

# Evaluación de los bosques templados en México: una aplicación en el parque nacional Nevado de Toluca

Lourdes Villers Ruiz\*  
Laura García del Valle\*\*  
Jorge López Blanco\*\*\*

Recibido: enero 15, 1998.  
Aceptado en versión final: abril 4, 1998

**Resumen.** Con base en un análisis de fotointerpretación y de evaluación botánica de sitios, se propone una metodología expedita que permita conocer las características generales de los bosques templados en México. La metodología fue aplicada en el parque nacional Nevado de Toluca. Se determinaron tres comunidades de bosque: a) de *Pinus hartwegii*, b) de *Abies religiosa* y c) mixto: *Abies religiosa*, *Alnus jorullensis*, *P. pseudostrobus* y *P. hartwegii*. Para cada comunidad se definieron por fotointerpretación tres tipos de densidad de cobertura relativa. Con la corroboración en campo de 14 sitios, previamente determinados mediante el análisis de fotografías aéreas, según tipo de bosque y densidad de cobertura, se encontraron marcadas diferencias en cuanto a altura, cobertura y número de árboles, en los sitios seleccionados. Del análisis de especies dominantes, subdominantes y porcentajes de cobertura de los sitios trabajados en campo, se concluye que existe una mayor riqueza en los bosques de *Abies* y mixtos, que en los bosques de *Pinus*. Existen diferentes grados de perturbación provocada por la acción humana como son: la tala de árboles principalmente en bosques de *Abies*, e indicios de quemas asociadas a pastoreo en los bosques de *Pinus*. Se constató la presencia de *Lupinus montanus* y *Penstemon gentianoides* como indicadoras de perturbación.

**Palabras clave:** Metodología para la evaluación de bosques templados en México, Áreas Naturales Protegidas, Nevado de Toluca.

**Summary.** Based on in a photointerpretation and fieldwork analysis a methodologic procedure to characterize the temperate forests in Mexico is proposed. The methodology was applied in the Nevado de Toluca National Park. Three forest communities were determined: a) *Pinus hartwegii*, b) *Abies religiosa* and c) mixed: *Abies religiosa*, *Alnus jorullensis*, *P. pseudostrobus* and *P. hartwegii*. For each community three types of covering density were delineated. Remarkable differences between number of trees, height and cover, with regard to the different density types and the three forest types were found. From dominant species analysis, subdominants species and covering percentage of the fieldwork sampling sites suggested more richness in the *Abies* and mixed forests than in the *Pinus* forests. Several impact levels caused by human activities exist: logging (mainly in *Abies* forest), in *Pinus* forests deliberately fires for grass-induced. The presence of *Lipinus montanus* and *Penstemon gentianoides* can be used as disturbed indicators.

**Key words:** Methodology for Temperate Forests Evaluation in Mexico, Protected Areas, Nevado de Toluca National Park.

## INTRODUCCIÓN

México, junto con Brasil, Colombia e Indonesia, ocupa los primeros lugares en cuanto a diversidad biológica mundial (Mittermeier y Mittermeier, 1992). Igualmente, tiene el primer lugar en el mundo en diversidad de reptiles y eso se debe, en parte, a la antigüedad y aislamiento de los desiertos en donde éstos habitan. Estos autores señalan que en cuanto a bosques de pino-encino, México es también uno de los más diversos ya que cuenta con 55 especies de pinos, 85% de los cuales son endémicos de México. Por esta razón, la conservación y protección de la biodiversidad de estos ecosistemas es importante a nivel nacional.

La desaparición de la vegetación arbórea es la que resulta más clara de apreciar y evaluar como forma de deterioro de los ecosistemas naturales, ya que el paisaje cambia radicalmente sobre extensas áreas (Vázquez y Orozco, 1989); sin embargo, existen otras evidencias del deterioro, como pueden ser la disminución de individuos de una población, la pérdida

de especies, o el aumento de poblaciones de las especies que se ven favorecidas por ciertas actividades antrópicas.

Se cuenta con pocas descripciones botánico-forestales e incluso con menos monitoreos en los parques nacionales y estatales en México.

Dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, los parques nacionales son los que se presentan en mayor número, éstos 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 (INE, s/f). De aquí la importancia de caracterizar y evaluar estas áreas de manera expedita, ya que desde su creación existe una ausencia de datos no solo en cuanto al aspecto de vegetación o fauna del área, sino de la acción humana, que en muchos casos antecede a la propia creación de los parques.

\* Autor para correspondencia: Instituto de Geografía, UNAM, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, C.P. 04510

\*\* México, D.F. e-mail: villers@servidor.unam.mx.

\*\*\* Escuela Nacional Preparatoria No. 2.

\*\*\*\* Instituto de Geografía, UNAM.



## ANTECEDENTES

Este estudio forma parte de un programa de trabajo que se desarrolla en el Instituto de Geografía de la UNAM sobre "Uso del suelo e impacto sobre el medio natural en la Cordillera Neovolcánica". La mayoría de los parques de la región central de México se encuentra en las zonas montañosas, por lo que desde esta óptica el parque nacional Nevado de Toluca presenta importancia de estudio, además de ser distintivo de la región mencionada.

El parque nacional Nevado de Toluca puede considerarse, en función de su extensión (51 000 ha), el más importante de los 17 parques del Estado de México (CEPANAF, *s/f*). Por su amplitud, representa un 75% del total del área de los parques del estado; y está localizado a 22 km al SW de la ciudad de Toluca (Figura 1).

