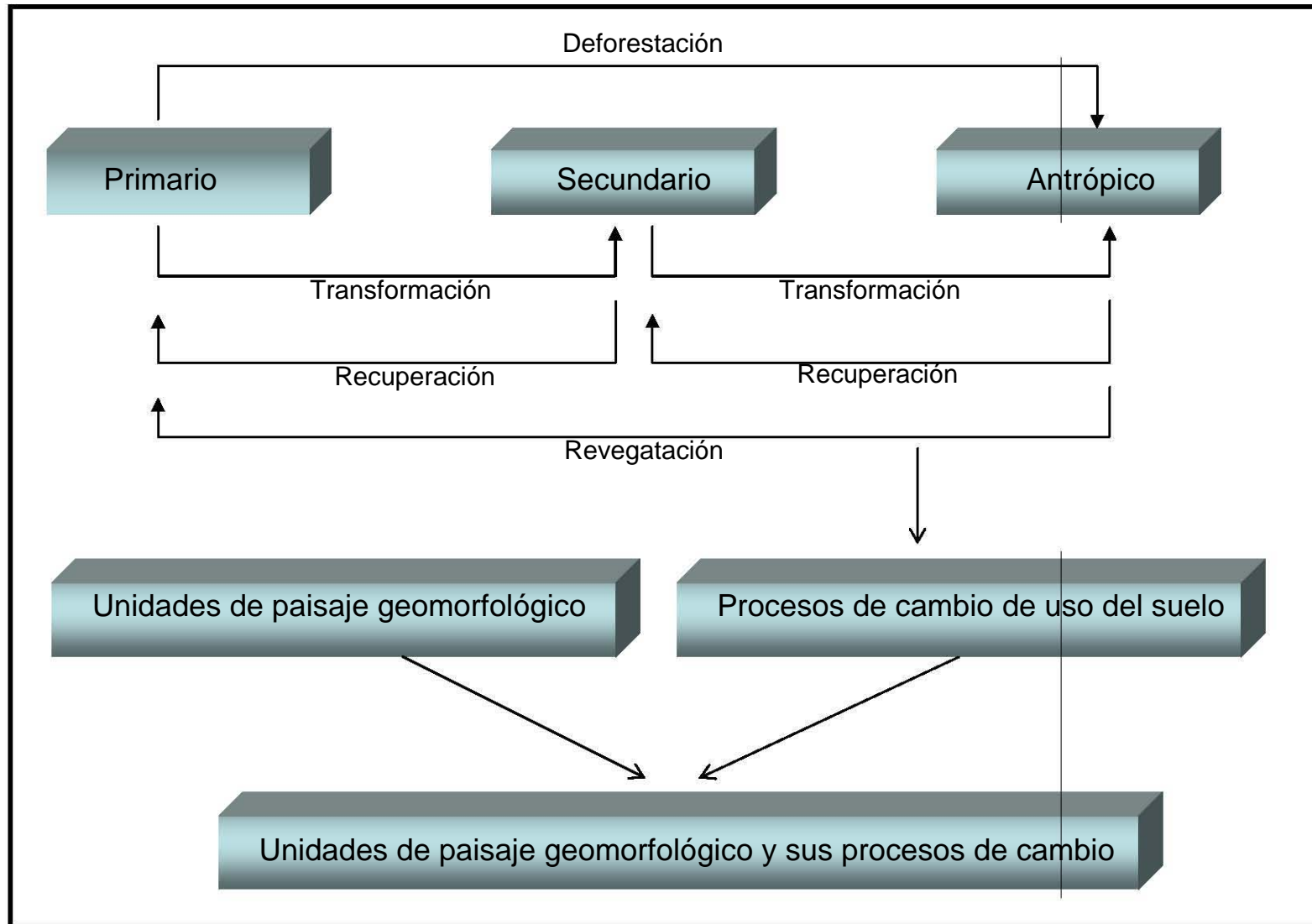


Figura 2. Procesos de cambio de uso del suelo que se presenta en la cobertura vegetal del PNNT.

6. RESULTADOS

Diagnóstico

El Parque Nacional Nevado de Toluca, (PNNT). Se localiza entre los 19° 00' y 19° 20' de latitud norte; 99° 38' y 99° 57' de longitud oeste; a 22 km al SW de la ciudad de Toluca, cubre una superficie de 53,757 ha (537.57 km²). Comprende el cono principal del volcán llamado Nevado de Toluca, también es conocido como Xinantécatl o ``Señor Desnudo'', que por su predominancia da nombre al parque y otra serie de geoformas que se extienden hacia el noroeste del cono principal, incluyendo a los cerros San Antonio y El Calvario; está delimitado por la curva de nivel de los 3,000 m snm (Figura 3).

El parque comprende parcialmente nueve municipios del Estado de México: Toluca de Lerdo, Calimaya, Tenango del Valle, Villa Guerrero, Coatepec Harinas, Temascaltepec, Zinacatepec, Amealco de Becerra y Almoloya de Juárez. (CEPANAF, 1993) Figura 4.

Altitud. El área del parque se establece dentro de un intervalo altitudinal que va de los 3 000 m snm, en la parte baja hasta los 4 690 m snm, en la parte alta que corresponde al Pico del Fraile en el extremo sur del cráter, el cual presenta un borde dentado en el que sobresalen dos elevaciones principales, el Pico del Fraile y el Pico del Águila en el extremo norte. Incluyendo también el volcán San Antonio y el cerro el Calvario, localizados al norte del cráter entre los 3 800 a los 4 000 m snm.

El intervalo altitudinal que cubre la mayor superficie del parque, va de los 3 000 a 3 200 m snm, cubriendo el 38 % del total (Tabla 2; Figura 5).

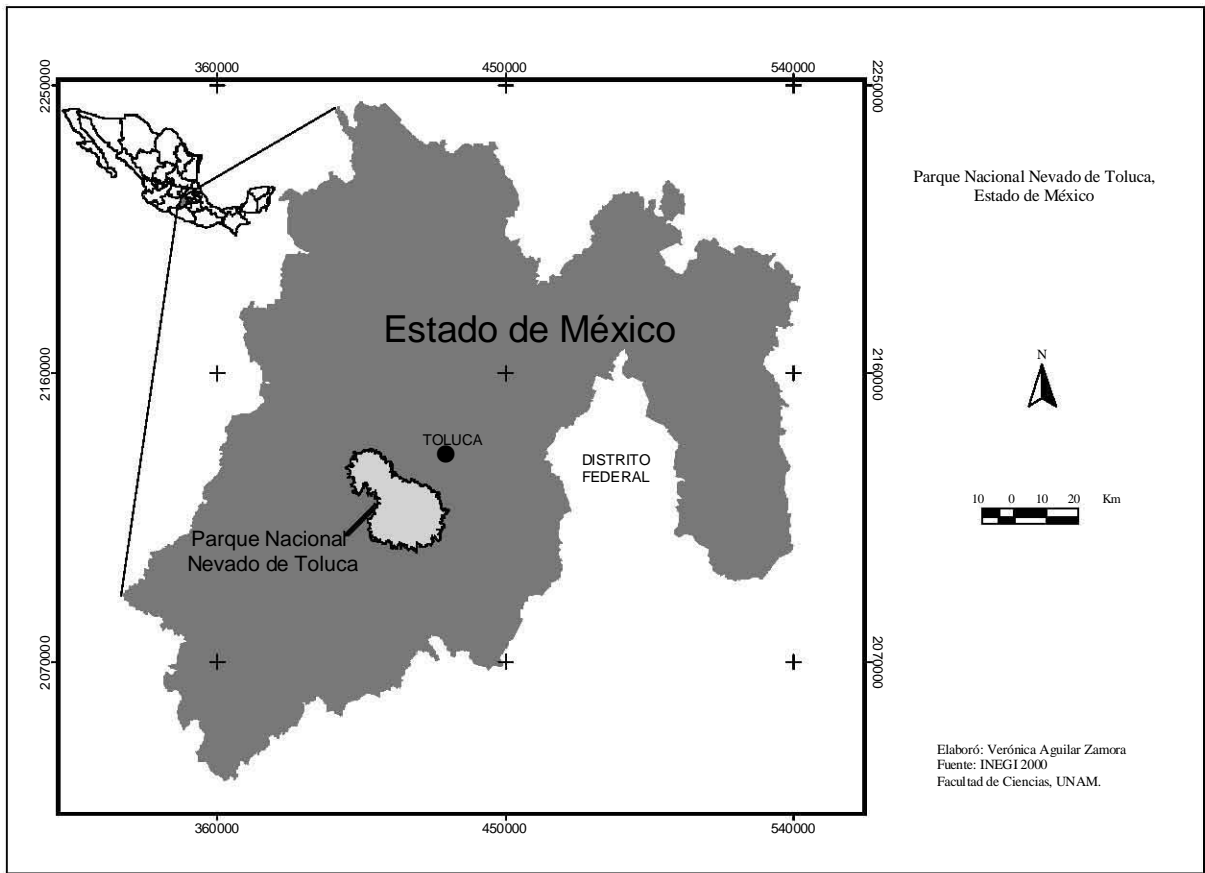


Figura 3. Localización del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

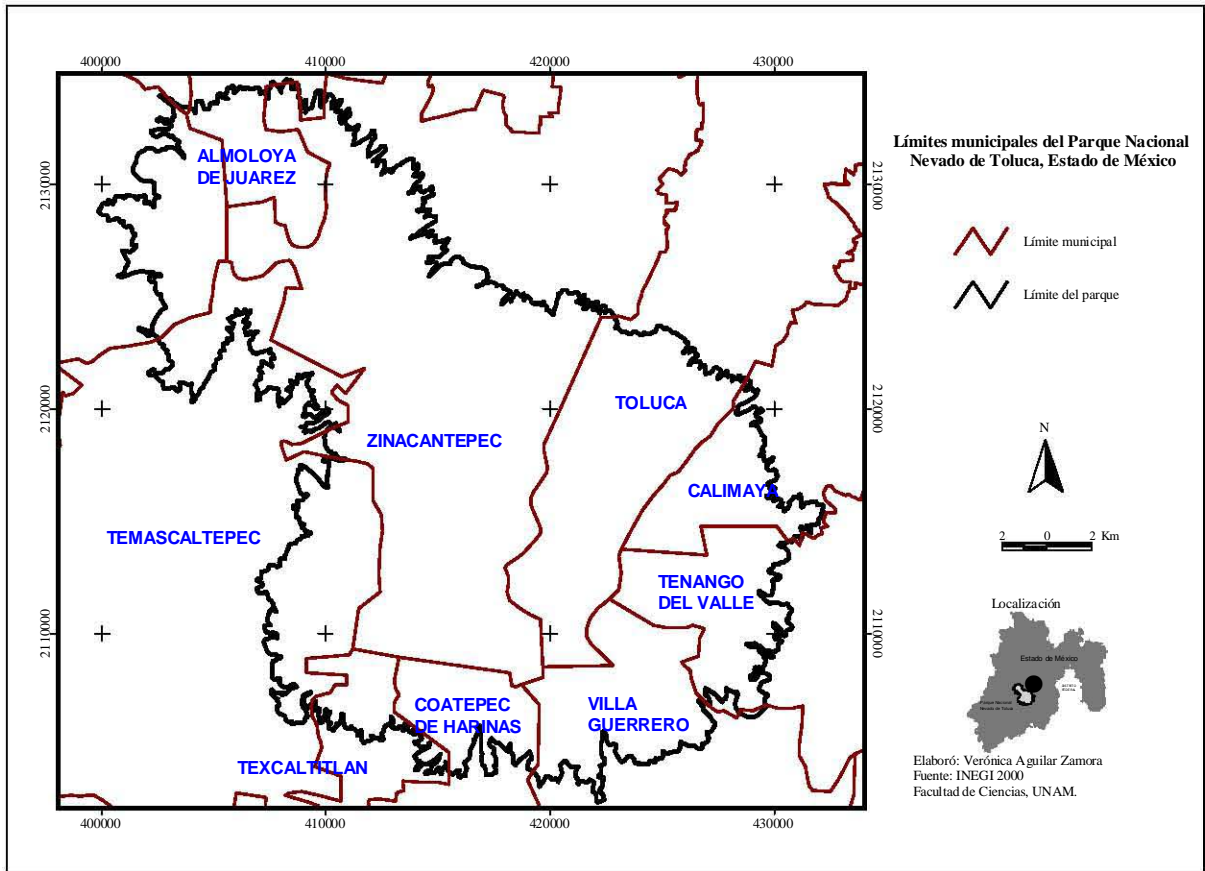


Figura 4. Mapa de límites municipales del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

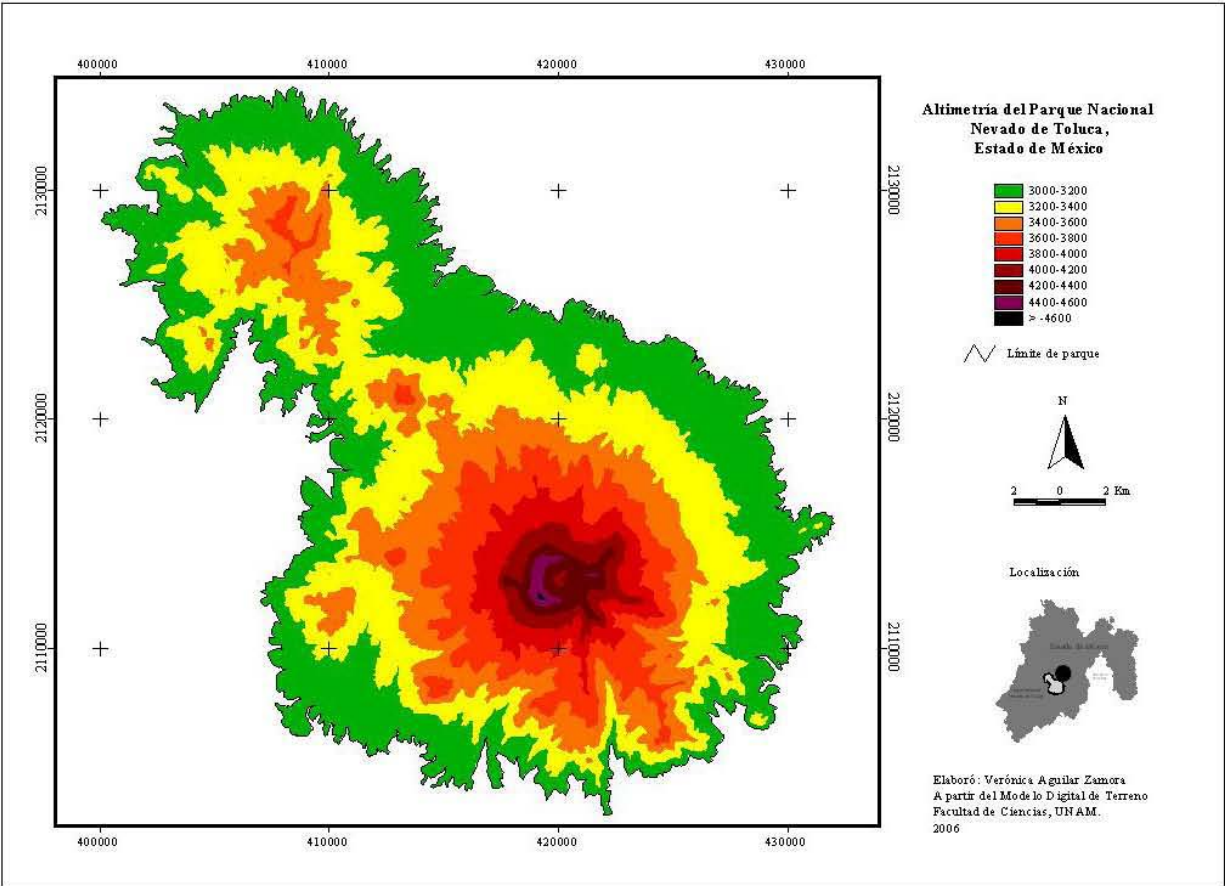


Figura 5. Mapa altimétrico del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

Tabla 2. Intervalos altitudinales con la superficie y su relación de porcentaje en el PNNT.

Intervalos altitudinales	Superficie (ha)	%
3000-3200	20 220	38
3200-3400	15 033	28
3400-3600	9 006	17
3600-3800	5 150	10
3800-4000	2 298	4
4000-4200	1 132	2
4200-4400	729	1
4400-4600	180	-1
> 4600	7	-1

Pendientes. Las pendientes que dominan por su extensión son las de 6-15° que corresponden al piedemonte, localizadas en las laderas este y oeste del PNNT. Las pendientes de 15-45°, se presentan en la ladera sur del volcán y de los cerros San Antonio y el Calvario (Tabla 3, Figura 6).

Las pendientes se agruparon en seis intervalos, de acuerdo a sus características fisiográficas, que de manera natural permiten diferenciar planicies, piedemontes y laderas montañosas, de acuerdo a la siguiente tabla de clasificación.

Tabla 3. Pendientes con la superficie y el porcentaje que ocupa en el PNNT.

Pendiente (°)	Descripción	Superficie (ha)	%
0-3	Planicies	4 653	9
3-6	Planicies ligeramente inclinadas, piedemonte	7 976	15
6-15	Piedemonte	20 783	39
15-30	Laderas suaves de montaña	17 945	33
30-45	Laderas pronunciadas de montaña	2 391	4
> 45	Laderas escarpadas de montaña	11	-1

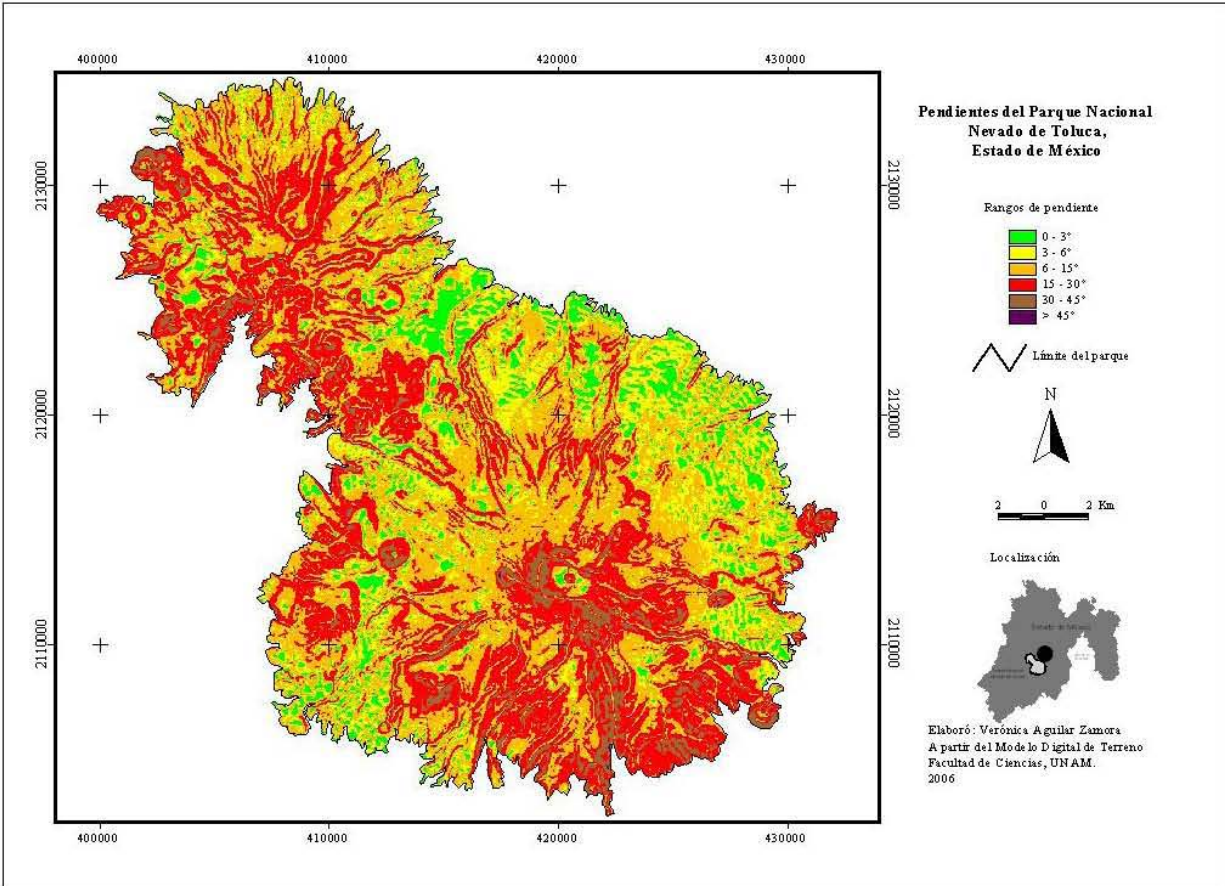


Figura 6. Mapa de pendientes del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

Orientación. Las orientaciones planas son las que dominan, seguidas de las de orientación noroeste, suroeste, oeste, y en menor proporción las de orientación sureste.

