

00361

8
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**EVALUACION FORESTAL DEL PARQUE NACIONAL
NEVADO DE TOLUCA, ESTADO DE MEXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS (BIOLOGIA)

P R E S E N T A :

LAURA GUADALUPE GARCIA DEL VALLE

DIRECTOR (A) DE TESIS:

DR. EN TR. CYCLE MA. DE LOURDES VILLERS RUIZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D.F.

274505

1999



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.

Agradecimientos

A mis padres:

Rodolfo García Monterrosas y Guadalupe del Valle de García

Por haberme dado la vida, el amor, su ejemplo y apoyo en todos los momentos y me permitieron lograr lo que ahora soy.

A mi esposo Porfirio:

Por compartir tu vida conmigo, tu amor, apoyo y comprensión además de enseñarme a luchar por todo aquello que deseamos que aunque parezca imposible se puede lograr sin claudicar. Te amo.

A mis hijos:

Diana Laura, por esa felicidad que me das día con día, alegrando mi vida con tu sonrisa e inocencia, dandome fuerza para seguir adelante.

Al Bebé que dentro de mi vientre comparte ya el amor que nos une y traerá nuevas alegrías a la familia, te estamos esperando.

A mis hermanas:

Martha Patricia, Araceli y Nora Adriana por el amor, apoyo, consejos y cariño de siempre y por que juntas formamos esa familia que nos permitió crecer como individuos y valorar lo que somos.

A mis sobrinos:

Gissel, Jonathan, Ulises y Jimena por ser la nueva generación.

A mis amigas:

Gabriela, Patricia, Alma, Cecilia, Silvia e Irma (†).

A toda mi familia:

Por su cariño y apoyo.

A la Dra. Lourdes Villers Ruiz:

Por sus consejos y paciencia que tuvo conmigo para la realización de este trabajo, porque más que una directora es una buena amiga. Gracias Lulú.

Al Geógrafo Francisco Javier Espino Moreno:

Por su ayuda y consejos en el manejo de los datos climatológicos y de fotointerpretación. Gracias Javier.

A los Profesores:

Dra. Lucía Almeida Leñero
M. en C. Ma. Del Consuelo Bonfil Sanders
Dra. Irma trejo Vazquez
Dr. Jorge López Blanco
Dra. Rosaura Grether González
M. en C. Monica del Refugio Vizcaino Cook

Por sus valiosos consejos en la revisión de este trabajo.

A todas las personas que con sus palabras de aliento me impulsaron para la realización de este trabajo

¡Muchas gracias!

INDICE

Capítulo I Introducción y objetivos

1.1 Introducción	6
1.2 Objetivos	9

Capítulo II Antecedentes

2.1 Sistema Nacional de Áreas Protegidas	10
2.2 Parques Nacionales	15
2.3 Decreto del Nevado de Toluca como Parque Nacional	16
2.4 Trabajos de investigación realizados en el Parque Nacional Nevado de Toluca	17
2.5 Proyectos económicos para el parque	18

Capítulo III Elementos conceptuales

3.1 Inventarios forestales	20
3.2 Uso de la fotogrametría y la fotointerpretación	22
3.3 Técnicas de muestreo utilizadas en inventarios forestales	25
3.4 Forma de los sitios de muestreo	28
3.5 Tamaño de los sitios de muestreo	28
3.6 Area mínima de la comunidad	29
3.7 Metodología de los estudios fitosociológicos de la vegetación	30

Capítulo IV Características de la zona de estudio

4.1 Localización geográfica	32
4.2 Geología y topografía	33
4.3 Suelos	35
4.4 Hidrología	36
4.5 Clima	36
4.6 Tenencia de la tierra y vías de acceso	38
4.7 Servicios e infraestructura del parque	40

Capítulo V
Material y método

5.1 Fotointerpretación	42
5.2 Elección de los sitios de muestreo en campo	43
5.3 Levantamiento botánico en sitios de muestreo	43
5.4 Suelos	45
5.5 Análisis estadístico	45
5.6 Tenencia de la tierra	50

Capítulo VI
Resultados

6.1 Fotointerpretación	51
6.2 Características generales de las comunidades	55
6.3 Estructura de las comunidades	58
6.4 Deterioro	62
6.5 Altura	63
6.6 Cobertura	65
6.7 Diámetro a la altura del pecho	68
6.8 Tenencia de la tierra y uso del suelo	71

Capítulo VII

7.1 Discusión y conclusiones	78
------------------------------	----

Capítulo VIII

8.1 Referencias bibliográficas	82
--------------------------------	----

Figuras

1.	Modelo de muestreo para la evaluación del área mínima (Tomado de Mueller-Dombois, 1988).	30
2.	Imagen de satélite de la zona de estudio, tomada de INEGI, Espaciomapa (1: 255,000).	32
3.	Localización geográfica del área que ocupa la zona de estudio.	34
4.	Características climatológicas del área de estudio. Incluye la información de tres estaciones meteorológicas. 4a. Temperatura media mensual. 4b. Precipitación media mensual.	39
5.	Tenencia de la tierra dentro del Parque Nacional Nevado de Toluca (SARH 1993).	40
6.	Diferencia entre área basal y cobertura: A. Cobertura, B. Area basal, C. DAP (diámetro a la altura del pecho) (tomado de Mateucci y Colma 1982).	47
7.	Método utilizado para calcular la altura de los árboles.	49
8.	Mosaico Fotográfico no controlado. Se observan los diferentes usos del suelo dentro del área de estudio, así como las diferentes densidades arbóreas denso (3), semidenso (2) y escaso (1) de los tres tipos de bosque <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> y Mixto.	52
9.	Porcentajes de las diferentes clases de uso del suelo en el Parque Nacional Nevado de Toluca, según la foteointerpretación.	57
10.	Altura de árboles en bosques de <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> y mixto	66
10a.	Altura de árboles en bosques de <i>Abies</i> por sitios.	66
10b.	Altura de árboles en bosques mixtos por sitios.	67
10c.	Altura de árboles en bosques de <i>Pinus</i> por sitios.	67
11.	Cobertura de árboles en bosques de <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> y mixto.	69
11a.	Cobertura de árboles en bosques de <i>Abies</i> por sitios.	69
11b.	Cobertura de árboles en bosque mixto por sitios.	70
11c.	Cobertura de árboles en bosques de <i>Pinus</i> por sitios.	70
12.	DAP de árboles en bosques de <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> y mixto.	72
12a.	DAP de árboles en bosque mixto por sitios.	72
12b.	DAP de árboles en bosques de <i>Abies</i> por sitios.	73
12c.	DAP de árboles en bosques de <i>Pinus</i> por sitios.	73
13.	Mapa de la tenencia de la tierra. En éste se indican los límites y ubicación de los 10 municipios dentro del Parque Nacional Nevado de Toluca. Información de los deslindes ejidales y comunales de INEGI (Octubre, 1990).	74
14.	Porcentaje del área ocupada por cada uno de los municipios dentro del parque.	76

Tablas

1.	Representación de la biodiversidad mundial y en México (tomado de Mittermeier y Mittermeier, 1992).	10
2.	Países con mayor número de especies de cuatro grupos representativos de la biota (tomado de Mittermeier y Mittermeier, 1992).	11
3.	Categorías de las áreas naturales protegidas (INE, 1995) actualizada con la información de los resultados y avances de las ANP de México 1995-2000 (INE, 1998).	13
4.	Financiamiento anual óptimo por área natural protegida (tomado de INE, 1996).	16
5.	Total de Áreas Naturales Protegidas del Estado de México y su superficie (Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna, s/f).	16
6.	Parques Nacionales del Estado de México (Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna, s/f).	17
7.	Superficies del país cubiertas para cada una de las categorías en el inventario realizado en 1992 (tomado de Ornelas, 1992).	22
8.	Clases de densidades arbóreas obtenidas a partir de la fotointerpretación.	51
9.	Sitios de muestreo en campo, por tipo de vegetación y densidad arbórea según la fotointerpretación de la zona de estudio.	55
10.	Descripción del levantamiento botánico en los diferentes sitios de muestreo.	56
11.	Características físicas y localización de los sitios de muestreo.	58
12.	Características del suelo encontradas en los diferentes sitios de muestreo.	59
13.	Datos por tipo de bosque y densidad arbórea.	60
14.	Cobertura vegetal por densidad arbórea en un área de 500 m ² en los 17 sitios de muestreo.	62
15.	Ejididos y comunidades existentes en el Parque Nevado de Toluca.	75
16.	Porcentaje del uso del suelo en cada uno de los diez municipios que forman el Parque Nacional Nevado de Toluca.	76

Fotos

- | | | |
|--------|--|----|
| 1. | Los sitios de muestreo con una dimensión de 500 m ² , fueron delimitados con dirección y rumbo. Posteriormente se marcaron cada uno de los árboles para evaluar los parámetros de: altura, cobertura y DAP. | 44 |
| 2. | La altura de los árboles se calculó utilizando un clisímetro para medir el ángulo entre el observador y la parte más alta del árbol. Se tomó la distancia entre el observador y el árbol, además de considerar la altura a los ojos del observador y la pendiente del terreno. | 46 |
| 3. | Bosque de <i>Pinus</i> con una densidad arbórea P2, corresponde al sitio 11 ubicado en el Municipio de Toluca, con una altitud de 3820 m s.n.m. | 53 |
| 4. | Bosque mixto de <i>Pinus</i> y <i>Abies</i> con algunos <i>Quercus</i> , con una densidad arbórea AP2, corresponde al sitio 9 ubicado en el Municipio de Zinacantepec, con una altitud de 3115 m s.n.m. | 53 |
| 5. | Bosque de <i>Abies</i> con una densidad arbórea A3 corresponde al sitio 12 ubicado en Ampliación Ejido Sta. María del Monte, Municipio de Zinacantepec con una altitud de 3025 m s.n.m. | 54 |
| 6 y 7. | Se evaluó el grado de deterioro en los sitios de muestreo mediante la cuantificación de algunos indicios de disturbio como son: troncos caídos, árboles resinados, indicios de quema y pastoreo. Dentro del parque se vieron camiones cargados de troncos como el que se observa en la foto 6. | 64 |
| 8 y 9. | El cambio de uso del suelo por agricultura se estimó en un 21% (10,476 ha) dentro del parque, según la fotointerpretación. Los municipios más afectados son: Calimaya, Tenango del Valle, Toluca y Zinacantepec. | 76 |

Anexos

1. Datos climatológicos de las estaciones meteorológicas Parque Nacional Nevado de Toluca, San Francisco Tlalcilcalpan y Tenango del Valle.
2. Formato para el levantamiento botánico de un perfil de vegetación.
Formato de altura, cobertura y PAP de los árboles.
Formato para la toma de datos del suelo.

Capítulo I

Introducción y Objetivos

1.1 Introducción

Hoy en día resulta de vital importancia encontrar una metodología de trabajo adecuada, que permita hacer una evaluación del estado de conservación actual en el que se encuentran las áreas naturales protegidas en México.

Se deben proponer métodos de evaluación expeditos, que logren detectar los elementos naturales y humanos necesarios para elaborar el plan de manejo para cada una de las áreas naturales protegidas, con el propósito de plantear políticas adecuadas de conservación, restauración y aprovechamiento para lograr preservar la biodiversidad de nuestro país.

El manejo de un área natural protegida debe entenderse como el conjunto de decisiones y estrategias tendientes a combinar las funciones de conservación, investigación, desarrollo económico y recreativo asignadas a estas áreas, así como también la conciliación entre el aprovechamiento y la conservación (INE, 1995). Sin embargo, un plan de manejo no tiene éxito si no está sustentado por un trabajo de investigación previo, que asegure que el conjunto de decisiones y estrategias a tomar son las adecuadas y satisfacen las necesidades de todos los sectores involucrados.

Dada la gran diversidad biológica y las diferencias en la problemática de las distintas áreas naturales protegidas, es necesario utilizar técnicas y herramientas de trabajo de varias disciplinas, como la fitosociología, la ingeniería forestal, la ecología, así como la fotointerpretación y la estadística entre otras, que bajo su particular perspectiva hacia un mismo problema, permiten en conjunto realizar propuestas de manejo integradas.

Este trabajo de investigación propone una metodología que permita obtener la información necesaria para establecer los elementos que sirvan de apoyo en la propuesta de un plan de manejo adecuado para el Parque Nacional Nevado de Toluca. Esta metodología es útil cuando el tiempo y la mano de obra disponible tanto para el trabajo de campo como en el de laboratorio son limitados.

El área natural protegida que se eligió para probar esta metodología es el Parque Nacional Nevado de Toluca. Se seleccionó por ser uno de los diez parques nacionales del Estado de México, que por su superficie, representa el 52% del área total de los parques nacionales del Estado, además de su importancia, por preservar un ecosistema de bosques templados.

Hay que recordar que los bosques están en constante transformación y peligro por la tala ilegal, los incendios provocados, el cambio del uso del suelo, el crecimiento urbano, las obras, la infraestructura, etc. Se tienen datos de que en 1984 la tasa de deforestación en México era de 400,000 ha/anuales, para 1996, la cifra aumentó a 668,000 ha/anuales, de las cuales 108,000 ha corresponden a bosques de coníferas, 59,000 ha a latifoliadas, 195,000 ha a selva alta y 306,000 ha a selva baja (Ramírez, 1996). Aún cuando la tasa de deforestación para bosques de coníferas es más baja con relación a los otros tipos de vegetación, el impacto que han sufrido ha sido más prolongado.

El Parque Nacional Nevado de Toluca se localiza a 22 km al SW de la Ciudad de Toluca, capital del Estado de México; fue decretado como Parque Nacional el 15 de enero de 1936, por el Presidente Lázaro Cárdenas, destinándose a la conservación de la flora y de la fauna (Código forestal, 1970).

El Parque Nacional del Nevado de Toluca tiene una superficie de 51,000 ha, se encuentra bajo la jurisdicción político-administrativa del Estado de México y comprende total o parcialmente los municipios de: Toluca de Lerdo, Calimaya, Tenango del Valle, Coatepec Harinas, Temascaltepec, Zinacantepec, Amanalco de Becerra, Zacango, Texcaltitlán y Almoloya de Juárez (SARH, 1993).

Actualmente el parque no cumple con las funciones para las cuales fue creado, ya que presenta una disminución en la cobertura vegetal y deterioro de las comunidades vegetales que la componen, debido a la tala clandestina, actividades agrícolas, pecuarias y mineras principalmente. Aún cuando es una zona protegida, no cuenta con un presupuesto que le permita tener un mantenimiento y plan de manejo adecuado; tampoco tiene la señalización correspondiente para reconocerlo como área natural protegida.

Sin embargo, esto no le resta la gran importancia que tiene como regulador del clima de la zona, como fuente de alimentación de importantes ríos como el Lerma y el Balsas, además del uso local que se da a los escurrimientos por las pendientes de la montaña. También es un lugar de descanso y recreación para muchos habitantes de la Ciudad de Toluca y de la Ciudad de México principalmente (45,000 personas anualmente (SARH, 1993)).

Cabe señalar que no sólo el Parque Nacional del Nevado de Toluca tiene esta problemática, sino en general todos los parques nacionales del país. Una de las muchas causas de este deterioro, se debe a que la mayoría de ellos se encuentran muy cerca de las grandes ciudades, como por ejemplo la Ciudad

de México, Toluca, Querétaro, Puebla, Guadalajara, Cuernavaca, etc y el desmedido crecimiento urbano que presentan pone en peligro las zonas forestales cercanas, por el cambio del uso del suelo, que representa una alternativa para la obtención de recursos económicos para las poblaciones aledañas. Los ecosistemas de bosques templados corren un gran riesgo ya que la mayoría de los parques nacionales de nuestro país preservan este tipo de ecosistema.

Por lo anterior cabe señalar que es prioritario hacer una evaluación del recurso forestal, con el propósito de contar con un marco de referencia que permita encontrar los elementos necesarios para proponer un plan de manejo del parque. Esto favorecerá la protección de los ecosistemas de bosques templados y poder lograr conservar los parques nacionales para los fines que fueron decretados.

1.2 Objetivos

Objetivo general:

- Evaluar el estado actual en el que se encuentra el Parque Nacional Nevado de Toluca.

Objetivos particulares:

- Determinar el uso actual del suelo en el Parque Nacional del Nevado de Toluca.
- Realizar una zonificación de los diferentes tipos de bosques presentes.
- Hacer una evaluación de la cobertura que presenta cada tipo de bosque.
- Hacer una evaluación en campo considerando estructura, abundancia y cobertura de las especies vegetales que permita caracterizar a las asociaciones vegetales presentes.
- Identificar los diferentes predios que se encuentran dentro del parque, para determinar los tipos de tenencia de la tierra y asociarlos con el estado forestal que presentan los bosques en cada uno de los predios.

Capítulo II Antecedentes

2.1 Sistema Nacional de Áreas Protegidas

Debido a su privilegiada situación geográfica y conformación geológica, México es uno de los 12 países megadiversos del mundo; este concepto de país de megadiversidad sólo se aplica a un número reducido de países. En la Tabla 1 se puede observar el número total de especies que existen en la Tierra y el porcentaje de ellas que se encuentran en México.

Tabla 1. Biodiversidad mundial y en México para los principales grupos de la biota. (tomado de Mittermeier y Mittermeier 1992)

	<i>Número de especies en el mundo</i>	<i>Número de especies en México</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
<i>Aves</i>	9,040	1,041	11.5
<i>Mamíferos</i>	4,300	439	10.2
<i>Reptiles</i>	10,817	989	9.1
<i>Plantas</i>	250,000	26,000	10.4

México ocupa el primer lugar en el mundo en diversidad de reptiles, el segundo en mamíferos, el cuarto en anfibios y plantas y posee cerca del 10% del total de especies conocidas en el mundo, aunque cuenta tan sólo con el 1.4% de la superficie terrestre del planeta. Además de que nuestro país destaca por sus endemismos, con respecto al total de especies de la flora existente en México, el porcentaje de endemismos oscila entre el 44 y el 63%, para reptiles es de 56%, para anfibios 62% y en el caso de mamíferos 32% (Mittermeier y Mittermeier, 1992) (Tabla 2).

Es importante destacar que no sólo los bosques tropicales son responsables de la diversidad biológica de México, los bosques de pino-encino del país incluyen la mayor diversidad de pinos de la Tierra, con 55 especies de pinos, 85% de las cuales son endémicas de México; los encinos son los segundos más diversos con 138 especies, 70% de las cuales son endémicas (Mittermeier y Mittermeier, 1992). Por ello la conservación no sólo de las áreas críticas de bosque tropical húmedo sino también de los bosques templados es uno de los principales retos a los que se enfrenta nuestro país.

Tabla 2. Países con mayor número de especies de cuatro grupos representativos de la biota (tomado de Mittermeier y Mittermeier 1992)

<i>Países y número de especies</i>					
<i>Plantas</i>	Brasil 55000	Colombia 45000	China 30000	México 26000	Australia 25000
<i>Anfibios</i>	Brasil 516	Colombia 407	Ecuador 358	México 282	Indonesia 270
<i>Reptiles</i>	México 707	Australia 597	Indonesia 529	Brasil 462	India 433
<i>Mamíferos</i>	Indonesia 519	México 439	Brasil 421	China 410	Zaire 409

Los primeros antecedentes oficiales de protección y conservación de especies nativas, se remontan al año de 1870, en el cual se emitieron las primeras disposiciones sobre cacería y se establecieron en el Código Civil las vedas para algunas especies. Posteriormente, en 1876 se inició la política de áreas protegidas, bajo la presidencia de Sebastián Lerdo de Tejada, con la expropiación del Desierto de los Leones por la importancia de sus manantiales, el cual en 1917 se transformó en el primer parque nacional del país. En 1909 Miguel Angel de Quevedo, en su calidad de presidente de la Junta Central de Bosques, promovió la primera Ley Forestal de México, la cual sólo se pudo aplicar al Distrito Federal, pues la Constitución de 1817 no autorizaba al Gobierno Federal para intervenir en esa materia en los estados. En 1917, solicitó al Congreso Constituyente una Ley Federal para la protección de los recursos forestales, que finalmente se hizo realidad con la Ley Forestal de 1926 (INE, 1995).

Lázaro Cárdenas fue el presidente más activo en la creación de parques nacionales, pues decretó 36 parques, que cubrían una extensión total de 800,000 ha. En la mayoría de los casos los propietarios originales no participaron ni en la conceptualización, ni en la operación de los parques y raramente fueron indemnizados por la falta de partidas presupuestales para el mantenimiento de estas zonas. Tampoco se contó con la capacidad técnica para hacer efectiva la protección de las áreas declaradas y eventualmente muchas de ellas se incorporaron al reparto agrario, lo que contribuyó a la confusión legal que las afecta (INE, 1995).

Hacia principio de los años ochenta México contaba con 56 parques nacionales, los cuales constituían prácticamente la totalidad de las áreas naturales protegidas del país, ubicados principalmente en los estados de Nuevo León, Veracruz, Estado de México, Tlaxcala y Puebla.

La administración de los parques nacionales pasó durante varios decenios de un sector institucional a otro. Durante décadas, su manejo estuvo asignado a una unidad administrativa de nivel departamental, lo que probablemente determinó serias limitaciones para su gestión. La adscripción

sectorial de los parques nacionales como áreas naturales protegidas, siguió siendo cambiante y azarosa hasta últimas fechas. En los años setenta pasó de la Secretaría de Agricultura, a la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP); a principios de los años ochenta estuvo adscrita a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), en 1992 volvió a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Finalmente a partir de 1995 la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), tiene a su cargo la gestión de los parques nacionales (INE, 1995). La política actual es descentralizar su administración, promoviendo la transferencia de su gestión a los gobiernos de los estados en donde se encuentran.

A fines de la década de los setenta se introducen nuevos elementos conceptuales y de manejo para las áreas naturales protegidas, destacando la fórmula de reserva de la biósfera. Este concepto, en el que se va concentrando cada vez más la política de Areas Naturales Protegidas (ANP) de México, aparece en el marco del Programa el Hombre y la Biósfera de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), resultado de un esfuerzo colectivo en el que la participación mexicana tuvo un papel protagónico. Las reservas de la biósfera expresan un nuevo esquema de conservación y desarrollo regional, incluyendo la participación de diferentes actores locales y académicos (INE, 1995).

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) se fundó en 1983, pero fue hasta 1988, con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en donde a través del Título Segundo, capítulos I y II, se establecieron jurídicamente las categorías, declaratorias y ordenamientos para las áreas naturales protegidas (SEDUE, 1989). Sin embargo, no todas las áreas naturales protegidas cuentan con un ordenamiento, pues los decretos y ordenamientos fueron hechos sólo para las reservas de la biósfera. Actualmente cuentan con decreto, los Arrecifes de Sian Ka'an y Banco Chinchorro en Quintana Roo; Montes Azules en Chiapas, Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado en Baja California.

El SINAP es un instrumento que permite ordenar y clasificar las áreas naturales protegidas del país, para cumplir los propósitos de conservar la biodiversidad mediante la protección de los ecosistemas, además de fomentar que se lleven a cabo actividades productivas debidamente normadas y promover la investigación (INE, 1995).

En la actualidad el SINAP comprende 98 áreas decretadas que cubren poco más del 5% del territorio nacional, esto es más de 10,000,000 ha. De las 98 áreas, 46 son parques nacionales, lo que representa en número el 46.46 % de las áreas protegidas, sin embargo, en superficie, representan sólo el

5.9 % de la superficie protegida. Hay que recordar que todos los parques nacionales protegen principalmente ecosistemas de bosque templado (Tabla 3).

Tabla 3. Categorías de las áreas naturales protegidas (INE, 1995) actualizada con la información de los resultados y avances de las ANP de México 1995-2000 (INE, 1998)

Categoría de manejo	Fundamento legal	Número	Superficie (Ha)
Reservas de la Biósfera	Artículo 48	21	7,552,877
Reservas Especiales de la Biósfera	Artículo 49	13	491,336
Parques Nacionales	Artículo 50	46	688,103
Parques Marinos Nacionales	Artículo 52	6	393,118
Áreas de Protección de Flora y Fauna Silvestre y Acuática	Artículo 54	9	1,567,612
Monumentos Naturales	Artículo 51	3	13,023
	TOTAL	98	11,687,563

En relación con otras naciones en desarrollo, la proporción de territorio decretada bajo protección legal que ha alcanzado nuestro país resulta insuficiente, ya que existe una gran heterogeneidad ambiental y una gran cantidad de especies que tienen distribuciones muy restringidas. Cabe señalar que en América Latina, Costa Rica destina el 25% de su territorio a la conservación, Guatemala el 30% y Chile un 12%.

Con respecto al número de hectáreas totales de bosque templado, que cubren a México reportadas según el mapeo de la cubierta forestal son: 33,578,700 ha (Ornelas, 1992), de éstas hectáreas, la superficie en parques nacionales representa tan solo el 2.04% del total de bosques templados del país.

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, las áreas naturales protegidas tienen como propósito (SEDUE, 1989):

- Preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográfico-ecológicas y de los ecosistemas más frágiles para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos.
- Salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres de las que depende la continuidad evolutiva, particularmente las endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.
- Asegurar el aprovechamiento racional de los ecosistemas y sus elementos.