El límite altitudinal inferior del parque fue trazado por el Departamento Forestal y de Caza y Pesca, siguiendo la curva de nivel de los 3 000 m, dentro de la cual quedó comprendida la Reserva Forestal Nacional (Código Forestal, 1970).

La administración del parque fue transferida al gobierno del Estado de México en noviembre de 1995 (*Diario Oficial*, 3 de noviembre de 1995). La evaluación forestal del parque presenta doble importancia, debido a que todos los escurrimientos superficiales que descienden del volcán tributan a las cuencas de los ríos Lerma y Balsas y son la fuente de suministro de agua para consumo humano, riego y generación de energía eléctrica a las ciudades de Toluca y de México; además de ser un lugar de descanso y recreación para muchos habitantes.

Se considera que el volcán Nevado de Toluca está inactivo desde hace 11 000 años (Bloomfield y Valastro, 1974). La litología dominante de las dos estructuras volcánicas al interior del parque corresponde a flujos lávicos andesíticos del Terciario superior (INEGI, 1983).

La morfología actual del estratovolcán Nevado de Toluca se caracteriza por dos crestas elevadas, el Pico del Fraile (4 680 msnm) y el del Águila (4 550 msnm).

En el interior del cráter existen dos cuerpos de agua separados por un domo riolítico (Lagos del Sol y de la Luna). Las laderas montañosas del volcán presentan pendientes pronunciadas que tienden a suavizarse en las porciones inferiores del piedemonte. El límite inferior del parque (3 000 msnm) incluye no solo al volcán Nevado de Toluca sino también a las estructuras volcánicas de los cerros San Antonio y El Calvario, hacia el noroeste del estratovolcán.

Existen trabajos de índole forestal en el Nevado, aunque excluyen el área del parque (PROTIMBOS, 1972, 1989). Los Florístico-Ecológicos de González Trápaga (1986) se refieren únicamente para la vegetación alpina. El trabajo de Villalpando (1968) fue realizado en el área de la caldera (cráter). Estudios parciales, con respecto al uso del suelo, se reportan los de Sandoval (1987) donde se usaron fotografías aéreas, los de Villers *et al.* (1995), donde se empleó percepción remota, complementada con información ortofotográfica y de campo, y los de Villers y López (1996) realizados para una cuenca del mismo volcán.

En cuanto a tenencia de la tierra, la SARH (1992) señala que 58.8% es propiedad ejidal (30 000 ha), 29.4% es privada (15 000 ha) y 2% no está identificada (1 000 ha). Las 5 000 ha restantes, aproximadamente 9.8%, son propiedad federal.

La Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre publicó un plan de manejo para este parque (SARH, 1993), en el documento se hace énfasis principalmente en la parte administrativa y de educación ambiental; sin embargo, carece de un estudio actualizado del estado del bosque y la propuesta se restringe solo al área del cráter.

Es evidente que se necesita conocer el área que abarca el parque desde un punto de vista natural y humano. Esta información podría orientar a los planes de ordenamiento y manejo del parque nacional Nevado de Toluca.

## OBJETIVO GENERAL

- Hacer una propuesta metodológica para evaluar bosques templados utilizando herramientas de fotointerpretación y caracterización de la vegetación en campo, por medio de la selección de áreas preestablecidas a partir del análisis fotográfico.





Figura 1. Localización del área en estudio.



## OBJETIVOS PARTICULARES

- Hacer la fotointerpretación del área del parque, realizando una zonificación según el tipo de comunidad vegetal y la densidad de cobertura relativa que presentan.
- Realizar levantamientos botánicos en campo con base en la fotointerpretación. Caracterizar los sitios según la estructura, abundancia y cobertura de las especies.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 10 fotografías aéreas pancromáticas del área, producidas por Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) a escala 1:75 000 con fechas de vuelo de diciembre de 1993 y febrero de 1994, con el fin de fotointerpretar el área total del parque. Se identificaron las áreas con cobertura boscosa, diferenciándolas de aquéllas que no presentan cobertura arbórea dentro del parque: áreas agrícolas, antiguas terrazas agrícolas con vegetación

secundaria, localidades, cuerpos de agua, carreteras y caminos.

De las áreas de bosque, se identificaron tres tipos de comunidades vegetales por tonalidad y textura en las fotografías: bosques de pino, bosques de *Abies* y bosques mixtos (*Pinus*, *Abies* y *Alnus*). Para cada uno de estos tres tipos de comunidad se definieron tres diferentes categorías de densidad de cobertura ("denso", "semidenso", y "escaso"), las cuales estuvieron determinadas por textura, tono, patrón y situación topográfica en el modelo estereoscópico.

Con base en la fotointerpretación, y considerando la densidad de cobertura relativa por tipo de comunidad vegetal, se eligieron los sitios de muestreo en campo, cubriendo un total de cuatro sitios para cada uno de los bosques de *Abies* y mixtos, y seis sitios para los bosques de pino. Se realizó un total de 14 levantamientos botánicos, 12 de 1 000 m<sup>2</sup> divididos en dos partes de 500 m<sup>2</sup> y dos levantamientos de 500 m<sup>2</sup> (se realizaron uno o dos cuadrantes de 20 x 50 m, según el caso). La superficie total muestreada fue de 13 000 m<sup>2</sup> (véase Cuadro 1).