En función de la exposición, se dan las diversas condiciones de humedad, lo que influye en los procesos exógenos de las laderas. (Tabla 4, Figura 7).

Tabla 4. Orientación con la superficie y el porcentaje que ocupa en el PNNT.

Orientación	Superficie (ha)	%
Planas (sin orientación)	6 839	15
Noreste	6 559	14
Este	5 232	11
Sureste	4 626	10
Sur	5 206	11
Suroeste	6 090	13
Oeste	6 069	13
Noroeste	0.0	-1
Norte	6 365	14

Geología. El Nevado de Toluca, es un estrato volcán formado principalmente por lavas andesíticas y dacíticas, cuya forma se debe a las últimas etapas eruptivas y la erosión principalmente de tipo fluvioglacial. El piedemonte se encuentra formado por depósitos de flujos piroclásticos y sedimentarios, cubiertos por material pumicitico de caída libre (Aceves, 1996). Este volcan tuvo una erupción explosiva hace aproximadamente 25 000 años AP de tipo vulcaniano que cubrió sus laderas con lahar. Posteriormente, hacia 11 600 años AP sobrevino una segunda erupción violenta, de tipo pliniano la cual produjo una gran cantidad de material de pómez dacítica, conocida como tripartita de grano fino o Pómez Toluca Superior, la que es posible que se haya extendido hacia el valle de México, cubriendo una superficie de 2 000 km² (Bloomfield, 1974, 1975; Bloomfield y Velastro, 1977).

El volcán se encuentra asentado sobre el cruce de un ramillete de fallas con dirección NNW-SSE, WSW-ENE, y E-W, que han dado origen a dos sistemas volcánicos. El primero asociado al lineamiento característico de los grandes estratovolcanes del Eje Volcánico Transmexicano, cuyas edades son Plioceno-Cuaternarias, y sobre el cual se ubica el Nevado de Toluca, mientras que los otros corresponden a los eventos cuaternarios de la Sierra Chichinautzin,

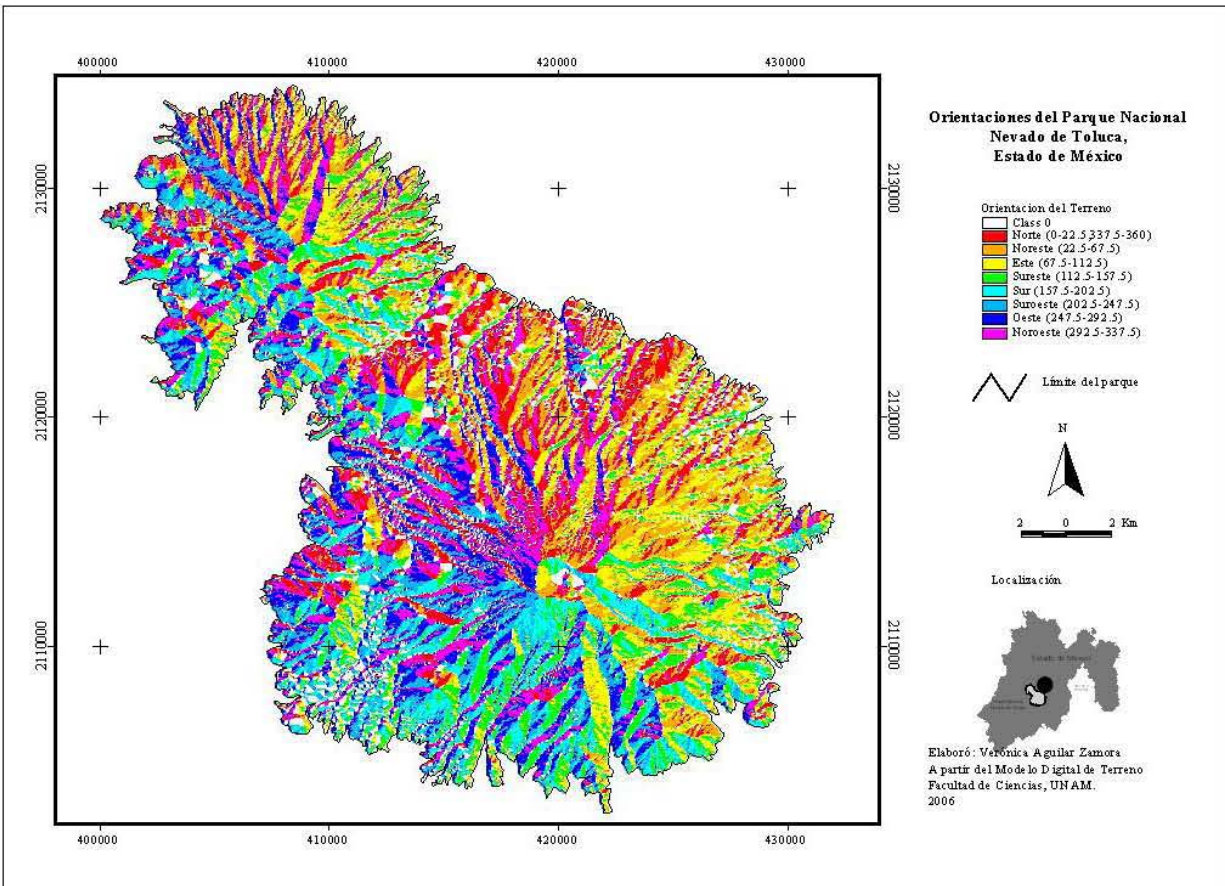


Figura 7. Mapa de orientaciones del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

cuyo vulcanismo se manifestó tanto al poniente como al oriente del Nevado de Toluca, siendo la parte oriental la que se encuentra más estudiada por Bloomfield (1973).

Sobre los fracturamientos NW-SE, se asientan los lineamientos volcánicos mayores, de los cuales destaca el lineamiento que forman el volcán San Antonio, Nevado de Toluca, el Cuescontepec y los volcanes al sur de la ciudad de Tenancingo (Aceves, 1996).

Las rocas ígneas extrusivas intermedias se localizan como una franja alrededor, de las elevaciones principales, cubren el 54 % de la superficie total, en los cerros San Antonio, el Calvario y el cráter del volcán, las brechas volcánicas se encuentra distribuidas en la parte baja de las laderas norte, noreste y sureste, las tobas están restringidas sólo a la ladera sureste del parque. Otras rocas presentes en menor superficie son: el material aluvial, la arenisca con toba y el basalto.

La Andesita Nevado de Toluca, esta formada por derrames lávicos del Nevado, que forman la base del edificio que está parcialmente destruido y cubierto por las erupciones del Pleistoceno, son principalmente andesitas y dacitas porfídicas de tono gris claro, con fenocristales de plagioclasa, horblenda oxidada en diversos grados, piroxena, cuarzo y biotita, Bloomfield, 1974, dato cuatro muestras de rocas del Nevado de Toluca y registro una edad de 1.23 a 1.60 m.a. estas rocas aparecen en el flanco occidental del Nevado de Toluca, al sur de la Comunidad y Mesón Viejo.

Lavas andesíticas aparecen formando macizos como el del volcán San Antonio. La edad asignada a éstas es finales del Plioceno y principios del Pleistoceno.

Encima de estos macizos plioceno-cuaternarios se encuentran depósitos volcanoclásticos cuaternarios provenientes de los centros volcánicos San Antonio y del Nevado de Toluca, formados por lahares y depósitos de flujos de caída libre. Al norte sobre las laderas del cerro San Antonio hay lahares, depósitos brechados y pómez (Tabla 5, Figura 8).

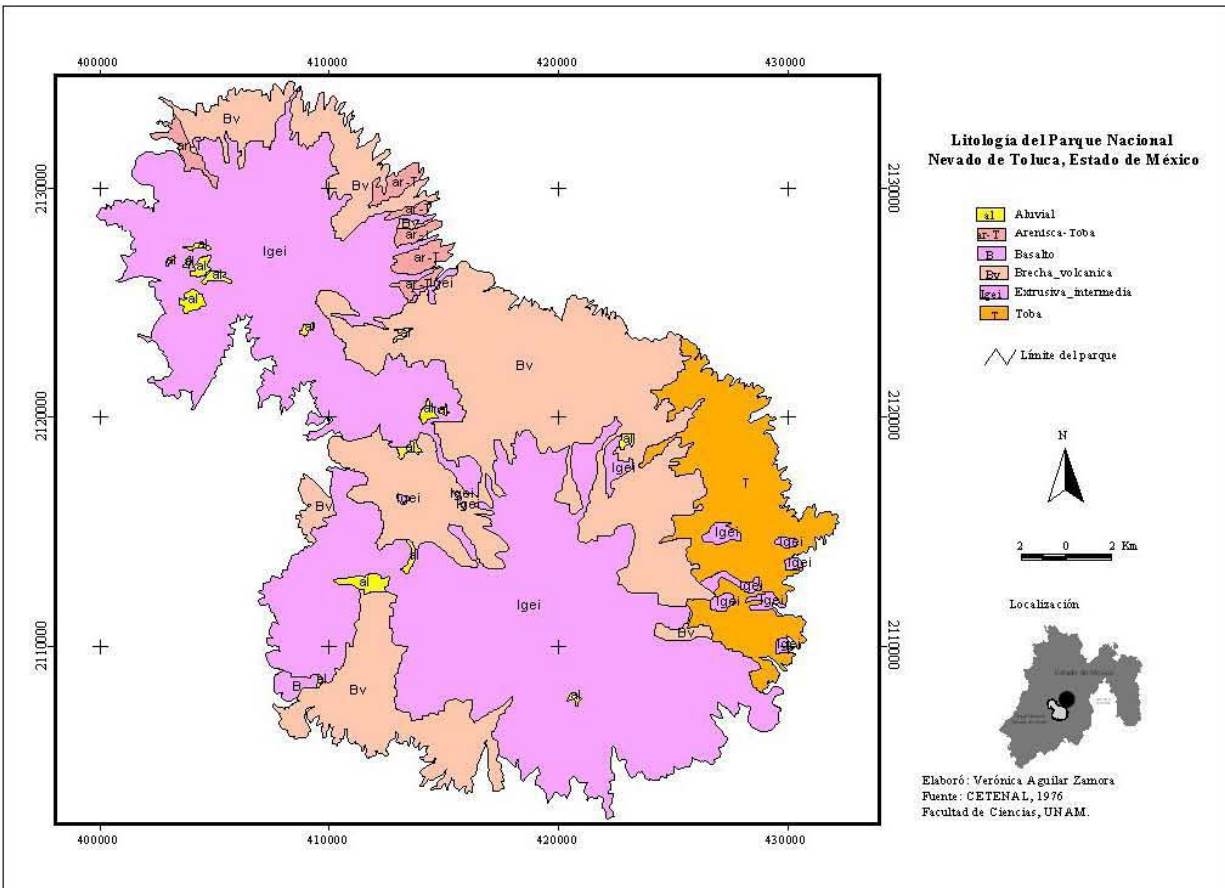


Figura 8. Mapa de litología del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

Tabla 5. Geología presente en el PNNT. (Fuente: Carta litológica, CETENAL, 1976).

Geología	superficie (ha)	%
Ígneas extrusivas intermedias	29 125	54
Brechas volcánicas	17 893	33
Tobas	5 120	10
Areniscas-Tobas	918	2
Aluvial	546	1
Basaltos	154	-1

Edafología. Los tipos de suelo que se encuentran distribuidos en el área de estudio son 5, sus orígenes están asociados con el material parental de rocas ígneas extrusivas intermedias, brechas volcánicas, toba, arenisca-toba, aluvial y basaltos. El área aproximada que cubre cada tipo de suelo es la siguiente: Andosol con 48 225.0 ha (90%); Feozem con 2 829.3 ha (5%); Litosol 1 409.9 ha (3%); Regosol 717.3 ha (1%).y Cambisol 576.9 ha (1%). (Tabla 6, Figura 9, Anexo IV).

Se han desarrollado Andosoles ócricos, de colores claros y pobres en materia orgánica, se ubican generalmente sobre rocas ígneas extrusivas intermedias con pendientes fuertes. En lugares con afloramientos rocosos y en zonas pedregosas los Andosoles se encuentran asociados a Regosoles éutricos y Litosoles.

Andosoles. Son suelos derivados de cenizas, susceptibles a la erodabilidad, por su carácter de poco desarrollados, aunado a pendientes fuertes, originan procesos de erosión acelerada y movimientos en masa.

Los Andosoles se encuentran relacionados con los Litosoles, Regosoles y Cambisoles, en zonas de transición entre unidades de relieve abrupto, en depósitos de material grueso de acarreo. Las fases que presentan en esta unidad son lítica (rocosa), pedregosa y gravosa. Los Andosoles resultan ser poco aptos para la agricultura, Por su alta susceptibilidad a la erosión, así como la fuerte fijación de fósforo que presentan, debe destinarse a explotación forestal como en el caso del Nevado de Toluca.

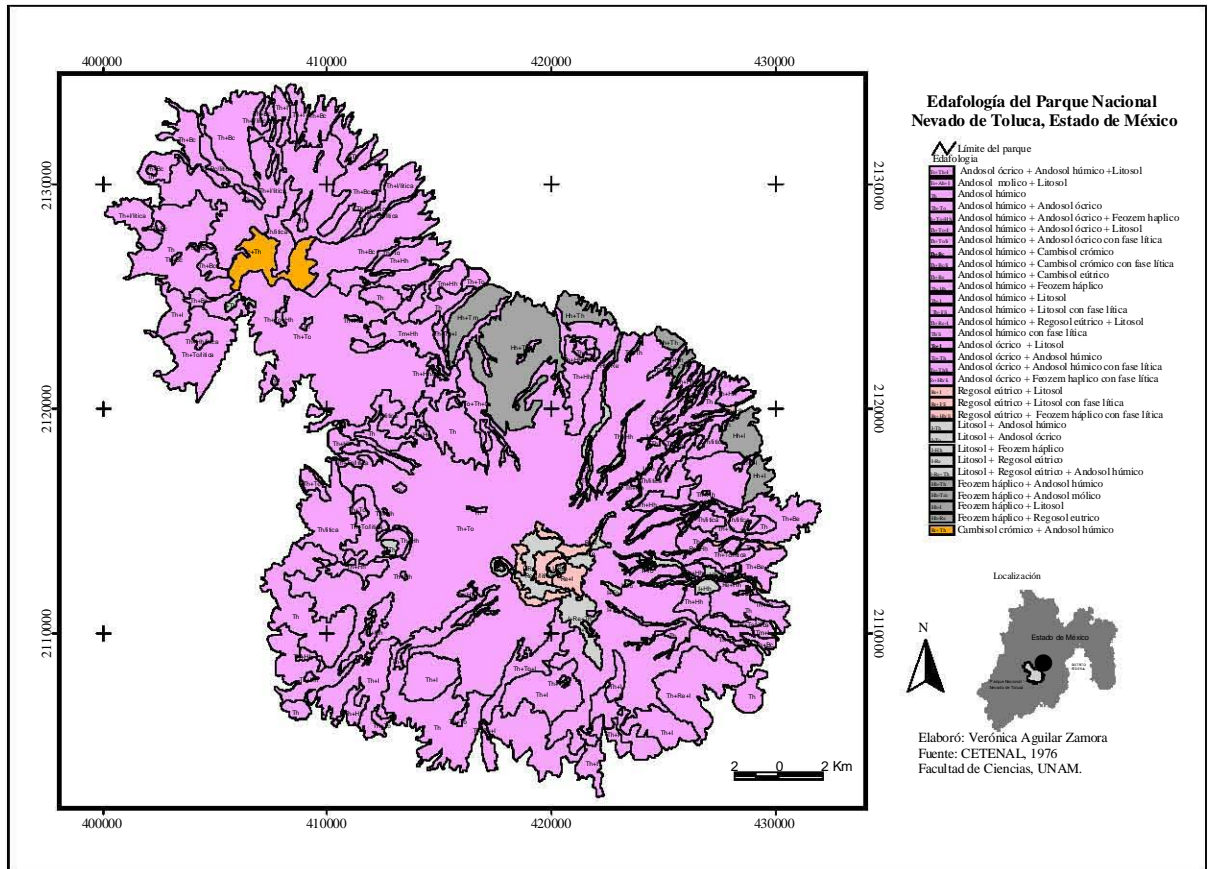


Figura 9. Mapa edafológico del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

Feozem. Suelos con un horizonte A mólico, presentan una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes. Se forman en condiciones ambientales variadas en las zonas planas de praderas y no en zonas montañosas con grandes pendientes.

Litsoles. Son suelos de menos de 10 cm, de profundidad limitados por roca dura y continua o por materiales calcáreos, conservan las características del material de origen, que en este caso son rocas ígneas extrusivas. Estos suelos no se desarrollan debido a la altitud en que se localizan, el clima frío y el rápido escurrimiento o percolación del agua hacen que difícilmente se implante vegetación (zacatonal alpino) y se desarrolle el suelo como tal. Se pueden encontrar asociados con Regosoles y Andosoles en pequeñas áreas.

Regosoles: Suelos formados a partir de materiales no consolidados, como las cenizas volcánicas sin ningún horizonte de diagnóstico salvo un A ócrico, por lo general son pobres en materia orgánica y nutrientes. Se encuentran relacionados con Litsoles y Andosoles en áreas con material suelto (arenoso, gravoso o pedregoso).

Cambisoles. Suelos jóvenes con poco o moderado desarrollo. Se caracterizan por presentar un horizonte A ócrico o úmbrico y un horizonte B cámbico, son suelos pobres en nutrientes, en el subsuelo presentan una capa que parece más suelo que roca, en la que forman terrones. Se localizan en zonas con poca pendiente.

Tabla 6. Tipos de suelos y la superficie que ocupan en el PNT.

Suelo	superficie (ha)	%
Andosol	48 225	90
Feozem	2 829	5
Litsoles	1 4010	3
Regosol	717	1
Cambisoles	577	1

Hidrología. El PNNT, es el parteaguas que separa dos importantes cuencas: la del río Lerma y la del río Balsas.

El patrón de drenaje del PNNT, está regido principalmente por la geología, de origen volcánico andésítico lo que facilita que las precipitaciones pluviales se infiltren por la permeabilidad de la roca, característica que da origen a ríos subterráneos que permiten la recarga de acuíferos.

La Cuenca del Lerma es el vaso lacustre más alto del EVT, en esta nace el río Lerma que drena hacia el Norte descargando sus aguas en el Lago de Chapala y finalmente en el Océano Pacífico (Newton y Metcalfe, 1999). El río Lerma nace en Almoloya del Río y de allí atraviesa el lecho de la planicie de dicho Valle. Los alimentadores del río son los manantiales que brotan al pie occidental de las sierras del Ajusco y Las Cruces; también lo son los torrentes que fluyen hacia el norte, noreste y este procedentes de las vertientes nororientales del Volcán Nevado de Toluca. En su curso hacia el norte, el Lerma recibe alimentadores como los ríos Oztoltepec, Tejalpa y La Gavia (Ramos-Ventura, 2000).

El volumen y caudal del agua de los diversos surtidores son de tal magnitud que el cauce del río Lerma es insuficiente para contenerlo, de manera que en época de lluvias se desborda e inunda la zona cercana. Además, una parte del agua contenida en los acuíferos confinados se filtra por su gradiente ascendente hacia la superficie, propiciando la formación de extensas zonas pantanosas y de niveles freáticos someros. Así se formaron las tres lagunas cenagosas que se extienden de Texcalyacac al sur, hasta Tarasquillo al norte (Romero-Quiroz, 1987).

La cuenca del río Lerma tenía tres lagunas que eran Almoloya del Río, Lerma y San Bartolo (tarasquillo), estos tres lagos constituían una amplia zona lacustre, actualmente esta cuenca está formada por las subcuencas de los ríos antes mencionados. La cuenca del río Verdiguél se forma por los escurrimientos que se originan en el PNNT, y se convierte en afluente del río Lerma.

En el interior del cráter existen dos cuerpos de agua dulce, La Laguna del Sol al oeste, tiene una longitud de 400 por 200 metros de ancho y una profundidad de 12 metros y se encuentra

a 4 209 m snm. Y la Laguna de la Luna al este, tiene 200 metros de largo por 75 de ancho y está a 4 216 m snm. El agua de ambas lagunas es aprovechada para consumo humano, por parte de las localidades aledañas.

El PNNT, divide dos regiones hidrológicas, la RH-12 Región Lerma-Santiago, y la RH-18 Región del Balsas, (Programación y Presupuesto, 1982). En la primera se encuentra la cuenca del Río Lerma-Toluca que a su vez está integrada por cuatro subcuencas: que son las de los Ríos: Almoloya-Otzolotepec, Verdiguél, Tejalpa y la Gavia.