- Proporcionar un campo propicio para la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio.
- Generar conocimientos y tecnologías que permitan el aprovechamiento racional y sostenido de los recursos naturales del país, así como su preservación.
- Proteger poblados, vías de comunicación, instalaciones industriales y aprovechamientos agrícolas, mediante zonas forestales en montañas donde se originen torrentes, así como las demás áreas que tiendan a la protección de elementos circundantes con los que se relacione ecológicamente el área.
- Proteger los entornos naturales de zonas de monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos de importancia para la cultura e identidad nacional.

El INE tiene a su cargo la administración y operación de las áreas protegidas, lo cual se realiza a través de las delegaciones estatales de la SEMARNAP, quienes a su vez instrumentan y operan los programas y se coordinan con otras dependencias federales, estatales y municipales, así como los sectores privado y social para conjuntar esfuerzos en la conservación de las áreas.

Hasta 1994, las áreas naturales protegidas carecían casi en su totalidad de programas de manejo y de personal adscrito a ellas, así como de presupuesto suficiente; el único instrumento de protección ha sido el decreto de su establecimiento, lo que equivale a una existencia virtual, ya que en muchas ocasiones se han mantenido sólo por su inaccesibilidad, tal es el caso de los parques nacionales.

Los parques nacionales representan una de las categorías de las áreas naturales protegidas más deterioradas y esto se debe principalmente a que fueron expropiados sin el pago de la indemnización correspondiente o con indemnizaciones parciales, por la falta de presupuesto del gobierno quedando expuestas a la invasión y colonización, a la explotación agrícola, ganadera o forestal por concesiones irregulares. Al mismo tiempo dado que son áreas públicas de recreo, son blanco fácil del establecimiento de restaurantes, tiendas y algunas actividades recreativas como paseos a caballo, ciclismo de montaña y pistas de cuatrimotos, también se establecen en ellas complejos de retransmisión de ondas de radio y Televisión. Las concesiones generalmente se permiten sin ningún criterio e ignorando los posibles impactos sobre el entorno natural, como la acumulación de basura, los desmontes, la erosión, la extracción forestal sin control, el sobrepastoreo, etc. Además, la mayoría de los parques se encuentran

cerca de las grandes ciudades, por lo que las manchas urbanas ejercen una presión intensa en cuanto a cambio de uso del suelo.

2.2 Parques Nacionales

Los parques nacionales poseen características biológicas y geográficas representativas a nivel nacional, además de tener uno o más ecosistemas con importante valor científico, educativo, histórico y de recreo; albergan flora y fauna de importancia nacional y poseen una aptitud para el desarrollo del turismo.

Los parques nacionales son 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. Las actividades que se pueden realizar en los parques nacionales son de investigación, recreación, turismo y educación ambiental (INE, s/f).

Si bien estas áreas se caracterizan por su dimensión recreativa y educativa, también son un importante elemento para conservar y aprovechar de manera sustentable los ecosistemas del territorio nacional. La mayor parte de ellos se localizan en zonas templadas, donde por lo general prevalecen asociaciones de bosques de coníferas y encinos con extensiones menores de bosque tropical y matorral xerófilo, que en muchos casos constituyen un valioso patrimonio ecológico, paisajístico y escénico, por lo que es fundamental garantizar su conservación e iniciar la restauración de las áreas degradadas, basada en la elaboración de programas de manejo orientados a la conservación, protección y desarrollo de sus recursos naturales (INE, s/f).

De acuerdo con el INE las necesidades presupuestales para una área natural protegida ascienden a 13 millones de pesos anuales (Tabla 4). El presupuesto fiscal anual destinado por el gobierno federal a la conservación fue extremadamente bajo, tan solo 4.5 millones de nuevos pesos en 1995 y 8 millones de pesos en 1996, cifra pequeña si tomamos en cuenta que equivalía a destinar 82 centavos a cada hectárea protegida en el país (INE, 1995). En 1997, el presupuesto para la atención de las 98 ANP fue: de gasto corriente (salarios) 14.42 millones de pesos y de gasto de inversión, 13.20 millones de pesos, dando un total de 27.44 millones de pesos. Esto quiere decir que en México el presupuesto para la conservación es de 2.21 pesos por hectárea por año además de que el personal asignado para proteger

12,440,491 ha, fue de 282 personas, es decir, a cada trabajador le correspondía atender 44,115 ha. (INE, 1998).

Tabla 4. Financiamiento anual óptimo por área natural protegida (tomada de INE, 1996)

Concepto	Monto (millones de pesos)
Personal y gasto mínimo indispensable para su operación	1.6
Estructura operativa permanente	1.6
Inversión mínima para acciones de protección	4.0
Desarrollo de proyectos de investigación	2.0
Desarrollo de proyectos de uso sustentable de los recursos naturales	2.0
Desarrollo de proyectos de conservación y recuperación de especies en peligro de extinción	2.0
Total	13.2

2.3 Decreto del Nevado de Toluca como Parque Nacional

El Estado de México cuenta con 59 áreas protegidas entre parques nacionales, estatales, municipales, reservas federales, estatales y parques sin decreto, con una superficie total de 482, 475 ha (Tabla 5).

Tabla 5. Total de Áreas Naturales Protegidas del Estado de México y su superficie (Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna, s/f)

<i>TIPO DE ÁREA</i>	<i>NUMERO</i>	<i>SUPERFICIE (Ha)</i>
Parques Nacionales	10	98,692
Parques Estatales	24	282,059
Parques Municipales	5	194
Reservas Federales	1	7,826
Reservas Estatales	9	93,025
Parques sin Decreto	10	679
Total	59	482,475

El principal parque nacional del Estado de México, por su extensión, es el Parque Nacional Nevado de Toluca, representa el 52% del área total de los 10 parques nacionales ubicados en el Estado (Tabla 6).

Tabla 6. Parques Nacionales del Estado de México (Vargas, 1984)

NOMBRE	SUPERFICIE (ha)	%
1. Nevado de Toluca	51,000	52
2. Zoquiapan y anexas	19,418	20
3. Bosencheve	15,000	15
4. Iztaccíhuatl-Popocatepiti	5,857	6
5. Lagunas de Zempoala	4,669	4
6. Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla (La Marquesa)	1,760	2
7. Desierto del Carmen	529	0.5
8. Los Remedios	400	0.4
9. Molino de Flores	49	0.05
10. El Sacramonte	10	0.01

El límite altitudinal inferior general para el Parque Nacional fue trazado por el Departamento Forestal y de Caza y Pesca, siguiendo la curva de los 3000 m s.n.m. Dentro de esta superficie está comprendida la Reserva Forestal Nacional, limitada hacia el N por el cerro de las Palomas y la Ranchería de Agua Blanca, al E por la Cruz del Escapulario, Llano del Tejón y La Puerta del Toro, al S por el Arenal, y al W por el Llano del Tejón (Código forestal, 1970).

2.4 Trabajos de Investigación realizados en el Parque Nacional Nevado de Toluca

En 1968 Villalpando resalta algunos aspectos ecológicos del volcán Nevado de Toluca. En 1986, Salcedo realizó una guía de campo de la herpetofauna del Parque y en el mismo año, González Trápaga hizo una descripción de algunos aspectos fitogeográficos de la Vegetación Alpina del Nevado de Toluca.

En el año 1987, Colón realizó un estudio florístico ecológico de los hongos macromicetos en el parque; López lleva a cabo una evaluación de los daños causados por pudriciones del duramen del Oyamel en el Ejido Loma Alta, Nevado de Toluca, Zinacantepec y Sandoval hizo un análisis cartográfico sobre uso del suelo y vegetación del Parque Nacional Nevado de Toluca.

En el año de 1971, Hayama Tsutsumi realiza un estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas del Nevado de Toluca y Navarro realiza estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas del Nevado de Toluca pero específicamente en la región este y sur.

En 1993, la Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre publica un Plan de Manejo para el parque, sin embargo, éste carece de trabajo de campo y es sólo una revisión bibliográfica y recopilación de la información ya existente (SARH, 1993).

En 1995 Villers Ruiz y López Blanco realizan una evaluación del uso agrícola y forestal del suelo en la Cuenca del Río Temascaltepec y en 1996 Villers Ruiz, López Blanco, García del Valle y Monroy, presentan los resultados preliminares sobre la Evaluación Forestal del Parque Nacional Nevado de Toluca, en el Primer Simposio sobre Protección de Áreas Naturales Protegidas.

En 1997 Almeida-Leñero realiza un estudio fitosociológico de la vegetación alpina de los volcanes Popocatepetl y Nevado de Toluca, caracterizando el zacatonal alpino de estos volcanes y las asociaciones vegetales dependiendo de factores como altitud, topografía, suelo y humedad edáfica que influyen en su composición.

En 1998, Villers Ruiz, García del Valle y López Blanco, proponen una metodología para la evaluación de los bosques templados en México, aplicándola en el Parque Nacional Nevado de Toluca

2.5 Proyectos económicos para el Parque

La inexistencia de una valoración real, económica y ecológica del parque ha ocasionado que diversos proyectos hayan sido propuestos para esta área.

En 1972, el entonces gobernador del Estado de México, Carlos Hank González promovió sin éxito un proyecto para establecer en la localidad papera de Raíces, a 3520 m s.n.m., una villa alpina para una colonia alemana y se les ofreció a los habitantes de la comunidad una indemnización por sus terrenos y casas de interés social en el municipio de Metepec.

En 1982 y 1983 la misma comunidad de Raíces sufrió las consecuencias de un experimento del gobierno estatal para afrontar la sequía, ya que se instaló en la zona un aparato estimulador de lluvias, que al bombardear las nubes con nitrato de plata que provocó, además de precipitaciones pluviales, fuertes heladas que arrasaron con los cultivos de papa y chícharo predominantes en la región y causaron daños en la zona boscosa.

El 3 de marzo de 1996, el periódico Reforma publicó una noticia: la posibilidad de que 600 ha de las 51,000 ha del Parque Nacional Nevado de Toluca, se convirtieran en un centro internacional de esquí. Este proyecto pertenecía a la constructora Grupo Arfra, la cual pretendía crear este complejo turístico, con una inversión de 100 millones de dólares, en la vertiente norte del Volcán. Contemplaba la

fabricación de nieve artificial para cubrir la zona donde se ubicarían 19 pistas para esquiar, la construcción de puentes para que los esquiadores cruzaran la carretera y la construcción de una villa alpina con hoteles y condominios y, a largo plazo (aproximadamente 10 años) incluir un club de golf al pie de la montaña. El área que ocuparía el proyecto sería de 600 ha de bosque, de las cuales 105 ha estaban destinadas al área de pistas.

Arfra eligió el lado norte del volcán, entre los 3300 y 4300 m s.n.m., porque en esta región se conservaría mejor la nieve, además de que presenta pendientes naturales favorables para las pistas. El argumento de esta compañía se basó en las posibilidades de que las áreas turísticas se ampliarían, ya que ofrecerían a visitantes nacionales y extranjeros la oportunidad de conjuntar el clima tropical de las playas con actividades invernales, sin tener que realizar grandes recorridos (González, 1996).

Sin embargo, los campesinos constituyeron el comité para la defensa de los recursos naturales del Xinantécatl, quienes exigieron la cancelación del proyecto, ya que los 8,500 turistas que se esperaban alojar diariamente en el centro de esquí, producirían grandes cantidades de basura y cerca de 4 toneladas diarias de excremento, además de que aseguraron que la nieve artificial produciría heladas que afectarían sus cosechas y para hacer la nieve artificial les quitarían el agua destinada a los cultivos (González, 1996).

Capítulo III

Elementos conceptuales

3.1 Inventarios forestales

Los inventarios forestales cobran cada día mayor importancia como herramienta de apoyo para la planeación del uso de los recursos forestales y de control de las actividades productivas asociadas a estos.

Las técnicas y metodologías para llevar a cabo inventarios forestales se han desarrollado durante los últimos años en diferentes campos, por ejemplo, en el procesamiento electrónico de datos, sensores remotos, técnicas de muestreo y de planeación, etc.

Desde el punto de vista formal, se puede decir que el objetivo de un inventario forestal es proporcionar información para la planeación y control de la producción forestal, así como para tomar decisiones con respecto a políticas y programas futuros.

En nuestro país se realizó el primer inventario forestal nacional promovido por la SARH, en el año de 1963. Los objetivos de este inventario, a través del programa denominado Inventario Forestal Convencional fueron, de acuerdo con Sosa-Cedillo (1981):

- Cuantificación de la superficie arbolada del país, desglosada a nivel regional.
- Evaluación de las existencias maderables que poseen los bosques y selvas en sus diferentes condiciones y modalidades.
- Estimación del ritmo de crecimiento que experimentan los bosques.
- El conocimiento de los problemas que afectan a las masas arboladas y la cuantificación del daño que ejercen los agentes adversos a las mismas.

Aún cuando no se cumplía todavía con los objetivos anteriores, se inició en 1972 el programa del Inventario Forestal Continuo, con el propósito de proporcionar información volumétrica, de crecimiento y mortalidad, así como proporcionar las bases para un mejor manejo forestal, además de actualizar los datos del primer inventario forestal nacional. Sin embargo la información final que se ha producido es muy reducida y el uso que se le ha dado a la misma es prácticamente nulo (Sosa-Cedillo, 1981).

Otra institución nacional que se encarga de generar información estadística (datos económicos, censos, etc.) y geográfica (cartografía, topográfica y temática) es el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Entre las cartas temáticas que genera esta institución, están las cartas

de Uso del Suelo y Vegetación y de Uso Potencial; en éstas se incluyen las áreas forestales. Hay un cubrimiento nacional en las escalas 1:1,000,000 y 1:250,000. Sin embargo, la antigüedad de la información 1:250,000 es muy variada y en la escala 1:1,000,000 tiene más de 20 años, por lo tanto no existe información actualizada (1990 o más reciente) para todo el país, obtenida con metodología convencional (fotointerpretación y muestreo) con la que se pueda evaluar el estado de las zonas forestales y el avance de la deforestación.

A partir de un acuerdo de cooperación entre la SARH, el Servicio Forestal de los EUA y el INEGI, se llevó a cabo la actualización del inventario forestal del país, el cual se realizó en dos etapas, abril de 1991 y febrero y marzo de 1992 (Ornelas, *et al.* 1992).

Durante la primera etapa se utilizaron imágenes Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), de marzo y diciembre de 1990. Se hizo una regionalización nacional de acuerdo a características fisiográficas y/o ecológicas, obteniéndose nueve regiones (Ornelas, *et al.* 1992, Cuadro 1, p.64) una de las regiones corresponde al Eje Neovolcánico, cuyos rasgos diferenciales fueron: clima en general templado, bosques templados, zonas agrícolas y pecuarias, grandes zonas urbanas. Es la región más densamente poblada del país. En esta primera etapa, los resultados mostraron varios errores, como confusión entre áreas forestales y no forestales, entre bosques tropicales y templados, por ejemplo.

En 1992, durante la segunda etapa del inventario nacional, se utilizaron compuestos de color de imágenes AVHRR de marzo y abril de 1991. En este caso se decidió concentrar el esfuerzo en las zonas forestales, el número de regiones disminuyó de nueve a seis, conservando tres categorías para bosques: bosques templados, bosques tropicales altos y medianos y bosques tropicales secos. En la Tabla 7 se puede ver los resultados de las superficies cubiertas para cada categoría, el total de áreas forestales se estimó en 66,311,500 ha.

La estimación de confiabilidad de esta investigación en cuanto a la determinación de la categoría bosque diferenciada de las otras categorías es de 84% ya que existen diferentes dificultades para interpretar y clasificar correctamente las imágenes debido a la resolución de 1 x 1 km, además no es posible hacer una adecuada separación de cada categoría, situación muy común en la mayor parte de las áreas boscosas; la transición entre bosques y vegetación arbustiva en algunas regiones es gradual, por lo que es difícil separarlos espectralmente, además de que existe la similitud de respuesta espectral (Ornelas, *et al.* 1992).

Tabla 7. Superficies del país cubiertas para cada una de las categorías en el inventario realizado en 1992 (tomado de Ornelas, *et al.* 1992)

<i>Categoría</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>%</i>
Bosques templados	33 578 700	17.1
Bosques tropicales altos y medianos	14 649 200	7.4
Bosques tropicales secos	18 083 600	9.2
Otros (no forestales)	128 588 400	65.3
Agua	1 077 100	0.6
Nubes	850 700	0.4
TOTAL	196 827 696	100

Existen serias limitaciones en la aplicación de esta metodología, aún cuando puede ser una alternativa para reconocer y cuantificar los recursos forestales del país en forma rápida, sin embargo es imposible definir el grado de deterioro que presentan, por lo que debe existir la validación en campo además de que se debe hacer uso de una “clasificación supervisada”. Esta clasificación supervisada se puede lograr utilizando imágenes de satélite MSS y fotomapas, que permitan mejorar y ampliar la información generada a partir de un inventario forestal tradicional por predio, tanto en sus aspectos forestales como de otros usos del suelo. Con la información de áreas plenamente identificadas, existe la posibilidad de extrapolar la información a áreas diferentes, donde no se tenga una referencia de campo previa (Villers-Ruiz, López-Blanco, *et.al.*1995).

3.2 Uso de la fotogrametría y fotointerpretación

Con ayuda de la fotogrametría y la fotointerpretación es posible estimar la superficie del terreno y distinguir entre las diferentes clases de usos del suelo, además se puede proporcionar con exactitud y rapidez un inventario de recursos naturales.

La fotogrametría es una técnica que tiene por objetivo la determinación de la forma y dimensiones de los objetos, con base en las características métricas en las fotografías.

La fotointerpretación es un conjunto de técnicas que consisten en identificar los rasgos que aparecen en las fotografías aéreas y en interpretar su significado en relación con una determinada área de interés,

procediendo posteriormente a comprobar y complementar los resultados mediante la inspección directa sobre el terreno.

Algunas de las ventajas que tiene el uso de las fotografías aéreas son:

- La alta calidad técnica de los resultados, ya que frecuentemente se pueden obtener datos de interés fundamental que no podrían haber sido conocidos fácilmente mediante otros procedimientos.
- El material fotográfico que se puede utilizar, como película pancromática, a color, infrarroja, etc., dependiendo de los propósitos y el presupuesto con el que se cuente.
- La notable reducción del tiempo necesario para llevar a cabo una investigación con el nivel de detalle requerido, algunas veces la reducción del tiempo equivale a una décima parte del tiempo que demandaría su realización utilizando métodos convencionales.
- La panorámica en conjunto que se tiene al realizar el estudio sobre algún recurso natural determinado.
- El costo de los estudios en que se emplean técnicas de fotointerpretación es más bajo que si se realiza a través de otros sistemas de trabajo (INEGI, 1987).

La fotografía aérea es una representación fiel del terreno en el momento de la exposición y contiene una gran cantidad de información en las diversas áreas relacionadas con las ciencias naturales. La información que puede extraerse de una fotografía aérea sólo está limitada por la capacidad para interpretar el contenido de esta información.

Las fotografías aéreas pueden ser clasificadas de acuerdo con su escala en tres grandes grupos:

- (a) Escala pequeña: mayor de 1:50 000
- (b) Escala media: de 1: 15 000 a 1: 50 000
- (c) Escala grande: menor de 1: 15 000

En la fotointerpretación el criterio para determinar la escala más conveniente se basa en el nivel del estudio por realizar, ya sea este de reconocimiento, semidetallado o detallado, y en la disciplina que se va a aplicar. Por ejemplo, la información requerida en geología se obtiene mejor en fotografías de escala media y pequeña, mientras que en interpretación forestal las fotografías de mayor utilidad son las de escala grande o media. Las fotografías de escala grande son utilizadas en interpretación forestal para la

obtención de datos cuantitativos, como conteo de árboles, medición de alturas, diámetros de copas, etc. (Wilson, 1960).

Sin embargo, la fotointerpretación forestal tiene sus límites; por ejemplo, no permite calcular la edad de los árboles, ni precisar el volumen maderable; en el caso de que el dosel sea muy denso, no es posible contar el número de árboles, ni medir su altura y su diámetro.

Las fotografías aéreas pueden verse afectadas por el equipo, materiales y método utilizado para la toma, la estación en que se haga el vuelo, la hora del día y las condiciones del estado del tiempo que pueden afectar la imagen.

Es importante que al hacer la fotointerpretación se considere la calidad de la fotografía, ya que elementos como la textura de la imagen, son importantes para determinar la composición del bosque en fotografías aéreas con escala pequeña y en las de gran escala, la textura de la imagen permite ver las características de cada uno de los árboles.

En las fotografías de escala media la combinación de textura y arreglo espacial (patrón) pueden ayudar para determinar la composición de las especies, así como la estructura de la comunidad (Wilson, 1960).

El tono y color, particularmente en grandes escalas, proporcionan la clave para determinar la composición de especies, la estructura de la comunidad y las condiciones de crecimiento. Hay que tomar en cuenta que el tono y color de las fotografías pueden variar con la hora del día, la estación del año, altitud del vuelo, condiciones atmosféricas y técnicas de procesamiento, por lo que el trabajo de campo es esencial para corroborar la información.

La identificación de especies, en la mayoría de los casos, se hace por medio del uso de técnicas avanzadas tales como fotografía a color y de gran escala, para mejorar los resultados.

El análisis espectral ha sido utilizado para encontrar la combinación de filtros, que permitan registrar los objetos con el mejor contraste de tonos; sin embargo, la diferencia de reflectancia entre especies se puede confundir con la diferencia de reflectancia de dos individuos de la misma especie, ya que influyen muchas características de los árboles como edad, vigor, constitución genética, etc. (Wilson, 1960).

Un fotomosaico es un ensamblaje sistemático de varias fotografías individuales para formar la imagen fotográfica de una región mayor; tiene la apariencia de una gran fotografía y su precisión depende del método empleado en su construcción. Por ser la unión de varias fotografías individuales, el fotomosaico conserva los mismos "errores" que las fotografías utilizadas (geométricos, aberraciones de

la lente, deformaciones del papel, desplazamiento debido al relieve e inclinación de la fotografía) además de los errores propios del ensamblaje (INEGI, 1987).

Los fotomosaicos pueden clasificarse en tres categorías (INEGI, 1987):

- I. Mosaicos no controlados: son aquéllos en que se unen las fotografías de manera que se pueda conseguir la mejor coincidencia entre detalles de una foto y la siguiente, sin emplear puntos de control.
- II. Mosaicos semicontrolados: cuando el ensamble se hace utilizando, preferiblemente, fotografías rectificadas y algunos puntos de control para fijar la escala.
- III. Mosaicos controlados: se utilizan fotografías rectificadas y puntos de control de coordenadas conocidas, a fin de fijar la escala y la orientación.

Las fotografías y la fotointerpretación son en general indispensables ya que proporcionan por las bondades antes mencionadas una panorámica de conjunto, calidad de los resultados y reducciones de tiempo y costo.

3.3 Técnicas de muestreo utilizadas en inventarios forestales.

Con la promulgación de la primera Ley Forestal Federal en México (1926), se pretendió buscar el óptimo aprovechamiento de los diferentes tipos de vegetación forestal. Los aspectos de mayor interés que se plantearon fueron los siguientes: para llevar a cabo aprovechamientos forestales, es necesario fundamentarlos en estudios dasonómicos, que deben basarse en un inventario realizado con las técnicas y elementos más apropiados para cada caso (Villa Salas y Caballero de Loya, 1993).

Las diferentes disposiciones legales hicieron que los primeros dasónomos del país buscaran la forma de conocer las características de los bosques (volúmenes, crecimientos, etc.) a través de muestras, en las cuales se pudieran hacer las observaciones y mediciones necesarias. Sin embargo, los primeros muestreos no seguían ninguna técnica específica, ya que se analizaban ciertas áreas de muestreo, que eran seleccionadas de acuerdo al criterio de una persona y dentro de las posibilidades de acceso. Posteriormente, los dasónomos mexicanos empezaron a interesarse por tomar datos en lugares representativos del bosque de forma sistemática o aleatoria, para evitar sesgos (Villa Salas y Caballero de Loya, 1993).

En 1961 se inició un convenio entre el gobierno de México y la FAO para iniciar el levantamiento del Inventario Nacional Forestal de México, lo cual obligó al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF) a hacer estudios en forma más acelerada.

A partir de 1962 quedan a cargo del INIF, a través de su Departamento de Fotogrametría e Inventarios, todos los trabajos de investigación sobre metodologías para inventarios forestales. En 1965 este Departamento es transformado en la Dirección General del Inventario Nacional Forestal, como una dependencia independiente. Finalmente en 1972, el INIF decide incrementar sus actividades buscando apoyo económico por parte del gobierno y apoyo técnico de instituciones de enseñanza superior, logrando plantear proyectos de trabajo que constituyeron el inicio de la investigación forestal formal, sobre las técnicas de muestreo usadas en México en diferentes aspectos de la dasonomía, particularmente en inventarios forestales. (Villa Salas y Caballero de Loya, 1993).