Cuadro 1. Sitios de muestreo según tipo de bosques y densidad de cobertura

TIPO DE BOSQUE	CLASE DE COBERTURA RELATIVA (FOTOINTERP.)	IDENTIFICADOR DE SITIOS	AREA TOTAL DE MUESTREO (m <sup>2</sup> )
Bosque de Pino	Denso (P3)	Sitio 2	500
	Semidenso ( P2)	Sitios 10 y 11	2 000
	Escaso (P1)	Sitios 1, 3 y 6	2 500
Bosque de <i>Abies</i>	Denso (A3)	Sitios 8 y 12	2 000
	Semidenso ( A2)	Sitios 5 y 7	2 000
	Escaso ( A1)	no se estableció	
Bosque Mixto ( <i>Abies</i> , <i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> )	Denso (AP3)	Sitios 4 y 13	2 000
	Semidenso ( AP2)	Sitios 9 y 14	2000
	Escaso (A P1)	no se estableció	

Los sitios a muestrear en campo fueron seleccionados a partir de la fotointerpretación, con objeto de que dichos puntos quedasen en el interior de áreas uniformes en términos de tono y textura fotográfica (densidad). Para algunos sitios existieron problemas para delimitar las fronteras entre clases semidenso y escaso.

Para localizar en campo los sitios, se buscaron las áreas de vegetación homogéneas en aspectos de vegetación y fisiografía, dentro de una superficie de entre una y dos hectáreas.

## TRABAJO DE CAMPO

Es importante en los muestreos de campo que las especies de una comunidad estén ampliamente representadas, tanto como sea posible. Por esta razón, los sitios de muestreo en campo estuvieron basados en las diferentes clases de cobertura determinadas y en el área que abarcaban.

En campo, los levantamientos botánicos de los sitios seleccionados se basaron en el "área mínima", definida como el área más pequeña en la cual la composición

de especies de la comunidad en cuestión está adecuadamente representada. Según señalan Mueller *et al.*, 1988 y Mueller y Ellenberg, 1974:48, para vegetación de zonas templadas encontraron los siguientes valores empíricos de muestreo: para bosques (incluyendo estrato arbóreo) de 200 a 500 m<sup>2</sup>, respectivamente, y para muestreos en matorral y pastizal de 100 a 200 m<sup>2</sup>.

El levantamiento de vegetación se realizó en un área de 500 m<sup>2</sup> (cuadros de 20 x 25 m). Se incluyó una lista de *taxa* y estratos presentes, estimando cobertura por estrato en relación con el área levantada (siguiendo el sistema Raunkiaer modificado y presentado por Mueller *et al.*, 1988:13).

Datos cuantitativos fueron tomados a los individuos arbóreos cuyo fuste bajo era superior a 0.15 m. Se midió la altura y cobertura de los árboles. Para obtener una cuantificación de la cobertura se tomaron las dimensiones del eje mayor, el eje menor y un eje intermedio. Se hizo una descripción general del área acompañada de fotos del sitio.

En 12 sitios se cuantificó el número de árboles por género en un área de 500 m<sup>2</sup> aledaña al primer cuadrante. Se consideró que el número de individuos por área se encuentra en relación con el área de cobertura observada en la fotointerpretación. También se realizó una estimación del grado de deterioro del bosque cuantificado: árboles resinados, tirados, número de tocones, árboles con algún tipo de parásito y quemados. Estos datos, junto con la densidad de cobertura, son indicadores del grado de deterioro que presenta cada comunidad vegetal.

Se tomaron datos ambientales, como unidad geomorfológica, altitud, exposición y pendiente; dichos

parámetros son importantes para caracterizar las condiciones locales de homogeneidad espacial.

Los datos tomados en campo, del suelo superficial (entre los 7 y 50 cm), comprendieron textura, pH, humedad en suelo, color en seco y en húmedo, y porosidad. También se evaluó el porcentaje de hojarasca sobre la superficie del suelo, se establecieron cuatro clases de cobertura (25, 50, 75 y 100%, respectivamente), con relación a 500 m<sup>2</sup>.

## RESULTADOS

### Fotointerpretación

A partir de la fotointerpretación general del área del parque (51 000 ha) se identificó un total de ocho clases de información sobre el uso del suelo: páramo de altura o zacatonal alpino, áreas con agricultura, terrazas antiguas con vegetación secundaria, pastizales inducidos en áreas boscosas, poblados, bosque de pino, bosque de *Abies* y bosques mixtos. En los últimos dos casos, específicamente para las clases semidenso y escaso, no se pudieron definir los límites exactos. El resultado final de la fotointerpretación se muestra en el mosaico fotográfico presentado en la **Figura 2**.

Resultados globales de la fotointerpretación permiten decir que sólo 71.4% del área del parque corresponde a los diferentes tipos de bosque, 20.6% de la superficie total son áreas con agricultura; 2.8%, terrazas antiguas con vegetación secundaria; 3.6%, zacatonal alpino o áreas sin vegetación aparente; y 1.6%, áreas de pastizales inducidos.





Figura 2. Mosaico fotográfico con ocho clases de información sobre vegetación y uso del suelo del parque nacional Nevado de Toluca.



**Características generales de las comunidades vegetales**

En el Cuadro 2 se resumen las principales características botánicas de los sitios muestreados: tipo

de vegetación, descripción fisonómica, especies dominantes y subdominantes, dependiendo del estrato que ocupan y del porcentaje de cobertura estimado en el campo. Se consideró para esta evaluación un área de 500 m<sup>2</sup>.