A la región del Balsas (RH-18), pertenecen dos cuencas, la del Río Balsas-Mezcala y la del Río Cutzamala, para la primera se presenta la subcuenca del Río Pachumeco, mientras que la cuenca del Río Cutzamala, se compone de dos subcuencas, la del Río Temascaltepec y la del Río Tilostoc (Tabla 7, Figura 10)

El río Balsas y el río Cutzamala forman las cuencas que llevan sus nombres, los ríos que forman estas subcuencas se encuentra hacia el poniente del PNNT, la subcuenca del Río Temascaltepec–Sultepec, recibe sus primeros escurrimientos del Arroyo La Comunidad, llamado así por encontrarse cerca del poblado del mismo nombre.

El 80% de la red hidrográfica está conformada por arroyos intermitentes y sólo un 20% por ríos perennes. Las corrientes intermitentes se producen sólo en el momento de la lluvia. Las perennes son aquellas que se mantienen durante todo el año, incluyendo la temporada de secas, pueden ser alimentadas por manantiales.

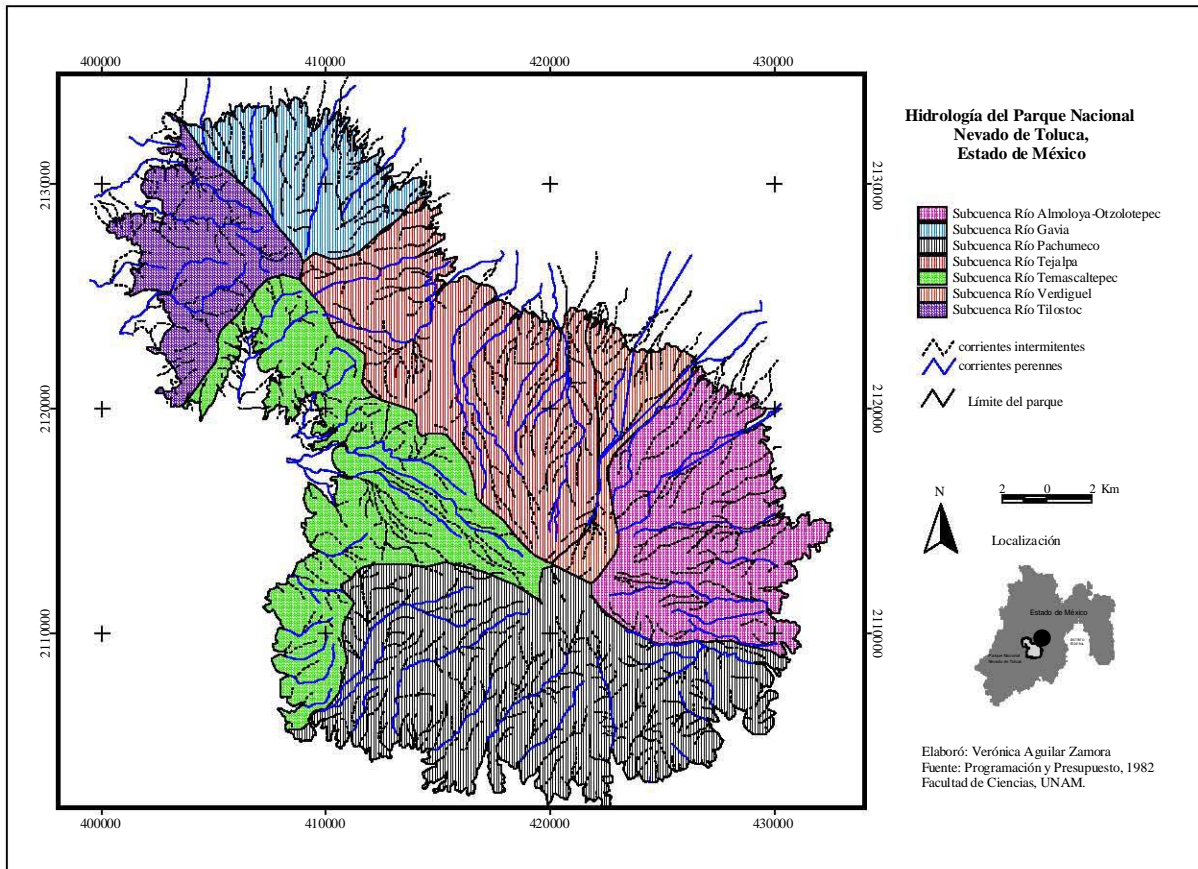


Figura 10. Mapa de regiones hidrológicas y corrientes principales del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México

Tabla 7. Regiones hidrológicas, Lerma-Santiago y Balsas con las cuencas y subcuencas y la superficie que presentan en el PNNT.

Región	Cuenca	Subcuencas	Superficie (ha)	%
RH-12. Lerma-Santiago	Río Lerma-Toluca	Río Almoloya-Otzolotepec	8 321	16
		Río Verdiguél	2 229	4
		Río Tejalpa	10 354	19
		Río Gavia	3 999	7
RH-18 Balsas	Río Balsas- Mezcala Río Cutzamala	Río Pachumeco	14 449	27
		Río Temascaltepec	9 785	18
		Río Tilostoc	4 619	9

Fuente: Carta hidrológica de aguas superficiales, escala 1:250 000. Ciudad de México E14-2. Programación y Presupuesto, 1982.

Clima. El PNNT según la carta de climas a escala 1:1 000 000, elaborada por García (1997), presenta dos tipos de climas, que se relacionan con el gradiente altitudinal que va de los 3 000 a 4 680 m snm; Semifrío subhúmedo en la parte baja y Frío de alta montaña en la parte alta.

El clima Semifrío subhúmedo $Cb'(w_2)(w)ig$, se caracteriza por tener una temperatura media anual que oscila entre los 5 y 12°C, con un coeficiente de precipitación anual mayor a 55.3, lluvias en verano, con menos del 5 por ciento de lluvia invernal, con una precipitación total anual de 1 300 mm, siendo el mes de julio el más lluvioso con 210 mm; y se presenta en el intervalo altitudinal de los 2 700 a 4 000 m snm.

El clima Frío de alta montaña $E(T)(HC)(w_2)ig$, presenta la temperatura promedio del mes más frío menor a 0°C, y una temperatura promedio anual de -2 a 5°C, con una precipitación media anual de 1 245 mm, con una mayor incidencia de lluvias durante el mes de julio de 260 a 270 mm; este clima se presenta en altitudes por arriba de los 4 000 m snm (Figura 11).

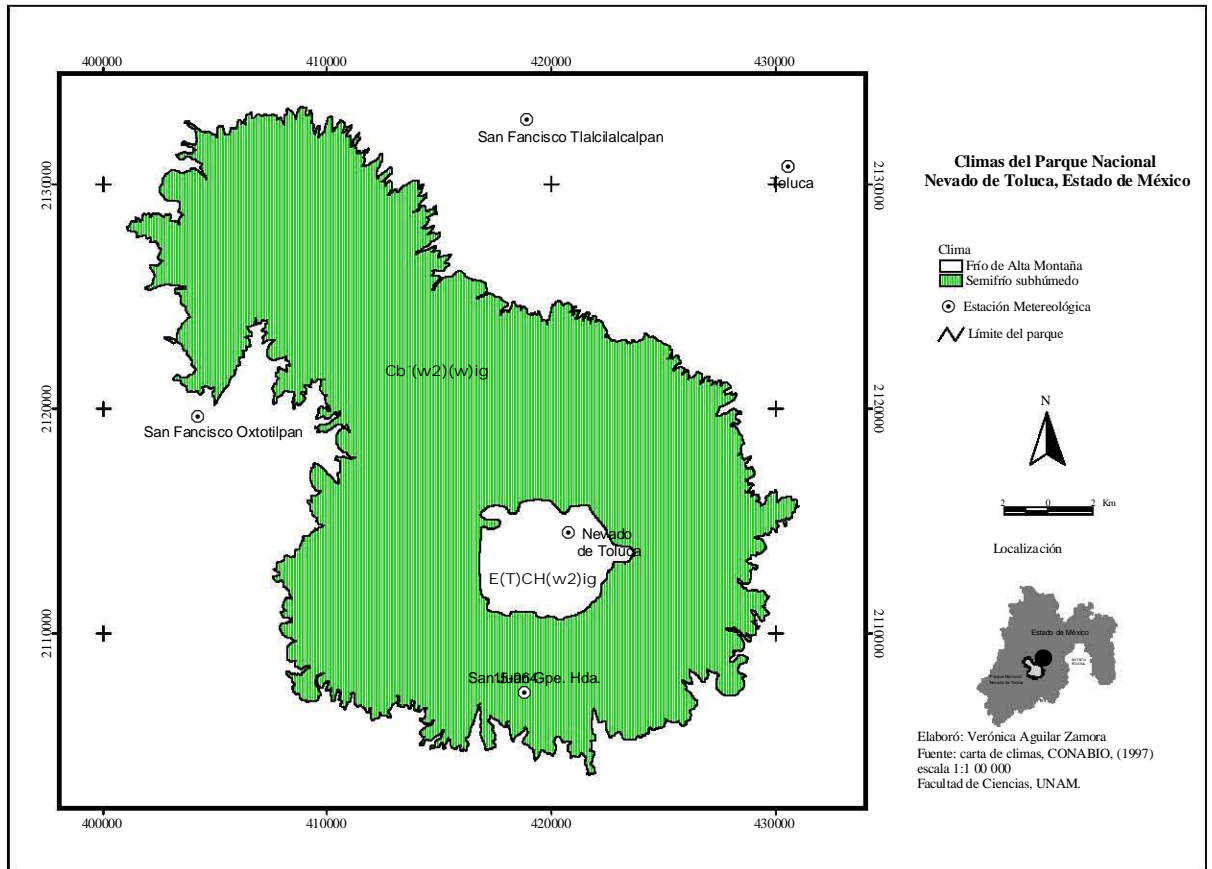


Figura 11. Mapa de climas del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

El relieve montañoso del PNNT funciona como una barrera climática que impide el paso de corrientes de aire frío provenientes del norte, estas son detenidas en la ladera norte provocando heladas y nevadas; se produce el fenómeno equivalente a sombra de lluvia favorecido por barrera orográfica, de tal manera que estas corrientes no pasan a la orientación sur de la montaña, lo que propicia condiciones más cálidas en esta ladera.

En el PNNT sólo se ubica la estación meteorológica Nevado de Toluca, ubicada a los 4 140 m snm, con un clima Frío de alta montaña, García (1997). Registra temperaturas medias que oscilan entre 2.1°C en febrero a 5.1°C en junio, con temperaturas máximas extremas de 14.9°C en el mes de mayo y las mínimas extremas de -5.6°C en febrero. La mayor concentración de lluvia se da en el verano en julio y agosto. Los datos muestran una oscilación de lluvia anual de 900 a 1 200 mm (Figura 11a).

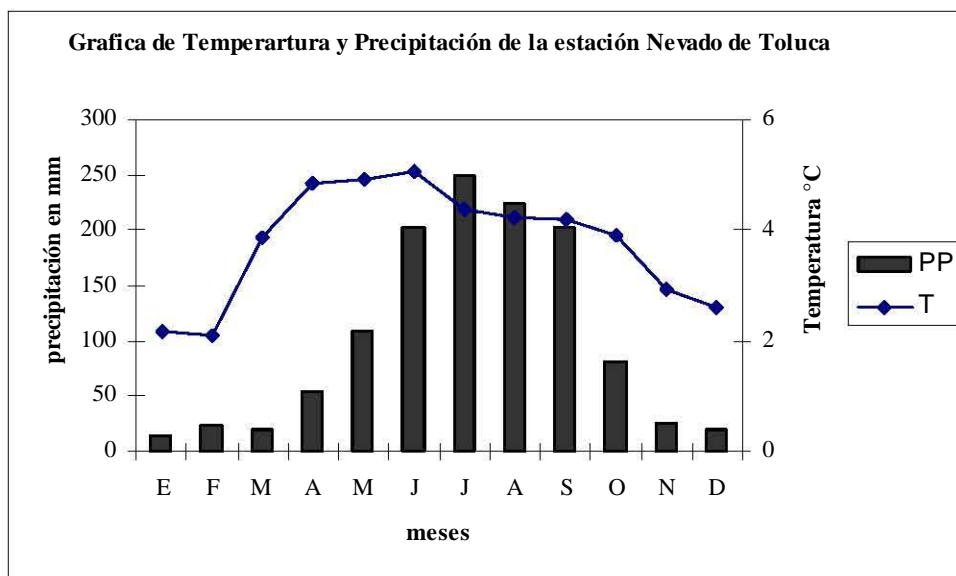


Figura 11a. Grafica de temperatura y precipitación media anual de la estación Nevado de Toluca.

Unidades de paisaje geomorfológico. La zona del Altiplano de Toluca, como el resto del Eje Volcánico Transmexicano, presenta un relieve joven constantemente modificado por la actividad endógena y exógena. Basado en el mapa de Aceves (1996), se describen tres clases básicas del relieve de la zona de estudio.

La primera clase volcánica Nevado de Toluca, esta subdividida en: cono volcánico, ladera superior y ladera inferior; una segunda clase correspondiente al margen del Nevado de Toluca, conformada por los depósitos de piedemonte y de los valles tectónicos con material proveniente del Nevado de Toluca y de otros centros eruptivos, laderas volcánicas asociadas a los centros volcánicos del San Antonio y sierra Madre del Sur, y depósitos de tefra producidos por estos centros, y una última clase unidad del nivel de base, formado por planicies rellenas de material aluvial y lacustre.

Las unidades de paisaje geomorfológico y su superficie se presenta en la Tabla 8, al igual que el mapa de unidades en la Figura 12, basados en Aceves (1996), modificado en función del análisis requerido para la zona de estudio; distinguiendo las tres clases principales del relieve.

Las unidades de paisaje geomorfológico incluidas en estas tres grandes unidades se describen a continuación:

I. Edificio principal de volcán Nevado de Toluca

De composición andesítica y con formas de origen glacial del Pleistoceno tardío y del Holoceno.

I a) Cono del Nevado de Toluca de morrenas y glaciares rocosos. Ubicado por arriba de los 4 400 m snm, se encuentra parcialmente destruido por las explosiones peleanas y plinianas que han dejado en su cima una pequeña caldera, sus laderas se encuentran cubiertas de pómez y formas de origen glacial, como glaciares rocosos, morrenas y rocas aborregadas, disecadas por grandes circos glaciales y fluviales, afectados por procesos de gelifracción que originan depósitos de talud compuestos de gelifractos, así como conos coluviales Aceves (1996). En su cima presenta el borde del cráter antiguo, el cual data de hace 60 000 años y se encuentra en promedio a una altitud 4 500 m snm. En el interior de esta unidad se encuentra un cráter joven con una edad de 24 000 años, a los 4 250 m snm, dentro del cual se localizan dos lagos el Sol y la Luna; y un pequeño domo llamado el Ombligo. Sus pendientes varían 6-45°, compuesto por rocas ígneas extrusivas intermedias, con suelos de tipo Andosol y con un clima Frío (Foto 1).



Foto 1. Unidad geomorfológica I a, Cono del Nevado de Toluca.

I b) Laderas de lava y tefra. Distribuidas entre los 3 300 y 4 000 m snm. Estas se encuentran cubiertas en su mayor parte por tefra y depósitos glaciales, ambas laderas se encuentran disectadas por una red de barrancos de origen fluvial y glacial; los de origen fluvial presentan una red radial y subparalela, con barrancos poco profundos, los de origen glacial son rectos, de fondo amplio y profundos. Con pendientes de 6-45° en las partes más escabrosas, con rocas ígneas extrusivas intermedias y brechas volcánicas, sus suelos son de tipo Andosol y esta dominadas por un clima Semifrio (Foto 2).



Foto 2. Unidad geomorfológica I b, Laderas de lava y tefra.

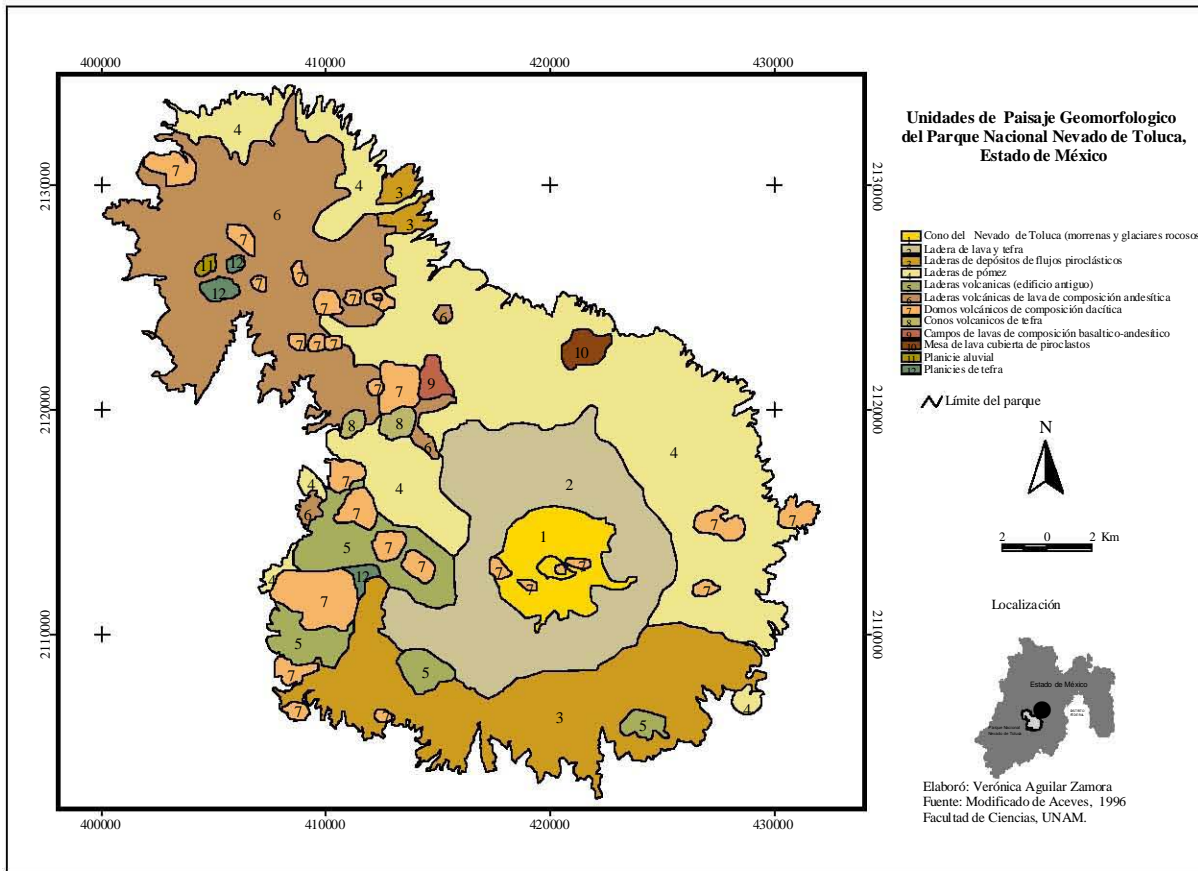


Figura 12. Mapa de unidades de paisaje geomorfológico del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

II. Margen del volcán Nevado de Toluca

Formado por el piedemonte del Nevado de Toluca, laderas volcánicas y depósitos de tefra provenientes de los volcanes, conos volcánicos de tefra y lava, domos de composición dacítica de origen pliocénicos y cuaternarios, mesas de lava, planicies y lomeríos de lava y de lahares, depósitos de pómez y flujos de piroclastos.

II a) Conos volcánicos de tefra. Se encuentran asociados principalmente al campo monogenético de la Sierra Chichinautzin y como una serie de conos parásitos del campo volcánico del volcán San Antonio. Sus pendientes varían entre 15 y 45°, compuestos por rocas ígneas extrusivas intermedias, donde se desarrollan suelos de tipo Andosol, bajo un clima Semifrio subhúmedo.



Foto 3. Unidad geomorfológica II a, Conos volcánicos de tefra.

II b) Domos volcánicos de composición dacítica. Son varios cuerpos de diferentes edades, principalmente del Pleistoceno, el grupo más importante lo forman los domos del volcán San Antonio alineados en dirección noroeste, también destacan los domos asociados al Nevado de Toluca, en cuyas cimas se encuentran algunos parcialmente destruidos, con un clima Semifrio subhúmedo.



Foto 4. Unidad geomorfológica II b, Domos volcánicos de composición dacítica.

II c) Laderas volcánicas, edificio antiguo de composición andesítica-dacítica. Están formadas por los derrames más antiguos del Nevado de Toluca, son de composición andesítica-dacítica, con una edad de 1.2 m.a. (Robin, 1982), presentan una red fluvial dendrítica, con barrancos de una profundidad máxima de 120 m y pendientes de 25-30°, con clima Semifrío subhúmedo.