Siempre con los mismos objetivos de “aprovechamiento óptimo” de los recursos forestales, los dasónomos mexicanos han buscado mejorar los métodos para levantar los inventarios forestales. Esto ha ido permitiendo el avance de las técnicas de muestreo para evitar que sean meramente selectivas y que el criterio subjetivo no sea el único elemento para la ubicación del sitio en el terreno. A continuación se describen algunos tipos de muestreo utilizados en inventarios forestales.

1. Muestreo selectivo: antes de que se pensara en la aplicación de las técnicas del muestreo estadístico, los bosques eran estudiados a través de muestras obtenidas en forma selectiva dentro del área de estudio. Con base en un criterio subjetivo se pretendía buscar sitios que representaran las condiciones medias del bosque. Este tipo de muestreo se da cuando el especialista, por tener el conocimiento directo o indirecto del bosque, está en condiciones de seleccionar sitios de muestreo representativos para todos y cada uno de los diferentes tipos de bosque o estratos que pudieran encontrarse en el bosque bajo estudio.
2. Muestreo sistemático: consiste en trazar sobre la zona de estudio una retícula, en donde las distancias en un sentido pueden ser diferentes a las distancias en el sentido perpendicular. Las filas de sitios arreglados a menor distancia forman lo que se llama una línea de muestreo.
3. Muestreo aleatorio: se basa estrictamente en la elección de los sitios al azar, tiene un uso restringido, sólo se utiliza en áreas forestales relativamente pequeñas y homogéneas, por ejemplo en la evaluación de reforestaciones o plantaciones silvícolas. En algunas ocasiones la distribución de los

sitios hace que su localización en el terreno requiera de otros elementos, como fotografías aéreas, mapas, etc., lo que hace que este tipo de muestreo sea más lento y costoso.

4. Muestreo estratificado: se utiliza con mayor frecuencia y consiste en dividir el bosque de acuerdo con sus características. Para delimitar áreas diferentes según tipos de bosque o estratos se emplean fotografías aéreas. En el caso de aprovechamiento forestal, se toman como base los siguientes elementos: grado de comercialidad y tipo de vegetación, presencia de los grupos botánicos más importantes, indicando cual es el dominante y cual el codominante y dominado, la densidad y la altura de los árboles dominantes (Villa Salas y Caballero de Loya, 1993).

La estratificación se hace antes o después a la aplicación de cualquiera de los tres tipos de muestreos antes mencionados, lo que da como resultado un muestreo estratificado selectivo, estratificado sistemático o estratificado aleatorio.

5. Muestreo por conglomerado: el uso de conglomerados (agrupación de especies presentes de manera recurrente) empezó a utilizarse en 1967 y su objetivo principal fue utilizar un conjunto de muestras que hicieran más rápidos y menos costosos los trabajos de muestreo de campo, ya que en muchas áreas de la República Mexicana las zonas forestales se encuentran en áreas muy inaccesibles por sus condiciones topográficas o por falta de caminos.

Este tipo de muestreos se realiza sobre determinadas áreas del bosque, aunque con una intensidad mayor. Dentro de los conglomerados, los sitios de muestreo se localizan sistemática o aleatoriamente. La intensidad de muestreo general es de 0.5%, dentro del área de estudio (Villa Salas y Caballero, *op.cit.*).

6. Muestreo aereofotográfico: comprende dos fases, la primera es obtener información de campo que servirá de base dasométrica para preparar las tablas aereofotográficas y la segunda etapa consiste en llevar a cabo el muestreo para hacer las mediciones necesarias a través de fotografías aéreas, infiriendo la información dasométrica. (Villa Salas – Caballero, *op. cit.*).

Se deben definir las mejores técnicas de muestreo para cada tipo de bosque, la forma y el tamaño de los sitios de muestreo y la intensidad del muestreo que se deban aplicar en los diferentes casos, en función de los objetivos de trabajo, de las características del área de estudio y la experiencia de campo.

3.4 Forma de los sitios de muestreo.

Para determinar la forma de los sitios de muestreo deben considerarse los problemas que se pueden presentar en la delimitación en campo y la información que se requiere según los propósitos. Existen tres formas básicas: cuadrados, círculos y rectángulos, ya que formas diferentes a éstas, requerirían de mayor tiempo y por lo tanto mayor costo, además la complejidad de la figura implicaría modificaciones en la superficie requerida de los sitios (Villa Salas, 1993).

Los sitios circulares que se usan con mayor frecuencia en inventarios forestales en América del Norte (incluyendo México) y en Europa, en particular en bosques templados y fríos, pueden ser delimitados fácilmente, ya que una vez establecida la posición de su centro, únicamente es necesario “lanzar” radios desde éste hacia aquellos lugares en donde se encuentran árboles, generalmente se efectúan de 8 a 12 radios en zonas de densidad relativamente alta y menos de 8 en densidades menores (Villa Salas, 1993).

3.5 Tamaño de los sitios de muestreo.

Para definir el tamaño de los sitios de muestreo es necesario determinar la superficie que debe tener la muestra, tomando en cuenta la dificultad para delimitarlos, el tiempo empleado y el costo. Se recomienda muestrear una superficie que represente el 0.5% del total de la zona de estudio, es decir una intensidad de muestreo del 0.5% (Villa Salas, 1993). Esto sin importar la composición.

Los sitios que abarcan superficies pequeñas son relativamente fáciles de delimitar, pero por el alto número de sitios que resultan, se hace necesario acudir a más lugares para obtener la muestra y alcanzar la intensidad de muestreo, repercutiendo en el empleo de más tiempo y por lo tanto el costo se incrementa. Conforme el tamaño aumenta, su circunscripción se va dificultando y siendo imprecisa, hasta llegar al caso de que el sitio tenga un tamaño tal que sea impráctico delimitarlo. Se ha encontrado que en inventarios forestales cuyo principal objetivo es la determinación de existencias volumétricas, se utilizan con notable preferencia los sitios de 1,000 m².

Se recomiendan sitios de 250 m², para árboles que tienen un diámetro igual o mayor al límite inferior de la clase diamétrica mínima establecida para cuantificar existencias volumétricas (generalmente la clase diamétrica de 15 cm) (Villa Salas, 1993).

Los ingenieros forestales recomiendan el uso de sitios de muestreo circulares concéntricos, pero en el caso de los estudios fitosociológicos tradicionalmente se han utilizado cuadrados, aunque con sitios rectangulares y circulares se pueden obtener datos con varianza menor que en sitios cuadrados. Sin embargo, esto se relaciona con el patrón de las especies y con la forma de los manchones. La consideración más importante a tener en cuenta es el efecto de borde. Por ello es más conveniente seleccionar formas con menor relación perímetro/superficie.

Las unidades rectangulares tienen la ventaja de que resulta más fácil evaluar las variables caminando en línea recta, sin necesidad de desplazarse hacia los lados, e incluso es posible tomar las medidas desde afuera del sitio, lo cual es importante cuando hay que mantener las condiciones intactas dentro del sitio de muestreo para efectuar mediciones posteriores.

3.6 Área mínima de la comunidad.

El concepto de área mínima de la comunidad se relaciona simultáneamente con la homogeneidad florística y espacial. Surge del criterio de que para toda comunidad vegetal existe una superficie dada, por debajo de la cual un muestreo no sería representativo de la comunidad vegetal en estudio. Por lo tanto, para obtener un sitio de muestreo representativo de una comunidad, es necesario conocer su área mínima de expresión.

Empíricamente se ha comprobado que si se registran las especies de un sitio de muestreo pequeño, el número de especies es pequeño. A medida que se incrementa la superficie, aumenta el número de especies, al comienzo bruscamente, luego cada vez con menor frecuencia hasta llegar al punto en que el número de especies nuevas registradas en cada sitio de muestreo sucesivamente mayor, es muy bajo o nulo. Esta tendencia aparece reflejada en los gráficos de comunidades muy distintas en cuanto a homogeneidad, riqueza específica, tipo de patrones espaciales, etc. (Matteucci y Colma, 1982).

El procedimiento más difundido para determinar el área mínima consiste en delimitar un cuadro pequeño y contar el número de especies presentes. Luego se duplica la superficie extendiendo la unidad anterior y se cuenta el número de especies nuevas que aparecen en la unidad duplicada. Esta operación se repite hasta que el número de especies nuevas disminuye al mínimo o es nula (Figura 1).

Existen valores empíricos para determinar el área mínima de una comunidad vegetal, Mueller-Dombois *et al.* (1988), en bosques y selvas, recomiendan una área mínima entre 200 y 500 m² para el estudio del estrato arbóreo y de 50 a 200 m² para el estudio de los otros estratos (arbustivo y herbáceo).

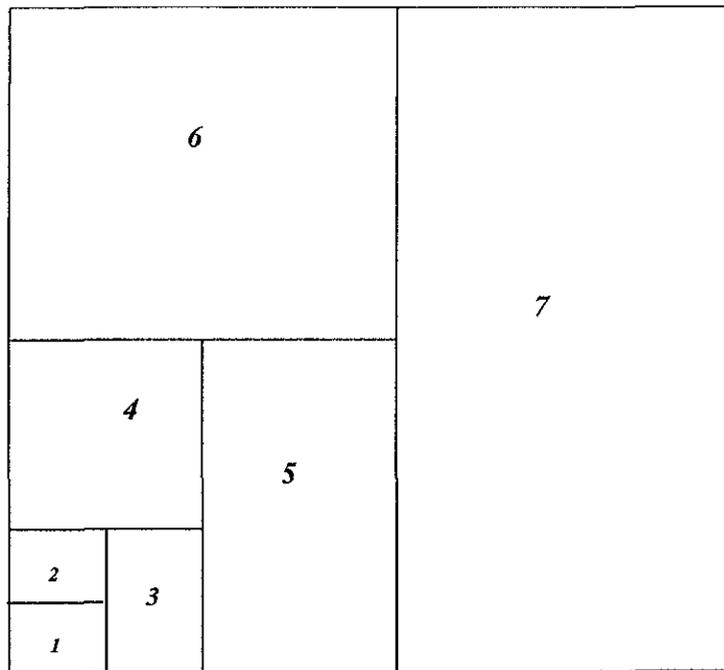


Figura 1. Modelo de muestreo para la determinación del área mínima (tomado de Mueller-Dombois *et al.* 1988)

El concepto de área mínima plantea un problema que va más allá del examen de los procedimientos empleados para estimarla. Como propiedad de la comunidad, dicho concepto sería válido sólo si el segmento de vegetación estudiado fuera homogéneo, y es bien sabido que los patrones agregados son más comunes que los aleatorios. Por ello puede considerarse que sólo tiene utilidad desde el punto de vista operacional, porque permite una estimación del área por debajo de la cual no tendría sentido analizar los datos de la vegetación en un estudio de Fitosociología (Matteucci y Colma, 1982). La decisión acerca del área mínima depende del juicio subjetivo del investigador, apoyado en los datos obtenidos mediante procedimientos como los arriba señalados.

3.7 Metodología de los estudios fitosociológicos de la vegetación.

La Fitosociología se encarga del estudio de las comunidades vegetales. Incluye la descripción, el análisis y la clasificación de las comunidades, su desarrollo, distribución espacial e interrelaciones, así como el estudio de los factores causales involucrados (Matteucci y Colma, 1982).

Los sitios elegidos para un estudio fitosociológico deben ser homogéneos en la medida de lo posible, así como representativos de la zona de estudio. Se recomienda hacer un reconocimiento previo

de toda la zona de estudio antes de elegir los sitios, así como evitar los sitios heterogéneos, ya que no permiten caracterizar a la zona. Sin embargo, la elección no deja de ser subjetiva.

Para lograr la representatividad de los sitios de muestreo, es necesario tomar en cuenta la estructura y composición florística. La representatividad de cada sitio de muestreo está relacionada con la homogeneidad, la cual se puede evaluar visualmente o realizando curvas de distribución de presencia o ausencia de las especies por medio de áreas mínimas; además de medir la distancia que existe entre las diferentes especies, la homogeneidad de distribución y la composición pueden variar según la escala, es decir, según el tamaño del sitio. Se considera que una especie tiene una distribución homogénea cuando la probabilidad de encontrarla es la misma en cualquier parte del área de estudio.

Con el fin de tener un mejor entendimiento de la composición y estructura de las comunidades vegetales, la escuela Zürich-Montpellier (Werger 1974) propone una metodología para distinguir varias capas o estratos en cada sitio de muestreo, de los cuales hay que determinar sus características, lista florística y cobertura vegetal por forma de vida.

Con respecto a la cobertura, es decir el área cubierta por la planta, en un área definida, se propone una escala basada en porcentajes: 1, si cubre 1 al 5%; 2, si cubre del 6 al 25%; 3, si cubre del 26 al 50%; 4, 51 al 75% y 5, si cubre del 76 al 100 %.

También se propone en esta metodología, una escala que permita evaluar la presencia de las especies, dando un rango de cobertura y abundancia en porcentajes. Esta escala se incrementa cada 20 unidades, iniciando con I, que va del 1 al 20% de especies presentes, hasta V, con el 81 al 100% de especies presentes.

En los formatos de los estudios fitosociológicos se recomienda que se incluya la siguiente información, además de los estratos, cobertura y número de especies por sitio: localización, fecha, tamaño del cuadrante, altitud, coordenadas geográficas, pendiente, orientación de laderas, suelo (perfil, profundidad, rocas) y estado del tiempo.

La metodología de la Escuela Zürich-Montpellier denomina *relevé* (levantamiento) al total de observaciones ecológicas y fitosociológicas para cada sitio: El número de *relevés* depende de la escala, grado de precisión y variedad de condiciones del área. El número de *relevés* está en función del tamaño del área, la heterogeneidad y el costo del muestreo. Se recomienda para el análisis de los datos colocar la información en tablas, que permitan hacer posteriormente la interpretación y que incluya diversas características de las diferentes especies, tales como si son dominantes o constantes, su cobertura, abundancia, sociabilidad, endémicas, selectivas, preferenciales y raras.

Capítulo IV

Características de la zona de estudio

4.1 Localización Geográfica

El Parque Nacional Nevado de Toluca se localiza en el Estado de México, entre los 18° 59' y 19°13' de latitud norte y, 99°37' y 99°55' de longitud oeste. Queda comprendido dentro de la provincia fisiográfica "Eje Neovolcánico" y la subprovincia "Lagos y Volcanes de Anáhuac" (SPP, 1981b).

El Volcán Nevado de Toluca, que recibe también el nombre de Xinantécatl (señor desnudo), alcanza una altura de 4,558 m s.n.m. (Figura 2). Representa la cuarta montaña más alta del país después del Iztaccíhuatl (5,326 m s.n.m.), el Popocatepetl (5,450 m s.n.m.) y el Pico de Orizaba (5,700 m s.n.m.) Gobierno del Estado de México (1993).

La administración del parque fue transferida al gobierno del Estado de México en noviembre de 1995 (Diario Oficial de la Federación, 3 de noviembre de 1995).

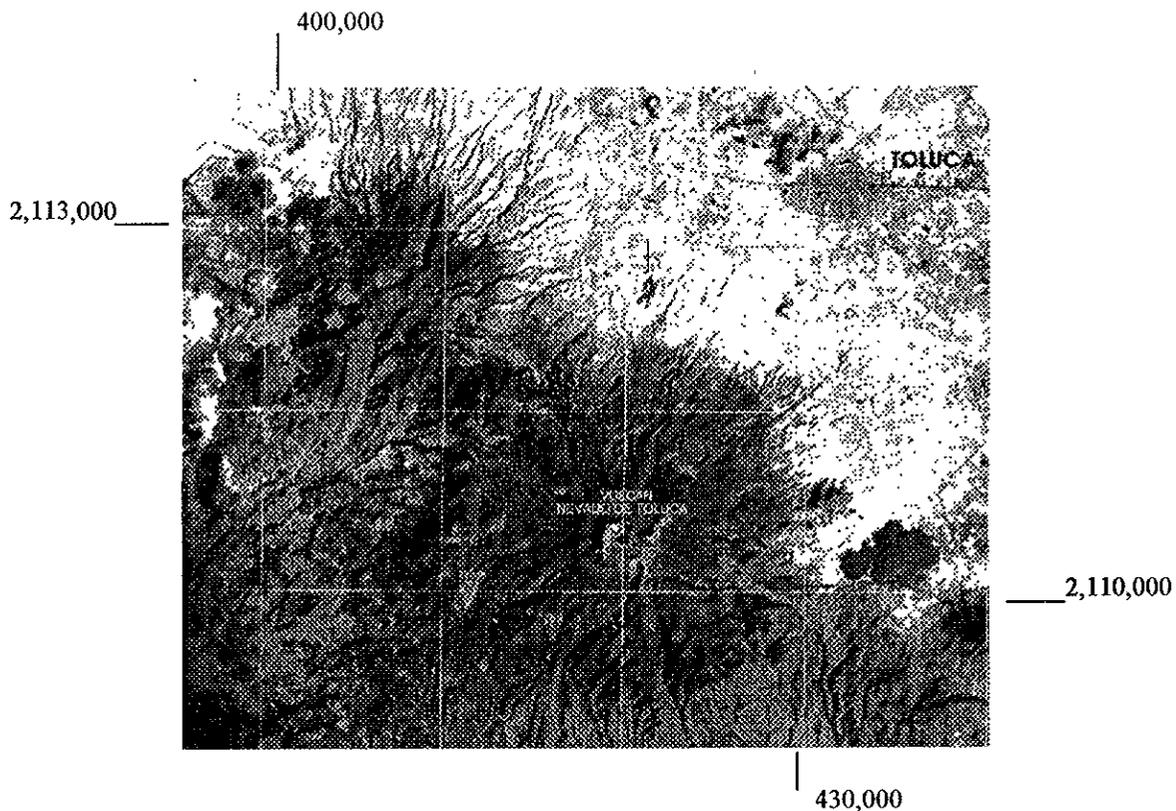


Figura 2. Compuesto en color de imágenes de satélite de la zona de estudio, tomada de INEGI, Espaciomapa (1:250,000).

El Nevado de Toluca forma parte de la Cordillera Neovolcánica o Eje Neovolcánico, la cual se extiende del Pacífico al Atlántico, siguiendo aproximadamente el paralelo 19° N y corresponde a una región de gran inestabilidad tectónica, cuya actividad data del Cenozoico. Las estructuras más antiguas están cerca del Golfo de México y las más recientes en las costas del Pacífico (Vela *et al.* 1976).

La secuencia geológica evolutiva del Nevado de Toluca presenta varias etapas en su formación (Bloomfield y Valastro, 1974). Hace aproximadamente 30,000 años se desarrolló un estrato-volcán cónico muy alto. El conducto central se obstruyó, provocando intensas compresiones internas liberadas por una violenta explosión que voló la cima. Los primeros períodos de actividad se caracterizan por derrames continuos y notables de lava, posiblemente debido a una fuerza constante de presión de gas y vapor o de la compresión del receptáculo interior (SARH, 1993).

Se considera que hubo períodos intermedios de calma, durante los cuales la erosión modificó las pendientes. En el último período de actividad se formó el domo central del cráter denominado “El Ombligo”, constituido por un tipo de andesita que puede distinguirse de los afloramientos de los otros lugares, el cual se eleva a 130 m del nivel medio de las lagunas del Sol y La Luna. El piso del cráter se encuentra entre los 4,150 y 4,180 m s.n.m.. La altitud máxima del cráter es de 4,680 m s.n.m., estableciéndose un desnivel de 470 m en su interior. Se considera que el volcán está inactivo desde hace 11,000 años.

La morfología actual del volcán Nevado de Toluca se caracteriza por dos crestas elevadas, el Pico del Fraile (4680 m s.n.m.) y el del Águila (4550 m s.n.m.), por lo que el volcán tiene el aspecto de un cono truncado. Por su origen es un volcán estratificado, formado por capas sucesivas de lavas andesíticas y material detrítico. La roca original sobre la cual se depositaron los materiales de la erupción, son calizas del Cretácico (Villers Ruiz y López Blanco, 1995)

Las laderas montañosas del volcán presentan pendientes pronunciadas que tienden a suavizarse en el piedemonte, estas laderas inicialmente estuvieron cubiertas de bosques de pino y oyamel, pero en la actualidad han desaparecido por los asentamientos humanos, la acción de la agricultura y la explotación forestal.

El límite inferior del parque (3,000 m s.n.m.) incluye, también las estructuras volcánicas de los cerros San Antonio (3600 m s.n.m.) y El Calvario (3660 m s.n.m.), hacia el NW del volcán Nevado de Toluca (Figura 3).

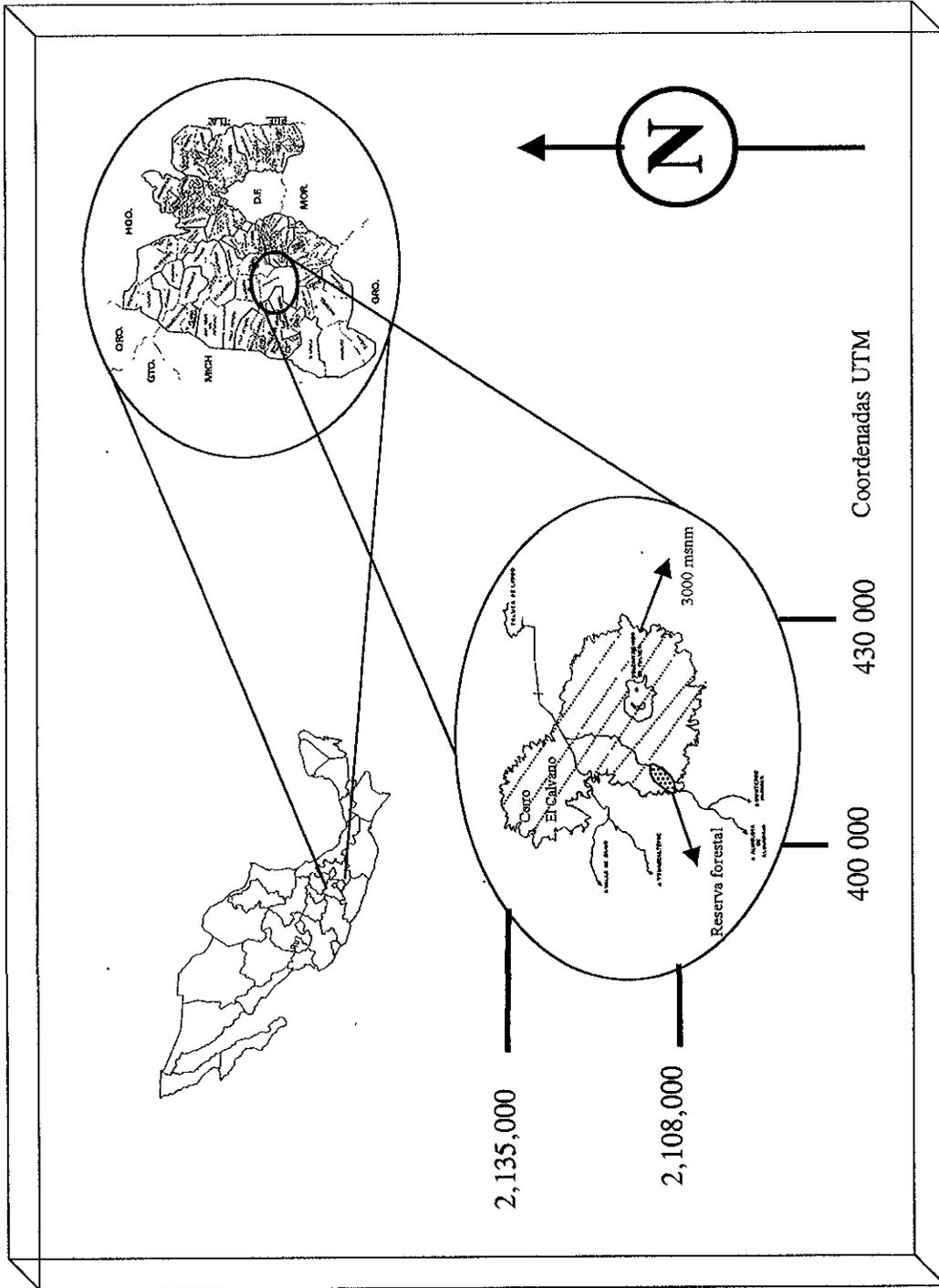


Figura 3. Localización geográfica del área que ocupa la zona de estudio.

El área que corresponde al Parque Nacional Nevado de Toluca presenta cinco tipos de suelos. El primero cubre el 6% del área de estudio y corresponde al Feozem (tierra parda), háplico (simple), de textura media, localizado al N y W del volcán, donde se encuentra principalmente parte de la zona dedicada a la agricultura dentro del parque. Este tipo de suelo se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes, en terrenos planos se utiliza en agricultura de riego y temporal (SPP, 1981c).