**Cuadro 2.** Vegetación y flora de los sitios muestreados

	TIPO DE VEGETACIÓN	DESCRIPCIÓN FISONÓMICA (Clase de cobertura según la fotointerpretación)	PLANTAS DOMINANTES			PLANTAS SUBDOMINANTES		
			% DE COBERTURA POR ESTRATO			% DE COBERTURA POR ESTRATO		
			estrato	% *	especie	estrato	% *	especie
SITIO 1	Bosque de Pino	Bosque abierto (P1: escasa)	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 Pino	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 Pino	Bosque abierto (P1: escasa)	arbóreo herbáceo	42 80	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Agrostis tolucensis</i>	herbáceo rasante	1 1	<i>Muhlenbergia 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	arbustiva 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 cerrado (A2: semidenso)	arbóreo arbustivo	68 30	<i>Abies religiosa</i> <i>Senecio angustifolius</i>	rasante rasante arbustiva	20 10 20	<i>Siphthorbia repens</i> <i>musgo</i> <i>Acaena elognata</i>
SITIO 6	Bosque de Pino	Bosque abierto (P1: escaso)	arbóreo herbáceo	62 50	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Muhlenbergia nigra</i>	herbácea	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</i> , <i>P. hartwegii</i> <i>Acaena elognata</i> <i>Baccharis conferta</i>	herbácea 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>	arbustiva 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>	arbustiva	25 25 8	<i>Salix sp.</i> <i>Baccharis conferta</i> <i>Eupatorium glabratum</i>
SITIO 10	Bosque de Pino	Bosque semiabierto (P3: denso)	arbóreo herbáceo	86 80	<i>Pinus hartwegii</i> Gramineas	herbáceo	1	<i>Penstemon gentianoides</i>
SITIO 11	Bosque de Pino	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 marretianum</i>	herbáceo	1  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>	herbáceo arbustivo	10 2	Graminea <i>Salix sp.</i>

\* % estimado en campo en relación a 500 m<sup>2</sup>.

En general, existió una correspondencia entre la descripción fisonómica en campo, con la realizada en la fotointerpretación, por ejemplo: un bosque abierto descrito en campo correspondió con cobertura "P1:escasa" en la fotointerpretación (véase columna 3, **Cuadro 2**).

La comunidad de *Pinus hartwegii* en los sitios muestreados se encuentra principalmente asociada de manera codominante a gramíneas (*Agrostis*, *Calamagrostis*, *Muhlenbergia*; véase columna 6, **Cuadro 2**) en niveles altitudinales altos (3 980 - 3 450 msnm). Estas comunidades se presentan principalmente en unidades geomorfológicas del tipo de superficies cumbrales de flujos lávicos cubiertos de piroclastos. En pendientes entre 7 y 12° con suelos principalmente negros o café grisáceo muy oscuros (5YR 2.5/1, 10YR3/2, según la clave de colores Munsell Soil Color Charts, 1973), suelo no poroso con pH de 5, en promedio 25% de hojarasca en la superficie. Los sitios que presentan estas características son: el 1, 2, 3, 6, 10 y 11, señalados en la **Figura 2**.

Los bosques mixtos formados por *Pinus hartwegii* o *P. pseudostrobus* con *Alnus jorullensis* y *Abies religiosa*, principalmente (sitios 4, 9, 13 y 14 de la **Figura 2**). Estas comunidades se encuentran en unidades geomorfológicas del tipo de piedemonte bajo y laderas montañosas inclinadas, con flujos lávicos antiguos cubiertos de piroclastos y materiales de depósito. Las pendientes donde se hicieron los levantamientos fluctuaban entre 8 y 12°. El suelo en estos sitios presenta una coloración café oscura o café amarillenta muy oscura (10YR 3/3 o 10YR 3/4), primordialmente no porosos, con pH de 6, y con un 75% al 100% de cobertura de hojarasca.

Los bosques de *Abies* comparten los mayores porcentajes de cobertura con arbustos (*Senecio callosus*, *Eupatorium glabratum*) o hierbas (*Acaena elongada*), la altitud de los sitios está entre 3 070 y 3 210 msnm (sitios 5, 7, 8 y 12 de la **Figura 2** y **Cuadro 2**). Estas comunidades se presentan en unidades geomorfológicas del tipo de superficie cumbrales, o bien en el escarpe frontal de flujos lávicos cubiertos de piroclastos, así como en los extremos inferiores de ladera montañosa inclinada como es el caso del sitio 5 del cerro "Las Palomas". Las pendientes en estas

comunidades son de 11 al 13°, aunque también se encuentran en pendiente de 26° (sitio 12); los suelos son café muy oscuro o café grisáceo muy oscuro (10YR2/2, 10YR3/2), con pH de 6 en todos los casos. Los porcentajes de hojarasca en el suelo varían de 25 a 50%.

Los bosques donde el género *Pinus* y gramíneas de los géneros *Agrostis* y *Calamagrostis* son dominantes, las especies subdominantes pertenecen a los géneros: *Alchemilla*, *Lupinus*, *Penstemon*, *Tauschia*. Para los bosques mixtos las subdominantes son *Baccharis*, *Eupatorium*, *Salix*, *Eryngium*, *Piptochaetium*, entre otras (consultar última columna del **Cuadro 2**). Para el caso de los bosques de *Abies* las subdominantes son: *Salvia*, *Siphthoria*, *Salix*, *Stevia*, *Cerastium*, *Baccharis*.