II d) Laderas volcánicas de lava de composición andesítica. Está formada por los derrames que no pertenecen al Nevado de Toluca y son resultado del vulcanismo del Terciario y del Pleistoceno, de los centros volcánicos del volcán San Antonio, el macizo Calixtlahuaca y la Sierra Madre del Sur al sur y suroeste del Nevado de Toluca, presenta una red fluvial dendrítica bien desarrollada con presencia de varios circos erosivos, barrancos con profundidad máxima de 300 m y escarpes de falla, como el que se observa en la ladera meridional del volcán San Antonio con pendientes de 25 a 45°, con clima Semifrío subhúmedo.



Foto 5. Unidad geomorfológica II d, Laderas volcánicas de lava de composición andesítica.

II e) Mesa de lava cubierta de piroclastos. Se localiza sobre el flanco norte del Nevado de Toluca a unos 3 200 m snm, sobre el piedemonte constituido de pómez, Esta estructura representa un antiguo volcán cuya cima plana fue cubierta por los depósitos de pómez provenientes de las erupciones plinianas y en el relieve se observa como una pequeña mesa, con clima Semifrío subhúmedo.

II f) Laderas de pómez. Se hallan asociadas principalmente a las grandes erupciones plinianas del Nevado de Toluca, de hace 24 000 y 11 000 años, las cuales originaron las formaciones Pómez Toluca Inferior y Superior, consistentes en pómez mezcladas con cantidades bajas de líticos (andesita) y cristales (plagioclasas, hornblenda e hiperstena, principalmente); que varían de acuerdo con la formación. Se localizan principalmente al este y noreste del volcán, formando el piedemonte; se encuentran disectadas por una red fluvial paralela y subparalela recta, con causes rectos, poco ramificados, de bajo orden con barrancos de menos de 50 m de profundidad y con un declive de 6-12°. En estas laderas se han desarrollado activos procesos de gelifluxión asociados al periglacialismo que mezclados con procesos fluviales han originado pequeños valles y terrazas fluvio-glaciales. Además se encuentran alteradas por procesos naturales y antrópicos que han originado una intensa destrucción de tierras, con clima Semifrío subhúmedo.



Foto 6. Unidad geomorfológica II f, Laderas de pómez.

II g) Laderas de depósitos de flujos piroclásticos. Están compuestas por material brechado originado por flujos calientes y lahares, con capas delgadas de pómez, que se observan en la parte superior de estos depósitos; su origen está asociado a las erupciones de tipo peleano hace aproximadamente 38 000 años, cubre la mayor parte de la ladera del volcán, sin embargo, la mayoría de estos depósitos se hallan a su vez cubiertos por depósitos de pómez, cenizas y morrenas. Sólo una parte aflora en la ladera sur del volcán, la cual queda comprendida entre los 2 400 y 3 700 m snm, con un declive que varía de 15 a 25 °. En su superficie se ha desarrollado una red dendrítica de poca densidad, con barrancos paralelos, con profundidades de 350 a 450 m, los espesores de los afloramientos son gruesos (10-15 m), presentan bloques de pómez y dacita.



Foto 7. Unidad geomorfológica II g, Laderas de depósitos de flujos piroclásticos.

II h) Campos de lavas de composición basáltico-andesítico. Estas formas se hallan asociadas a los campos volcánicos monogenéticos cuaternarios, principalmente de la Sierra de Chichinautzin, donde predominan las coladas fluidas, las cuales por su juventud se pueden diferenciar en una cartografía de detalle. En su superficie se observa una red de drenaje incipiente, controlada por fracturas y contactos entre las coladas. Estos derrames se llegan a encontrar coronados por conos piroclásticos y conos de lava, en ocasiones sólo se observan las aberturas a través de las cuales emanan los manantiales.

II. Planicies

Se sitúa en las planicies acumulativas de tipo aluvial.

III a) Planicie aluvial. Se localiza al SE del Nevado, el aluvi3n est3 compuesto principalmente de material volc3nico transportado.

III b) Planicies de tefra, valles sepultados. Son peque1as planicies rellenas de material volc3nico de ca3da, arrastrado por los r3os una distancia corta, se observa como un material volc3nico poco alterado, con fragmentos subredondeados a subangulosos.



Foto 8. Unidad geomorfol3gica III b, Planicie de tefra.

Tabla 8. Unidades de paisaje geomorfol3gico y su superficie, para el PNNT.

Unidades de paisaje geomorfológico	superficie (ha)	%
II Laderas de pómez	17 398	32
II Laderas volcánicas de lava de composición andesítica	9 983	19
I Laderas de lava y tefra	8 645	16
II Laderas de depósitos de flujos piroclásticos	8 261	15
II Domos volcánicos de composición dacítica	3 727	7
II Laderas volcánicas (edificio antiguo)	2 766	5
I Cono del Nevado de Toluca (morrenas y glaciares rocosos)	1 921	4
II Conos volcánicos de tefra	293	1
II Mesa de lava cubierta de piroclastos	284	1
II Campos de lavas de composición basáltico-andesítico	210	-1
III Planicies de tefra	106	-1
III Planicie aluvial	65	-1

Vegetación y uso del suelo en el Parque Nacional Nevado de Toluca en 2001

En el PNNT, se presentan diversos de tipos de vegetación, cuyos límites de distribución varían en función de la altitud, las cuales han sido perturbados en menor o mayor grado, Se describen las principales tipos de vegetación y uso del suelo, basado en la propuesta de Rzedowski (1978) y la leyenda de los mapas de vegetación y uso del suelo de INEGI (Tabla 9, Figura 13).

Se describe la cobertura de vegetación y uso del suelo de las 53 757 hectáreas que comprende el Parque Nacional Nevado de Toluca:

El 60% del área del parque (32 838 ha), se caracterizan por presentar vegetación conservada, de estos, el 19% (10 435 ha), corresponde al bosque de *Abies*, que es la vegetación más ampliamente distribuida, en algunos casos se encuentra restringida o aislada en cerros, laderas o cañadas, con condiciones microclimáticas específicas; con precipitaciones mayores a los 1 000 mm y temperaturas de entre 7 a 15 °C. Se distribuye desde los 3 100 a los 3 600 m snm, en los cerros San Antonio y el Calvario y en la ladera oeste del cráter del volcán. En los bosques de

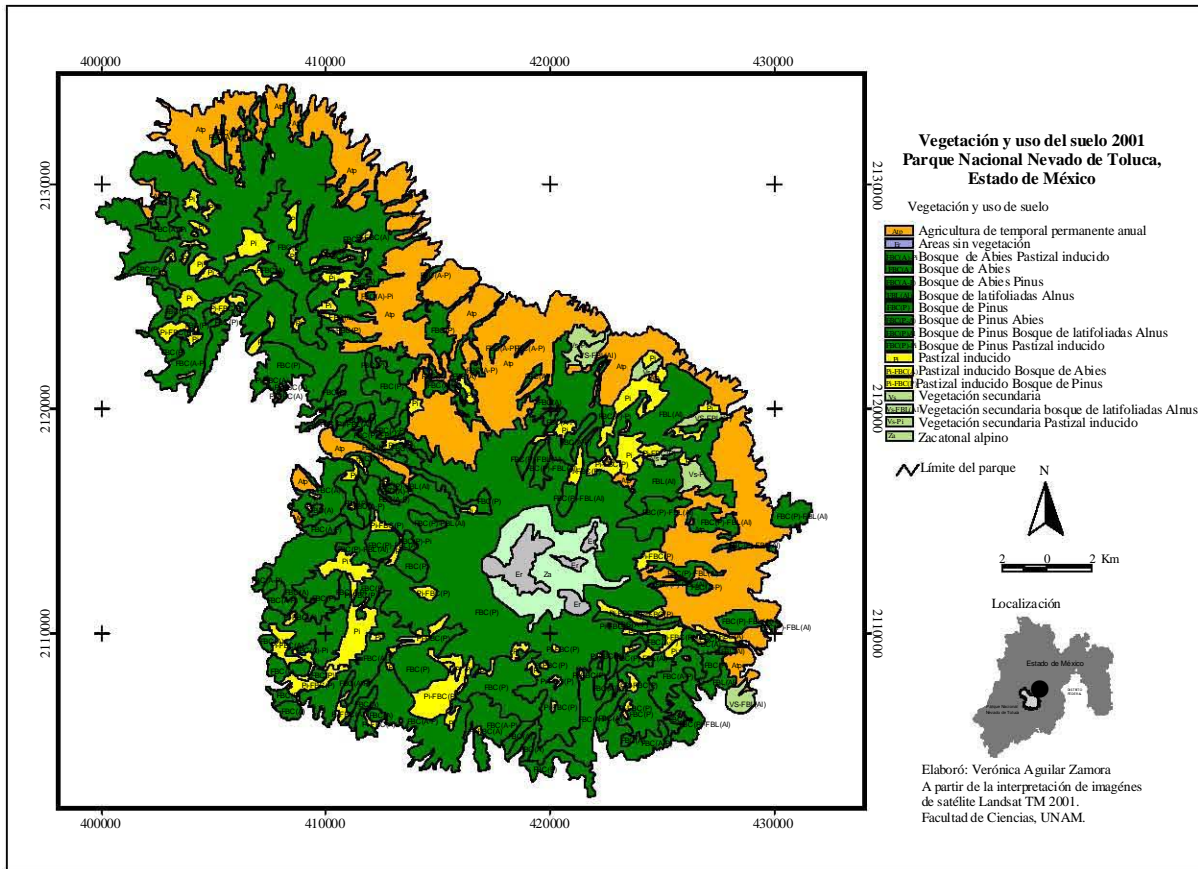


Figura 13. Mapa de vegetación y uso de suelo del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México, para el año 2001.

Abies en el estrato subdominante se encuentran los géneros: *Acaena*, *Alchemilla*, *Cerastium*, *Cestrum*, *Salvia*, *Senecio*, *Siptropia*, *Stevia*, y *Smilax*.

Bosque de *Pinus*. El 15% (8 036 ha), corresponde a bosque de *Pinus hartwegii* esta especie de coníferas es la más resistente en el área, está expuesta a intensas variaciones climáticas y se caracteriza por establecer el límite superior de la vegetación arbórea. En el caso del cono del volcán se presentan como bosques abiertos, que se desarrolla en altitudes de entre 3 600 a 4 000 m snm, prácticamente en todas las áreas montañosas de México. En altitudes menores a los 4 000 m snm, *P. hartwegii* presentar alturas de 15 a 20 m y en altitudes menores puede formar asociaciones con otras especies de pinos como pueden ser *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* o *P. teocote*. En suelos de tipo Andosol principalmente. En los bosques dominados por pinos y gramíneas los géneros subdominantes son: *Alchemilla*, *Cirsium*, *Eryngium*, *Lupinus*, *Mulenbergia nigra*, *Penstemon*, *Tauschia* y *Senecio*.

Los bosques mixtos se subdividen en:

El 7% (3 599 ha), corresponde a bosque de *Pinus* y *Abies* con pastizal inducido.

El 16% (8 440 ha), bosque mixtos, de *Pinus-Abies*, *Abies-Pinus*.

El 4% (2 329 ha), está cubierto por bosque de *Alnus*, *Pinus-Alnus* y *Alnus-Pinus*.

El 3% (1 617 ha), bosque de latifoliadas *Alnus* con pastizal inducido.

Los géneros acompañantes de esta vegetación son: *Salvia*, *Salix*, *Baccharis*, *Eupatorium*, *Alnus* y *Eryngium*.

Agricultura. La actividad agrícola es muy amplia, la superficie identificada bajo esta categoría cubre el 21% (11 028 ha), del PNNT. Los principales cultivos de la zona son: trigo (*Triticum aestivum*), avena (*Avena sativa*) haba (*Vicia faba*), papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*) y chicharo (*Lathyrus* sp.).

Pastizal inducido. Esta comunidad está representada por gramíneas, que con frecuencia se encuentran asociadas con procesos sucesionales dentro de las comunidades vegetales. Su presencia puede estar determinada por condiciones climáticas, edáficas, o bien causadas por las actividades pecuarias. El 5% del área (2 735 ha), presentan pastizal inducido, el 4% (1 986 ha) es pastizal inducido con bosque de *Abies* y *Pinus*.

El 3% (1 580 ha) son vegetación secundaria con pastizal inducido y con bosque de *Alnus*.

El 1% (657 ha), son áreas sin vegetación, comprenden las partes altas del cráter, que corresponde con los picos de mayor elevación.

Zacatonal alpino. Representa el 2% (1 315 ha), se establece de los 4 000 a los 4 400 m snm. En México se reconoce a esta vegetación como tropo-alpina, zacatonal alpino o pastizal alpino, *sensu* Rzedowski (1978); quien considera a esta vegetación como una formación climax localizada entre el límite del bosque y el área de los desiertos periglaciales. Estas zonas presentan arenas volcánicas, materiales sueltos y piroclastos elementos importantes de los suelos de tipo Regosol, también se desarrollan sobre Andosoles y Litosoles. Entre las especies presentes se encuentran *Agrostis tolucensis*, *Calamagrostis tolucensis*, *Mulenbergia nigra* (García del Valle, 1999).

Tabla 9. Superficie y porcentajes de la vegetación y uso del suelo del PNNT para el año 2001.

Vegetación y uso del suelo		superficie (ha)	%
Agricultura	Agricultura de temporal permanente anual	11 028	21
Áreas sin vegetación	Áreas sin vegetación	657	1
	Bosque de <i>Abies</i>	10 435	19
	Bosque de <i>Abies</i> Pastizal inducido	1 333	2
	Bosque de <i>Abies Pinus</i>	4 625	9
	Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i>	316	1
	Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i> Bosque de <i>Pinus</i>	357	1
	Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i> Pastizal inducido	1 617	3
	Bosque de <i>Pinus</i>	8 036	15
	Bosque de <i>Pinus Abies</i>	3 814	7
	Bosque de <i>Pinus</i> Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i>	1 656	3
Pastizal	Bosque de <i>Pinus</i> Pastizal inducido	2 266	4
	Pastizal inducido	2 735	5
	Pastizal inducido Bosque de <i>Abies</i>	920	2
Zacatonal alpino	Pastizal inducido Bosque de <i>Pinus</i>	1 066	2
	Zacatonal alpino	1,315	2
Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	649	1
	Vegetación secundaria Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i>	142	1
	Vegetación secundaria Pastizal inducido	789	1

Análisis del cambio de uso del suelo

Análisis de cambio de vegetación y uso del suelo de 1976 a 2001. (Figura 13a y 13b y 13c)

En la cartografía de uso del suelo y vegetación del INEGI de 1976, la agricultura de temporal, cubría una superficie de 8 567 ha, mientras que la información obtenida para el año 2001, arroja un dato de 11 028 ha, se puede observar un aumento de 2 461 ha, principalmente en las partes bajas de la ladera este, el cambio de áreas de pastizal a zonas agrícolas también es notorio, para el 2001 las áreas con pastizal disminuyeron, transformándose en zonas agrícolas. Estos cambios son notables principalmente en la ladera este del parque, donde es posible observar que además de los pastizales, los bosque de *Alnus* y la vegetación secundaria, cambiaron a uso agrícola.

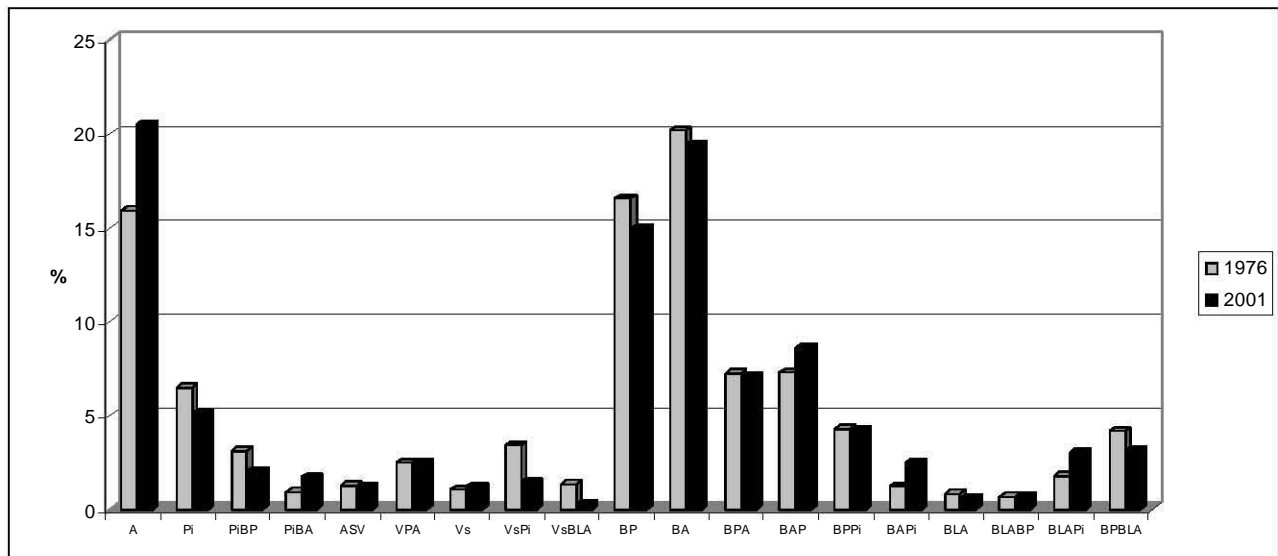


Figura 13c. Tendencia de la vegetación y uso del suelo en el PNNT, de 1976 al 2001

Los bosques de *Abies*, *Pinus*, y el zacatonal alpino han sufrido pequeños cambios en cuanto a superficie, esto se observó en el análisis del periodo de 1976 a 2001, pero son afectados por la ganadería extensiva que se realiza en el parque, principalmente por los incendios que son provocados para el renuevo de los pastizales como alimento para el ganado.

La vegetación secundaria asociada con los pastizales y el bosque de latifoliadas, según la información de INEGI 1976, cubre una superficie de 3 106 ha, lo encontrado con la interpretación de la imagen de satélite, es de solo 1 580 ha, esto debido al cambio de uso del suelo que han sufrido.

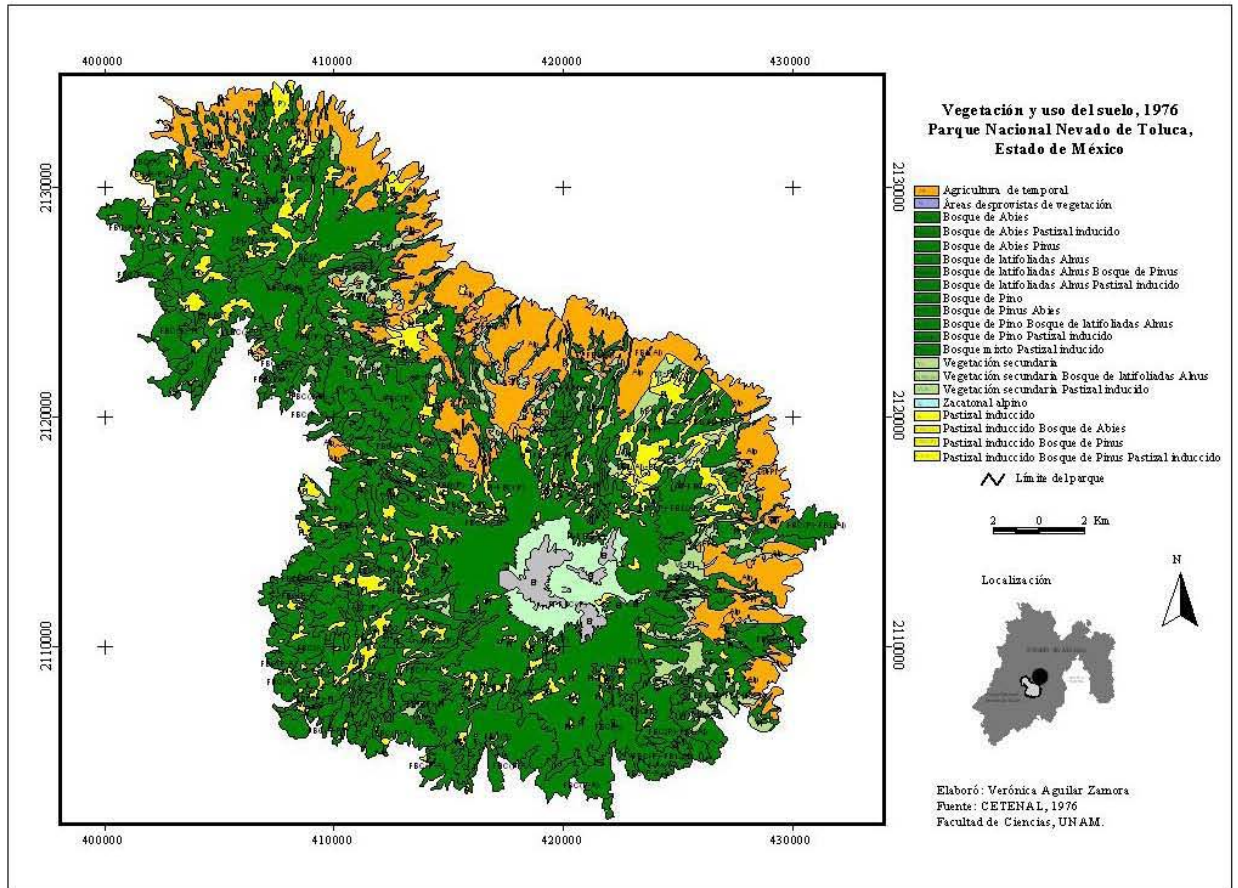


Figura 13a. Mapa de vegetación y uso de suelo del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México, INEGI, 1976.