Los Litosoles, de textura media a gruesa (L2-1) se presentan en la parte alta del volcán, a partir de los 4,100 m s.n.m., en gran parte de las cañadas y en las partes altas de los siguientes cerros: Cerro Gordo (3,780 m s.n.m.) al W, Cerro Tepehuisco (3,420 m s.n.m.) al E y Cerro Cuescontepec (3,300 m s.n.m.) al SE del cuerpo volcánico. Este tipo de suelo cubre 2% del área de estudio se caracteriza por tener una profundidad menor de 10 cm hasta la roca madre, se localiza generalmente en todas las sierras de México y en las laderas y barrancas. Pueden ser fértiles o áridos, su susceptibilidad a erosionarse depende de la zona donde se encuentren, de la topografía y del mismo suelo; su uso depende de la vegetación que lo cubre y no tiene subunidades (SPP, 1981c).

De los 4,200 a 4,500 m s.n.m. se presentan los Regosoles (material suelto que cubre a la roca) éutricos (1%), con textura gruesa (Re1). Este suelo se caracteriza por ser claro, parecido a la roca que lo subyace, es somero y su fertilidad es variable; su uso agrícola está principalmente condicionado por su profundidad, ya que no presentan pedregosidad, sin embargo, su uso es principalmente forestal y es de susceptibilidad variable a la erosión.

En el Cerro San Antonio (3,600 m s.n.m.) y Cerro el Calvario (3,660 m s.n.m.), al NW del volcán, se presenta el Cambisol (suelo que cambia), crómico, de textura media (BC2), cubriendo el 1% del área. Estos suelos son jóvenes y poco desarrollados, de color rojizo a pardo oscuro, tienen alta capacidad de retención de nutrientes y su susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta.

El 90% del área del parque corresponde a los Andosoles (tierras negras), húmicos, de textura media (Th2), se caracterizan por ser suelos que se encuentran en áreas donde ha habido actividad volcánica, puesto que se originan a partir de cenizas volcánicas, en condiciones naturales tienen vegetación de bosque de pino, abeto y encino.

Los Andosoles tienen una capa superficial de color negro o muy oscuro, de textura esponjosa a muy suelta, ricos en materia orgánica, pero muy ácidos y pobres en nutrientes. Se utilizan en la

agricultura con rendimientos muy bajos, pues contienen mucho fósforo y éste no puede ser absorbido por las plantas; también se usan como pastizales naturales o inducidos, principalmente con pastos amacollados y debido a esto la ganadería ovina se encuentra ampliamente establecida. El uso con el que menos se destruye este tipo de suelo, como recurso natural es el forestal. Son muy susceptibles a la erosión. (CETENAL, 1976a); (SPP, 1981c).

4.4 Hidrología

El Parque Nacional Nevado de Toluca queda incluido en dos regiones hidrológicas, la región hidrológica número 12, denominada Lerma-Chapala-Santiago y la región número 18, denominada Medio Balsas (SARH, 1979).

En el interior del cráter existen dos cuerpos de agua dulce, La Laguna del Sol al W se encuentra a los 4,170 m de altitud, de forma ovoide con 760 m de longitud por 500 m en su parte ancha y un área de espejo de agua de 23,3819 m². La Laguna de la Luna al E, se encuentra a los 4,150 m de altitud y es de forma circular, con 200 m de diámetro y un área de espejo de agua de 33,547 m², ambas tienen fondo irregular y una profundidad máxima de 10 m.

El agua de ambas lagunas es aprovechada para consumo humano, siendo repartida en las diferentes localidades cercanas a la montaña, como son: la Ciudad de Toluca, San Juan de las Huertas, El Capulín, Calimaya, Tenango del Valle, San Miguel Balderas y San Pedro Tlamixco.

La permanencia de la vegetación es de primordial importancia, debido a que de esta montaña descienden numerosos escurrimientos que en las partes más bajas se reúnen para formar varios ríos como el Tejalpa, Verdiguél y Santiaguito, que son afluentes del río Lerma y del río Balsas.

4.5 Clima

Dentro del área de estudio solamente se encuentra la estación meteorológica “Nevado de Toluca”, localizada a 19° 07' latitud norte y 99° 46' longitud oeste, a 4,120 m s.n.m., por lo que se consideran además los datos de las estaciones más cercanas al volcán: la estación meteorológica San Francisco Tlalcilcalpan, localizada a 19° 18' latitud norte y 99° 46' longitud oeste, a 3,000 m s.n.m. (al

norte del parque) y la estación meteorológica Tenango del Valle, localizada a 19° 06' latitud norte y 99° 35' longitud oeste, a 2,600 m s.n.m. (al este del parque).

Los datos correspondientes a las normales climatológicas de 1921-1980, reportadas por García (1988) para las tres estaciones, fueron actualizadas hasta el año 1990, utilizando los registros en tarjetas del Observatorio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (Ver Anexo 1)

Conforme al sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1988), se reportan los siguientes tipos y subtipos de clima para la zona del Nevado de Toluca:

En la estación meteorológica “Nevado de Toluca” (4,120 m s.n.m.)

E(T)C(w₂)i

E= clima frío, temperatura media del mes más caliente menor a 6.5 °C.

(T)C= Temperatura media anual entre -2° y 5 °C, la del mes más frío menor de 0° y la del mes más caliente entre 0 y 6.5 °C

w₂= régimen de lluvia en verano. Con un porcentaje de lluvia invernal de entre 5 y 10.2 del total anual, es el más húmedo de los templados subhúmedos con un cociente P/T mayor de 55.0

i= isothermal, con una oscilación térmica menor de 5 °C (3.3 °C)

En la estación meteorológica San Francisco Tlalcilcalpan (3,000 m s.n.m.).

Cb (w₁)(w) ig

C = Clima templado, con una temperatura media anual entre 12 y 18 °C y la del mes más frío entre -3 y 18 °C

b = verano fresco y largo, temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y 22° C

(w₁) = con lluvia en verano, cociente P/T entre 43.2 y 55

w= porcentaje de lluvia invernal menor de 5% de la anual.

i =isothermal oscilación térmica menor de 5°C

g = marcha de temperatura tipo Ganges

En la estación meteorológica Tenango del Valle (2,600 m s.n.m.):

Cb (w₂) (w) i

C= Clima templado, con una temperatura media anual entre 12 y 18 °C y la del mes más frío entre -3 y 18 °C

b = verano fresco y largo, temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y 22°C

(w₂)= lluvia en verano, el más húmedo de los templados subhúmedos, con un cociente P/T mayor de 55.0

w= porcentaje de lluvia invernal menor de 5% del anual

i= isotermal, oscilación térmica menor de 5 °C

Con respecto a la temperatura, en la estación “Nevado de Toluca” la media del mes más caliente corresponde a junio (5.7°C), el mes más frío a febrero (2.4°C) y la temperatura media anual es de 4.2°C (Figura 4a). En cuanto a la precipitación, el mes más húmedo es julio (248.7 mm) y el más seco, diciembre (12 mm) (Figura 4b). El porcentaje de lluvia invernal 5.9%, con un cociente P/T = 289.2

En la estación San Francisco Tlalcilcalpan (3,000 m s.n.m.), el mes más frío es enero (10.9°C), el más caliente, mayo (15.7°C) y la media anual de temperatura, 13.5°C (Figura 4a). Tiene un régimen de lluvias en verano, con un P/T = 54.8 y porcentaje de lluvia invernal 4.2% (Figura 4b).

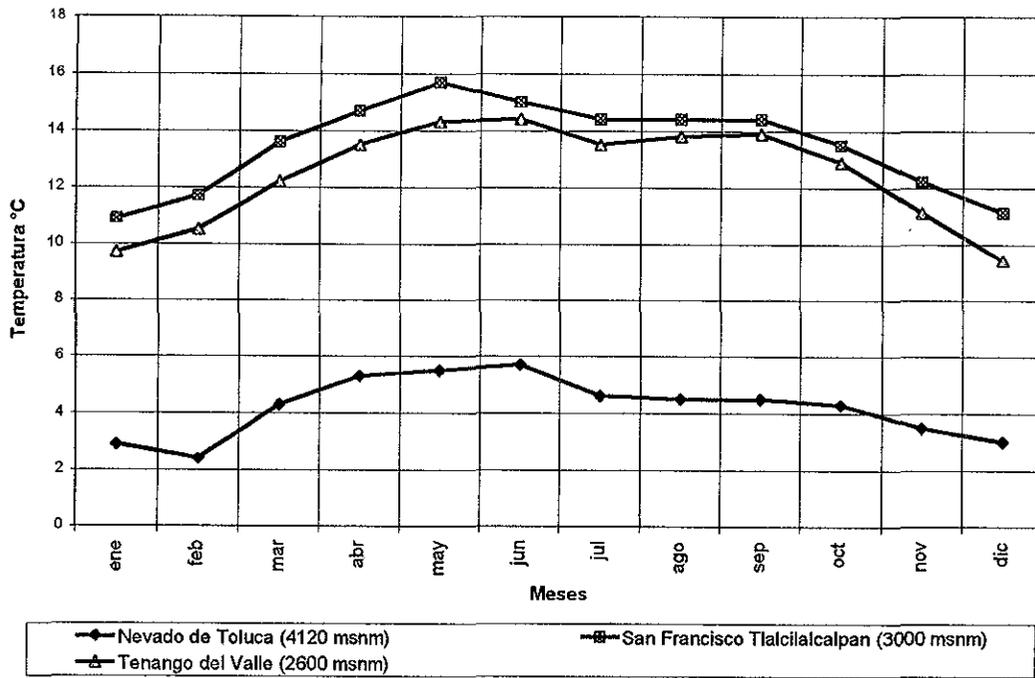
En la estación Tenango del Valle (2,600 m s.n.m.), el mes más frío corresponde a diciembre (9.4°C) y el más caliente a junio (14.5°C), la temperatura media anual es 12.4°C (Figura 4a). Lluvia en verano, presenta 4.4% de lluvia invernal, es el clima más húmedo de los templados subhúmedos, con un cociente P/T = 59.3 (Figura 4b).

En la figura 4a se observa que los valores de la temperatura media se incrementan a partir de enero, con una disminución en el mes de febrero para la estación “Nevado Toluca” (mes más frío), hasta llegar a mayo y junio que son los meses más calientes.

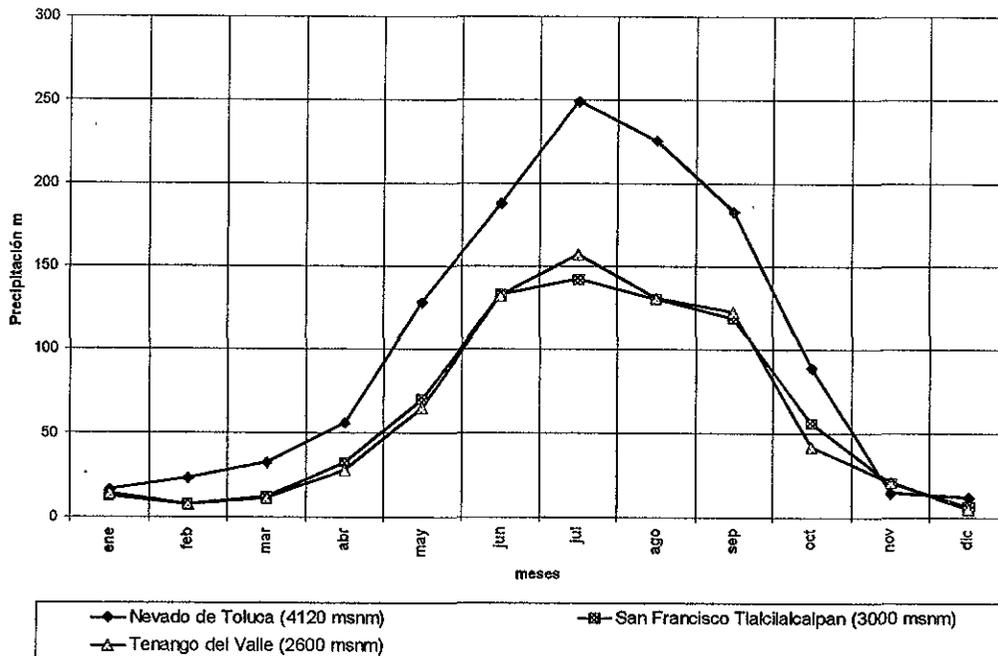
Con respecto a la precipitación media mensual, los meses de mayor concentración son junio, julio y agosto. El mes con mayor precipitación corresponde a julio, en un rango de 141.4 a 248.7 mm (Figura 4b). Es notable la diferencia en precipitación entre los datos de la estación “Nevado Toluca”, que es la que se encuentra dentro del parque, con respecto a las otras dos estaciones, esto se debe a la diferencia altitudinal que existe entre ellas.

4.6 Tenencia de la tierra y vías de acceso

Con respecto a tenencia de la tierra SARH (1993) señala que el 58.8% del parque nacional es propiedad ejidal (30,000 ha), el 29.4% es propiedad privada (15,000 ha), el 9.8% es propiedad federal (5,000 ha) y el 2% restante no está identificada (1,000 ha) (Figura 5).



4a. Temperatura media



4b. Precipitación media mensual

Figura 4. Características climatológicas del área de estudio. 4a. Temperatura media mensual. 4b. precipitación media mensual. Incluye la información de tres estaciones meteorológicas

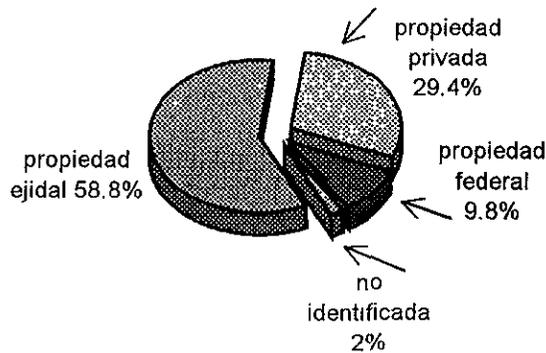


Figura 5. Tenencia de la tierra dentro del Parque Nacional Nevado de Toluca (SARH,1993)

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 Xinantécatl. Al interior del volcán existen un gran número de brechas y caminos de terracería. En la parte NW del volcán, hacia el Cerro El Calvario, se encuentre la carretera estatal ruta 1, Toluca-Santa María del Monte, posteriormente solo camino de terracería, por lo que los accesos hacia esta zona son más difíciles.

4.7 Servicios e infraestructura del parque

Debido a la facilidad de acceso al parque hasta el cráter del volcán y al maravilloso paisaje escénico que presentan sus lagos y cráter, es frecuentado por numerosos visitantes tanto de la Ciudad de Toluca como de la Ciudad de México. Se estima que es visitado anualmente por 45,000 personas (SARH, 1993).

La plantilla de personal con que cuenta el parque para su operación está conformada únicamente por un administrador y un guardia ecológico. Cuenta con una casa administración en pésimas condiciones, una caseta con cadena para acceso al cráter del volcán en mal estado, el albergue “San Juan de la Huertas”, administrado por el ejido del mismo nombre, con cupo para 32 personas, la posada familiar “Parque de los Venados”, administrada por la Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF), para 30 personas, dos torres de comunicaciones, un refugio alpino ubicado en las lagunas

del cráter, en estado inservible, una caseta forestal “Protimbos”, caseta forestal SARH, caseta de vigilancia “Raíces” y caseta de vigilancia “San Miguel Balderas”.

Las instalaciones y equipamiento son insuficientes para la atención de los visitantes, ya que se requiere de sanitarios, mantenimiento y labores de limpieza en las áreas de mayor afluencia. No se cuenta con el equipo y personal para la prevención, control y combate de incendios forestales que ocurren en el área del parque, además de no contar con los medios para efectuar la vigilancia en las áreas del bosque para evitar la tala clandestina, ni se cuenta con personal capacitado y equipo para atender a los visitantes, así como para desarrollar actividades de educación ambiental en el mismo.

Capítulo V

Material y Método

5.1 Fotointerpretación

Con el fin de tener una evaluación del porcentaje de cobertura vegetal, se procedió a obtener información a partir de fotografías aéreas recientes del área. Se utilizaron 12 fotografías aéreas blanco y negro, escala 1: 75,000, con fecha de vuelo de diciembre de 1993 y febrero de 1994, tomadas por INEGI-SINFA. Para la fotointerpretación se utilizó un estereoscopio marca WILD HEERBRUGG, con oculares 3x.

Se identificaron primeramente las áreas que no presentan cobertura boscosa dentro del parque, como son las zonas agrícolas, las terrazas antiguas con vegetación secundaria, los poblados, los cuerpos de agua, las carreteras y caminos.

En una segunda evaluación de las fotografías aéreas se revisaron las áreas de bosque, con el fin de definir, con base en la tonalidad y textura en la fotografía, los tipos de asociaciones vegetales.

Para cada uno de los tres tipos de comunidad identificadas (bosque de *Pinus*, bosque de *Abies* y bosque mixto) se definieron tres diferentes categorías de densidad de cobertura, las cuales estuvieron determinadas por textura, tonalidad de gris, patrón y situación topográfica, en el modelo estereoscópico. A cada categoría se le asignó un número, entre 1-3, siendo el denso 3, semidenso 2 y escaso 1. Se rodalizaron las áreas dependiendo de la densidad de la cobertura vegetal.

Para tener una evaluación general de la superficie que comprenden los diferentes tipos de uso del suelo obtenidos por la fotointerpretación, se copiaron en papel las diferentes clases de información y se pesaron, para calcular el número de hectáreas y el porcentaje que representa cada una con respecto a la totalidad del área de estudio.

Con las fotografías aéreas se ensambló un mosaico fotográfico no controlado, para tener una imagen fotográfica de toda el área del Parque Nacional. A este mosaico se le sobrepuso el mapa de tenencia de la tierra ajustando la escala, para determinar el área que tiene cada uno de los diez municipios dentro del parque y que porcentaje corresponde a la agricultura, pastizal, terrazas con vegetación, bosque de *Pinus*, bosque de *Abies* y bosque mixto.

Se copiaron en papel los 10 municipios presentes en el parque y se pesaron para calcular la superficie en hectáreas que corresponde a cada uno de los municipios dentro del parque.



Foto 1. Los sitios de muestreo en campo con una dimensión de 500 m², fueron delimitados con dirección y rumbo. Posteriormente se marcaron cada uno de los árboles para evaluar los parámetros de: altura, cobertura y DAP (izquierda).



Foto 2. La altura de los árboles se calculó utilizando un clisímetro para medir el ángulo entre el observador y la parte más alta del árbol. Se tomó la distancia entre el observador y el árbol, además de considerar la altura a los ojos del observador y la pendiente del terreno (derecha).

deterioro, contando el número de árboles resinados, talados o caídos, de tocones o con algún tipo de parásito y quemados.

En el caso de árboles presentes en el sitio de muestreo (500 m²), se tomaron las siguientes medidas: altura de cada árbol, perímetro a la altura del pecho, tres diámetros de cobertura, considerando el eje máximo, mínimo y medio, se consideraron aquellos individuos cuyo perímetro era superior a 0.15 m (Foto 2). En los segundos 500 m² únicamente se contó el número de árboles por género y se registraron los datos de deterioro. Se consideró que esta información proporcionaría mayor número de datos, ya que se tendría una mayor superficie que serviría para caracterizar mejor a las comunidades vegetales en el campo, con respecto a la densidad arbórea (número de individuos/ unidad de superficie).

El levantamiento de vegetación incluye una lista de los taxa y estratos presentes, estimando cobertura por estrato y por especie, en relación con el área muestreada (siguiendo el sistema de Raunkiaer modificado por Mueller-Dombois *et al.* 1988:13). Se tomaron datos de forma de vida, diámetro a la altura del pecho de los árboles, descripción del perfil de vegetación acompañado de dibujos y fotos del sitio, además se contó el número de plántulas presentes por sitio en 500 y 1000 m².

Los ejemplares recolectados en el campo se depositaron en el Herbario Nacional (MEXU) y en el Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FC) para su determinación.

5.4 Suelos

Se tomaron datos del suelo superficial: textura, pH, humedad en suelo, color en seco y en húmedo, porosidad. Se evaluó el porcentaje de la superficie del suelo cubierto por hojarasca (apreciación visual).

Para facilitar la captura y el manejo de la información en el campo se diseñaron los formatos correspondientes (Anexo 2).

5.5. Análisis estadístico

Se aplicaron medidas de tendencia central (Spiegel, 1987) para obtener los parámetros estructurales de la vegetación de cada comunidad vegetal, que fueron tomados en el campo, sobre los individuos arbóreos en 500 m², cuyo perímetro era superior a 0.15 m.

FALTA PAGINA

No.

46

Los parámetros analizados fueron:

- **Cobertura:** es la proporción del terreno ocupado por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos arbóreos presentes en el sitio de muestreo (Figura 6).

Para obtener la cobertura de cada árbol se tomaron tres medidas: el eje máximo, mínimo y medio; se promediaron y con la media se calculó el área cubierta por cada árbol que tuviera un perímetro superior a 0.15 m, considerando la figura de un círculo, por lo que la sobreposición de las copas, así como los espacios entre las ramas no fueron considerados, posteriormente, se obtuvieron las medidas de tendencia central (media, moda y mediana).

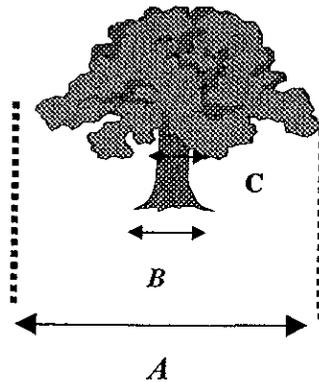


Figura 6. Diferencia entre área basal y cobertura: A. Cobertura, B. Área basal, C. DAP (diámetro a la altura del pecho) (tomado de Mateucci y Colma, 1982).

Este parámetro se obtuvo para cada uno de los tipos de bosque *Pinus*, *Abies* y bosque mixto, así como para cada una de las diferentes categorías de densidad de cobertura (denso, semidenso y escaso).

Los datos obtenidos se agruparon en intervalos de 10 unidades, desde 0.8 hasta 140 m² (14 intervalos) y se elaboraron histogramas por tipo de bosque y por categoría, en los que se incluyeron los valores de las medidas de tendencia central (Spiegel, 1987).

- Altura: se calculó la altura de los árboles (H_1) midiendo el ángulo entre el observador y la parte más alta del árbol (α), así como la distancia entre el observador y el árbol (d_1), tomando en cuenta la altura a los ojos del observador (h) y la pendiente del terreno (β) (Foto 2 y Figura 7) . Se aplicó la siguiente identidad trigonométrica:

$$\tan \alpha = (H_1 + H_2) / d_1$$

de la cual se despejó el numerador:

$$H_1 + H_2 = d_1 \tan \alpha \quad (\text{Ec. 1})$$

Al utilizar el valor de la pendiente y aplicar la identidad trigonométrica siguiente:

$$\tan \beta = (H_2 + H_3) / d_1$$

y al despejar el numerador:

$$H_2 + H_3 = d_1 \tan \beta \quad (\text{Ec. 2})$$

de la ecuación 2 se tiene que son conocidos d_1 , β y que $H_3 = h$, la única incógnita es H_2

$$H_2 = d_1 \tan \beta - h \quad (\text{Ec. 3})$$

sustituyendo la ecuación 3 en la ecuación 1, se tiene que la altura del árbol es:

$$H_1 = d_1 \tan \alpha - d_1 \tan \beta + h$$

agrupando:

$$H_1 = d_1 (\tan \alpha - \tan \beta) + h$$

Se calcularon las medidas de tendencia central (media, moda y mediana) para cada uno de los tipos de bosque *Pinus*, *Abies* y bosque mixto, y para cada una de las diferentes categorías de densidad de cobertura.

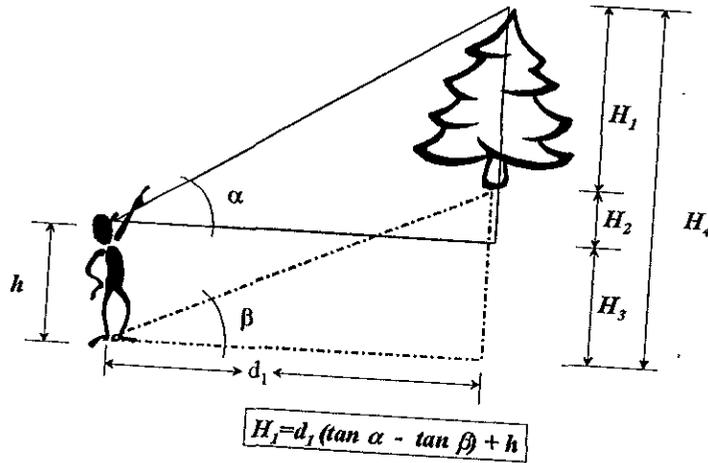


Figura 7. Método utilizado para calcular la altura de los árboles.

Los datos obtenidos se agruparon en intervalos de 8 unidades, desde 1.9 hasta 56 m (7 intervalos) y se elaboraron histogramas por tipo de bosque y por categoría, en los que se incluyeron los valores de las medidas de tendencia central.