### Diferencias estructurales de los tres tipos de bosque

En el **Cuadro 3** se muestra un resumen de los resultados estadísticos realizados sobre los datos de altura, cobertura y diámetro de los árboles medidos para cada sitio; así como valores para los tres tipos de bosque y las tres diferentes densidades de cobertura relativa definidas cualitativamente durante la fotointerpretación, así como también el número de árboles con respecto a 500 m<sup>2</sup>, y a 1 000 m<sup>2</sup>.

Existen diferencias importantes entre los tres tipos de comunidades en lo referente al número de árboles y la cobertura en los diferentes tipos de bosque:

Los árboles de pino se encuentran en menor número, pero con mayor cobertura, que aquéllos medidos en los bosques mixtos y de *Abies*. Los bosques mixtos aun cuando muestran el mayor número de árboles en las áreas cuantificadas, tienen la menor cobertura arbórea, esto debido principalmente a la estructura de las especies que componen este bosque (mezcla de *Pinus*, *Abies* y *Alnus*), además de que presentan también el menor diámetro (promedio de 0.2 m) y las menores alturas, en promedio de 11 m. Los bosques de *Pinus* y *Abies* están en promedios de alturas de árboles de 21 y 25 m, respectivamente (véanse columnas correspondientes en el **Cuadro 3**).



**Cuadro 3.** Descripción estadística de los principales parámetros por tipo de bosque

TIPO DE BOSQUE	ALTURA (m) *		COBERTURA (m <sup>2</sup> ) * <sup>o</sup>		DAP (m) *		NÚM. DE ARBOLES	
	Mediana	Media	Mediana	Media	Mediana	Media	500 m <sup>2</sup>	1 000 m <sup>2</sup>
Pino	22.07	21.23	28.46	30.1	0.41	0.43	38	66
Abies	26.52	25.29	19.47	24.71	0.39	0.38	40	79
Mixto	8.11	11.14	12.13	21.42	0.15	0.23	67	156

**TIPO BOSQUE:  
DENSIDAD**

P1: escaso	26.71	23.95	28.67	29.61	0.41	0.4	9	17
P2: semidenso	19.28	17.65	15.17	20.66	0.31	0.37	14	22
P3: denso	21.24	20.67	31.44	34.92	0.44	0.48	15	27
A2: semidenso	21.71	20.08	18.68	25.78	0.28	0.31	17	31
A3: denso	30.18	29.11	20.75	23.92	0.44	0.43	23	48
AP2: semidenso	15.56	18.69	49.86	48.5	0.45	0.46	13	35
AP3: denso	7.47	9.31	9.3	14.8	0.13	0.17	54	121

\* Datos obtenidos de mediciones realizadas en campo a árboles con perímetro superior a 0.15 m en una área de 500 m<sup>2</sup>.

<sup>o</sup> Cobertura promedio por árbol a partir de las mediciones de los individuos en cada sitio.

En relación con la cobertura en los diferentes tipos de bosques, se observa que para la comunidad de *Pinus hartwegii* entre una cobertura P1 (escaso) y una P3 (denso), la diferencia no es muy marcada. Sin embargo, si lo es en cuanto al número de individuos, tanto en los muestreos de 500 como en los de 1 000 m<sup>2</sup>, respectivamente. Además, los diámetros de los troncos de los pinos densos (P3) son mayores y sus alturas menores con respecto a los pinos escasos (P1).

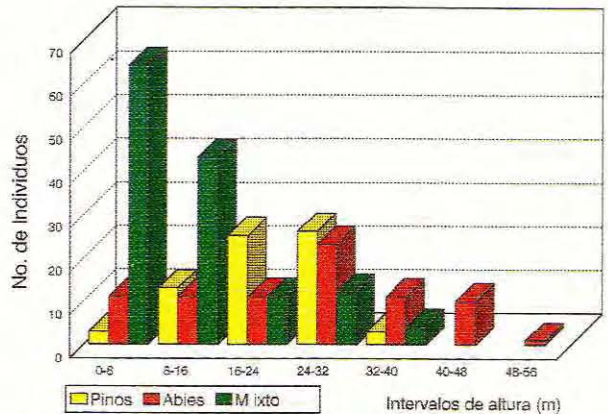
La comunidad de *Abies*, considerada como densa (A3) a partir de la fotointerpretación, tiene, según las mediciones de campo, árboles con mayor altura y diámetro que la comunidad semidensa (A2), aunque el número de individuos en las áreas cuantificadas no son claramente mayores. Finalmente, los bosques mixtos y densos (AP3) son los que tienen el mayor número de individuos por área, aunque en general son delgados (promedio de 0.17 m de diámetro) y bajos (9 m de altura en promedio) (véase Cuadro 3).

En los siguientes apartados se presenta un resumen de los resultados de las estadísticas por variable, de los sitios evaluados.

**Análisis de altura de los árboles**

Con respecto a las alturas de los árboles, se puede decir que el mayor número de individuos en bosques de pino presenta alturas entre 24 y 32 m (Figura 3). El sitio 2 (mostrado en la Figura 2), es en donde se encuentra el mayor número de individuos con estas

tallas. Los sitios 10 y 11, en la misma Figura, le siguen en la categoría inmediata inferior (alturas entre 16 y 24 m). En estos sitios los árboles muestran una cobertura densa (P3).