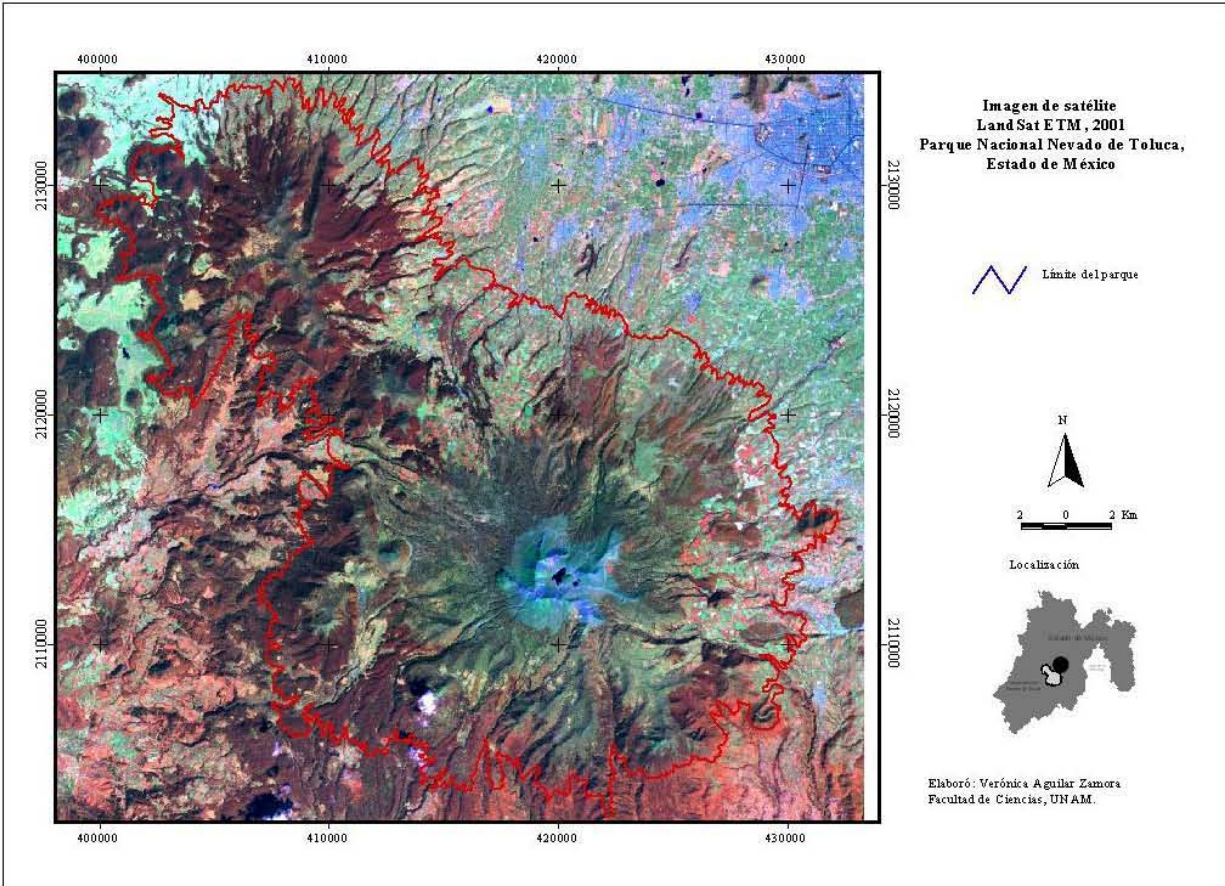


Figura 13b. Imagen de satélite LandSat ETM, 2001, del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

La superficie para el bosque mixtos (*Pinus-Abies*), es parecida con muy poca variación, lo mismo se puede observar para los bosques de latifoliadas, con asociaciones de bosque de *Pinus*, pastizal inducido y vegetación secundaria (Tabla 9a).

Tabla 9a. Superficie ocupada por la vegetación y uso del suelo dentro del PNNT en los años 1976 y 2001.

Vegetación	Vegetación y uso del suelo	Superficie en (ha)	
		1976	2001
Agricultura	Agricultura de temporal permanente anual	8,567	11028
Áreas sin vegetación	Áreas sin vegetación	672	657
	Bosque de <i>Abies</i>	10,837	10435
Bosques	Bosque de <i>Pinus</i>	8,894	8036
	Bosque de <i>Abies Pinus</i>	3,914	4625
	Bosque de <i>Pinus Abies</i>	3,886	3814
	Bosque de <i>Pinus</i> Pastizal inducido	2,297	2266
	Bosque de <i>Pinus</i> Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i>	2,236	1656
	Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i> Pastizal inducido	943	1617
	Bosque de <i>Abies</i> Pastizal inducido	654	1333
	Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i> Bosque de <i>Pinus</i>	348	357
	Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i>	432	316
	Pastizal	Pastizal inducido	3,479
Pastizal inducido Bosque de <i>Pinus</i>		1,675	1066
Pastizal inducido Bosque de <i>Abies</i>		497	920
Vegetación secundaria	Vegetación secundaria	550	649
	Vegetación secundaria Pastizal inducido	1,832	789
	Vegetación secundaria Bosque de latifoliadas <i>Alnus</i>	724	142
Zacatonal alpino	Zacatonal alpino	1,320	1315

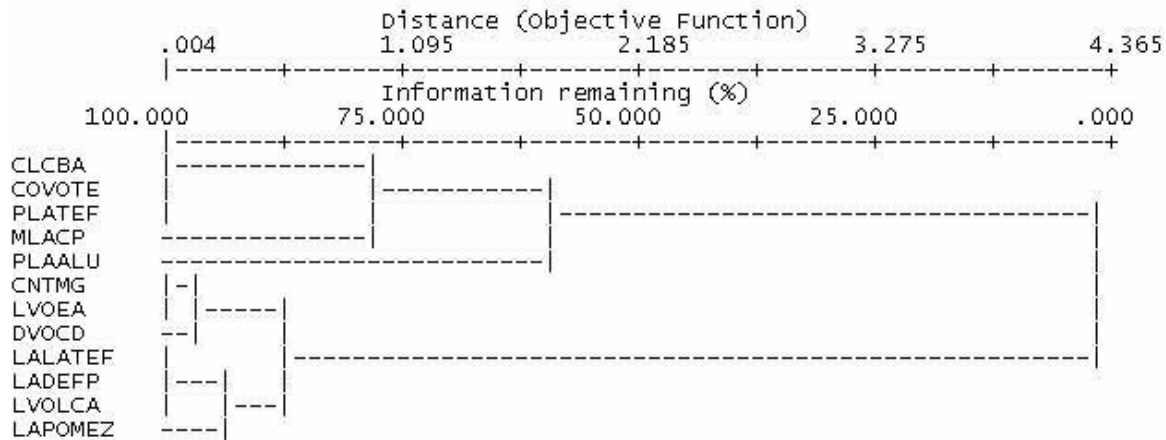
Análisis de las unidades paisaje geomorfológico y los procesos de cambio de uso del suelo que se presentan en cada una de ellas

El resultado del análisis de cluster, permitió clasificar cada una de las unidades de paisaje geomorfológico en función de sus procesos de cambio, las agrupaciones se obtuvieron del dendograma generado y por medio de la observación e interpretación de la tabla de los atributos ambientales, se constato que los cluster tienen coherencia en el sentido que aglutinan aquellas unidades que poseen similitud estadística en términos de sus procesos de cambio.

Al realizar el análisis de cluster, las unidades de paisaje geomorfológico se agrupan en función de los mismos procesos de cambio de uso del suelo que presentan y por superficies parecidas, agrupándose en cinco grupos, (Figura 14, Tabla 10).

CCA2

Percent chaining = 9.09



Laderas de pómez (LAPOMEZ), Laderas volcánicas de lava de composición andesítica (LVOLCA), Laderas de lava y tefra (LALATEF), Laderas de depósitos de flujos piroclásticos (LADEFP), Domos volcánicos de composición dacítica (DVOCD), Laderas volcánicas (edificio antiguo) (LVOEA), Cono del Nevado de Toluca (morrenas y glaciares rocosos) (CNTMG), Conos volcánicos de tefra (COVOTE), Mesa de lava cubierta de piroclastos (MLACP), Campos de lavas de composición basáltico-andesítico (CLCBA), Planicies de tefra (PLATEF), Planicie aluvial (PLAALU).

Figura 14. Cluster de agrupación de las unidades paisaje geomorfológico y sus procesos de cambio de uso del suelo.

Agrupación de las unidades de paisaje geomorfológico en función de los procesos de cambio de uso del suelo

Grupo I: Campos de lava de composición basáltico-andesítico, conos volcánicos de tefra y las planicies de tefra

Campos de lavas de composición basáltico-andesítico, el uso dominante en esta unidad es la agricultura de temporal, seguido del bosque de *Abies* y en menos proporción bosque de *Abies* con pastizal inducido, en pendientes de 15-30°, con un intervalo altitudinal que va de los 3 200 - 3 600 m snm, con rocas ígneas extrusivas intermedias, suelos de tipo Andosol y clima Semifrío subhúmedo.

En esta unidad el proceso dominante es la deforestación seguido de la transformación, revegetación y recuperación. (Figura 15).

Conos volcánicos de tefra, con vegetación de bosque de *Abies-Pinus* y bosque de *Abies*, con pendientes de 15-30°, en un intervalo altitudinal que va de los 3 000 - 3 400 m snm, con rocas ígneas extrusivas intermedias y brechas volcánicas, con suelos de tipo Andosol y con un clima Semifrío subhúmedo.

Los procesos dominantes son la transformación, deforestación, y en menor grado la revegetación.

Planicies de tefra, la vegetación dominante en esta unidad es el bosque de *Abies*, seguido del pastizal inducido y el bosque de *Pinus*, con pendientes de 6-30° dominando las pendientes de 6-15°, en un intervalo altitudinal de 3 200 - 3 400 m snm, sobre rocas ígneas extrusivas intermedias, brechas volcánicas y aluvial, en suelo de tipo Andosol y Cambisol, con clima Semifrío subhúmedo. Los procesos dominantes son la transformación y la deforestación, en menor proporción se presenta la recuperación.

Grupo II: Mesa de lava cubierta de piroclastos

Mesa de lava cubierta de piroclastos, con vegetación de bosque de latifoliadas *Alnus*, vegetación secundaria con bosque de latifoliadas *Alnus* y pastizal inducido, con pendientes de 6-15°, en un intervalo altitudinal de los 3 000 - 3 400 m snm. En brechas volcánicas, sobre suelos de tipo

Andosol y un clima Semifrío subhúmedo. El proceso dominante es la transformación, seguido de revegetación y recuperación.

Grupo III: Planicie aluvial

Planicie aluvial, con pastizal inducido como vegetación dominante y en menor proporción bosque de *Abies*, con pendientes de 0 - 6°, en un intervalo altitudinal que va de los 3 200 - 3 400 m snm. Con litología Aluvial y rocas ígneas extrusivas intermedias, sobre suelos de tipo Andosol y un clima Semifrío subhúmedo, con una superficie de 65.3 ha. Los procesos de cambio que se presentan en esta unidad son la transformación, deforestación y recuperación.

Grupo IV: Cono del Nevado de Toluca (morrenas y glaciares rocosos), laderas volcánicas (edificios antiguos) y domos volcánicos de composición dacítica

Cono del Nevado de Toluca, presenta tres tipos de vegetación, con mayor superficie se encuentra el zacatonal alpino, seguido de las áreas sin vegetación y el bosque de *Pinus*, en pendientes de 6-45°, en un intervalo altitudinal que va de los 3 800 - 4 400 m snm, sobre brechas volcánicas y rocas ígneas rocas ígneas extrusivas intermedias, con suelos de tipo Andosol, Litosol y Regosol, con dos condiciones climáticas, Semifrío subhúmedo en la parte baja y Frío de alta montaña en la parte alta. Dentro de esta unidad se localizan los lagos del Sol y la Luna en el cráter del volcán. En esta unidad el proceso que cubre una mayor superficie es el de revegetación.

Laderas volcánicas (edificio antiguo), con bosques de *Abies*, *Pinus*, *Abies-Pinus* y pastizales en pendientes de 6 - 30°, con un intervalo altitudinal que va de los 3 000 - 3 800 m snm, en rocas ígneas extrusivas intermedias y suelos de tipo Andosol, con clima Semifrío subhúmedo. y una superficie de 960.7 ha. El proceso dominante es la transformación, seguido de la recuperación, revegetación y la deforestación.

Domos volcánicos de composición dacítica, dominando el bosque de *Abies*, bosque de *Pinus* y bosque de latifoliadas *Alnus*-bosque de *Pinus*, áreas sin vegetación, agricultura de temporal y pastizal inducido, con pendientes de 6-30°, en un intervalo altitudinal entre los 3 000 - 4 400 m

snm, con rocas ígneas extrusivas intermedias, brechas volcánicas y basaltos, con suelos de tipo Andosol, Litosol, Regosol y Cambisol, con un clima Semifrío subhúmedo y Frío de alta montaña. Los procesos presentes en esta unidad son la recuperación y la transformación, revegetación y la deforestación.

Grupo V: Laderas de lava y tefra, laderas de depósitos de flujos piroclásticos, laderas volcánicas de lava de composición andesítica y laderas de pómez

Ladera de lava y tefra, en esta unidad se desarrollan varios tipos de vegetación y usos del suelo, el que ocupa la mayor superficie es el bosque de *Pinus*, seguido del bosque de latifoliadas *Alnus* con vegetación secundaria, bosque de *Abies-Pinus*, bosque de *Pinus* - bosque de latifoliadas *Alnus*, bosque de *Abies-Pinus* con pastizal, pastizal inducido y agricultura de temporal, con pendientes entre 6-30°, dominando las de 6-15°, en un intervalo altitudinal de 3 200 - 3 800 m snm, sobre rocas ígneas intermedias y brechas volcánicas, en suelos de tipo Andosol y Litosol, bajo dos condiciones climáticas Semifrío subhúmedo y Frío de alta montaña. En esta unidad el proceso dominante es el de transformación seguido de revegetación, recuperación y deforestación.

Laderas de depósitos de flujos piroclásticos, la vegetación dominante en esta unidad es el bosque de *Abies-Pinus*, seguido del bosque de *Abies*, bosque de *Pinus* y bosque de latifoliadas *Alnus*, bosque de *Abies-Pinus* con pastizal inducido, agricultura de temporal y pastizal inducido, con pendientes de 0-45°, dominando las de 15-30°, entre un intervalo altitudinal de 3 000 - 3 800 m snm, con rocas ígneas extrusivas intermedias y brechas volcánicas, sobre suelos de tipo Andosol, con clima Semifrío subhúmedo. El proceso dominante en esta unidad es el transformación, seguido de recuperación, deforestación y revegetación.

Laderas volcánicas de lava de composición andesítica, la vegetación dominante en esta unidad es el bosque de *Abies*, bosque de *Abies-Pinus*, con usos agrícola y pecuario, con pendientes de 6-30°, en un intervalo altitudinal que va de los 3 000 - 3 600 m snm, con rocas ígneas extrusivas intermedias, brechas volcánicas y arenisca-toba, suelos de tipo Andosol y Cambisol, en un clima

Semifrío subhúmedo. El proceso que domina es la transformación, seguido de la revegetación, deforestación y recuperación.

Laderas de pómez, en esta unidad el uso dominante es la agricultura de temporal, se presenta vegetación de bosque de *Pinus*, *Abies*, latifoliadas y pastizal, en pendientes de 6-30°, en un intervalo altitudinal que va de los 3 000 - 3 800 m snm, con brechas volcánicas y rocas ígneas extrusivas intermedias, suelos de tipo Andosol, Litosol, con clima Semifrío subhúmedo. El proceso dominante es la transformación seguido de la deforestación, recuperación y revegetación.

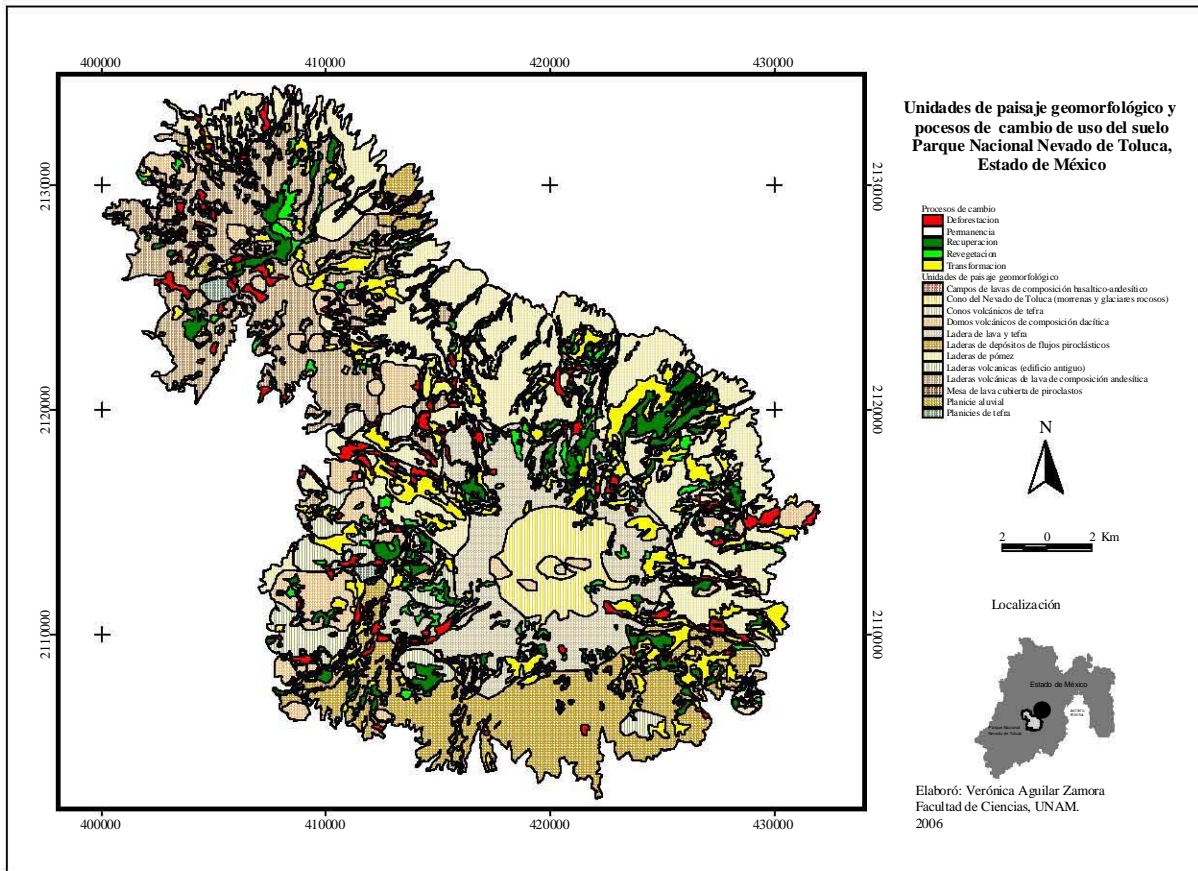


Figura 15. Mapa de unidades de paisaje geomorfológico y procesos de cambio de uso del suelo del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

Tabla 10. Grupos formados mediante el análisis de cluster, por proceso y superficie que ocupa en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

Grupos	Unidades de paisaje geomorfológico	Deforestación (ha)	Recuperación (ha)	Transformación (ha)	Revegetación (ha)	Permanencia (ha)
	Campos de lavas de composición basáltico-andesítico (CLCBA)	27.6	1.0	14.6	8.0	158.9
I	Conos volcánicos de tefra (COVOTE)	4.7	0.0	5	0.8	282.8
	Planicies de tefra (PLATEF)	34.6	14.8	41.6	2.6	207.1
II	Mesa de lava cubierta de piroclastos (MLACP)	1.9	22.3	102.5	76.6	81.0
III	Planicie aluvial (PLAALU)	3.5	2.9	6.7	0.4	51.8
	Cono del Nevado de Toluca (CNTMG)	0.1	0.7	0	37.5	1979.5
IV	Laderas volcánicas (edificio antiguo) (LVOEA)	132.3	208.2	310.4	150.5	1964.2
	Domos volcánicos de composición dacítica (DVOCD)	119.2	290.9	190.2	168.4	2958.8
	Laderas de lava y tefra (LALATEF)	389.5	447.2	942.4	657.2	6014.5
V	Laderas de depósitos de flujos piroclásticos (LADEFP)	297.0	479.1	747.6	173.9	6563.4
	Laderas volcánicas de lava de composición andesítica (LVOLCA),	576.4	560.3	840.2	625.0	7381.0
	Laderas de pómez (LAPOMEZ)	1212.2	819.9	2410.3	755.6	12199.3

Servicios e infraestructura del parque

Por su cercanía con la ciudad de México y Toluca el parque es visitado con fines recreativos por 45,000 personas anualmente (SARH, 1993). Dentro del PNNT se encuentran albergues, como "San Juan de las Huertas" administrado por el ejido del mismo nombre, con capacidad para 32 personas y la posada familiar "Parque de los Venados", administrada por la Comisión Estatal de Parques Naturales y de El Nevado de Toluca es la cuarta montaña más alta de México se localiza a una altitud de 4 690 m snm, después del Pico de Orizaba (5 675 m), el Popocatepetl (5 465 m) y el Iztaccihuatl (5 230 m). En la Fauna (CEPANAF), para 30 personas, dos torres de comunicaciones, una caseta forestal "Protimbos", la caseta forestal de la SARH y las casetas de vigilancia "Raíces" y "San Miguel Balderas".