- Área Basal:** es la superficie de una sección transversal del tallo o tronco del individuo a determinada altura del suelo; se expresa en metros cuadrados de material vegetal por unidad de superficie. En los árboles, la medición del perímetro se hace a la altura del pecho del observador (PAP = perímetro a la altura del pecho), es decir aproximadamente a 1.3 m del suelo. El área basal expresa el espacio real ocupado por el vástago o tronco, a diferencia de la cobertura, que expresa la extensión de las partes aéreas (Figura 6). Para obtener este valor se midió el perímetro del árbol a la altura del pecho del observador para cada uno de los árboles, siempre a la misma altura (1.30 m). Con este valor se obtuvo el diámetro a la altura del pecho ($DAP = PAP \times 3.1416$). Se calcularon las medidas de tendencia central (media, moda y mediana) para cada uno de los tipos de bosque *Pinus*, *Abies* y bosque mixto y para cada una de las diferentes categorías de densidad de cobertura. Los datos obtenidos se agruparon en intervalos de 0.1 m, desde 0.05 hasta 1.1 m (11 intervalos) y se elaboraron histogramas por tipo de bosque y por categoría, en los que se incluyeron los valores de las medidas de tendencia central.

5.6 Tenencia de la tierra

Con el propósito de identificar los diferentes predios que se encuentran dentro del parque, en INEGI, Delegación Toluca y CEPANAF (Comisión Estatal del Parques Naturales y de la Fauna), se obtuvo información de los polígonos y propietarios de los predios forestales y se ubicaron las áreas y propiedades que afectan el parque, en un mapa escala 1:50,000.

Este mapa se sobrepuso en el mosaico fotográfico para corroborar el uso del suelo en cada uno de los 10 municipios que están dentro del parque y asociarlo con el estado forestal que presentan los bosques en los diferentes predios, según la información obtenida a partir de la fotointerpretación y de los datos de campo.

También se calculó la superficie que tiene cada uno de los 10 municipios dentro del parque, para tener una aproximación del número de hectáreas por municipio.

Capítulo VI

Resultados

6.1 Fotointerpretación

De la fotointerpretación se obtuvieron 7 clases de información sobre el uso del suelo: áreas de agricultura, terrazas antiguas con vegetación secundaria, pastizales inducidos, poblados, bosques de *Pinus*, bosques de *Abies* y bosques mixtos (Figura 8).

Para cada uno de los tres tipos de comunidad vegetal se obtuvieron tres clases de densidad arbórea distintas: escaso (1), semidenso (2) y denso (3) (Tabla 8).

Tabla 8. Clases de densidades arbóreas obtenidas a partir de la fotointerpretación

Bosque de <i>Pinus</i> (P)		Bosque de <i>Abies</i> (A)		Bosque Mixto (AP)	
P1	Escaso	A1	Escaso	AP1	Escaso
P2	Semidenso	A2	Semidenso	AP2	Semidenso
P3	Denso	A3	Denso	AP3	Denso

Los 17 sitios de muestreo en el campo fueron seleccionados de las fotografías aéreas fotointerpretadas cubriendo un área total de 16,000 m². Se propusieron varios sitios (mínimo 3) por comunidad vegetal y por densidad de cobertura, con el fin de obtener mayor información; sin embargo, no siempre fue factible llegar al sitio marcado previamente en la fotografía, debido a las características de la zona de estudio (Tabla 9 y Figura 8).

En las fotos 3, 4, y 5, se ilustran los tres tipos de comunidades vegetales identificadas en el parque: bosque de *Pinus*, bosque de *Abies* y bosque mixto, con sus diferentes densidades arbóreas, en tres diferentes sitios de muestreo.

Se obtuvo información sobre el porcentaje de superficie ocupada por tipo de bosque o uso del suelo. Los resultados obtenidos fueron: del área total del parque (51,000 ha) el 71.4 % (36, 424 ha) corresponde a los diferentes tipos de bosque, el 20.5 % (10,476 ha) a áreas con agricultura, el 2.8 % (1,433 ha) a terrazas antiguas con vegetación secundaria, el 3.6 % (1,841 ha) a zacatonal alpino y áreas sin vegetación y el 1.6 % (826 ha) corresponde a pastizales inducidos (Figura 9).

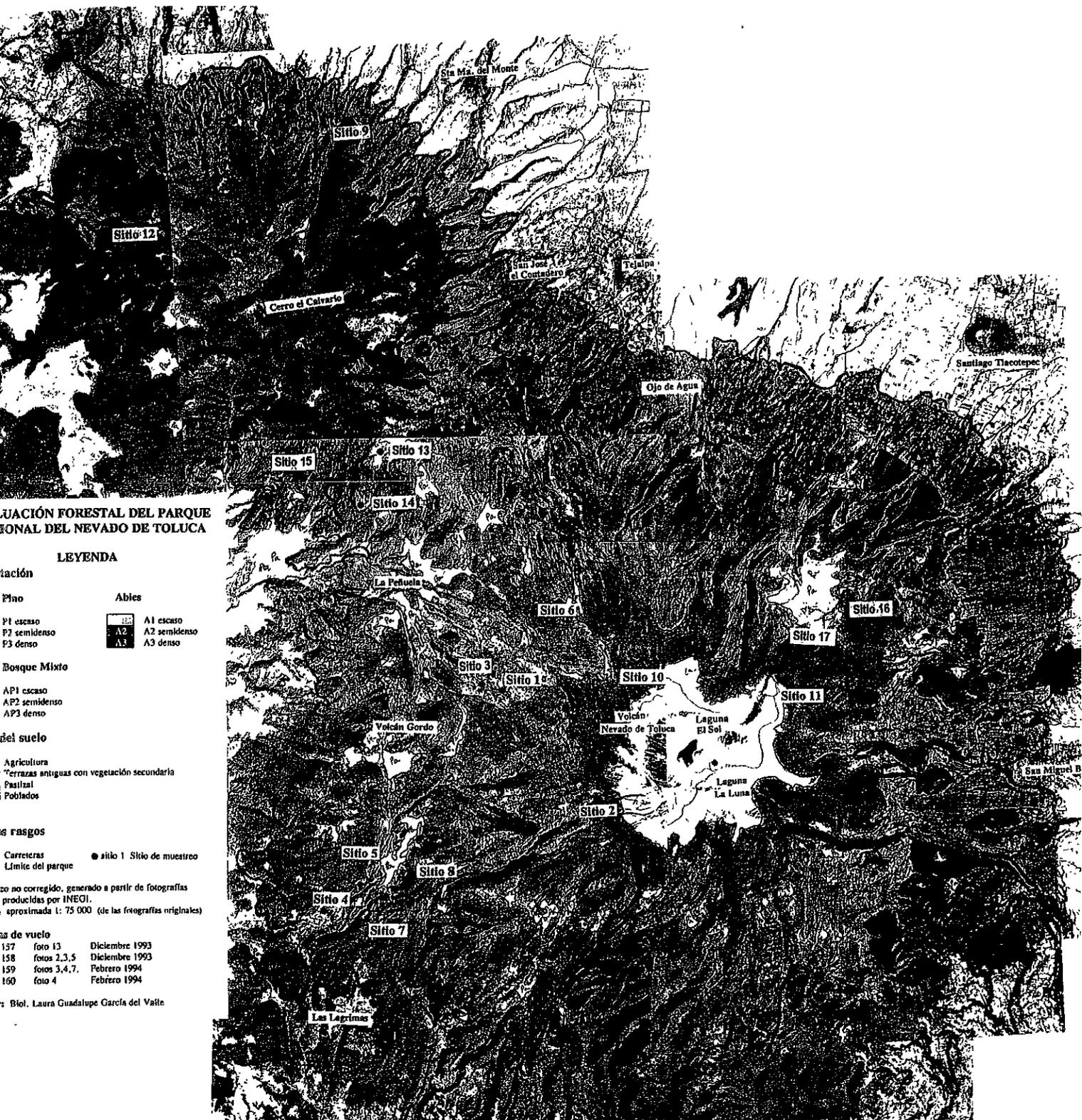


Figura 8. Mosaico Fotográfico no controlado. Se observan los diferentes usos del suelo dentro del área de estudio, así como las diferentes densidades arbóreas denso (3), semidenso (2) y escaso (1) de los tres tipos de bosque *Pinus*, *Abies* y Mixto.



Foto 3. Bosque de *Pinus* con una densidad arbórea P2, corresponde al sitio 11 ubicado en el Municipio de Toluca, con una altitud de 3820 m s.n.m.



Foto 4. Bosque mixto de *Pinus* y *Abies* con algunos *Quercus*, con una densidad arbórea AP2, corresponde al sitio 9 ubicado en el Municipio de Zinacantepec, con una altitud de 3115 m s.n.m.

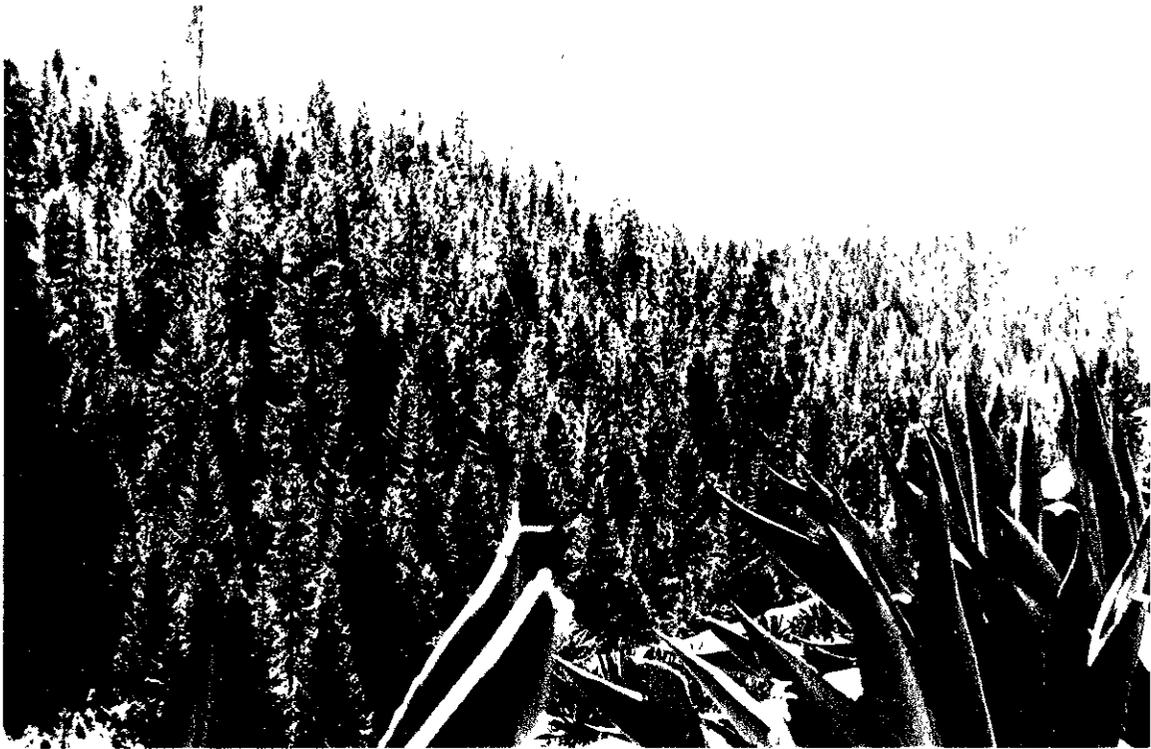


Foto 5. Bosque de *Abies* con una densidad arbórea A3 corresponde al sitio 12 ubicado en Ampliación Ejido Sta. María del Monte, Municipio de Zinacantepec con una altitud de 3025 m s.n.m.

Tabla 9. Sitios de muestreo en el campo por tipo de vegetación y densidad arbórea según la fotointerpretación de la zona de estudio.

Sitios de muestreo	Altitud (m s.n.m.)	Tipo de vegetación	Clase de cobertura (en campo)
1	3480	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque escaso (P1)
3	3410	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque escaso (P1)
6	3440	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque escaso (P1)
10	3850	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque semidenso (P2)
11	3820	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque semidenso(P2)
2	3770	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque denso (P3)
16	3600	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque denso (P3)
17	3760	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque denso (P3)
8	3115	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque semidenso (A2)
5	3040	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque semidenso (A2)
7	3000	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque semidenso (A2)
12	3025	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque denso (A3)
14	3050	Bosque mixto	Bosque semidenso(AP2)
9	3115	Bosque mixto	Bosque semidenso (AP2)
4	3000	Bosque mixto	Bosque denso (AP3)
13	3140	Bosque mixto	Bosque denso (AP3)
15	3050	Bosque mixto	Bosque denso (AP3)

6.2 Características generales de las comunidades.

En cada levantamiento de 500 m² se realizó la descripción de las principales características de las comunidades en los diferentes sitios de muestreo, considerando asociación vegetal, descripción fisonómica, especies dominantes y subdominantes, de los diferentes estratos y el porcentaje de cobertura que presentan; esta evaluación organizada y resumida se presenta en la Tabla 10.

Los levantamientos botánicos abarcaron una amplitud altitudinal de los 3000 m (límite inferior del parque) a los 3850 m (el límite arbóreo se presenta a los 4,000 m s.n.m.) (SAG, 1974; SARH, 1993), cubriendo todas las orientaciones de laderas. Los sitios de muestreo ubicados en el campo dependieron de la accesibilidad del terreno como brechas, pendientes y acceso al área, la ubicación de

Tabla 10. Descripción de las asociaciones vegetales en los diferentes sitios de muestreo.

SITIO	ASOCIACIÓN VEGETAL	DESCRIPCIÓN FISONOMICA (Clase de cobertura según la fotointerpretación)	ESPECIES DOMINANTES			ESPECIES SUBDOMINANTES		
			% DE COBERTURA POR ESTRATO		especie	% DE COBERTURA POR ESTRATO		especie
			estrato	%		estrato	%	
SITIO 1	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque abierto (P1 escaso)	arbóreo herbáceo rasante	51 80 65	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Agrostis tolucensis</i> <i>Alchemilla procumbens</i>	herbáceo	15 5	<i>Lupinus montanus</i> <i>Cirsium sp.</i>
SITIO 2	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque cerrado (P3 denso)	arbóreo herbáceo	85 80	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Calamagrostis tolucensis</i>	herbáceo	1 1	<i>Lupinus montanus</i> <i>Penstemon gentianoides</i>
SITIO 3	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque abierto (P1 escaso)	arbóreo herbáceo	42 80	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Agrostis tolucensis</i>	herbáceo rasante	1 1	<i>Muhlebergia nigra</i> <i>Alchemilla procumbens</i>
SITIO 4	Bosque mixto	Bosque cerrado (AP3 denso)	arbóreo arbóreo herbáceo	100 . 25	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Abies religiosa</i> Gramineas	arbustivo herbácea herbácea	10 5 4	<i>Baccharis conferta</i> <i>Salvia exilis</i> <i>Piptochaetium fimbriatum</i>
SITIO 5	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque semiabierto (A2 semidenso)	arbóreo arbustivo	68 30	<i>Abies religiosa</i> <i>Senecio angustifolius</i>	arbustivo rasante rasante	20 10 20	<i>Acaena elognata</i> musgo <i>Siphthorpia repens</i>
SITIO 6	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque abierto (P1 escaso)	arbóreo herbáceo	62 50	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Muhlebergia nigra</i>	herbáceo	30 20 10	<i>Lupinus montanus</i> <i>Penstemon gentianoides</i> <i>Tauschia nudicaulis</i>
SITIO 7	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque semiabierto (A2 semidenso)	arbóreo arbustivo arbustivo	50 50 50	<i>A. religiosa, P. hartwegii</i> <i>Acaena elognata</i> <i>Baccharis conferta</i>	herbáceo rasante	10 1	<i>Salvia exilis</i> <i>Cerastium cuspidatum</i>
SITIO 8	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque cerrado (A3 denso)	arbóreo arbustivo	70 25	<i>Abies religiosa</i> <i>Senecio angustifolius</i>	arbustivo rasante	20 10	<i>Cestrum nocturnum</i> <i>Alchemilla procumbens</i>
SITIO 9	Bosque mixto	Bosque semiabierto (AP2 semidenso)	arbóreo	73	<i>Pinus pseudostrobus</i> <i>Alnus jorullensis</i> <i>Abies religiosa</i>	arbustivo	25 25 8	<i>Salix sp.</i> <i>Baccharis conferta</i> <i>Eupatorium glabratum</i>
SITIO 10	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque semiabierto (P3 denso)	arbóreo herbáceo	86 80	<i>Pinus hartwegii</i> Gramineas	herbáceo	1	<i>Penstemon gentianoides</i>
SITIO 11	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque abierto (P2 semidenso)	arbóreo herbáceo	58 80	<i>Pinus hartwegii</i> Gramineas	herbáceo herbáceo rasante	2 1 2	<i>Eryngium proteaeflorum</i> <i>Lupinus montanus</i> <i>Alchemilla procumbens</i>
SITIO 12	Bosque de <i>Abies</i>	Bosque cerrado (A3 denso)	arbóreo arbustivo arbustivo	89 25 25	<i>Abies religiosa</i> <i>Senecio barba-johannis</i> <i>Eupatorium mariretianum</i>	herbáceo	1	<i>Salvia elegans</i> <i>Smilax sp</i> <i>Senecio callosus</i>
SITIO 13	Bosque mixto	Bosque cerrado (AP3 denso)	arbóreo arbóreo arbóreo arbustivo	79 . . 40	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Alnus jorullensis</i> <i>Abies religiosa</i> <i>Penstemon gentianoides</i>	herbáceo	8 3	Graminea <i>Eryngium proteaeflorum</i>
SITIO 14	Bosque mixto	Bosque abierto (AP2 semidenso)	arbóreo	50	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Abies religiosa</i>	arbustivo herbáceo	2 10	<i>Salix sp.</i> Graminea
SITIO 15	Bosque mixto	Bosque semiabierto (AP3 semidenso)	arbóreo	100	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Abies religiosa</i>	arbustivo herbáceo	36 30	<i>Alnus jorullensis</i> Graminea
SITIO 16	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque cerrado (P3 denso)	arbóreo herbáceo herbáceo	80 70 60	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Agrostis tolucensis</i> <i>Calamagrostis tolucensis</i>	herbáceo herbáceo rasante	15 5 5	<i>Lupinus montanus</i> <i>Penstemon gentianoides</i> <i>Alchemilla procumbens</i>
SITIO 17	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque cerrado (P3 denso)	arbóreo herbáceo	70 60	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Agrostis tolucensis</i>	herbáceo rasante	30 8	<i>Penstemon gentianoides</i> <i>Alchemilla procumbens</i>

los sitios se encuentra en la Figura 8. Las pendientes más frecuentes donde se hicieron los levantamientos fueron entre 10° y 14° (10 sitios), algunos sitios entre 7° y 9° (4 sitios) y zonas con pendientes muy pronunciadas 18° 24° y 26° (3 sitios) (Tabla 11).

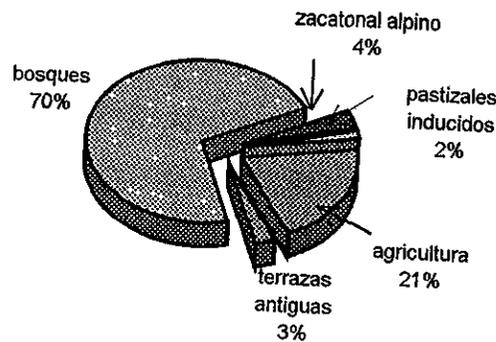


Figura 9. Porcentajes de las diferentes clases de uso del suelo en el parque nacional, según la fotointerpretación.

Las principales especies de *Pinus* encontradas fueron *Pinus hartwegii* y *P. pseudostrobus* éste en un bosque mixto con *Alnus jorullensis* y *Abies religiosa* a 3115 m s.n.m.. *Pinus hartwegii* forma un bosque de monoespecífico y se asocia principalmente con gramíneas de los géneros *Agrostis*, *Calamagrostis* y *Muhlenbergia*, a gran altitud (3410-3850 m s.n.m.) y se reporta también en bosques mixtos con *Alnus* y *Abies*. A menor altitud los bosques de *Abies* se asocian principalmente con arbustos principalmente de los géneros *Senecio* y *Eupatorium* o hierbas como *Acaena* sp., la altitud de los sitios de muestreo en el campo está entre 3000 y 3140 m. (Tabla 10).

En el caso de los bosques donde los pinos y las gramíneas son dominantes, los géneros subdominantes son: *Alchemilla*, *Lupinus*, *Penstemon*, *Tauschia*, *Cirsium*, *Muhlenbergia*, *Senecio* y *Eryngium*. Para el caso de los bosques de *Abies* las subdominantes son los géneros: *Salvia*, *Siphthorpia*, *Stevia*, *Acaena*, *Cerastium*, *Cestrum*, *Alchemilla*, *Smilax* y *Senecio*. Para los bosques mixtos son: *Salvia*, *Salix*, *Baccharis*, *Eupatorium*, *Alnus* y *Eryngium* (Tabla 10).

Tabla 11. Características físicas y de localización de los sitios de muestreo en el área de estudio.

Sitios	Altitud (m s.n.m.)	Pendiente (Grados)	Orientación	Municipio	Coordenada "X" (UTM)	Coordenada "Y" (UTM)
1	3480	11	65 SW	Zinacantepec	415357	2114653
2	3770	12	50 NE	Zinacantepec	417289	2111995
3	3410	7	60 SW	Zinacantepec	414273	2115052
4	3000	10	10 SE	Temascaltepec	409763	2108284
5	3040	12	37 SW	Temascaltepec	410637	2109122
6	3440	12	72 SW	Zinacantepec	415639	2117229
7	3000	11	60SW	Texcaltitlan	411478	2107458
8	3115	13	75 NE	Temascaltepec	412097	2109277
9	3115	9	30 NW	Zinacantepec	410050	2132270
10	3850	9	50 NW	Zinacantepec	418380	2115200
11	3820	18	35 NE	Toluca	423100	2114300
12	3025	26	40 NE	Zinacantepec	403080	2129100
13	3140	8	48 NW	Zinacantepec	412180	2122376
14	3050	12	80 SE	Zinacantepec	410380	2120550
15	3050	24	85 NE	Temascaltepec	408371	2121100
16	3600	14	80 NE	Calimaya	424214	2116536
17	3760	14	28 NE	Calimaya	423311	2115494

Los bosques de *Pinus* y *Abies* y mixto en general se encuentran sobre suelos con un pH entre 5 y 6, normalmente de color negro o café oscuro, y algunos tendiendo a amarillento o grisáceo en bosques mixtos; la mayoría son franco limosos. Son suelos compactos o semiporosos. El 59% de los sitios de muestro presentan menos del 20% de superficie cubierta por hojarasca y el 41% restante presenta más del 80% cubierto por hojarasca de *Pinus* (Tabla 12).

6.3 Estructura de las comunidades

El total de árboles medidos en los 17 sitios de muestreo fue de 350: en bosque de *Pinus* 106 individuos, en bosque de *Abies* 78 individuos y en bosque mixto 166 individuos.

Tabla 12. Características del suelo encontradas en los diferentes sitios de muestreo.

	HOJARASCA	HORIZONTE	PROFUNDIDAD DEL HORIZONTE	TEXTURA	PH	HUMEDAD	COLORES	POROSIDAD
SITIO 1	0%	A	10 cm.	Franco-limoso	6	Húmedo	5YR 2.5/1 Negro	Compacto
SITIO 2	20%	A	20 cm.	Franco-limoso	6	Húmedo	5YR 2.5/1 Negro (Seco) 2.5 Y 2.5/0 Negro (húmedo)	Compacto
SITIO 3	0%	A	39 cm. (cenizas)	Franco-limoso	6	Muy húmedo	5YR 2.5/2 Café rojizo oscuro	Compacto
SITIO 4	100%	A B	25 cm. 50 cm.	Franco-limoso	6	Seco	10YR 2/1 Negro (seco) 10YR 3/4 Café amarillento oscuro (húmedo)	Semiporoso
SITIO 5	5%	A	27 cm.	Franco-limoso	6	Húmedo	10 YR 2/2 Café muy oscuro	Compacto
SITIO 6	5%	A	32 cm.	limo-arenoso	5	Muy húmedo	10 YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro	Compacto
SITIO 7	10%	A	10 cm.	Franco-limoso	6	Muy húmedo	10YR 2/2 Café muy oscuro	Compacto
SITIO 8	99%	A	10 cm.	arcillo-arenoso	6	Seco	10YR 2/2 Café muy oscuro	Compacto
SITIO 9	80%	A	18 cm.	Franco-arcilloso	6	Húmedo	10YR 3/3 Café oscuro	Compacto
SITIO 10	80%	A	10 cm.	Arcillo -arenoso	6	Seco	5YR 2.5/1 Negro	Compacto
SITIO 11	10%	A	10 cm.	Franco-limoso	5	Seco	10YR 2/1 Negro	Compacto.
SITIO 12	10%	A	10 cm	Arcillo-arenoso	6	Seco	10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro	Semiporoso
SITIO 13	100%	A	7 cm.	Franco-limoso	5	Húmedo	10YR 2/2 Café muy oscuro	Compacto
SITIO 14	100%	A	10 cm.	Franco-limoso	6	Húmedo	10YR 3/4 Café amarillento oscuro	Compacto
SITIO 15	10%	A	10 cm.	Limoso	6	Húmedo	2.5YR 2.5/2 rojizo oscuro (seco) 5YR 3/3 (humedo) Café rojizo oscuro	Semiporoso
SITIO 16	80%	A	10 cm.	Franco-limoso	6	Húmedo	10 YR 2/2 Café muy oscuro	Semiporoso
SITIO 17	20%	A	15 cm.	Franco-Limoso	6	Húmedo	10 YR 2/2 Café muy oscuro	Semiporoso

* Para determinar el color del suelo en el campo se utilizó la clave de colores **Munsell Soil color charts**, 1973.