**Figura 3.** Altura de árboles en bosques de pino, *Abies* y mixto.

En general, el mayor número de individuos en los bosques de *Abies* se encuentra, al igual que los de pino, en el rango entre los 24 y 32 m de altura. Aunque también hay árboles más altos como es el caso de los presentados en el sitio 12 (en el cerro El Calvario) cuyas alturas se encuentran entre 40 y 48 m.

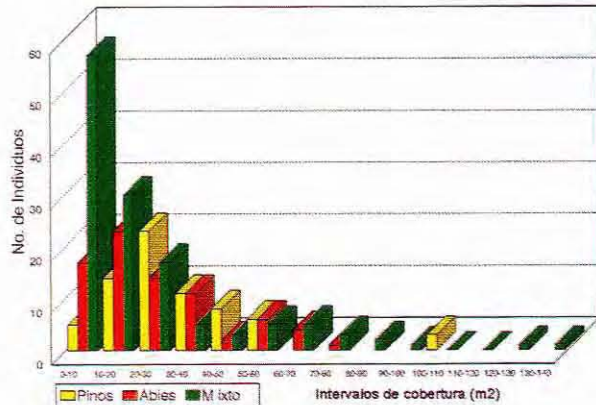


Los árboles de bosques mixtos presentan las alturas más bajas de los tres tipos de bosque. El mayor número de individuos no sobrepasa la altura de los 16 m. Al igual que los casos anteriores, los árboles que muestran la categoría 3 de cobertura, "densa", son los que tienen las mayores tallas, en este caso, los individuos de los sitios 4 y 13, localizados en las porciones NW y SW de la **Figura 2**.

### Análisis de cobertura de los árboles

La cobertura de los árboles, a partir del levantamiento de campo, se estimó como el área de proyección de la copa, considerándola como si fuese un círculo. Por lo que la sobreposición de las copas, así como los espacios entre las ramas, no fueron considerados.

La cobertura promedio por árbol, más frecuente dentro de los árboles de pino, es de 20 a 30 m<sup>2</sup>. En el caso de los bosques de *Abies* es de 10 a 20 m<sup>2</sup> y en los bosques mixtos menor a 10 m<sup>2</sup> (**Figura 4**). El análisis por sitio de los bosques de pinos y de *Abies* indica que, en general, los sitios clasificados como "densos": P3 (sitio 2) y A3 (sitios 8 y 12), son los que presentan mayor número de individuos con mayor cobertura. En el caso de los bosques mixtos, los rangos de cobertura son mucho más amplios que los de pino o *Abies*, concentrándose los individuos en coberturas de entre 10 y 40 m<sup>2</sup>. Esta amplitud del rango se debe principalmente a la heterogeneidad de la composición del bosque.

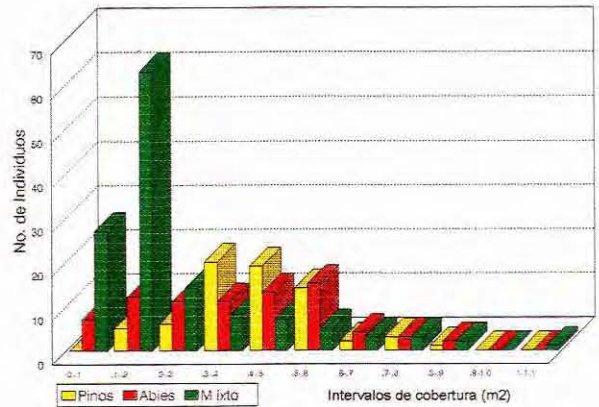


**Figura 4.** Cobertura de árboles en bosques de pino, *Abies* y mixto.

### Análisis de diámetros de los árboles

El último parámetro cuantificado por árbol fue el de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP). En los bosques

de pinos, los mayores diámetros se encuentran entre los rangos de 0.3 y 0.6 m (**Figura 5**). Los sitios 2 y 10 (**Figura 2**), son los que presentan mayor número de individuos con estas clases diamétricas. El diámetro en los árboles de los bosques de *Abies* presenta un rango más amplio, pero como en el caso de los bosques de pinos, son pocos los individuos que sobrepasan los 0.6 m. En este caso, el sitio 12 es el que tiene individuos en las clases más altas, esto es, rangos entre 0.6 y 0.9 m.



**Figura 5.** DAP de árboles de pino, *Abies* y mixto.

Al igual que en el caso de coberturas, los bosques mixtos muestran un rango más amplio de diámetros hasta de 1.1 m, aunque el mayor número de individuos se concentra en los diámetros entre 0.1 y 0.2 m (los sitios 4 y 13) poseen el mayor número de individuos con estos rangos).

### INDICIOS DE PERTURBACIÓN ANTRÓPICA EN LOS SITIOS DE MUESTREO

Se evaluó el grado de deterioro en los sitios muestreados mediante la cuantificación de algunos indicios de perturbación antrópica como son: troncos tirados, árboles resinados, indicios de quema y pastoreo.

Principalmente se observaron indicios de quema y pastoreo en los bosques de pino, sin poder definir claramente si en los diferentes grados de cobertura (P1 o P3) era mayor o menor. En el caso de los bosques de *Abies*, la perturbación se debió principalmente a la tala; en el sitio 8 se contaron 30 tocones de árboles en 500 m<sup>2</sup> y en el sitio 13, que es un bosque mixto (predominando *Abies*), se contaron 17 tocones de árboles. Igualmente, el mayor número de troncos tirados cuantificados en 500 m<sup>2</sup> fueron 16 (en



el sitio 12 que corresponde a un bosque de *Abies*). En el caso de los bosques de pino, el mayor número de tocones en 500 m<sup>2</sup> fue de 5 y el mayor número de troncos tirados fue de 2.