Las principales vías de acceso al parque son la carretera federal número 130, la carretera federal ruta 1, la carretera estatal ruta 10, la terracería del poblado de Raíces al cráter del volcán. Al interior del volcán existen brechas y caminos de terracería. Hacia la parte NW del PNNT en dirección al Cerro El Calvario, se accede por la carretera estatal ruta 1, Toluca - Santa María del Monte y algunos caminos de terracería, lo que dificulta el acceso a esta zona.

Asentamientos humanos

Se llevó a cabo un análisis de los datos de población de los censos de 1970, 1990 y 2000, para las localidades ubicadas dentro del parque, así como las que se encuentran a una distancia de 500 y 1 000 metros del límite del parque. Se encontró que hay 22 asentamientos dentro del parque los cuales albergan una población de 8 777 habitantes, 7 localizados a 500 metros, con una población de 9 083 habitantes, finalmente los localizados a 1 000 metros de distancia con una población de 10 000 habitantes, según el censo de INEGI, 2000. Estos asentamientos han aumentado en tres veces su población según los datos del censo de 1970 y en promedio en un 60% según los datos reportados para el año de 1990.

La principal actividad es la primaria que incluye actividades como la agricultura, ganadería y pesca.

Los asentamientos se encuentran distribuidos principalmente en las laderas este y suroeste del cráter y sobre la carretera que lleva a Sultepec, la cual atraviesa entre el edificio principal y el cerro San

Antonio, donde también se encuentra varios asentamientos en la ladera norte. (Tabla 11, Figura 16, Anexos V, VI, VII a, b, c y d).

Tabla 11. Población total por municipio, presente en el PNNT y su área de influencia, datos de los censos de 1970, 1990 y 2000 (INEGI).

Ubicación	Municipio	Población total censo		
		1970	1990	2000
PNNT	8	3 681	6 076	8 777
500	4	970	5 024	9 083
1000	8	3 690	6 079	10 000
		8 341	17 179	27 860

La mayor densidad de población en el PNNT, se encuentra distribuida en las zonas agropecuarias y en el área comprendida de 500 a 1 000 m de distancia de la cota de los 3 000 metros. Las estadísticas del INEGI, muestran un aumento de casi un 30% de la población de 1990 al 2000, dentro del área del parque, llamando la atención el desarrollo de localidades que no existían hace 10 años y el aumento de población en las localidades del municipio de Zinacantepec. La presión del crecimiento poblacional en este municipio está favoreciendo el cambio de uso del suelo a agrícola y ganadero en contra de la conservación de los bosques.

Los asentamientos humanos situados entre 500 y 1 000 metros hacia fuera de los límites del PNNT, muestran un incremento de hasta un 80% del año 1990 al 2000, presentándose nuevas localidades, mostrando que la presión de población que tiene el parque se encuentra localizada principalmente en el norte y noreste del mismo, en los municipios de Zinacantepec, Calimaya y Tenango del Valle, estos municipios presentan un mayor aumento de la población en comparación con los demás municipios.

Aproximadamente el 20% de los habitantes dentro del PNNT, se ocupa en el sector primario, trabajando en actividades agrícolas, ganaderas, silvicultura, caza y pesca, (INEGI, 2000).

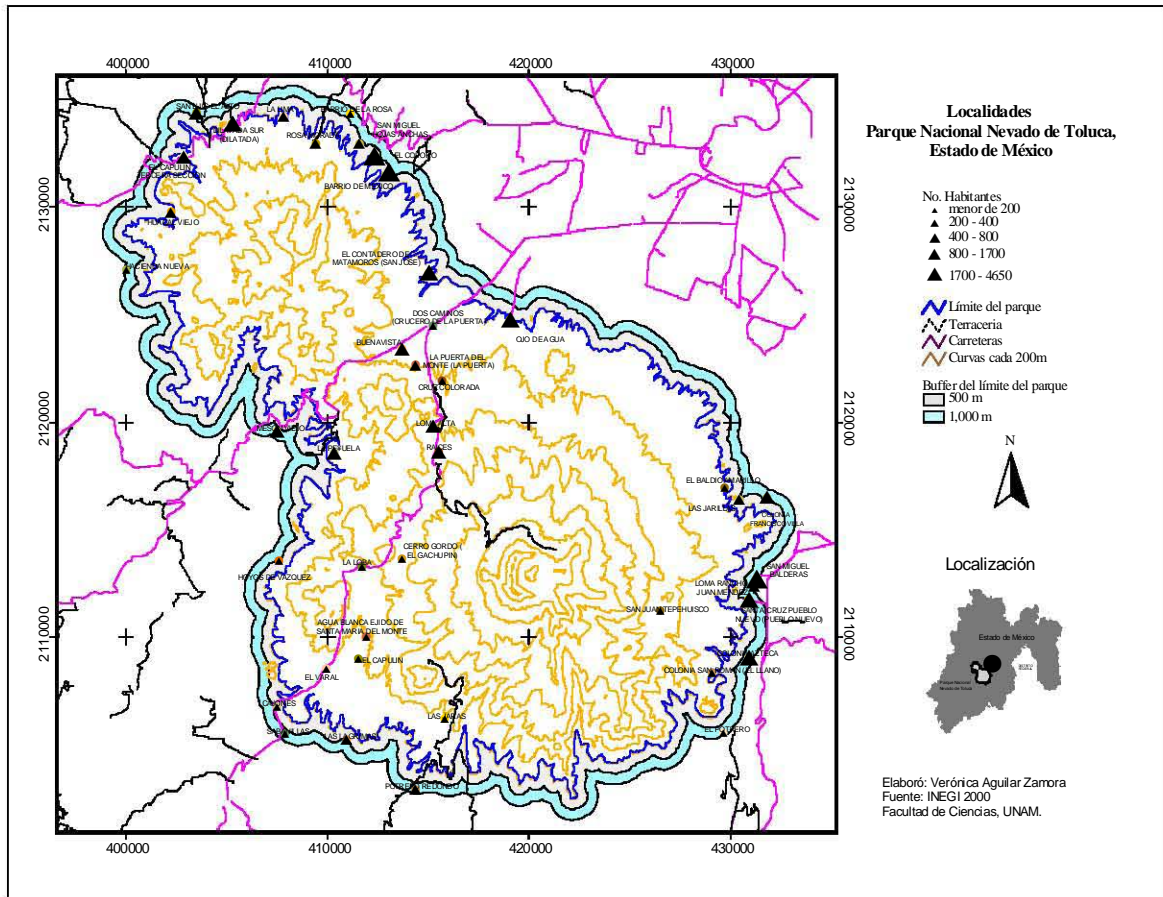


Figura 16. Mapa de asentamientos humanos y vías de comunicación del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

Estas estadísticas muestran la presión antrópica, que está poniendo en riesgo la conservación de éstos bosques por lo que se proponen como políticas de manejo desarrollar e implementar actividades de aprovechamiento y restauración.

7. DISCUSIÓN

Las unidades de paisaje geomorfológico obtenidas en este trabajo y sus procesos de cambio de uso del suelo, utilizaron información cartográfica de: topografía, litología, edafología, hidrología, climatología y de vegetación y uso del suelo.

Esta información es básicas para la conformación de las unidades de paisaje geomorfológico y la identificación de los proceso de cambio de uso del suelo que se presentan en éstas.

En el caso del mapa de vegetación y uso del suelo, es importante señalar que por ser un área protegida no se consideró la categoría de uso forestal, si bien la tala clandestina para la extracción de leña y madera ha significado la pérdida de importantes superficies de bosque. Se ha calculado que desde la época de su decreto, el parque ha perdido más del 50% de su masa arbórea (GEM, 1999, Franco et al 2006).

La vegetación es un indicador del estado de conservación de la zona, motivo por el cual fue usada para la elaboración del diagnostico del estado en el que se encuentra actualmente el PNNT, a partir del mapa actualizado de vegetación y uso del suelo, y poder así identificar las zonas con mayor perturbación y cambio de uso del suelo.

Las aéreas mas conservadas del PNNT se encuentran en la parte alta del cerro San Antonio y el cono del volcán, en donde se observan masas densas de bosque de *Abies* y de *Pinus hartwegii*. En la zona del cono del volcán sobre las laderas sur, y sur oeste también se encuentran extensiones boscosas bien conservadas. La conservación en estas laderas está relacionada con la geomorfología del terreno, ya que las pendientes tienen mayor inclinación lo que ha impedido el acceso antrópico a estas áreas.

Estos bosques de coníferas conformados por *Pinus* y *Abies*, se distribuyen en la zona sobre rocas de origen volcánico, ígneas extrusivas intermedias. La mayor cobertura de estos tipos de vegetación se desarrolla en altitudes entre los 3 100 y 4 000 m snm, en laderas montañosas. Rzedowski (1978) ha propuesto que la afinidad de los pinares por substratos de origen volcánico puede ser histórica, y que la evolución de muchas de las especies de este género, estuvo ligada con épocas de intensa actividad volcánica. Esto se puedo observar en el Nevado de Toluca, las aéreas más densas de vegetación se distribuyen en estas altitudes y están relacionadas con la geomorfología.

El área desprovista de vegetación (1%) se encuentra en las partes altas del cráter, el zacatonal alpino ocupa una superficie muy reducida el (2%), la mayor superficie del bosque presenta una cobertura vegetal bien conservada (67%), siendo el bosque de coníferas el más extenso con (25%), le sigue el bosque de *Abies* con (20%), luego se presenta en menor proporción el bosque de *Pinus* (22%), el bosque de *Pinus* con latifoliadas se encuentra poco representado (4%).

La máxima perturbación está representada por la dominancia del pastizal (10%), que comprende pastizal inducido (5.%) pastizal con bosque de *Abies* y *Pinus*, (4%), vegetación secundaria con pastizal inducido (1%) y pastizal con bosque de latifoliadas el (0.4%).

La relación entre la vegetación conservada (67%) y las zonas perturbadas muestran la reducción de la vegetación original en una zona que se considera debe ser protegida por su categoría de parque nacional. Los elementos boscosos en estas zonas muestran una tendencia hacia el pastizal y la agricultura de temporal, principal actividad antrópica, las cuales cubren una extensión significativa (21%) para una zona decretada como área de conservación.

Los incendios forestales que se manifestaron en el año de 1998, provocaron la pérdida de bosques, para el PNNT, se reportaron 244 incendios que afectaron una superficie de 1 190.4 hectáreas Hentschel-Ariza, (1999). Estos eventos que modificaron los escenarios naturales no están referenciados, por lo que no se puede hacer un análisis de su intensidad.

Las zonas agrícolas se establecen en áreas con pendientes suaves, en un intervalo de 0-15°, aunque en la mayoría de estas zonas predominan las pendientes de 0-3°. En la parte baja de la ladera este del cono se observan cárcavas que son indicadoras de fuertes problemas de erosión.

El análisis de cluster aplicado utilizando el análisis de distancia euclidiana permitió agrupar las unidades de paisaje geomorfológico en función de los mismos procesos de cambio de uso del suelo que presentan y por superficies parecidas, formándose cinco grupos.

El grupo V es el más importante en cuanto a superficies y procesos, comprende cuatro unidades de paisaje geomorfológico donde se presentan los cuatro procesos de cambio de uso del suelo analizados.

La transformación es el proceso dominante en este grupo dado que en todas estas áreas se presenta agricultura de temporal y en algunas el uso del suelo es pecuario.

En este grupo el proceso de revegetación ocupa el segundo lugar en orden de importancia, en las laderas de lava y tefra así como las volcánicas de lava de composición andesítica, en los otros dos tipos de laderas, sólo se registra en áreas muy pequeñas.

En las laderas de pómez, es donde se presenta el mayor número de asentamientos humanos

En las laderas de lava y tefra se reconocen asentamientos humanos en menor número. En las laderas con mayor inclinación no se localizan asentamientos humanos pero si sufren el impacto de estos de diferente forma, por el uso del suelo inadecuado y por los visitantes que realizan caminatas en esta zona.

La transformación del paisaje, como consecuencia de las actividades humanas, es un proceso que no sólo tiene impactos locales y regionales, sino que es uno de los factores más importantes del cambio ambiental global (Turner y Meyer 1994). Los cambios en la cobertura vegetal (deforestación y fragmentación) se ven reflejados en la erosión del suelo, en los procesos hidrológicos y en la pérdida del hábitat y la biodiversidad.

Los asentamientos comprendidos fuera de PNNT, también ejercen presión en el parque, principalmente en el norte, noreste y noroeste, dado que muestran un incremento de la población de hasta un 80% de 1990 al 2000, además de presentarse nuevas localidades, lo que ha acelerado los procesos de cambio de uso del suelo por la necesidad de abrir nuevas tierras al cultivo y a la urbanización.

Se ha presentado un aumento en la demanda de recursos naturales para el autoconsumo, tal es el caso de la extracción de leña o la colecta de hongos silvestres (Franco et al, 2006).

8. CONCLUSIONES

La evaluación de la vegetación del parque es de gran importancia, debido a que todos los escurrimientos superficiales que descienden del volcán tributan a las cuencas de los ríos Lerma y Balsas, y son la fuente de suministro de agua para consumo humano, riego y generación de energía eléctrica a las ciudades de Toluca y Distrito Federal.

El PNNT, es un área natural protegida, que sin embargo se encuentra amenazada por actividades como la tala clandestina, y el cambio de uso del suelo con actividades pecuarias, el aumento de áreas agrícolas, el desarrollo urbano, así como el impacto ambiental y la contaminación por las actividades recreativas.

La generación y el análisis de la cartografía temática (altitud, pendientes, exposición, geología, edafología, hidrología, climas, geomorfología) y la de vegetación y usos del suelo, permite la delimitación de las unidades de paisaje geomorfológico.

El análisis de las cartas de uso del suelo de 1976 y la de 2001 generada a partir de las fotografías aéreas e imagen de satélite, con verificación de campo y criterios de vegetación y geomorfología, permitió obtener el mapa de procesos de cambio de uso de suelo.

El incorporar e integrar las características ambientales, obtenidas a través de la generación de la cartografía temática (geología, clima, relieve, litología, edafología, hidrología, geomorfología, vegetación y uso del suelo y procesos de cambio de uso del suelo) permitió un análisis preliminar de las condiciones en las que se encuentra el PNNT

Entre las variaciones ecológicas, se pueden mencionar aquellas que tienen que ver con el establecimiento de la vegetación adaptada a condiciones montañosas, con variaciones climáticas extremas y pendientes fuertes, como es el caso de los bosques de *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa* y zacatonal alpino, como es el caso del Nevado de Toluca.

La vegetación se encuentra fragmentada, el 67% es vegetación conservada y el 33% corresponde a vegetación secundaria, agricultura y pastizal. La conversión a suelos agrícolas es lo que más ha modificado el paisaje.

En las 12 unidades de paisaje geomorfológico obtenidas, con excepción de la unidad Cono del Nevado de Toluca (CNTMG), se presenta el proceso de cambio de uso del suelo: transformación como proceso dominante.

El análisis de los procesos de cambio de uso del suelo que se presentan en cada una de las unidades de paisaje geomorfológico, permite comprender la dinámica del paisaje y la relación que guarda con otros componentes del mismo paisaje, como el antrópico.

Las principales causas del cambio de la cobertura boscosa, son la expansión de la frontera agrícola y pecuaria y las actividades de extracción de arena, la explotación forestal, el incremento de asentamientos humanos y de su población.

Los incendios forestales contribuyen a la pérdida de vegetación del PNNT.

Las actividades antrópicas juegan un papel importante en la problemática de la zona, es evidente la diferencia entre las zonas altas y las bajas, mientras que en las primeras las actividades son forestales, en las segundas son agrícolas y pecuarias.

El incremento de asentamientos humanos fuera de los límites del PNNT también ejercen presión sobre los recursos naturales del parque.

El PNNT en conjunto juega un papel importante en la recarga de acuíferos, por tal motivo es necesaria la conservación de los recursos, que juegan un papel primordial en este proceso.

9. LITERATURA CITADA

- Aceves, Q. J. F. 1996. "Geología y Geomorfología del Volcán Nevado de Toluca". Tesis de Maestría en Ciencias, Geología. México, D.F. Facultad de Ciencias, UNAM. p. 116.
- Almeida-Leñero, L., Cleef, A. M. & A. González-Trápaga. 1997. Fitosociología de la vegetación alpina de los volcanes Popocatepetl y Nevado de Toluca, Región Central de México. En: Almeida (Ed.) Vegetación, fitogeografía y paleoecología del zacatonal alpino y bosques montanos de la región central de México. Tesis de Doctorado. Universidad de Amsterdam-UNAM, pp. 61-87.
- Berry, M. W., Flamm R. O., Hazen B. C. & R. L. MacIntyre. 1996. The Land-Use Change and Analysis System (LUCAS) for Evaluating Landscape Management Decisions. *IEEE Computational Science & Engineering* 3:1 pp. 24-35.
- Bertrand, G. 1970. *Ecologie d l'espace géographique. Recherces pour une science du paysage.* Société de Biogéographie, 406: 195-205.
- Farina, A. 2002. Human Stewardship in Ecological Mosaics: Linking People to Landscape Dynamics. En: Bissonette, J. A. & I. Storch (eds.). *Landscape ecology and resource management: linking theory with practice.* pp.177-193. Island Press, Washington, D.C., USA.
- Bloomffield, K. 1973. The age and significance of Tenango basalt in central Mexico. *Bulletin of Vulcanology*, 37(4): 585-595.
- Bloomffield, K. 1974. Reconocimiento geológico en el Nevado de Toluca, México. Instituto de Geología, UNAM. *Serie divulgación*, 2:38-42.
- Bloomffield, K. 1975. A Late-Quaternary monogenetic volcano field in Central Mexico. *Geological Rundschau*, 64:476-497.
- Bloomfield, K. & S. Velastro Jr. 1977. Late Quaternary tephrochronology of Nevado de Toluca volcano, Central Mexico. *Overseas Geology and Mineral Resources*, 46:1-15.

- Bocco-Verdinelli, G & M. A. Ortiz-Pérez. 1994. Definición de unidades ambientales para el ordenamiento ecológico. *Jaina, Boletín Informático EPOMEX*, 5(1):8-9.
- CETENAL, 1976. Carta topográfica. Hojas E14A47, E14A48 y E14A37, escala 1:50 000.
- CETENAL, 1976. Carta Edafológica. Hojas E14A47, E14A48 y E14A37, escala 1:50 000.
- CETENAL, 1976. Carta Litológica. Hojas E14A47, E14A48 y E14A37, escala 1:50 000.
- CETENAL, 1976. Carta de Vegetación y uso del suelo. Hojas E14A47, E14A48 y E14A37, escala 1:50 000.
- Código Forestal. 1970. SAG. Subsecretaría Forestal y de Fauna. Departamento de Divulgación. pp. 962-968.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2007. Gestión de áreas protegidas. En: Áreas protegidas de México, Informe nacional 1997-2007. pp. 21-49. II Congreso latinoamericano de Parques nacionales y otras áreas Protegidas. Bariloche, Argentina. Sept-oct. SEMARNAT, México D.F.
- Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF). 1993. Los Parques Naturales del Estado de México, como Recurso de Equilibrio Ecológico. Gobierno del Estado de México.
- Diario Oficial de la Federación. 1936. Decreto que declara Parque Nacional el “Nevado de Toluca”. 25 de enero. México.
- Etter, A. 1991. *Introducción a la Ecología del Paisaje: Un marco de integración para los levantamientos rurales*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. p. 83.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1995. Planning for Sustainable Use of Land Resources. Towards a New Approach. *FAO Land and Water Bulletin*. 2:60.
- Forman, R.T. & M. Gordon. 1986. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons. 640 p.