En la Tabla 13 se resumen los resultados de las mediciones de altura, cobertura y DAP de los 350 árboles medidos en total. Se midieron estas variables en los tres tipos de bosque y diferentes densidades de cobertura, definidas en la fotointerpretación. Se anota en la misma tabla el número promedio de árboles en 500 m² y en 1000 m² (Tabla 13).

Los resultados muestran diferencias importantes entre el número de árboles (en 500 m² y 1000 m²) y la cobertura en los diferentes tipos de bosque. Los bosques de *Pinus* presentan el menor número promedio de árboles, 14 y 23 individuos en 500 y 1000 m² respectivamente, pero con mayor cobertura, 36 m² en promedio por individuo, que los bosques mixtos y de *Abies*, con 21 y 25 m² de cobertura por individuo respectivamente.

Los bosques mixtos, aún cuando presentan el mayor número de árboles en las áreas cuantificadas (33 individuos en 500 m² y 73 individuos en 1000 m²) tienen la menor cobertura arbórea (por individuo 21 m²), esto debido principalmente a la composición del bosque (mezcla de *Pinus*, *Abies* y *Alnus*), además de que presentan también el menor valor de DAP por individuo (promedio de 0.23 m) y las alturas menores, en promedio de 12 m (Tabla 13).

Tabla 13. Datos por tipo de comunidad vegetal y densidad arbórea.

Comunidad Vegetal	Altura (m)		Cobertura (m ²)		DAP (m)		Número de Árboles	
	Mediana	media	Mediana	media	mediana	media	500 m ²	1000 m ²
Bosque de <i>Pinus</i>	23.0	21.69	30.35	35.87	0.43	0.44	14	23
Bosque de <i>Abies</i>	26.52	25.29	19.47	24.71	0.39	0.38	20	54
Bosque Mixto	8.58	11.82	12.63	21.09	0.16	0.23	33	73
Densidad arbórea								
P1 (escaso)	26.71	23.95	28.67	29.61	0.41	0.40	9	17
P2 (semidenso)	17.04	16.78	23.95	25.60	0.41	0.43	14	24
P3 (denso)	24.69	23.21	42.51	44.53	0.46	0.47	18	31
A2 (semidenso)	22.86	21.08	19.22	24.26	0.30	0.33	19	52
A3 (denso)	37.13	35.34	19.71	27.78	0.52	0.50	23	59
AP2 (semidenso)	15.56	18.69	49.86	48.50	0.45	0.46	13	35
AP3 (denso)	8.15	10.54	10.59	16.0	0.14	0.19	47	99

Los bosques de *Pinus* y *Abies* presentan alturas promedio de 22 y 26 m respectivamente, siendo estos últimos los más altos. Los bosques de *Pinus* presentan los árboles más robustos con DAP de 0.44 m en promedio y los bosques de *Abies* 0.38 m en promedio (Tabla 13).

Hay diferencia de cobertura entre los bosques de *Pinus* escasos (P1) y semidensos (P2) con

respecto a los bosques de *Pinus* densos (P3), siendo éstos últimos los de mayor cobertura, con una media de 45 m² por individuo.

Existen diferencias en cuanto al número de individuos en 500 y 1000 m². Como era de esperarse, existen menos individuos en P1, 9 árboles en 500 m² y 17 en 1000 m² y más individuos en los bosques de *Pinus* densos (P3), 18 y 31, en 500 y 1000 m² respectivamente (Tabla 13).

En cuanto al diámetro de los troncos, la media es mayor para P3 (0.47 m) posteriormente P2 (0.43 m) y finalmente P1 (0.40 m) en promedio. Con respecto a la altura, los bosques de *Pinus* escasos (P1) y los bosques de *Pinus* densos (P3) son más altos, 24 m en promedio, que los bosques de *Pinus* semidensos (P2) con 17 m de altura en promedio.

A pesar de que en gabinete se seleccionaron comunidades de *Abies* de las tres diferentes clases de densidad arbórea, considerando los resultados del levantamiento en el campo, únicamente pudieron diferenciarse dos clases de densidad arbórea.

Los bosques de *Abies* considerados como densos (A3) están conformados por árboles de mayor altura, 36 m en promedio y diámetro 0.50 m, que los semidensos (A2), con árboles de 21 m de altura y 0.33 m de diámetro, aunque el número de individuos en las áreas cuantificadas (52 y 59 en 1000m²) entre denso y semidenso, no es considerablemente mayor que en los bosques de *Pinus* (Tabla 13).

Los bosques mixtos y densos (AP3) son los que presentan el mayor número de individuos por área, 47 en 500 m² y 99 en 1000 m², aunque en general son delgados (media de 0.19 m de DAP) y bajos (10.54 m de altura en promedio), además de tener la menor cobertura de todas las densidades arbóreas (16 m² por individuo en promedio). Mientras que los semidensos (AP2) son más altos (18.69 m de altura promedio) y tienen mayor cobertura de todas las densidades arbóreas (49.86 m² por individuo en promedio) (Tabla 13)

En la Tabla 14 se muestran los resultados de cobertura vegetal en 500 m², calculada a partir de la medición de árboles individuales en el campo. Los datos se presentan por clase de densidad arbórea según la fotointerpretación.

Para el bosque de pino escaso (P1) hay un intervalo de 208-309 m², para el semidenso (P2) de 289 – 428 m² y para el denso (P3) de 620-687 m². Para el bosque de *Abies* semidenso (A2) de 342 a 509 m² y el denso (A3) 593 m². Para el bosque mixto semidenso (AP2) de 365 a 717 m² y el denso (AP3) de 640 a 897 m².

Tabla 14. Cobertura vegetal en m² por densidad arbórea en un área de 500 m² en los 17 sitios de muestreo.

Densidad arbórea	Sitios	Número y tipo de árboles	Cobertura vegetal (m ²)	% que cubre en 500 m ²	Intervalo de cobertura
A2	5	16 (<i>Abies</i>)			
A2	7	17 (16 <i>Abies</i> , 1 <i>Pinus</i>)	342	68	342-509
A2	8	22 (<i>Abies</i>)	509	102	
A3	12	23 (<i>Abies</i>)	484	97	
AP2	9	13 (9 <i>Pinus</i> , 1 <i>Abies</i> , 3 <i>Alnus</i>)	593	119	593
AP2	14	13 (11 <i>Pinus</i> , 2 <i>Abies</i>)	365	73	365-717
AP3	4	60 (10 <i>Abies</i> , 50 <i>Pinus</i>)	717	143	
AP3	13	47 (3 <i>Alnus</i> , 12 <i>Pinus</i> , 32 <i>Abies</i>)	703	141	640-897
AP3	15	33 (26 <i>Pinus</i> , 1 <i>Abies</i> , 5, <i>Quercus</i> , 1 <i>Alnus</i>)	897	179	
P1	1	7 (<i>Pinus</i>)	640	128	
P1	3	9 (<i>Pinus</i>)	253	51	208-309
P1	6	10 (<i>Pinus</i>)	208	42	
P2	10	14 (<i>Pinus</i>)	309	62	
P2	11	14 (<i>Pinus</i>)	428	86	289-428
P3	2	16 (<i>Pinus</i>)	289	58	
P3	16	14 (<i>Pinus</i>)	620	124	620-687
P3	17	22 (<i>Pinus</i>)	867	173	
			829	166	

Por los resultados obtenidos, se puede observar que en un área de 500 m², sin importar el tipo de bosque, tomando en cuenta sólo la clasificación de densidad arbórea realizada con la fotointerpretación, los valores de cobertura vegetal se pueden agrupar en tres intervalos: para el bosque escaso (1), de 200 a 300 m², para el bosque semidenso (2), de 300 a 700 m² y finalmente para el bosque denso (3), de 600 a 900 m².

Para el caso de un bosque escaso hay un cubrimiento del 50 % la dimensión del terreno, para un bosque semidenso del 50 al 150 % y, para un bosque denso hay una cobertura mayor, hasta casi 200 % la superficie del terreno.

En la Tabla 14 se muestra también el número y tipo de árboles encontrados en los diferentes sitios de muestreo.

6.4 Deterioro

Principalmente se observó indicio de quema y pastoreo en los bosques de *Pinus*, sin poder definir claramente si en los diferentes grados de cobertura era mayor ó menor. En el caso de los bosques de *Abies* el disturbio se debió principalmente a la tala, en un sitio se contaron 30 tocones de

árboles en 500 m² y en otro, el cual es un bosque mixto (en el que predomina *Abies*), se contaron 17 tocones de árboles. Igualmente el mayor número de troncos tirados cuantificados en 500 m² fueron 16 en un sitio de bosque de *Abies*. En el caso de los bosques de *Pinus* el mayor número de tocones en 500 m² fue de 6, y el mayor número de troncos tirados fue de 2 (Fotos 6 y 7).

También se contaron el número de plántulas en 500 m² y 1000 m². El mayor número de plántulas en 1000 m² que se contaron fue en bosque de *Abies* (A2, sitio 5) con 53 plántulas y en un bosque mixto (AP3, sitio4), en el cual se presentaron 57 plántulas en 1000 m². El máximo de plántulas de *Pinus* que se presentaron fue 81 en un bosque de *Pinus* semidenso (P2, sitio 11)(Figura 8).

A continuación se presentan los resultados particulares para cada uno de los parámetros dasométricos tomados a los árboles por sitio, por comunidad vegetal y densidad de cobertura.

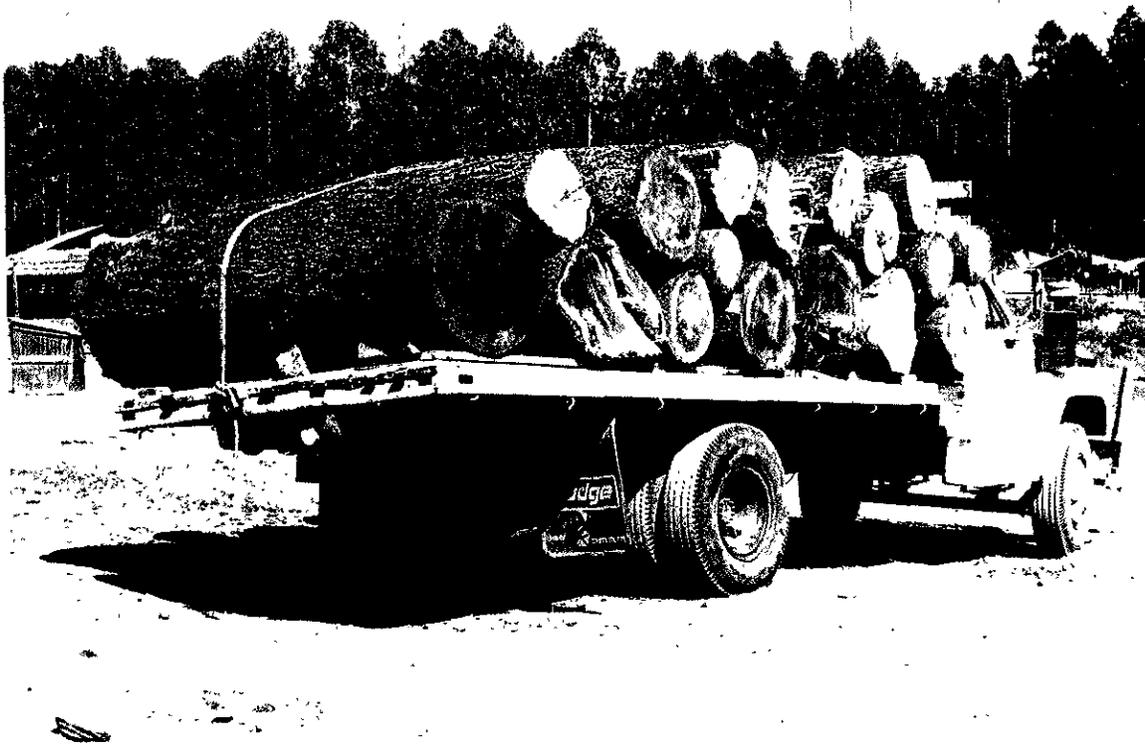
6.5 Altura

a) Altura por tipo de bosque

Con respecto a las alturas, el 75 % de los árboles medidos de *Pinus* se encuentran entre 16 y 32 m, el pino más bajo fue de 3.2 m (sitio 11) y el más alto 36.9 m de altura (sitio 1). En el bosque de *Abies* el 42 % de los árboles se encuentran en un rango más amplio, entre 1.9 y 24 m, solamente el 30 % esta entre 24 y 32 m, el árbol más bajo medido fue de 5.6 m (sitio 8) y el más alto 48.9 m de altura (sitio 12). En el bosque mixto el 57 % de los árboles se encuentra entre 1.9 y 8, el árbol más bajo fue un *Quercus* de 1.9 m (sitio 15) y el más alto un *Abies* de 34.5 m (sitio 14). Los árboles en bosques mixtos presentan las alturas menores de los tres tipos de bosque, ya que la mayoría de los individuos no sobrepasa los 16 m (Figura 10).

b) Altura por sitios

Con respecto a la altura de los árboles por sitios, en el bosque de *Abies* se encontró que el sitio 12, con una densidad arbórea densa (A3) presenta los árboles más altos, de 24 a 48 m (el 79%), el 57% de los árboles del sitio 5 con una talla de 1.9 a 8 m, el sitio 7 el 41 % con una altura entre 24 y 32 m y en el sitio 8 el 32% entre 24 y 32 m de altura. Estos tres últimos sitios (5, 7 y 8) con una clasificación de semidenso (A2) presentan una talla más baja (Figura 8, Figura 10a).



Fotos 6 y 7. Se evaluó el grado de deterioro en los sitios de muestreo mediante la cuantificación de algunos indicios de disturbio como son: troncos caídos, árboles resinados, indicios de quema y pastoreo. Dentro del parque se vieron camiones cargados de troncos como el que se observa en la foto 6.

En el bosque mixto, los sitios 4, 13 y 15 con una densidad (AP3), la mayoría de los árboles no sobre pasan los 16 m de altura, mientras que en los sitios 9 y 14 con una clasificación de bosques semidensos (AP2) presentan una talla mayor, de 24 a 40 m (Figura 10b, Figura 8).

En lo que respecta a los bosques de *Pinus*, la mayoría de los árboles medidos se encuentran en un intervalo de 16 a 32 m de altura (75%). Los sitios 1, 3 y 6 con una densidad arbórea escasa (P1), tienen una talla de 24 a 32 m, los sitios 10 y 11 semidensos (P2), alcanzan una talla de 16 a 24 m y los sitios 2, 16 y 17 con bosques densos (P3) de 16 a 32 m de altura (Figura 10c, Figura 8).

6.6 Cobertura

a) Cobertura por tipo de bosque

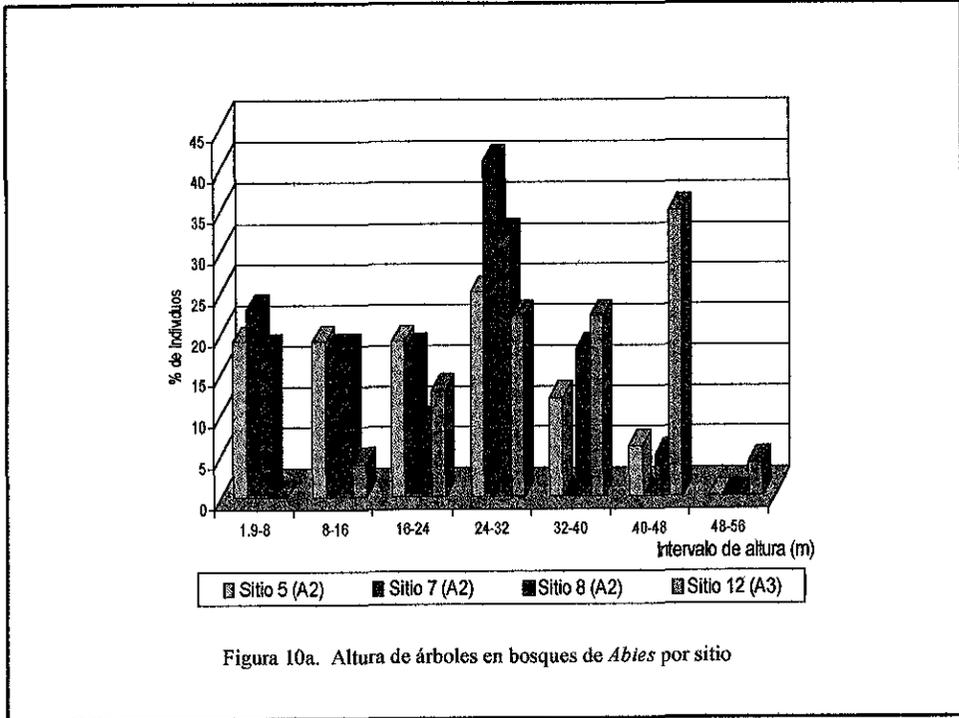
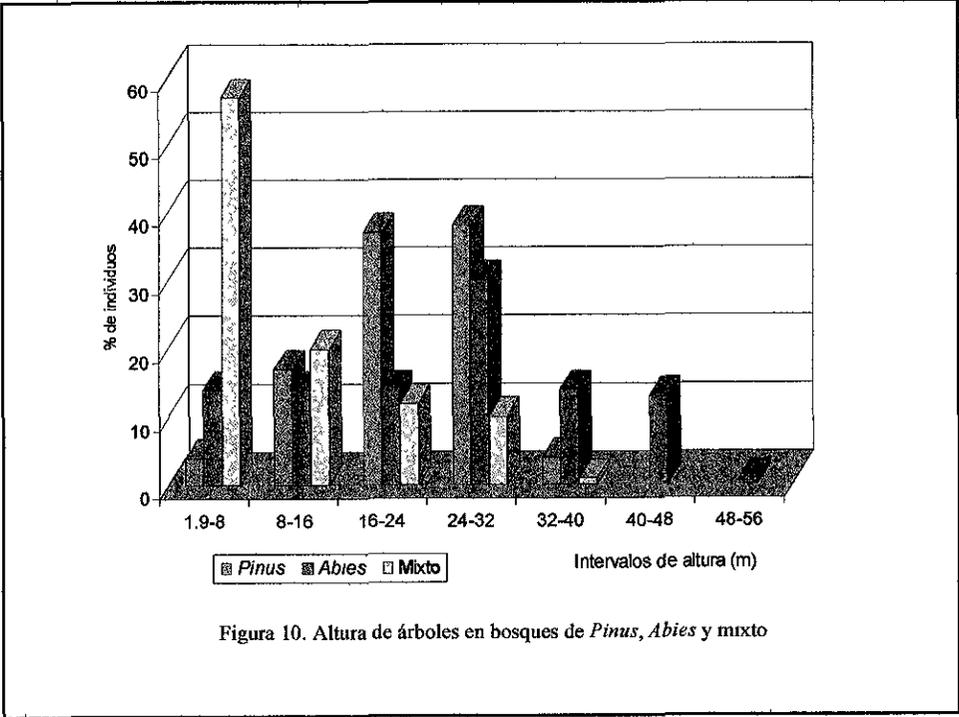
La cobertura que presentan el 58 % de los árboles en bosques de *Pinus* es de 10 a 40 m² por individuo. En el caso de los bosques de *Abies* el 48 % es de 10 a 30 m² por individuo y en los bosques mixtos el 43 % es menor a 10 m². En los bosques mixtos hay una mayor dispersión en los valores de cobertura que en los de *Pinus* y *Abies*, esto se debe a la composición heterogénea del bosque. El pino con menor cobertura medido fue de 2.9 m² (sitio 11,P2) y el de mayor 120.8 m² (sitio 16,P3), el *Abies* con menor cobertura, 2.7 m² (sitio 12,A3) y el de mayor cobertura, 70.21 m² (sitio 12,A3). En el bosque mixto el menor es un *Pinus* con 0.7 m² y el mayor un *Abies* con 144.6 m² (Figura 11, Figura 8).

b) Cobertura por sitios

En lo que respecta a cobertura en el bosque de *Abies*, no hay diferencia entre sitios con diferente densidad arbórea, la mayoría de los árboles tienen una cobertura menor entre 0.8 y 40 m² (Figura 11a). El mayor número de individuos para los sitios 5, 7 y 12 se presenta en el rango de 10-20 m² y en el sitio 8 el 32 % de árboles se presenta en el intervalo de 20-30 m² por individuo.

En el bosque mixto (Figura 11b) el 70 % de individuos del sitio 4 se encuentra en el intervalo de 0.8-10 m², en el sitio 13, el 43% en el intervalo de 10 a 20 m² y en el sitio 15 el 70 % de los individuos medidos en los intervalos de 0.8-10 y 10-20 m², estos sitios tienen una clasificación de densos (AP3).

Los sitios 9 y 14, con una clasificación de semidensos (AP2) presentan pocos individuos con



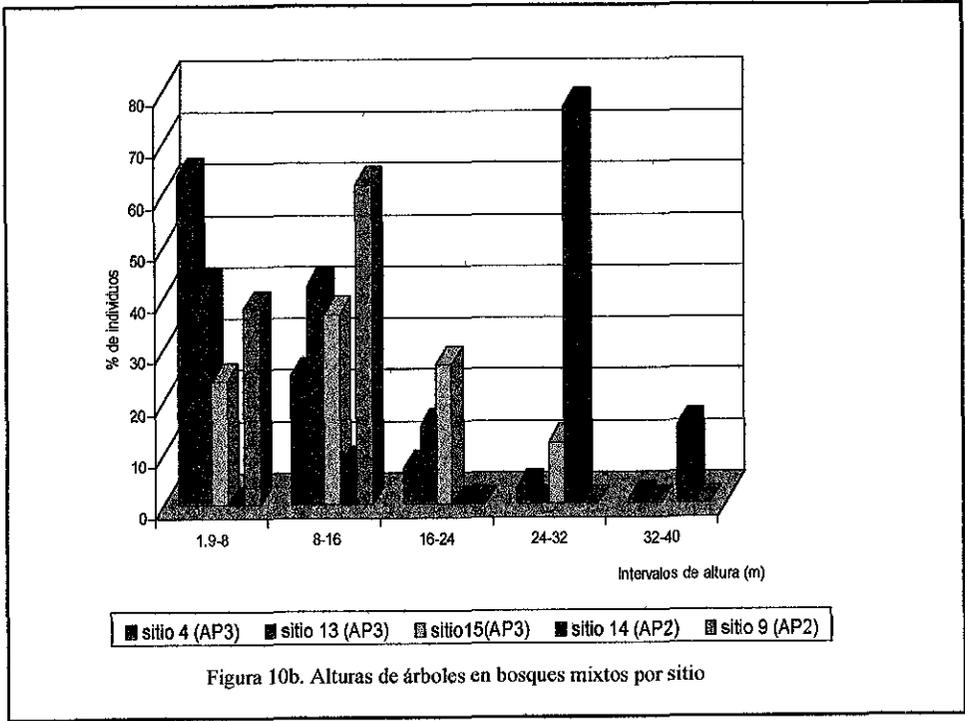


Figura 10b. Alturas de árboles en bosques mixtos por sitio

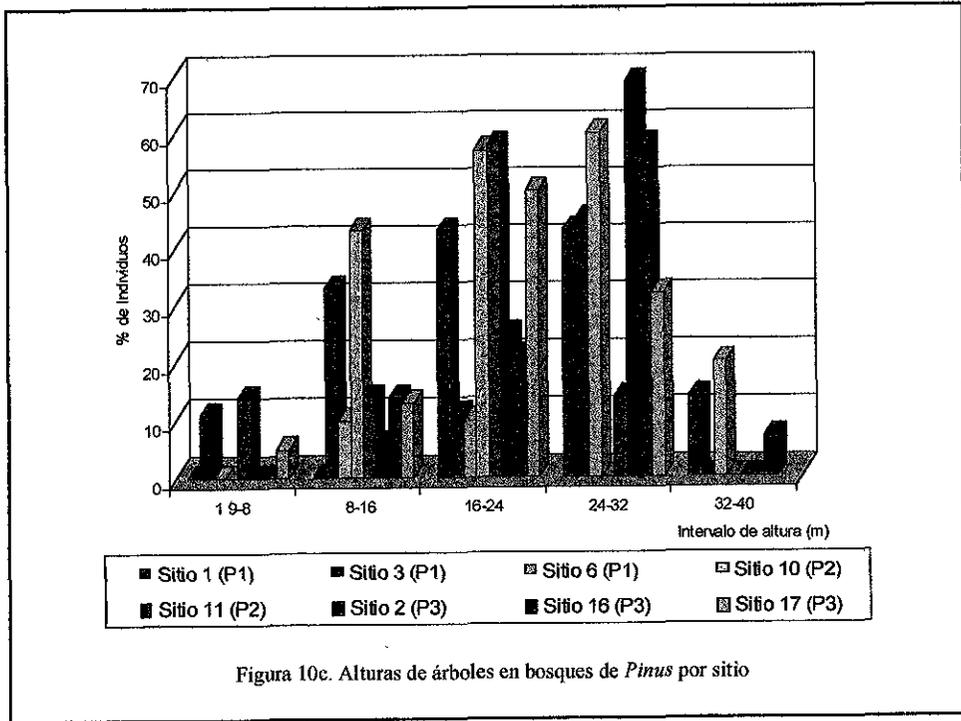


Figura 10c. Alturas de árboles en bosques de *Pinus* por sitio

una cobertura distribuida de 0.8 a 70 m² y el sitio 14 (AP2) tiene el 52% individuos, con una cobertura de 50 a 70 m². En este sitio se encuentran los individuos que presentan mayor proporción del terreno cubierto por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos (Figura 11b, Figura 8).