También se contó el número de renuevos (plántulas) en 500 y 1 000 m<sup>2</sup>, respectivamente. El mayor número de plántulas en 1 000 m<sup>2</sup> que se cuantificaron fue en los bosques de *Abies* (sitio 5) con 53 plántulas y el sitio 4, que es un bosque mixto, presentó 57 plántulas en 1 000 m<sup>2</sup>. El máximo de plántulas de pino que se presentó fue de 81 en el sitio 11.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para tener una idea clara de los resultados obtenidos en este estudio, en relación con la confiabilidad de la delimitación, tanto de las comunidades vegetales como con respecto a la delimitación de áreas con las tres clases de densidad relativa de cobertura, se debe considerar que dichos resultados son dependientes del tipo de material analizado. En este caso se debe considerar la calidad tonal de las fotografías impresas en blanco y negro, así como la escala de las mismas. Un segundo elemento importante es la subjetividad y la experiencia del fotointérprete y, por supuesto, del conocimiento previo de la zona en estudio. En este caso, la escala fue de 1:75 000 y las fotos impresas mostraron tonalidades diferentes de grises, siendo más claras en la porción oeste del área. Estas dos condiciones limitaron en gran medida el tener una delimitación exacta de las unidades fotointerpretadas.

Es importante señalar que la zona en estudio ha sido trabajada con información digital de imágenes de satélite (Villers *et al.*, 1995); sin embargo, se ha comprobado en éste y en otros trabajos, que el uso de la percepción remota para la separación de asociaciones de coníferas conlleva problemas graves de confusión, sobre todo en cañadas y laderas con pendientes fuertes o con sombras, ya que presentan un 25% de error de omisión (Trejo y Hernández, 1996). Por otro lado, la diferenciación florística de estas asociaciones a nivel espectral no es perceptible, por lo que esta tecnología es eficiente solamente para actualizar la distribución de grandes grupos vegetales.

Como una alternativa a los problemas mencionados, se ha considerado la posibilidad de realizar clasificaciones multispectrales empleando información digital a partir de cámaras de video con alta resolución espacial, o bien, la clasificación de clases de cobertura a partir del agrupamiento de texturas digitales en fotografías aéreas pancromáticas, también en formato digital (López, 1997a y b).

Se considera que la metodología empleada, basada fundamentalmente en técnicas de fotointerpretación, conjugada con una descripción en campo, de áreas previamente seleccionadas, es adecuada no solo para caracterizar de manera básica las condiciones forestales del área en estudio, sino también para particularizar algunos aspectos ecológicos y de perturbación.

Se propone esta metodología para realizar evaluaciones expeditas y confiables en zonas de bosques templados de México. En particular, sería importante utilizarlo como una herramienta base en la realización de los ordenamientos y declaratorias para las áreas naturales protegidas del país, documentos fundamentales de planeación, como lo señalan las autoridades ambientales (SEDUE, 1989 y *Diario Oficial*, dic. 1996).

Por medio del análisis de las fotografías aéreas se determinó la distribución y las características de los tres tipos de bosques con las tres diferentes clases de densidad de cobertura. También se identificaron otros rasgos importantes en la determinación del uso del suelo.

La clasificación por densidad de cobertura relativa evaluada en la fotointerpretación y su correspondiente caracterización en campo, proporcionó datos sobre la estructura y composición de los bosques dentro del área del parque. En este sentido, también se determinó dentro del marco de la muestra, los sitios mejor conservados, según los valores más altos presentados para los parámetros considerados (altura, cobertura y DAP).

Este procedimiento en la selección de sitios difiere de los criterios aleatorios o sistemáticos propuestos por los inventarios forestales realizados con anterioridad (Dirección General del Inventario Forestal, 1974, 1976) y de las contribuciones metodológicas propuestas para zonas forestales (Madrigal, 1990; Villa y Caballero, 1993). Para muestreos usados en inventarios forestales se señala una intensidad de muestreo de 0.5% de la superficie total a inventariar. Si se considera que en este estudio, el área de bosque es de 36 400 ha, se tendrían que muestrear 182 sitios de una hectárea cada uno, para poder cumplir con lo sugerido por esa metodología. Por ello, en términos de recursos económicos y humanos, así como de tiempo, involucraría un estudio de varios años para obtener resultados representativos. En este caso se sugiere que el muestreo en lugar de ser dependiente de un porcentaje de la superficie total, sea estratificado por clase/cobertura de bosque. Esta metodología es sugerida cuando el tiempo y la mano de obra, tanto



para el trabajo de campo como para el de laboratorio, son limitados.

De este estudio quedó claro que existen áreas en donde se debe intensificar el muestreo y hacer un trabajo más detallado con fotografías a mayor escala que las utilizadas. Por ejemplo, es necesario establecer las diferencias entre las clases de cobertura "escaso" y "semidenso" en los bosques de *Abies* y mixtos, ya que difícilmente se pudieron definir en cuanto a textura y tonalidades de grises en la fotointerpretación. Con los muestreos en campo, tampoco se pudieron diferenciar, por lo que existió una sola categoría para estas dos clases de cobertura, que fue la de "semidenso". En cambio, la fotointerpretación, con su apoyo en campo, fue fundamental para la caracterización de los bosques de *Pinus*. Se comprobó que la fotointerpretación realizada sobre densidad relativa de cobertura, se traduce en campo a una combinación del número de individuos, diámetro de troncos y alturas de los árboles. De esta manera la cobertura "densa" en bosques de pino refiere a mayor número de individuos, diámetros mayores de alturas menores con respecto a una cobertura "escasa".