- Forman, R.T. 1995. Landscape and regions, foundations. En: Forman R.T. Land mosaics: The ecology of landscape and regions. pp. 3-38. Cambridge University Press, Great Britain.
- Franco, M., H. H. Regil, J. A. Ordoñez. 2006. Dinámica de la perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Madera y Bosques*, 12(1): 17-28.
- García, E. 1997. *Carta de climas. Hoja México, escala 1:1 000 000*. CONABIO.
- García del Valle, L. 1999. "Evaluación Forestal del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México". Tesis de maestría. México, D.F. Facultad de Ciencias, UNAM. p. 85.
- GEM. 1999. Acuerdo ejecutivo por lo que se expide el Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México. Gaceta del Gobierno, 106, 4 de junio de 1999.
- González-Trápaga, A. 1986. "Descripción y aspectos fitogeográficos de la vegetación alpina del Nevado de Toluca, Estado de México". Tesis de Licenciatura. México, D.F. Facultad de Ciencias, UNAM. p. 63.
- Hayama Tsutsumi, M. L. 1971. "Estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas del Nevado de Toluca, estado de México". Tesis de Licenciatura. México, D.F. Facultad de Ciencias, UNAM. p. 70.
- Hentschel-Ariza, L. 1999. Programa de Manejo del Parque Nacional Nevado de Toluca. p. 106.
- ILWIS, Integrated Land and Watershed Management Information System. 1990. User's Manual, International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede, the Netherlands.
- INE. 1995. Programa de áreas naturales protegidas de México, 1995-2000.
- INEGI. 2000. XII Censo general de población y Vivienda.
- Jujnovsky, O. J. 2003. "Las unidades de paisaje en la cuenca alta del río Magdalena, México, D.F. base fundamental para la planificación ambiental". Tesis de Licenciatura. México, D.F. Facultad de Ciencias, UNAM. p. 77.
- Lambin E.F., Turner B.L., Geist H.J., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O.T., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X.,

- Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skanes H., Steffen W., Stone G.D., Svedin U., Veldkamp T.A., Vogel C. & J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths, *Global Environmental Change* 11. pp.261 -269.
- López, B. R. “Geoecología del paisaje e impacto ambiental en la Sierra Nevada”. Tesis de Maestría en Ciencias. México, D.F. UNAM. 107 pp.
- Lugo-Hubp, J. I. 1988. *Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)*. México: Instituto de Geografía. UNAM. p. 128.
- Ludlow-Wiechers, B. 2004. “El Holoceno en la Ciénaga de Almoloya, Estado de México, una reconstrucción ambiental”. Tesis de Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias. México, D.F. UNAM. 94 pp.
- Macías, J.L., García, P.A., Arce, J.L., Siebe, C., Espíndola, J.M., Komorowski, J.C. & K. Scott, 1997. “Late Pleistocene-Holocene Cataclysmic eruptions at Nevado de Toluca and Jocotitlan volcanoes, Central Mexico”. *In: Link, K. P. & B. L. Kowalis (editors). Proterozoic to Recent Stratigraphy, tectonics, and Volcanology, Utha, Nevada Southern Idaho and Central Mexico.* Brigham Young University, Geology Studies, vol. 42, part I: 493-528.
- Mateo-Rodríguez, J. 1984. *Apuntes de Geografía de los Paisajes*. Facultad de Geografía. Cuba: Universidad de la Habana. p. 469.
- Mendoza, C. M. 1997. “Regionalización geomorfológica y de paisaje de la zona costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México”. Tesis de Maestría, en Conservación, Ecología y manejo de Recursos Naturales. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Monterrey. Campus Guaymas. p. 132.
- Navarro, C. J. 1976. “Algunos estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas o de Andosoles del Nevado de Toluca (región este y sur)”. Tesis de Licenciatura. México, D.F. Facultad de Ciencias. UNAM. p. 43.
- Naveh, Z. & A.S. Lieberman. 1984. *Conceptual and theoretical basis of Landscape Ecology as a Human Ecosystem*. Science. p. 356.

- Newton, A & S. Metcalfe. 1999. Tephrochronology of the Toluca Basin, central México. *Quaternary Science Reviews*, 18:1039-1059.
- Palacio, P. J. L. 1992. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. Instituto de Geografía. UNAM. México. 61 p.
- Programación y Presupuesto. 1982. Carta Hidrológica de aguas superficiales, E14-2, escala 1:250 000. Ciudad de México.
- Ramos-Ventura, L. J. 2000. "Estudio de la flora y vegetación acuática vasculares de la Cuenca Alta del río Lerma, en el estado de México". Tesis de Maestría en ciencias. México, D.F. Facultad de Ciencias. UNAM. p. 151.
- Robin, C. 1982. Relations volcanologie-magmatologie, geodynamique: Application au passage entre vulcanisme alcalin et andesitique dans le Sud Mexican (Axe Transmexican et province Alcaline Oriental). *Annal. Sci L. Univ. Clermont Ferrand II*, No. 30, 503 p.
- Romero-Quiroz, J. 1987. *Santiago Tianguistenco*. Gobierno del estado de México. Toluca, Edo. de Mex.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. México: Editorial Limusa. p. 432.
- Sandoval, B. A. 1987. "Actualización y análisis cartográfico sobre uso del suelo y vegetación del Parque Nacional Nevado de Toluca, estado de México". Tesis de Licenciatura. México, D.F. Facultad de Ciencias, UNAM. p. 107.
- SARH. 1992. *Compendio de información sobre áreas naturales protegidas*. Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre. Dirección General de Flora y Fauna Silvestre y Áreas Naturales Protegidas. México. p. 146.
- SARH. 1993. Diagnóstico del Parque Nacional Nevado de Toluca. Subsecretaria Forestal y de Fauna Silvestre. Consultores en ecología y Medio Ambiente. p. 44.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 1993. Ordenamiento Ecologico del Territorio Nacional (memoria técnica y metodología). Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica. México. 13 p.

- SEMARNAP. 1996. *Programa de Áreas Naturales protegidas de México, 1995-2000*. pp. 51-64.
- Troll, C. 1939. Luftbildplan and ökologische Bodenforschung. *Z. Ges Erdkunde*: 248-298. Berlin.
- Troll, C. 1950. Die geographische Landschaft und ihre Erforschung. Studium generale 3. Landschaftsökologie. Verlag-Junk, Den Haag. The Netherlands. p. 435.
- Turner, II. B. L. & W. B. Meyer. 1994. Global land use and land cover change: an overview. En: Meyer, W. B. & II. B. L. Turner (eds.). *Changes in land use and land cover: a global perspective*. pp. 3-10. Cambridge University Press. UK.
- Vázquez-Selem, L. & H. Klaus. 2004. Late Quaternary glaciation of México. En: J. Ehlers & P.L. Gibbard (eds.). *Quaternary Glaciations – Extent and Cronology, Part III*. pp. 233-242. Elsevier B.V. Amsterdam, the Netherlands.
- Vela-Galvez, L., J. Boyás-Delgado, Hernández-Reyna, A., Mancera-Orozco A. & A. Rodríguez-Ángeles. 1976. El Nevado de Toluca. *Ciencia Forestal*, 1(4):53-61.
- Velázquez, A. 1993. Landscape Ecology of Tlálóc and Pelado Volcanoes, México, with spatial reference to the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*), its habitats, ecology and conservation. ITC publicación No. 16 Enschede, the Netherlands: p. 152.
- Velázquez, A. & G. Bocco. 2003. “La ecología del paisaje y su importancia para acciones de conservación de ecosistemas templados de montaña”. En: Sánchez, O., E. Vega & O. Monroy-Vilchis (eds.). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. pp. 175-193. Diplomado en conservación y aprovechamiento de vida silvestre. SEMARNAT, INE, FORD FOUNDATION, CONAP, SEGEM, SIERRA MADRE, Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo, AC.
- Vilchis, M. M. 2001. “Estudio Geomorfológico de la carta Nevado de Toluca, Méx”. Tesis de licenciatura en geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía. p. 100.
- Villalpando, O. 1968. “Algunos aspectos ecológicos del Volcán Nevado de Toluca”. Tesis de licenciatura. México, D.F. Facultad de Ciencias. UNAM. p. 36.

- Villers Ruiz, L & J. López. 1995. Evaluación del uso agrícola y forestal del suelo en la Cuenca alta del Río Temascaltepec, nevado de Toluca, México. *Boletín de Investigaciones Geográficas*, 31: 69-92.
- Villers Ruiz, L., García L. & J. López. 1998. Evaluación de los bosques templados en México: una aplicación en el parque nacional Nevado de Toluca. Instituto de Geografía, UNAM, México. *Investigaciones Geográficas*, 36:7-19.
- Zetina, E. J. 1995. “Estrategias de manejo, conservación y aprovechamiento de recursos naturales en áreas protegidas, caso: Parque Nacional Nevado de Toluca”. Tesis de licenciatura. Ingeniero en Agroecología. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 150.
- Zonneveld, I. S. 1979. Land evaluation and Landscape Science. I. T. C. Texbook VII. 4. Second edition.
- Zonneveld, I. S. 1995. *Land Ecology: An Introduction to landscape ecology as a base for the land evaluation, land Management and Conservation*. The Netherlands: SPB Academic publishing, Amsterdam.
- Zúñiga, S. S. 2006. “Diagnóstico del estudio de la vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México”. Tesis de Licenciatura. México, D.F. Facultad de Ciencias, UNAM. p. 65.

10. ANEXOS

Anexo I. Decreto del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México.

25-01-1936 DECRETO QUE DECLARA PARQUE NACIONAL EL "NEVADO DE TOLUCA"

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos. Presidencia de la República.

LAZARO CARDENAS, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes, sabed:

Que en uso de las facultades que me confieren los artículos 22 y 41 de la Ley Forestal de 5 de abril de 1926 y atendiendo a lo dispuesto en los artículos 39, 47 y 48 del Reglamento de dicha Ley, y CONSIDERANDO que las montañas culminantes del Territorio Nacional que forman la división de sus principales valles ocupados por ciudades populosas y que a la vez, constituyen la división de las cuencas hidrográficas que por su extensión contribuyen de manera considerable a la alimentación de las aguas de los ríos, formación de manantiales y lagunas de los propios valles, sosteniendo su régimen hidráulico si están cubiertos de bosques, como deben estarlo, para evitar la erosión de sus terrenos en declive y para mantener el equilibrio climático de las comarcas vecinas; siendo necesario, para conseguir tales finalidades, que esas montañas culminantes sean protegidas de manera eficaz en sus bosques, pastos y yerbales, cuyo papel es formar una capa protectora del suelo y como agentes reguladores para sostener las buenas condiciones climáticas y biológicas; conservación forestal que no puede obtenerse de una manera eficaz si prevalecen los intereses privados vinculados en la propiedad comunal o ejidal o de las particulares que tienden a la excesiva explotación de los elementos forestales; siendo, por tanto, indispensable que tales montañas culminantes se constituyan con el carácter de Reservas Forestales de la Nación, como es el caso de la montaña denominada Nevado de Toluca, cuyas cumbres, coronadas de nieves imprimen al panorama un bello contraste con el territorio intertropical que se extiende en sus faldas, y que por su vegetación boscosa y la fauna de animales silvestres, constituye sin duda alguna, un verdadero museo vivo de la flora y la fauna comarcanas, llenando el carácter especial que deben tener los Parques Nacionales, que por acuerdo colectivo de las Naciones civilizadas se ha convertido en proteger, cuidándolos y haciéndolos accesibles para solaz de los visitantes que estudian el amplio campo que ofrece la Naturaleza en tales sitios;

CONSIDERANDO que entre las montañas majestuosas que forman el relieve del Territorio Nacional, el Nevado de Toluca es uno de los más significativos por encontrarse en las inmediaciones de la capital del Estado de México, y cuyas faldas es necesario proteger contra la degradación, manteniendo o restaurando los bosques en perfecto estado y sus praderas, de bello contraste, para garantía del buen clima regular de todos los poblados comarcanos; para los cuales, es necesario asegurar el abastecimiento constante de aguas necesarias para la agricultura y la industria;

CONSIDERANDO finalmente, que la misma belleza natural de esa montaña, y la de su flora y fauna forman un atractivo poderoso para el desarrollo del turismo, ya que se cuenta con una carretera inmejorable y un sin número de caminos de segundo orden que la hacen ser accesible por cualquier lugar, lo que al mismo tiempo constituye una gran ventaja económica para los pueblos comarcanos; por todo ello, el Ejecutivo de mi cargo ha tenido a bien expedir el siguiente DECRETO

ARTICULO PRIMERO.

Se declara Parque Nacional la montaña denominada "Nevado de Toluca," que se destina a la conservación perenne de la flora y fauna comarcanas.

ARTICULO SEGUNDO.

El límite inferior de este Parque Nacional, será trazado por el Departamento Forestal y de Caza y Pesca, siguiendo una curva de 3,000 mts. de altitud sobre el nivel del mar, salvando las porciones de terrenos agrícolas en cultivo y poblados que se encuentren dentro de la misma curva, a los que se les dará un radio de protección de 100 metros.

ARTICULO TERCERO.

El propio Departamento Forestal y de Caza y Pesca, tendrá bajo Su dominio la administración y gobierno de dicho Parque Nacional del Nevado de Toluca, con la intervención de la Secretaría de

Hacienda y Crédito Público respecto a los gastos y productos que el mencionado gobierno y administración ocasionen.

ARTICULO CUARTO.

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público procederá conforme a la Ley, a la indemnización correspondiente a la expropiación de los terrenos de la Serranía de que se trata, que queda comprendida en el perímetro que señala el artículo segundo.

TRANSITORIOS

ARTICULO 1º.

El presente Decreto empezará a surtir sus efectos a partir de la fecha de su publicación en el "Diario Oficial" de la Federación.

ARTICULO 2º.

Los pueblos y propietarios particulares que se consideren afectados, se les concede un plazo de seis meses para presentar ante el Departamento Forestal y de Caza y Pesca, sus planos, escrituras y demás documentos que comprueben su derecho y valor catastral de los terrenos comprendidos en el Parque Nacional del Nevado de Toluca.

En cumplimiento de lo dispuesto por la fracción I del artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y para su publicación y observancia, promulgo el presente Decreto en la residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la ciudad de México, a los quince días del mes de enero de mil novecientos treinta y seis.- Lázaro Cárdenas.- Firmado.- El Jefe del Departamento Forestal y de Caza y Pesca, Miguel A. de Quevedo.- Firmado.- Al C. Lic. Silvano Barba González, Secretario de Gobernación.- Presente.

DECRETO POR EL CUAL SE MODIFICA EL DE 15 DE ENERO DE 1936 QUE DECLARA PARQUE NACIONAL EL "NEVADO DE TOLUCA"

19-02-1937

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Presidencia de la República.

LAZARO CARDENAS, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes, sabed:

Que en uso de las facultades que me conceden los artículos 22 y 41 de la Ley Forestal de 5 de abril de 1926, y

CONSIDERANDO, que la creación del Parque Nacional "Nevado de Toluca" a que se refiere el Decreto de 15 de enero de 1936, tiene por objeto conservar las condiciones naturales existentes en las partes altas de las faldas y cumbres de la citada montaña, estableciéndose en él las condiciones más esenciales para hacerlo accesible al gran turismo, sin perjuicio de que con los bosques situados dentro del mismo Parque Nacional, cuyas condiciones silvícolas lo permitan, se constituyan las Reservas Forestales de la Nación, destinadas a llenar las necesidades de explotación inmediata e indispensable que requieran los núcleos de trabajadores de la comarca para su subsistencia;

CONSIDERANDO, que de los estudios verificados dentro de los límites del Parque Nacional "Nevado de Toluca", se ha determinado la conveniencia de destinar una porción de terrenos para constituir con ellos una reserva forestal nacional, cuyos productos maderables, trabajados en forma racional y bajo la inmediata atención del Departamento Forestal y de Caza y Pesca, presten los beneficios de orden económico indispensables a los grupos de trabajadores de la comarca que habitualmente viven de la explotación de los bosques, sin que con ello se perjudique la finalidad principal que se tuvo en cuenta para la expedición del Decreto que establece el citado Parque Nacional; he tenido a bien dictar el siguiente

DECRETO:

ARTICULO PRIMERO.- Se modifica el artículo primero del Decreto de 15 de enero de 1936 que declara Parque Nacional la montaña denominada "Nevado de Toluca" en los términos siguientes: "Artículo Primero.- Se declara Parque Nacional la montaña denominada "Nevado de Toluca", que se destina a la conservación perenne de la flora y fauna comarcanas, incluyendo en dicho parque una porción de terrenos destinada a constituir la reserva forestal nacional cuyos límites se fijan en

el Artículo siguiente."

ARTICULO SEGUNDO.- Se modifica el artículo segundo del propio Decreto, en la forma siguiente:

"Artículo Segundo.- El límite inferior general para el Parque Nacional, será trazado por el Departamento Forestal y de Caza y Pesca, siguiendo la curva de 3,000 (tres mil) metros sobre el nivel del mar, y dentro del cual quedará comprendida la Reserva Forestal Nacional, limitada por el Norte, del cerro de las Palomas a la ranchería de Agua Blanca; por el Este, de la Ranchería de Agua Blanca a la Cruz del Escapulario; por el Sur, de la Cruz del Escapulario, el Arenal y de allí al Llano del Tejón; por el Oeste, del Llano del Tejón al cerro de Las Palomas, que se tomó como punto de partida."

TRANSITORIO

ARTICULO UNICO.- El presente Decreto entrará en vigor tres días después de su publicación en el "Diario Oficial" de la Federación.

En cumplimiento de lo dispuesto por la fracción I del artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y para su debida publicación y observancia, promulgo el presente Decreto en la Residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la ciudad de México, Distrito Federal, a los diez días del mes de febrero de mil novecientos treinta y siete.- Lázaro Cárdenas.- Rúbrica.- El Jefe del Departamento Forestal y de Caza y Pesca, Miguel A. de Quevedo.- Rúbrica.- Al C. Lic. Silvestre Guerrero, Secretario de Gobernación.- Presente.

Anexo II. Listado Faunístico presentado por Hentschel-Ariza, (1999), para el programa de manejo del Parque Nacional Nevado de Toluca.