En los bosques de *Pinus* los sitios 1, 3 y 6 con una densidad arbórea escasa (P1) y los sitios 10 y 11 con una clasificación de semidensos (P2), presentan una cobertura entre 10 y 40 m² por individuo, mientras que los sitios 2 y 17 con bosque denso (P3) presentan una cobertura de 30 a 70 m², y el sitio 16 presenta una cobertura mayor de 50 a 120 m² (Figura 11c, Figura 8).

6.7 Diámetro a la altura del pecho (DAP)

a) DAP por tipo de bosque

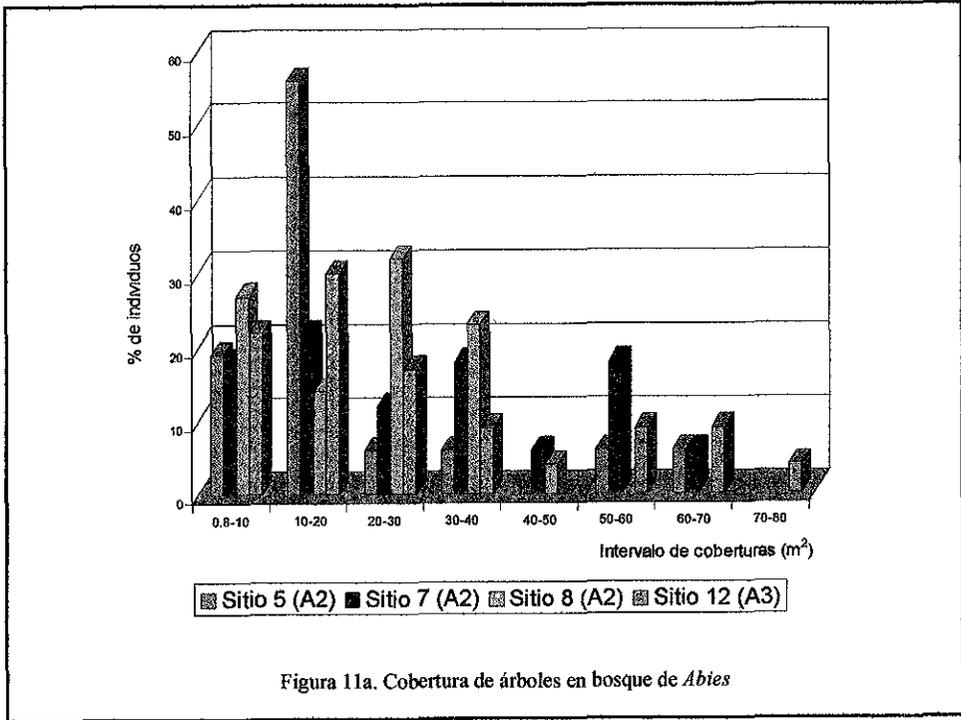
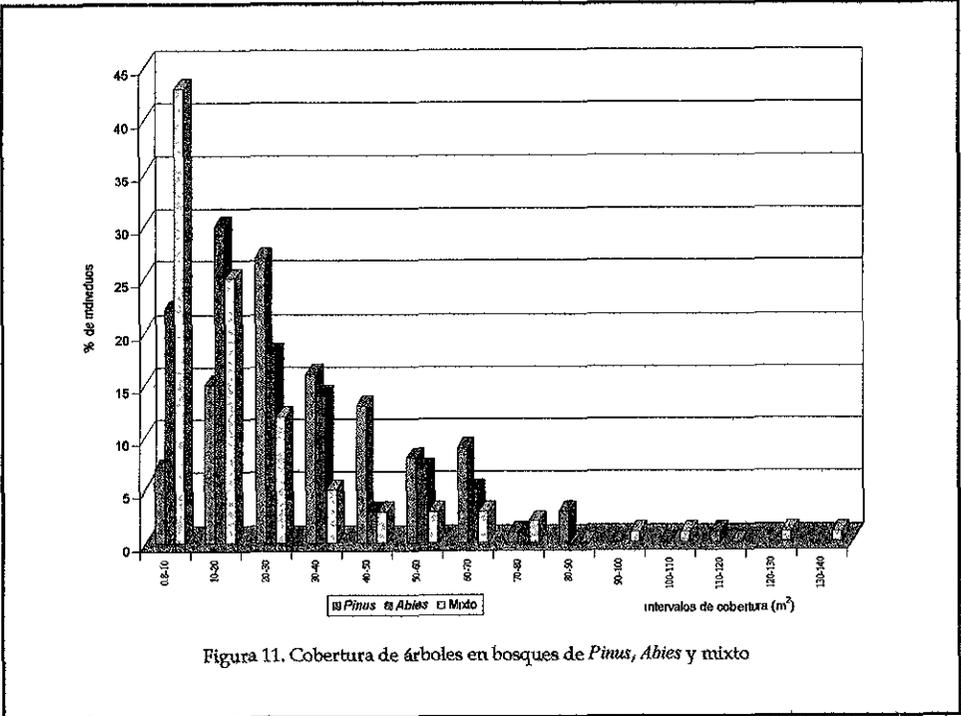
En los bosques de *Pinus*, los promedios de mayor diámetro, se encuentran en los rangos de 0.3 a 0.5 m (57 % de los árboles medidos). El diámetro en los árboles de los bosques de *Abies* presenta un intervalo más amplio pero, como en el caso de los bosques de *Pinus*, son pocos los individuos que sobrepasan 0.6 m. Al igual que en el caso de coberturas, los bosques mixtos presentan un intervalo más amplio de diámetros hasta de 1.1 m, aunque el 46% de individuos se concentra en el intervalo de 0.1 a 0.2 m (Figura 12)

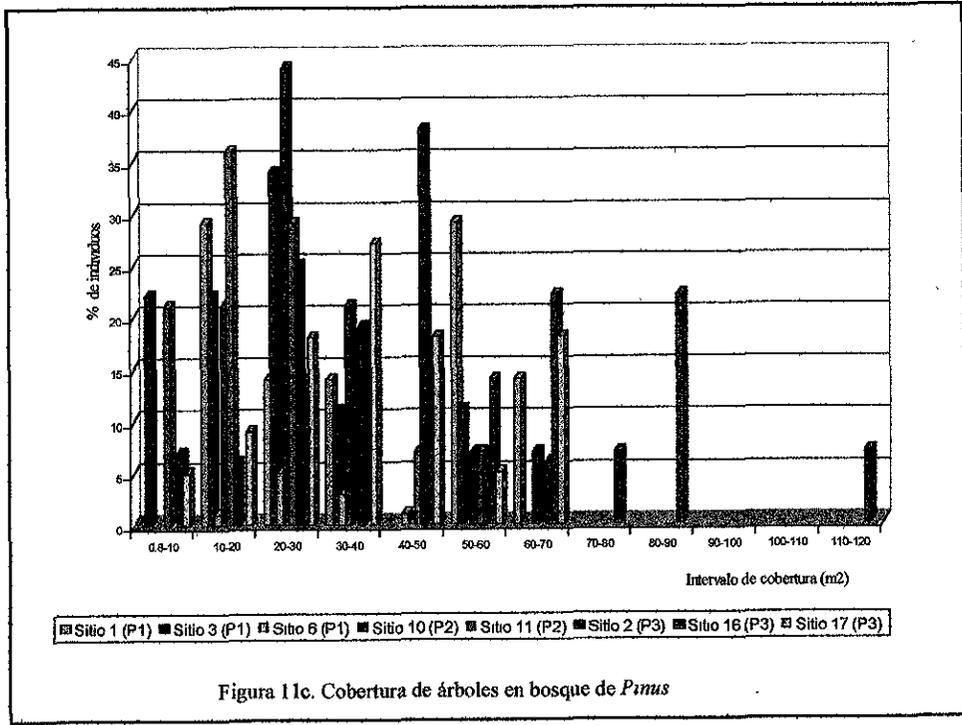
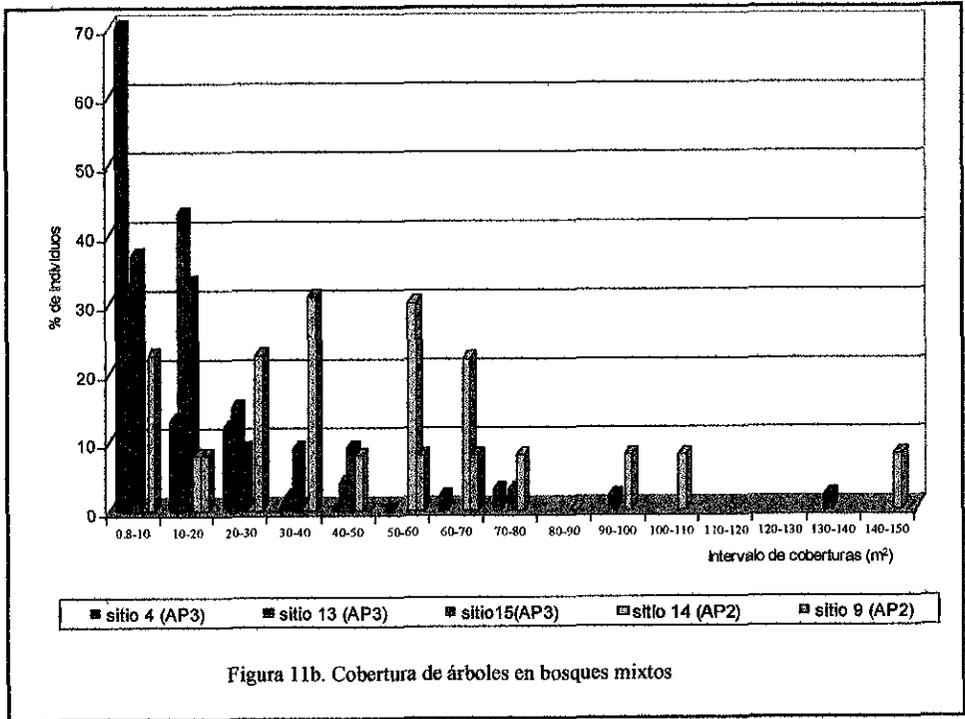
El pino más delgado medido fue de 0.10 m (sitio 11, P2) y el más ancho 0.81 m (sitio 10, P2), el *Abies* con menor DAP fue de 0.08 m (sitio 7, A2) y el más ancho 0.86 m (sitio 5, A2) y en cuanto al bosque mixto, el árbol más delgado fue un *Alnus* con 0.05 m (sitio 9) y el más ancho un *Pinus* con 1.05 m (sitio 15, AP3) (Figura 8).

b) DAP por sitios

Con respecto al DAP en bosques por sitios, encontramos que en los sitios 4, 13 y 15, tienen los troncos con DAP menor de 0.05 a 0.4 m. Los sitios 9 y 14 semidensos (AP2), presentan los individuos con mayor DAP de 0.5 a 1.1 m (Figura 12a).

No existe el mismo comportamiento para el bosque de *Abies*, donde el sitio 12 (A3) con mayor densidad arbórea, presenta los árboles más gruesos de 0.4 a 0.9 m, mientras que los sitios 5, 7 y 8 con una densidad arbórea de semidenso (A2), presentan árboles con DAP menor a 0.6 m





(Figura 12b).

Con respecto al bosque de *Pinus* no hay una diferencia marcada con respecto al DAP. La mayoría de los pinos medidos tienen un DAP entre 0.3 y 0.6 m, sin importar la densidad arbórea (Figura 12c).

6.8 Tenencia de la tierra y uso del suelo.

Con respecto a la información sobre la tenencia de la tierra, se consultó una carta escala 1:40,000 de las propiedades ejidales de esta área, aportado por la CEPANAF, que fue realizado por la delegación de SEDUE en el Estado de México. En ésta se señalan los deslindes de los ejidos, información tomada del Departamento Agrario de la SRA (Secretaría de la Reforma Agraria). Sin embargo esta información carece de valor cartográfico pues es solamente un croquis donde se muestran los deslindes. Se obtuvo información de INEGI de los predios forestales sobre la carta topográfica 1:50,000, por lo que se consideró de mayor valor y veracidad.

En la Tabla 15 se señalan los 10 municipios y las 37 comunidades y ejidos que se encuentran en 30,000 ha del parque, que realizan explotación pecuaria, agrícola y forestal en el área de estudio. También se señalan dos áreas que corresponden a propiedad federal (5,000 ha), una en el municipio de Toluca y la otra en el de Zinacantepec. No se obtuvo información sobre las propiedades privadas (15,000 ha, SARH 1993) que afectan el parque (Figuras 8 y 13).

Los resultados de la sobreposición del mapa de los diferentes predios (Figura 13) y el mosaico fotográfico (Figura 8) son los siguientes:

- Los municipios que se ven más afectados por la agricultura son: al E, Calimaya 50% y Tenango del Valle 30%, al NE, Toluca 30%, y al W, Zinacantepec 25% (Fotos 8 y 9).
- Los municipios que presentan del 2 al 15% de pastizales en su territorio son: Amanalco al NW, Coatepec Harinas y Zacango al S, Temascaltepec y Zinacantepec al W y Toluca al NE, (Tabla 16).
- Los municipios con mayor superficie de bosque de pinos son: Zacango 58% (al S), Tenango del Valle 50% (al E) y Coatepec Harinas 45% (al S). Los municipios con mayor superficie de bosque de *Abies* son: Amanalco 83% (NW), Temascaltepec 75% (al W) y Almoloya de Juárez 70% (al NW). El municipio con mayor superficie en bosque mixto es Texcaltitlán 50% (al SW) (Tabla 16).

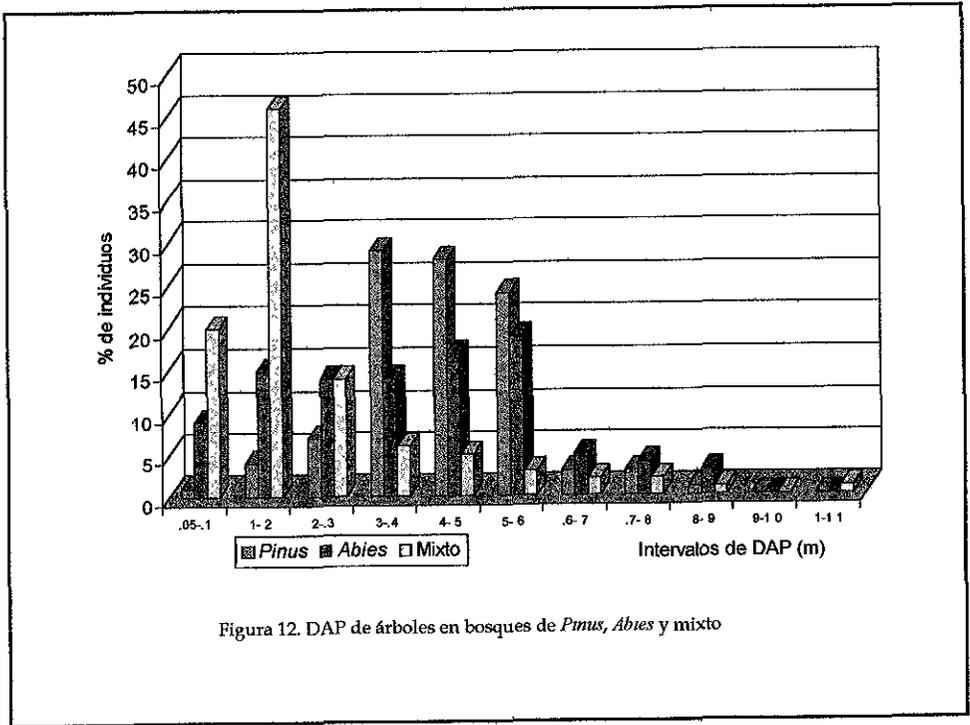


Figura 12. DAP de árboles en bosques de *Pinus*, *Abies* y mixto

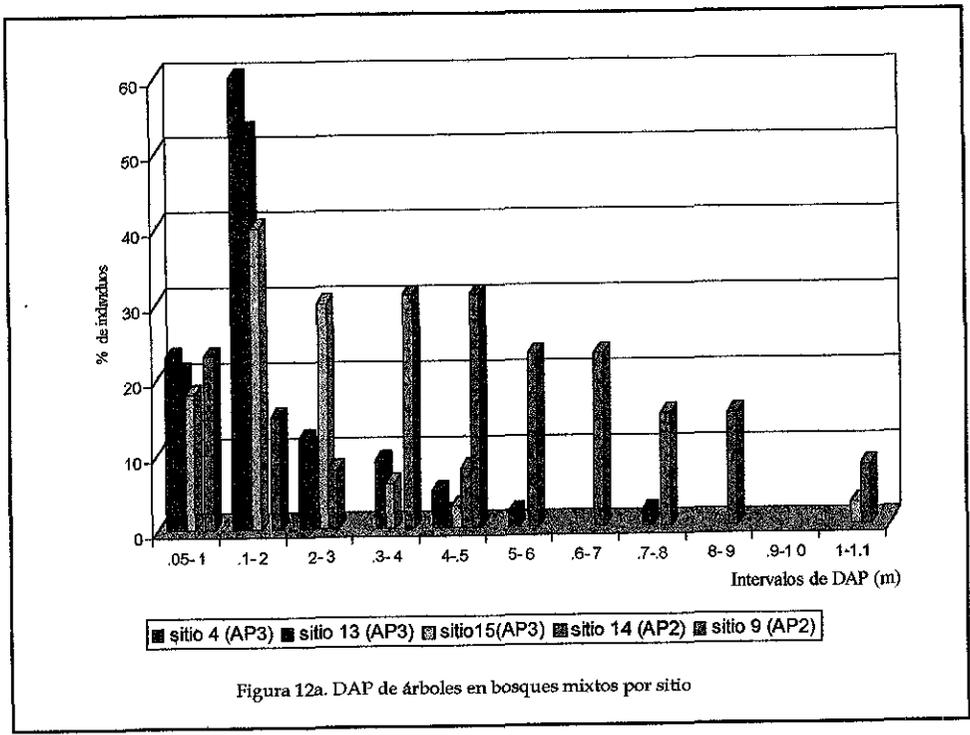


Figura 12a. DAP de árboles en bosques mixtos por sitio

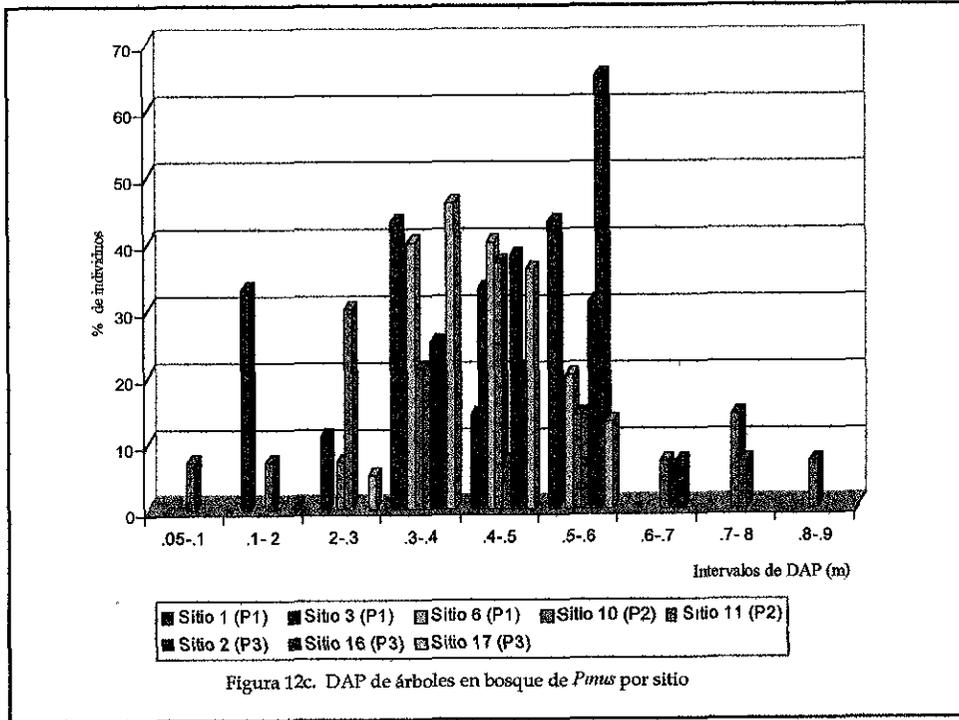
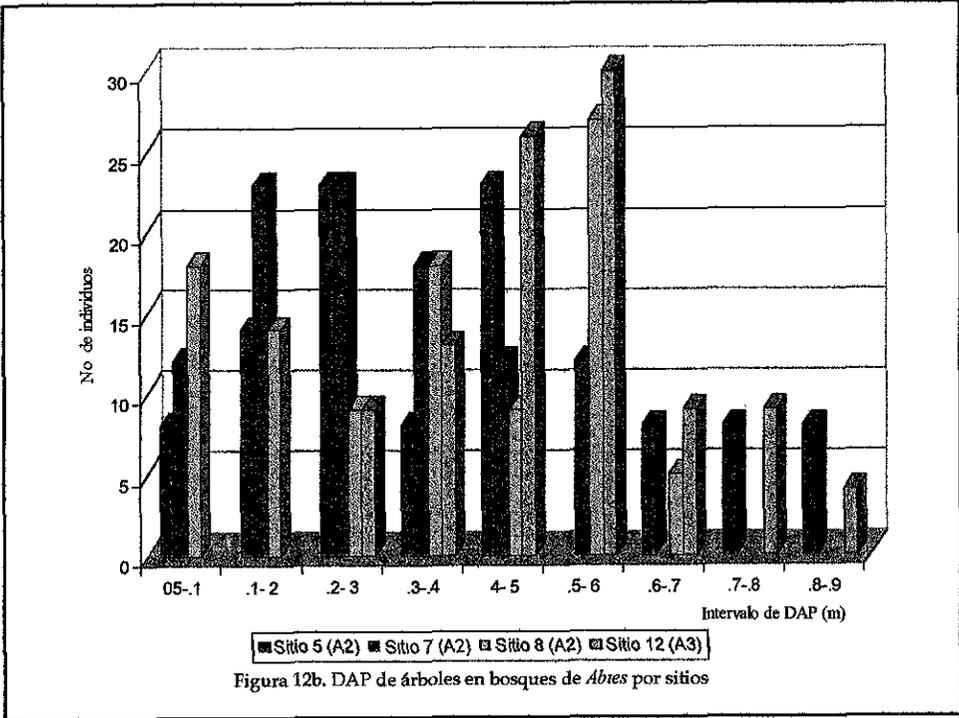


Tabla 15. Ejidos y comunidades del Parque Nacional Nevado de Toluca.

<i>Municipio</i>	<i>Ejido o comunidad agraria</i>
Almoloya de Juárez	Ampliación Ejido Santa María del Monte Dotación Ejido Arroyo Zarco Dotación Ejido El Estanco Dotación Ejido San Agustín Potege
Amanalco	Ampliación Ejido Santiago del Monte Dotación Ejido Agua bendita Dotación Ejido el Capulín Dotación Ejido San Bartolo
Calimaya	Comunidad Agraria Calimaya
Coatepec Harinas	Dotación Ejido Coatepec Harinas Dotación Ejido Palo Seco
Temascaltepec	Ampliación Ejido La Comunidad Ampliación Ejido San Mateo Almomoloa Comunidad Agraria San francisco Oxtotilpan Dotación Ejido San Antonio Albarranes Dotación Ejido El Varal Dotación Ejido San Miguel Oxtotilpan Dotación Ejido San francisco Oxtotilpan Dotación y ampliación del Ejido Tequesquiapan núcleo II
Tenango del Valle	
Texcaltitlán	Ampliación Ejido Palo Seco Ampliación Ejido Las Lagrimas
Toluca	Ampliación Ejido Cacalomacan Comunidad Agraria Santiago Tlacotepec Dotación Ejido Santiago Tlacotepec Parque Nacional
Zacango	Comunidad Agraria Zacango Dotación Ejido Zacango Comunidad Agraria San José
Zinacantepec	Ampliación Ejido San Juan de las Huertas Ampliación Ejido San Pedro Tejalpa Ampliación Ejido Santa Cruz Cuauhtenco Ampliación Ejido Santa María del Monte Ampliación Ejido San Cristóbal Tecolit Ampliación Ejido san Antonio Acahualco Ampliación Ejido San francisco Tlalcilalpa Ampliación Ejido San José Contadero Dotación Ejido Loma Alta Dotación Ejido La Peñuela Dotación Ejido La Puerta Dotación Ejido Buenavista Parque Nacional



Fotos 8 y 9. El cambio de uso del suelo por agricultura se estimó en un 21% (10,476 ha) dentro del parque, según la fotointerpretación. Los municipios más afectados son: Calimaya, Tenango del Valle, Toluca y Zinacantepec.

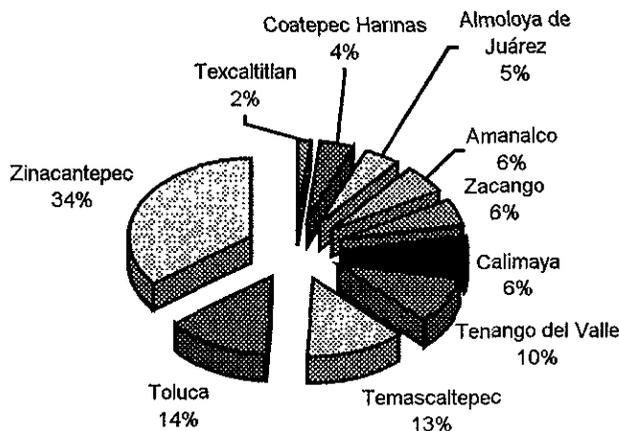
Por lo tanto, los municipios con mayor cobertura vegetal son: Texcaltitlán 100%, que es el municipio con menor número de hectáreas de parque (857 ha), Zacango 98%, Coatepec Harinas y Temascaltepec 95%, Amanalco 93% y Almoloya de Juárez 80%, estos municipios tienen un intervalo de 2,252 a 2,909 ha, con excepción de Temascaltepec que tiene 6,571 ha (Figura 13).

Tabla 16. Porcentaje del uso del suelo que tiene cada uno de los diez municipios que forman el Parque Nacional Nevado de Toluca. (*) La cobertura vegetal corresponde a la suma de lo estimado para cada uno de los tres tipos de bosque. (**) Hectáreas de cada municipio dentro del Parque.

Municipio	Hectáreas (**)	Agricultura (%)	Pastizal (%)	Terrazas (%)	Cobertura vegetal (*)	Bosque de <i>Pinus</i> (%)	Bosque de <i>Abies</i> (%)	Bosque mixto (%)
Zinacantepec	17,978.9	25	2	3	70	40	25	5
Toluca	7,151.5	30	15	15	40	40		
Temascaltepec	6,571.5	1	3	1	95	20	75	
Tenango del Valle	4,940.4	30			70	50	20	
Calimaya	3,012.6	50		20	30	30		
Zacango	2,909.0		2		98	58	40	
Amanalco	2,867.5	5	2		93		83	10
Almoloya de Juárez	2,459.8	20			80	10	70	
Coatepec Harinas	2,252.5		5		95	45	50	
Texcaltitlán	856.8				100	50	50	

En la Figura 14, se observa el porcentaje de la superficie que tiene cada uno de los 10 municipios dentro del parque, siendo Zinacantepec el de mayor superficie 17,979 ha (34%) y Texcaltitlán el de menor superficie 857 ha (2%).

Figura 14. Porcentaje del área que tiene cada uno de los municipios dentro del parque Nacional Nevado de Toluca.



Capítulo VII

Discusión y Conclusiones

Se considera que la metodología empleada, utilizando técnicas mixtas, basada fundamentalmente en técnicas de fotointerpretación, aunada a una caracterización en campo de áreas previamente seleccionadas, permitió alcanzar el objetivo general de este trabajo que fue evaluar el estado actual en el que se encuentra el Parque Nacional Nevado de Toluca. Esta metodología es adecuada para proveer de información básica que puede ser utilizada para caracterizar no solamente a nivel forestal el área, sino también para particularizar en algunos aspectos ecológicos y de perturbación.

Por medio del análisis de las fotografías aéreas se determinó la distribución y las características espaciales como densidad de los tres tipos de bosques (*Pinus*, *Abies* y mixto) presentes en el parque, considerando las tres clases de densidad arbórea: escasa (1), semidensa (2) y densa (3), alcanzándose el objetivo de zonificación de los diferentes tipos de bosque presentes en el parque, además de identificarse los diferentes usos del suelo dentro del mismo.

Se comprobó que existe una correspondencia entre la descripción fisonómica en el campo, y la realizada por la fotointerpretación, es decir, un bosque abierto en el campo, corresponde a una densidad arbórea P1 (escasa) determinada a través de la fotointerpretación.

También existe una correspondencia entre la densidad arbórea determinada por la fotointerpretación y la cobertura vegetal calculada a partir de la medición de árboles individuales en campo. La proporción ocupada por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos presentes en los sitios de muestreo es de 50 % para un bosque escaso (P1), de 50 a 150 % para un semidenso (P2) y hasta casi 200 % la dimensión del terreno (500 m^2) para un bosque denso (P3), sin importar el tipo de bosque que se evalúe. Estos resultados permiten hacer proyecciones combinando la densidad arbórea fotointerpretada con los intervalos de cobertura vegetal calculada en el campo.

La clasificación por densidad arbórea evaluada en la fotointerpretación y su correspondiente caracterización en el campo, proporciona datos sobre la estructura, abundancia y composición de las comunidades vegetales del parque lográndose uno más de los objetivos específicos.

Así los sitios caracterizados con respecto a las especies dominantes, subdominantes y porcentajes de cobertura indican un mayor número de especies en los bosques de *Abies* y en bosques

mixtos, que en los bosques de *Pinus*. En este caso las estimaciones de cobertura por estrato y no por especie dan una mejor idea de la composición de la comunidad vegetal estudiada.

La fotointerpretación con el apoyo del trabajo de campo es fundamental para la caracterización de los bosques de *Pinus*, bosques de *Abies* y bosques mixtos. Se comprobó que la fotointerpretación realizada sobre densidad arbórea, se traduce en campo en una combinación del número de individuos, mayor DAP, cobertura y altura promedio de los árboles. De esta manera la cobertura densa en bosques de pino (P3), refiere mayor número de individuos, DAP y altura con respecto a una densidad arbórea escasa (P1) y semidensa (P2).

En los bosques de *Pinus*, los parámetros de altura, cobertura y DAP evaluados, indican que la densidad arbórea escasa (P1) refleja una comunidad madura, pero muy dañada, solo 17 individuos en 1,000 m², con 24 m de altura y 30 m² de cobertura en promedio.

En el caso de los bosques de *Pinus* semidensos (P2) la comunidad tiene un mayor número de árboles jóvenes de 16 m de altura, 26 m² de cobertura por individuo y 0.43 m de DAP en promedio y para los bosques densos (P3), la comunidad es madura, pero no está dañada, los árboles alcanzan 24 m de altura (igual que para P1), sin embargo, la cobertura es mayor, 45 m² por individuo y 0.47 m de DAP y la densidad es mucho mayor, 31 individuos en 1000 m², casi el doble que para los bosques escasos (P1).

Con respecto a la altura, los *Abies* son los árboles más altos de los tres tipos de bosques, ya que miden de 24 a 32 m; la mayoría de los árboles de *Pinus* se encuentran entre 16 y 32 m, y en el caso del bosque mixto el mayor número de individuos no sobrepasa los 16 m de altura (son los más bajos).

Con respecto a los bosques de *Abies*, la densidad arbórea A2 semidensa presente en los sitios 5,7 y 8, tienen una altura menor a 24 m, mientras que en los bosques densos A3, son más altos, miden entre 24 y 40 m, sin embargo en cuanto al número de individuos en 1000 m², no hay una diferencia significativa, 52 para A2 y 59 para A3.

También se han determinado en los diferentes sitios de muestreo, los sitios mejor conservados, si se consideran los valores más altos presentados en los parámetros evaluados (altura, cobertura y DAP). Por lo tanto se presentan diferencias importantes entre los tipos de comunidades vegetales en lo referente al número de árboles, DAP, altura y cobertura.

Con respecto al uso del suelo se destaca la tala de árboles, principalmente en los bosques de *Abies*. En los bosques de *Pinus*, la práctica de pastoreo, que va asociada a quemadas inducidas con el

propósito de proveer de forraje al ganado, es más notoria. También dentro de la zona de estudio, existe perturbación ocasionada por la extracción de materiales para la construcción (minas a cielo abierto) identificadas tanto por la fotointerpretación como por el trabajo de campo. El hecho de que el área de estudio esté considerada como parque nacional no ha sido suficiente para evitar diferentes grados de perturbación provocada por la acción humana.

La abundancia de *Lupinus montanus* y *Penstemon gentianoides* con porcentajes de cobertura en el estrato herbáceo del 15 al 30% (sitios 1, 6, 16 y 17) son ejemplos de que especies han sido favorecidas por los diferentes tipos de perturbación en el área (pastoreo, tala y quema principalmente) (Almeida-Leñero, 1997)

En cuanto a la regeneración del bosque, el mayor número de plántulas se encuentra en los bosques de *Pinus* 81 para el sitio 11 (P2), en los bosques mixtos 57 plántulas en el sitio 4 (AP3) y finalmente el bosque de *Abies* con 53 plántulas en el sitio 5 (A2), en un área de 1000 m² en cada caso.

Los municipios que requieren de una reforestación más intensa, debido al cambio de uso del suelo por la agricultura son: Calimaya y Tenango del Valle al E del volcán, el municipio de Toluca al NE y el municipio de Zinacantepec al W del parque.

Los municipios que en su superficie tienen mayor cobertura vegetal son: Texcaltitlán, municipio con un área menor (857 ha) dentro del parque, Temascaltepec con 6,572 ha Zacango, Coatepec Harinas, Amanalco y Almoloya de Juárez. Estos últimos con áreas entre 2,253 y 2,909 ha.

El procedimiento para la elección de los sitios de muestreo difiere de los criterios aleatorios o sistemáticos propuestos y realizados por otros autores con anterioridad, así como de las contribuciones metodológicas propuestas para inventarios de zonas forestales con fines de producción y explotación, donde se recomienda una intensidad de muestreo del 0.5 % de la superficie total (Villa Salas, 1993). En el caso del parque, el área total de bosque es de 36,400 ha (resultado de la fotointerpretación), por lo que se tendrían que muestrear 182 sitios de 1 ha cada uno para poder cumplir con lo sugerido por esa metodología. Esto, en términos de recursos económicos y humanos así como de tiempo, requeriría un estudio de varios años para obtener resultados.

Existen zonas dentro del área de estudio donde se debe intensificar el muestreo, ya que de los 10 municipios que incluye el parque total o parcialmente, solo en 5 municipios se tienen sitios de muestreo en campo. Las áreas donde se recomienda intensificar el muestreo son: la Zona de Santa

María del Monte, San José el Contadero y el Cerro San Antonio al NW del volcán, La Cieneguilla al S y la zona de San Miguel Balderas al E del volcán.

También se recomienda utilizar fotografías aéreas de mayor escala, que permitan establecer la diferencia entre la clase cobertura arbórea escasa y la semidensa en los bosques de *Abies* y bosques mixtos. En estos casos, difícilmente se pueden diferenciar en cuanto a textura y tonalidades de grises por la fotointerpretación a escala media. Con los muestreos en el campo tampoco se pueden diferenciar, por lo que se determinó una sola categoría para estas dos clases de densidad arbórea que es la semidensa (A2 y AP2). El no haber encontrado la densidad arbórea escasa (A1y AP1), hace suponer que esta densidad arbórea no existe espacialmente y esto se debe a las características estructurales y composición del tipo de bosque.

Esta metodología de trabajo se propone para realizar evaluaciones rápidas y confiables de las zonas de bosques templados de México, como una herramienta fundamental que proporciona información básica para la realización de los ordenamientos de las áreas naturales protegidas del país.

Dada la importancia que tienen los bosques, tanto biológica (para conservar la biodiversidad), ambiental (como elemento estabilizador de los suelos, ciclo del agua, fijación del carbono, regulador del clima del área) y social (por la riqueza de los bosques o la pobreza de las comunidades), como económica (como fuente de ingreso por los productos maderables y no maderables), es fundamental encontrar metodologías de trabajo que permitan hacer evaluaciones que arrojen información confiable para la toma de decisiones en cuanto al plan de manejo de las áreas naturales protegidas, ya que hay que recordar ... los recursos forestales no son un recurso renovable....

CAPITULO VIII

Referencias bibliográficas

- Almeida-Leñero L. 1997. Vegetación, Fitogeografía y Paleoecología del Zacatonal Alpino y Bosques Montanos de la Región Central de México. Ph.D. Thesis, University of Amsterdam p.251.
- Blommfield, K. y S. Valastro Jr. 1974. Late Pleistocene Eruptive History of Nevado de Toluca Volcano, Central México. Geological Society of America Bulletin 85:901-906.
- CEPANAF Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (s/f). Parques Naturales Estado de México, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología. p.48.
- CETENAL 1976a. Carta Edafológica. Hoja Toluca, Clave E14A37; Hoja Nevado de Toluca, clave E-14A47, Hoja Tenango de Arista, E14A48; escala 1:50 000.
- CETENAL 1976b. Carta Uso del suelo. Hoja Toluca, Clave E14A37; Hoja Nevado de Toluca, clave E-14A47; Hoja Tenango de Arista, clave E14A48; escala 1:50 000.
- Código Forestal 1970. SAG Subsecretaria Forestal y de la Fauna. Departamento de Divulgación. p.962-968 .
- Colón, L. 1987. Estudio florístico ecológico de los hongos (macromicetos) en el Parque Nacional del Nevado de Toluca.. Tesis de Licenciatura (Biología), Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. p.96.
- Du Rietz, G.E. 1931. Life forms of terrestrial flowering plants. Acta Phytogeogr 3:1-95.
- García, E. 1988 Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios. México. p. 217.
- Gobierno del Estado de México. 1993. Atlas del Estado de México 1a.ed. 2:235.
- González, M. L. y M.L. Medina 1996. La batalla del Esquí. Periódico Reforma. 8 de marzo p.8A
- González Trápaga, M. A. 1986. Descripción y aspectos fitogeográficos de la Vegetación Alpina del Nevado de Toluca.. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. p.124.
- Hayama, M. L. 1971. Estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas del Nevado de Toluca. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. p.70.
- INE 1995. Programa de áreas naturales protegidas de México 1995-2000.
- INE 1998. Resultados y avances del Programa de Áreas Naturales Protegidas de México 1995-2000.
- INE (s/f) SEMARNAP Dirección General de Conservación y Aprovechamiento Ecológico. Dirección de Reservas y Áreas Naturales Protegidas, tríptico "Parques Nacionales"

- INEGI 1983. Carta Geológica. Hoja Ciudad de México. Clave E-14-2, escala 1:250 000, México.
- INEGI 1987. Guías para la interpretación de cartografía. Fotografía Aérea. México. p.34.
- INEGI 1992. Carta Topográfica. Hoja Toluca, Clave E-14A37; Hoja Nevado de Toluca, clave E-14A47; Hoja Tenango de Arista, clave E-14A48; escala 1:50 000, México.
- López, R. 1987. Evaluación de los daños causados por pudriciones del duramen en Oyamel en el ejido Loma Alta, Nevado de Toluca, Zinacantan. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. p.35.
- Matteucci, S. y A. Colma 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y tecnológico. Washington, D.C. p.168.
- Mittermeier, R.A. y C.G. Mittermeier 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. In: Sarukhán, J. y R. Dirzo. México ante los retos de la biodiversidad. CONABIO, México. p.343.
- Moravec, J. 1973. The determination of the Minimal Area of Phytocoenoses. Folia Geobot. Phytotaxon. Praha. 8:23-47.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley International Edition. USA. p. 547.
- Mueller-Dombois, D., M. Little y T. Van der Hammen. 1988. Manual of methods for transect studies. Comparative studies of tropical mountain ecosystems. International Union of Biological Sciences. Suiza. p.65.
- Munsell Soil Color Chart 1973. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland.
- Navarro J. 1971. Algunos estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas del Nevado de Toluca (región este y sur). Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. p.43.
- Ornelas de Anda, J., E. Borbolla, D. Evans, Z. Zhiliang y S. Eggen 1992. Mapeo de la cubierta forestal de México usando imágenes AVHRR. SELPER. Special Edition ISY WFW Conference. Vol. 8 (2).
- Ramírez, V. 1996. Conferencia Magistral. Primer Simposio sobre Protección en Áreas Naturales Protegidas. Valle de Bravo, Edo. de México. PROFEPA, Fac. de Geografía, U.A.E.M., AMIDES. 18-20 diciembre de 1996.
- Ruiz, M. 1982. Breve descripción de algunas técnicas de muestreo. Bol. Divulgativo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. SARH. México. 61:34.
- Salcedo, M. A. 1986. Herpetofauna del Parque Nacional del Nevado de Toluca. (Guía de Campo). Tesis de Licenciatura (Biología), Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. p.103.

- SARH 1979. Plano General de la Región Hidrológica Núm. 18. Cuenca del medio y bajo Balsas. Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Estudios. Subdirección de Hidrología, Mayo 1979.
- SARH 1993. Plan de Manejo. Parque Nacional Nevado de Toluca. Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre. p.44.
- SAG 1974. Inventario Forestal del Estado de México. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. 29: 20-22.
- Sandoval , A. J. 1987. Actualización y análisis cartográfico sobre uso del suelo y vegetación del Parque Nacional Nevado de Toluca, Edo. de México. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. p.107.
- SEDUE 1989. Gaceta Ecológica. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 1(1)
- Sosa Cedillo, J. 1981. Inventarios Forestales. Ciencias Forestales. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. División Forestal. 6(31):18-42.
- Spiegel, M.R. 1987. Estadística. Serie Schaum. Mc Graw Hill, México. p.357.
- SPP 1981a. Carta de climas. México. Escala 1:1 000 000.
- SPP 1981b. Carta Fisiográfica. México. Escala 1:1 000 000.
- SPP 1981c. Guía para la interpretación de cartografía. Edafología. p.45.
- Vargas, M. 1984 Parques Nacionales de México y reservas equivalentes. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM.
- Vela L., J. Boyas, y A. Hernández 1976. El Nevado de Toluca. Ciencia Forestal. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 1(4) 53-61.
- Villalpando, O. K. 1968. Algunos aspectos ecológicos del volcán Nevado de Toluca. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. p.36.
- Villa Salas, A. 1993. Generalidades sobre la forma y el tamaño de los sitios de muestreo usados en inventarios forestales. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. División Forestal. México. Publicación especial. 2a. ed. 64: 53-58.

Villa Salas A. y M. Caballero de Loya 1993. Técnicas de muestreo usadas en México en inventarios forestales. Desarrollo Histórico. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. División Forestal. México. Publicación especial. 2a. ed. 64:21-48.

Villers-Ruiz, L., J. López-Blanco, J. Hernández-Lozano y I. Trejo-Vázquez 1995. Delimitación de áreas de bosque en predios forestales en el Nevado de Toluca, México: integrando en SIG. Inventarios, imágenes MSS y fotomapas. Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota SELPER. p. 621-627.

Villers-Ruiz, L. y J. López-Blanco 1995. Evaluación del uso agrícola y forestal del suelo en la Cuenca del Río Temascaltepec, Nevado de Toluca. Boletín Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía UNAM. 31: 69-92.

Villers-Ruiz, L., J. López-Blanco y L. García del Valle 1996. Evaluación Forestal del Parque Nacional Nevado de Toluca: resultados preliminares. Memorias del Primer Simposio Sobre Protección en Areas Naturales Protegidas, Valle de Bravo Edo. de México. Procuraduría General de Protección al Medio Ambiente. 18 al 20 diciembre 1996. p. 417-426.

Villers-Ruiz, L., L. García del Valle y J. López-Blanco 1998. Evaluación de los bosques templados en México: una aplicación en el Parque Nacional Nevado de Toluca. Boletín Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía UNAM. 36: 7-19.

Werger, M.. 1974. On concepts and techniques applied in the Zürich Montpellier method of vegetation survey. Bothalia 11 (3): 309-323

Westhoff, V. y E. Van der Maarel 1978. The Braun-Blanquet approach. In: R.H. Whittaker. Junk. Classification of Plant Communities. p.287-399.

Wilson, R.C. 1960. Photo Interpretation in forestry. Chapter 7, Manual of Photographic interpretation. American Society of Photogrammetry. USA. p.457-520.

Anexo 1. Datos climatológicos de las estaciones meteorológicas: Nevado de Toluca, San Francisco Tlalcalalcalpan y Tenango del Valle, Edo. de México.

Nevado de Toluca (4120 msnm) Tipo de Clima E(T)C(w ₂)i															
TEMPERATURA MEDIA (°C)															
años	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	annual	P/T	Osc.
15	2.9	2.4	4.3	5.3	5.5	5.7	4.6	4.5	4.5	4.3	3.5	3	4.2	289.2	3.3
PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)															
años	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	annual		%P Inv.
15	16.4	23	32.4	55.9	127.4	187.4	248.7	225.4	182.5	88.8	14.6	12	1215		5.9
San Francisco Tlalcalalcalpan (3000 msnm) Tipo de clima Cb(w1)(w)ig															
TEMPERATURA MEDIA (°C)															
años	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	annual	P/T	Osc.
33	10.9	11.7	13.6	14.7	15.7	15	14.4	14.4	14.4	13.5	12.2	11.1	13.5	54.75	4.8
PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)															
años	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	annual		%P Inv.
33	12.5	7.7	11.7	32.5	70	132.4	141.4	129.6	118.6	56	20.2	6.5	739.1		4.32
Tenango del Valle (2600 msnm) Tipo de clima Cb(w ₂)(w)i															
TEMPERATURA MEDIA (°C)															
años	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	annual	P/T	Osc.
25	9.7	10.5	12.2	13.5	14.3	14.4	13.5	13.8	13.9	12.9	11.1	9.4	12.4	59.3	5.1
PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)															
años	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	annual		%P Inv.
25	14.1	7.4	11.1	27.9	65.1	132	156.6	130.3	122.5	42.2	20.8	4.9	734.9		4.4

P/T = coeficiente de precipitación entre temperatura
 % P Inv = porcentaje de precipitación invernal
 Osc = oscilación térmica

Anexo 2. Formato para el levantamiento botánico de un perfil de vegetación

LEVANTAMIENTO BOTÁNICO DE UN PERFIL DE VEGETACIÓN

Fecha _____

Clave del levantamiento: _____ Colectores: _____

Tipo de vegetación: _____ Municipio: _____

Altitud: _____

Descripción fisonómica: _____ Localización: _____

Descripción fisiográfica: _____ Longitud.: _____

Latitud: _____

Estado del tiempo: _____ Fotografía no.: _____

Plantas dominantes: _____ Exposición: _____

Pendiente: _____

Plantas Subdominantes: _____ Sup. levantada: _____

% de sup. sin vegetación: _____ **Suelo**

% de sup. con vegetación: _____ ph: _____

suelo: Tipo de suelo: _____

Suelo expuesto: _____ Profundidad: _____

Roca (afloramiento): _____ Humedad: _____

Piedras (frac. de roca): _____ **Otros datos:**

Piedritas (< 5 cm) : _____ Perfil horizontal: _____

Hojarasca (%) _____ Perfil vertical: _____

Estratos: No. de estratos: _____

<u>Altura:</u>	<u>% de cobertura</u>	<u>Altura</u>	<u>% de cobertura</u>
----------------	-----------------------	---------------	-----------------------

<u>Rasante:</u>	_____	<u>Herbáceo</u>	_____
------------------------	-------	------------------------	-------

(0-10 cm)	_____	(11cm-1.5 m)	_____
-----------	-------	--------------	-------

Fanerógamas:	_____	Hierba general.	_____
--------------	-------	-----------------	-------

Musgos:	_____	Gramíneas	_____
---------	-------	-----------	-------

Líquenes:	_____		_____
-----------	-------	--	-------

Hongos:	_____		_____
---------	-------	--	-------

Arbustivo

(1.5 -2.0 m) _____

Arboreo(> 2 m)

No. de plántulas: _____

Observaciones: _____

Anexo 2. Formato para el análisis del suelo en el campo.

Perfil _____ fecha _____ clave del levantamiento _____
 localización _____ coordenadas _____ observaciones: _____
 relieve _____ material parental _____
 profundidad efectiva _____ tipo de vegetación _____

horizonte	profundidad.	textura	pH	CaCO ₃	estructura	color	humedad	porosidad	raíces	pedras	Materia orgánica