Lista de fauna silvestre del PNNT

Orden	Nombre científico	Nombre común	Estatus
Anfibios			
<i>Caudata</i>	<i>Pseudoeurycea robertsi</i>	Salamandra	Endémica
	<i>Pseudoeurycea belii</i>	Salamandra rojinegra	
	<i>Ambystoma tigrinum</i>	Ajilote	Endémica
<i>Anura</i>	<i>Rana montezumae</i>	Rana verde	
	<i>Rana spectabilis</i>	Rana leopardo	
	<i>Hyla spp</i>	Ranita	
<i>Reptiles</i>			
<i>Squamata</i>	<i>Barisisa rudicollis</i>	Escorpión	Endémica
	<i>Sceloporus spp</i>	Lagartija espinosa	
	<i>Conopsis biserialis</i>	Culebra	Endémica
	<i>Tamnophis spp.</i>	Culebra de agua	
	<i>Toluca lineata</i>	Culebra	Endémica
	<i>Crotalus transversus</i>	Serpiente de cascabel	Endémica
Aves			
<i>Rapaces</i>	<i>Cathartes aura</i>	Turkey vulture, Aura, Tzopilotl	
	<i>Coragyps atratus</i>	Buzzard, Zopilote, Tzopilotl	
	<i>Buteo jamaicensis</i>	Red tailed hawk, Halcón de cola roja, Aguililla, Aguililla, Cuitlatlotli, Tlotli, Huieitlotli.	
	<i>Falco sparverius</i>	Kestrel, Carnícalo, Ceceto,	

Programa de Manejo del Parque Nacional Nevado de Toluca

Orden	Nombre científico	Nombre común	Estatus
		Cenotzqui, Ictlecatli, Necuilictli, Tletlectli.	
	<i>Falco peregrinus</i>	Peregrine hawk, Halcón peregrino, Cuauhtlotli, Cuitlatlotli, Tlotli, Hueitlotli.	Ocasional
	<i>Falco columbarius</i>	Merlin, Halcón esmerejón, Cuauhtlotli, Cuitlatlotli, Tlotli, Hueitlotli.	Ocasional
	<i>Accipiter striatus</i>	Sharp shined hawk, Gavilán pechirrufo menor, Tlotli, Cuitlatlotli.	
	<i>Accipiter cooperii</i>	Cooper's hawk, Gavilán de Cooper, Gavilán pollero, Tlotli, Cuitlatlotli.	
	<i>Aquila chrysaetos</i>	Golden Eagle, Águila real, Cuautli, Itzcuahtli	Extirpada
	<i>Circus cyaneus</i>	Marsh hawk, Lagunero, Cuauhconetl	Ocasional
	<i>Ictinia mississippiensis</i>	Misisipi kyte, Milano,	Ocasional
	<i>Tyto alba</i>	Lechuza de campanario, Chicoatli.	
	<i>Athene cunicularia</i>	Burrowing owl, Lechuza de madriguera, Tlalquipatli.	
	<i>Otus flameolus</i>	Flammulated owl, Tecolotito, Tecolotl.	
	<i>Buho virginianus</i>	Búho grando, Tecolotl.	
	<i>Aegolius ridgwayi</i>	Tecolotito volcadero, Tecolotl.	
	<i>Bubulcus ibis</i>	Cattle egret, Garza garrapatera, Aztatl.	
	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Black crowned night heron, Perro de agua.	
	<i>Coccyzus erythrophthalmus</i>	Black-Billed Cuckoo, Cucuillo.	
	<i>Geococcyx californianus</i>	Greater Roadrunner, Correcaminos.	
	<i>Archilochus alexandri</i>	Black-chinned, Colibrí de mentón negro, Huitzitzilin.	
	<i>Selasphorus platycercus</i>	Broad-tailed Hummingbird, Colibrí de cola ancha, Chupamitro, Huitzitzilin.	
	<i>Selasphorus sasin</i>	Allen's Hummingbird, Colibrí de Allen, Huitzitzilin.	
	<i>Dendrocopos stricklandi</i>	Brown-barred woodpecker, Carpintero barrado.	
	<i>Corvus corax</i>	Common raven, Cacalotl.	
	<i>Myioborus picta</i>	Painted redstart,	
	<i>Sturnella neglecta</i>	Western meadowlark, Alondra.	
	<i>Piranga ludoviciana</i>	Western tanager, calandria, Oropéndola.	
	<i>Chlorospingus ophthalmicus</i>	Common bush-tanager, Calandria.	
	<i>Rhodotraupis celaeno</i>	Crimson collared grosbeak, Picogruaso.	
	<i>Melospiza melodia</i>	Song sparrow, Gorrión, molotl.	
	<i>Grallaria guatemalensis</i>	Scaled antpitta	
	<i>Aechmolphus mexicanus</i>	Pileated flycatcher, Papamoscas.	
	<i>Aphelocoma coerulescens</i>	Scrub jay, Grajo.	
	<i>Sitta pygmaea</i>	Pygmy nuthatch,	

Programa de Manejo del Parque Nacional Nevado de Toluca

Orden	Nombre científico	Nombre común	Estatus
	<i>Telmatodytes palustris</i>	Cascanueces.	
	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	Long-Billed marsh wren.	
	<i>Turdus rufopalliatus</i>	Cactus wren.	
		Ruuos.backed Robin,	
	<i>Toxostoma ocellatum</i>	Petirrojo.	
		Ocellated thrasher,	
		Cuitlacoche, Cuitlacochin,	
		Cuitlacochoyotl.	
	<i>Toxostoma curvirostre</i>	Curved billed thrasher,	
		Cuitlacoche, Cuitlacochin,	
		Cuitlacochoyotl.	
	<i>Mimus polyglottos</i>	Common mockingbird,	
		Jilguero.	
	<i>Melanotis caerulescens</i>	Bue mockingbird.	
	<i>Carpodacus mexicanus</i>	Gorrión mexicano, Molotl.	
	<i>Turdus migratorius</i>	Primavera.	
	<i>Zenaida macroura</i>	Mourning dove, Tórtola,	
		Huilota, Cocotli, Cocotzin.	
	<i>Scardafella inca</i>	Coquita.	
	<i>Columbina passerina</i>	Coquita.	
	<i>Trogon mexicanus</i>	Trogón mexicano.	
	<i>Dendrocolaptes picumnus</i>	Trepatronco ocotero.	
	<i>Mimus polislottus</i>	Zenzontle, Centzontlatolle.	
	<i>Cyanocitta stelleri</i>	Cháchara copetona.	
	<i>Regulus satrapa</i>	Reyesuelo.	
	<i>Lanius ludovicianus</i>	Verdugo.	
	<i>Pipilo fuscus</i>	Toquí o Choui.	
	<i>Carduelis pinus</i>	Piñonero.	
Mamíferos			
Didelphidae	<i>Didelphis virginiana californica</i> *	Tlacuache	
Soricidae	<i>Sorex saussurei cristobalensis</i> *	Musaraña	
	<i>Cryptotis goldmani (C. Allicola)</i>	Musaraña	
Vespertilionidae	<i>Lasiurus blossevilli</i> *	Murciélago	
Molossidae	<i>Nictinops macrotis</i> *	Murciélago	
	<i>Tadarida brasiliensis mexicana</i> *	Murciélago	
Dasypodidae	<i>Dasyopus novemcinctus</i> *	Armadillo	
Leporidae	<i>Sylvilagus floridanus orizabae</i> *	Conejo	
	<i>Romerolagus Diazii</i>	Teporingo	Endémica.
Sciuridae (subf: Sciurinae)	<i>Sciurus aureogaster nigriscens</i> *	Ardilla	
	<i>Spermophilus mexicanus mexicanus</i> *	Ardilla	
Sciuridae (subf: Petauristinae)	<i>Glaucomys volans herreranus</i> *	Ardilla	Amenazada
Geomyidae	<i>Cratogeomys merriami merriami</i> *	Tuza	
	<i>Thomomys umbrinus tolucae</i> *	Tuza	
Muridae (Subf: Sigmodontinae)	<i>Neotoma mexicana torquata</i>	Ratón	
	<i>Neotomodon alstoni</i>	Ratón de los volcanes.	
	<i>Peromyscus maniculatus labecula</i> *	Ratón	
	<i>Peromyscus melanotis</i> *	Ratón	
	<i>Reithrodontomys megalotis saturatus</i> *	Ratón	
	<i>R. chrsopsis tolucae</i>	Ratón	
	<i>Sigmodon hispidus berlandieri</i> *	Ratón	
Muridae (Subf: Arvicolinae)	<i>Microtus mexicanus mexicanus</i>	Ratón	
Muridae (Subf: Murinae)	<i>Mus musculus</i> *	Introducida	
	<i>Rattus rattus</i> *	Introducida	
Canidae	<i>Canis latrans cagottis</i> *	Coyote	
	<i>Urocyon cinereoargenteus nigrirostris</i> *	Zorro Gris	

Anexo III. Asociaciones vegetales del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México. (García del Valle, 1999)

	ASOCIACIÓN VEGETAL	DESCRIPCIÓN FISONOMICA (Clase de cobertura según la fotointerpretación)	ESPECIES DOMINANTES % DE COBERTURA POR ESTRATO			ESPECIES SUBDOMINANTES % DE COBERTURA POR ESTRATO		
			Estrato	%	especie	Estrato	%	especie
SITIO 1	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque abierto (P1 escaso)	arbóreo	51	<i>Pinus hartwegii</i>	herbáceo	15	<i>Lupinus montanus</i>
			herbáceo	80	<i>Agrostis tolucensis</i>		5	<i>Cirsium</i> sp.
			rasante	65	<i>Alchemilla procumbens</i>			
SITIO 2	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque cerrado (P3 denso)	arbóreo	85	<i>Pinus hartwegii</i>	herbáceo	1	<i>Lupinus montanus</i>
			herbáceo	80	<i>Calamagrostis tolucensis</i>		1	<i>Penstemon gentianoides</i>
SITIO 3	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque abierto (P1 escaso)	arbóreo	42	<i>Pinus hartwegii</i>	herbáceo	1	<i>Mulenbergia nigra</i>
			herbáceo	80	<i>Agrostis tolucensis</i>		rasante	1
SITIO 4	Bosque mixto	Bosque cerrado (AP3 denso)	arbóreo	100	<i>Pinus hartwegii</i>	arbustivo	10	<i>Baccharis confreta</i>
			arbóreo		<i>Abies religiosa</i>	herbáceo	5	<i>Salvia exilis</i>
			herbáceo	25	<i>Gramineas</i>	herbáceo	4	<i>Piptochaetium fimbriatum</i>
SITIO 5	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque semiabierto (A2 semidenso)	arbóreo	68	<i>Abies religiosa</i>	arbustivo	20	<i>Acaena elongata</i>
			arbustivo	30	<i>Senecio angulifolius</i>	rasante	10	Musgo
							rasante	20
SITIO 6	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque abierto (P1 escaso)	arbóreo	62	<i>Pinus hartwegii</i>	herbáceo	30	<i>Lupinus montanus</i>
			herbáceo	50	<i>Mulenbergia nigra</i>		20	<i>Penstemon gentianoides</i>
							10	<i>Tauschia nudicaulis</i>
SITIO 7	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque semiabierto (A2 semidenso)	arbóreo	50	<i>A. religiosa,</i> <i>P.hartwegii</i>			
			arbustivo	50	<i>Acaena elongata</i>	Herbáceo	10	<i>Salvia exilis</i>
			arbustivo	50	<i>Baccharis confreta</i>	rasante	1	<i>Cerastium cuspidatum</i>
SITIO 8	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque cerrado (A3 denso)	arbóreo	70	<i>Abies religiosa</i>	arbustivo	20	<i>Cestum nocturnum</i>
			arbustivo	25	<i>Senecio angulifolius</i>	rasante	10	<i>Alchemilla procumbens</i>
SITIO 9	Bosque mixto	Bosque semiabierto (AP2 semidenso)	arbóreo	73	<i>Pinus pseudostribus</i>	arbustivo	25	<i>Salís</i> sp.
					<i>Alnus jorullensis</i>		25	<i>Baccharis confreta</i>
					<i>Abies religiosa</i>		8	<i>Eupatorium glabratum</i>
SITIO 10	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque semiabierto (P3 denso)	arbóreo	86	<i>Pinus hartwegii</i>			
			herbáceo	80	Gramíneas	herbáceo	1	<i>Penstemon gentianoides</i>

SITIO	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque abierto	arbóreo	58	<i>Pinus hartwegii</i>	herbáceo	2	<i>Eryngium proteaeflorum</i>
11		(P2 semidenso)	herbáceo	80	Gramíneas	herbáceo	1	<i>Lupinus montanus</i>
						rasante	2	<i>Alchemilla procumbens</i>
SITIO	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque cerrado	arbóreo	89	<i>Abies religiosa</i>			<i>Salvia elegans</i>
12		(A3 denso)	arbustivo	25	<i>Senecio barba-johannis</i>	herbáceo	1	<i>Smilax</i> sp.
			arbustivo	25	<i>Eupatorium mariretianum</i>			<i>Senecio callosus</i>
SITIO	Bosque mixto	Bosque cerrado	arbóreo	79	<i>Pinus hartwegii</i>			
13		(AP3 denso)	arbóreo		<i>Alnus jorullensis</i>	herbáceo	8	Gramínea
			arbóreo		<i>Abies religiosa</i>		3	<i>Eryngium protaeflorum</i>
			arbustivo	40	<i>Penstemon gentianoides</i>			
SITIO	Bosque mixto	Bosque abierto	arbóreo	50	<i>Pinus hartwegii</i>	arbustivo	2	<i>Salís</i> sp.
14		(AP2 semidenso)			<i>Abies religiosa</i>	herbáceo	10	Gramínea
SITIO	Bosque mixto	Bosque semiabierto	arbóreo	100	<i>Pinus hartwegii</i>	arbustivo	36	<i>Alnus jorullensis</i>
15		(AP3 semidenso)			<i>Abies religiosa</i>	herbáceo	30	Gramínea
SITIO	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque cerrado	arbóreo	80	<i>Pinus hartwegii</i>	herbáceo	15	<i>Lupinus montanus</i>
16		(P3 denso)	herbáceo	70	<i>Agrostis tolucensis</i>	herbáceo	5	<i>Penstemon gentianoides</i>
			herbáceo	60	<i>Calamagrostis tolucensis</i>	rasante	5	<i>Alchemilla procumbens</i>
SITIO	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque cerrado	arbóreo	70	<i>Pinus hartwegii</i>	herbáceo	30	<i>Penstemon gentianoides</i>
17		(P3 denso)	herbáceo	60	<i>Agrostis tolucensis</i>	rasante	8	<i>Alchemilla procumbens</i>

Anexo IV. Unidades de suelos presentes en el Parque Nacional Nevado de Toluca y la superficie que presentan.

Etiquetas	Unidades de suelos	Ha	%
Th+To	Andosol húmico + Andosol ócrico	20722.7	38.5
Th	Andosol húmico	8396.7	15.6
Th+Bc	Andosol húmico + Cambisol crómico	3356.1	6.2
Th+I	Andosol húmico + Litosol	3065.9	5.7
Th+I/lítica	Andosol húmico + Litosol con fase lítica	2886.6	5.4
Th+Hh	Andosol húmico + Feozem háplico	2116.9	3.9
Hh+Tm	Feozem háplico + Andosol mólico	1965.1	3.7
Th/lítica	Andosol húmico con fase lítica	1852.2	3.4
Th+To/lítica	Andosol húmico + Andosol ócrico con fase lítica	1466.6	2.7
Th+Re+I	Andosol húmico + Regosol eútrico + Litosol	837.9	1.6
Th+Be	Andosol húmico + Cambisol eútrico	716.1	1.3
Th+Hh	Andosol húmico + Feozem háplico con fase lítica	681.2	1.3
Tm+Hh	Andosol mólico + Feozem háplico	598.6	1.1
Bc+Th	Cambisol crómico + Andosol húmico	575.8	1.1
Th+To+I	Andosol húmico + Andosol ócrico + Litosol	531.6	1.0
I+Re	Litosol + Regosol eútrico	466.1	0.9
Hh+I	Feozem háplico + Litosol	453.4	0.8
Re+I	Regosol eútrico + Litosol	440.6	0.8
I+To	Litosol + Andosol ócrico	383.0	0.7
Hh+Th	Feozem háplico + Andosol húmico	359.4	0.7
To+Th+I	Andosol ócrico + Andosol húmico+ Litosol	351.2	0.7
Th+Bc/lítica	Andosol húmico + Cambisol crómico con fase lítica	351.2	0.7
I+Re+Th	Litosol + Regosol eútrico + Andosol húmico	291.8	0.5
I+Th	Litosol + Andosol húmico	176.7	0.3
Re+I/lítica	Regosol eútrico + Litosol con fase lítica	137.5	0.3
To+Th/lítica	Andosol ócrico + Andosol húmico con fase lítica	121.0	0.2
Re+Hh	Regosol eútrico + Feozem háplico con fase lítica	110.4	0.2
I+Hh	Litosol + Feozem háplico	92.4	0.2
To+I	Andosol ócrico + Litosol	64.8	0.1
Tm+I	Andosol mólico + Litosol	56.1	0.1
Hh+Je	Feozem háplico + Fluvisol eútrico	51.4	0.1
Th+To+Hh	Andosol húmico + Andosol ócrico + Feozem háplico	32.4	0.1
Re+Hh	Regosol eútrico + Feozem háplico	28.9	0.1
To+Th	Andosol ócrico + Andosol húmico	18.9	0.0

Fuente: CETENAL, 1976.

Anexo V. Asentamientos humanos dentro del área del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México. (INEGI, 2000)

Población total censo

Municipio	No. de localidad	Nombre de la localidad	1970	1990	2000	Población ocupada en el sector primario	Población ocupada en el sector secundario	Población ocupada en el sector terciario
Temascaltepec	64	La Loba	-	16	13	1	1	3
Calimaya	30	El Baldío Amarillo	-	-	14	2	0	0
Zinacantepec	121	Cerro Gordo (El Capulín)	-	-	16	2	0	1
Texcaltitlan	32	El Capulín	-	-	22	1	1	1
Zinacantepec	119	Dos Caminos (Crucero de la Puerta)	-	-	26	2	0	7
Zinacantepec	90	Cruz Colorada	-	18	34	7	1	0
Temascaltepec	59	EL Varal	-	38	55	7	1	4
Zinacantepec	120	Agua Blanca Ejido de Santa María del Monte	-	-	77	4	9	0
Tenango del valle	61	San Juan Tepehuisco	-	68	83	18	0	0
Coatepec Harinas	64	Las Jaras	-	-	112	16	0	0
Tenango del valle	57	Colonia San Roman (El Llano)	-	118	177	41	0	3
Zinacantepec	47	La Puerta del Monte (La Puerta)	157	178	212	35	6	11
Zinacantepec	91	La Lima	-	286	350	26	55	11
Almoloya de Juárez	119	Rosa Morada	-	299	364	39	14	13
		El Capulín tercera sección (Palo						
Amanalco de Becerra	25	Mancornado)	-	104	461	98	16	7
Zinacantepec	6	Buenavista	249	313	461	82	15	12
Zinacantepec	30	Loma Alta	603	228	512	106	11	28
Zinacantepec	96	Raíces	-	380	544	88	5	35
Zinacantepec	42	La Peñuela	290	457	577	117	9	15
Almoloya de Juárez	10	Dilatada Sur (Dilatada)	921	1,210	1,452	229	45	111
Zinacantepec	13	El Contadero de Matamoros (San José)	705	1,242	1,504	97	156	124
Zinacantepec	39	Ojo de Agua	756	1,121	1,711	180	72	241
		Población total por censo	3,681	6,076	8,777			

Sector primario Población ocupada que trabajó en la agricultura, ganadería, silvicultura, caza o pesca

Sector secundario Población ocupada que trabajó en la minería, generación y suministro de electricidad y agua, construcción o industria manufacturera

Sector terciario Población ocupada que trabajó en el comercio, en el transporte, los servicios financieros, ofreciendo servicios profesionales, en el gobierno u otros servicios.

Fuente: INEGI, 1990, 2000.

Anexo VI. Asentamientos humanos a 500 y 1 000 m de distancia de la cota de los 3 000 m snm, del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México. (INEGI, 2000).

Municipio	No. de localidad	Nombre de la localidad	Población total (censos)			Distancia en m	Población ocupada en el sector primario	Población ocupada en el sector secundario	Población ocupada en el sector terciario
			1970	1990	2000				
Temascaltepec	43	Hoyos de Vázquez	-	64	60	500	19	2	1
Temascaltepec	45	Cajones	-	110	109	500	9	1	3
Amanalco de Becerra	7	Huacal Viejo	94	83	209	500	41	14	20
Zinacantepec	125	San Miguel hojas anchas	-	-	393	500	21	54	12
Calimaya	21	Las Jarillas	-	-	415	500	66	18	23
Zinacantepec	87	Barrio de México	-	2,120	3,279	500	80	417	177
Zinacantepec	14	El Coporo	876	2,647	4,618	500	107	507	273
Temascaltepec	57	Sabanillas	-	-	15	1,000	0	1	1
Amanalco de Becerra	6	Hacienda Nueva	138	139	76	1,000	13	2	1
Villa Guerrero	43	El Potrero	-	70	86	1,000	18	0	4
Zinacantepec	124	Barrio de la Rosa	-	-	158	1,000	8	20	7
Tenango del valle	66	Loma Rancho Juan Méndez	-	-	207	1,000	56	4	12
Texcaltitlan	51	Las Lagrimas	228	215	272	1,000	22	12	8
Coatepec Harinas	22	Potrero Redondo	143	279	351	1,000	47	16	5
Temascaltepec	15	Mesón Viejo	363	459	535	1,000	95	17	37
Villa Victoria	30	San Luis el Alto	500	628	682	1,000	64	22	10
Calimaya	20	Colonia Francisco Villa	-	-	783	1,000	101	24	70
Tenango del valle	47	Colonia Azteca	-	304	1,257	1,000	244	39	39
Tenango del valle	25	Santa Cruz Pueblo Nuevo	510	1,005	1,426	1,000	220	17	45
Tenango del valle	35	San Miguel Balderas	1,808	2,980	4,152	1,000	673	126	287
Población total por censo			4,660	11,103	19,083				

Sector primario Población ocupada que trabajó en la agricultura, ganadería, silvicultura, caza o pesca
Sector secundario Población ocupada que trabajó en la minería, generación y suministro de electricidad y agua, construcción o industria manufacturera
Sector terciario Población ocupada que trabajó en el comercio, en el transporte, los servicios financieros, ofreciendo servicios profesionales, en el gobierno u otros servicios.

Fuente: INEGI, 1990, 2000

Anexo VII a. Actividad agrícola y asentamientos humanos en el Parque Nacional Nevado de Toluca.



Anexo VII b. Actividad agrícola en el Parque Nacional Nevado de Toluca.



Anexo VII c. Asentamientos humanos y actividad agrícola en el Parque Nacional Nevado de Toluca.



Anexo VII d. Actividad pecuaria en el Parque Nacional Nevado de Toluca.