Los sitios caracterizados con respecto a especies dominantes, subdominantes y porcentajes de cobertura, indican una mayor riqueza en los bosques de *Abies* y mixtos, que en los bosques de *Pinus*. En este caso las estimaciones de cobertura por estrato, y no por especie, da una mejor idea de la composición de la comunidad vegetal estudiada. Igualmente la inclusión de parámetros del medio físico para caracterizar las comunidades vegetales fue fundamental dentro del entendimiento del bosque desde un punto de vista del reconocimiento de la heterogeneidad espacial.

Por otro lado, el hecho de que el área en estudio esté considerada como parque nacional, no ha sido suficiente para evitar diferentes grados de perturbación provocada por la acción humana. Se destaca la tala de

árboles, principalmente en los bosques de *Abies*. En los bosques de pino, la práctica de pastoreo que va asociada a quemadas inducidas, con objeto de proveer de forraje al ganado, es más notoria.

El poder regenerativo en estos bosques también es grande, cuando no existe pastoreo y quema, como se ejemplifica en los resultados presentados para bosque de pino en el sitio 11. En el caso de los bosques de *Abies* también se encontró un número importante de plántulas.

Los resultados de la evaluación de este parámetro junto con el de porcentaje de hojarasca en piso, coincide en parte con los reportados por Anaya *et al.* (1980) para el caso del volcán Iztaccihuatl.

La presencia de *Lupinus montanus* y *Penstemon gentianoides* con porcentajes de cobertura en el estrato herbáceo de 15% y hasta de 30% (sitios 1 y 6), son ejemplo de que estos elementos han sido favorecidos por este tipo de perturbación.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero brindado a este proyecto por parte del PUMA (Programa Universitario de Medio Ambiente) de la UNAM. Al Pas. de Biól. Roberto Monroy Ibarra, por el apoyo en campo y gabinete. Finalmente, agradecemos a las siguientes instituciones: PROTIMBOS, CEPANAF e INEGI en Metepec y Toluca, Estado de México, por ofrecernos el apoyo documental sin restricciones.

Nuestro sincero agradecimiento a los revisores anónimos por sus valiosas observaciones y comentarios para con este trabajo.



## REFERENCIAS

- Anaya Lang, A. L., R. Hernández Sánchez y X. Madrigal Sánchez (1980), "La vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental del Iztaccíhuatl, México", *Boletín Técnico*, núm. 65, INIF, SARH, México, 64 p.
- Bloomfield, K. y S. Valastro Jr. (1974), "Late Pleistocene Eruptive History of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico", *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, 48 p.
- Código Forestal 1970*, SAG Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Departamento de Divulgación, pp. 962-968.
- Diario Oficial de la Federación*, Acuerdo de Coordinación, El Ejecutivo por conducto del INE, transfiere al Gobierno del Estado de México, la administración de diversos parques nacionales ubicados dentro de su territorio, 3 de noviembre de 1995.
- Diario Oficial de la Federación*, SEMARNAP, Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 13 de diciembre de 1996.
- Dirección General del Inventario Forestal (1974), "Normas de calidad para la conducción de inventarios forestales con fines de estudios dasonómicos", *Publicación No. 28*, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, SAG, México, 37 p.
- Dirección General del Inventario Forestal (1976), "Procedimientos básicos para inventarios forestales con fines de aprovechamientos maderables", *Publicación No. 37* y Apéndice, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, SAG, México, 22 p.
- González Trapaga, M. A. (1986), Descripción y aspectos fitogeográficos de la vegetación alpina del Nevado de Toluca, tesis (Lic. en Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México, 124 p.
- INE (s/f), SEMARNAP, Dirección General de Conservación y Aprovechamiento Ecológico, Dirección de Reservas y Áreas Naturales Protegidas, tríptico.
- INEGI (1983), *Carta geológica*, Hoja Cd. de México, clave: E14-2, escala 1:250 000, México.
- López Blanco, J. (1997a), "Teledetección videográfica: Una tecnología apropiada para la obtención de información detallada del medio ambiente", *Memorias del Primer Simposio sobre Protección en Áreas Naturales Protegidas*, Valle de Bravo, Méx., PROFEPA-UAEM-AMIDES, dic. 1996, México, pp. 197-205.
- López Blanco, J. (1997b), "Photogrammetric Correction of Video Imagery to obtain land use Videomaps in La Montaña de Guerrero Region, Mexico", *Proceedings of the 16<sup>th</sup> Biennial Workshop on Color Photography and Videography in Resource Assessment*, Weslaco, Texas, EUA, April 29-May 1, 12 p.
- Madrigal, S. X. (1990), Ensayo metodológico para la determinación del estado natural forestal en la región oriental del estado de Michoacán, México, tesis de Maestría en Ciencias (Biología), Fac. de Ciencias, UNAM, México, 80 p.
- Mittermeier, R. A. y C. G. Mittermeier (1992), "La importancia de la diversidad biológica de México", en Sarukhán, J. y R. Dirzo, *México ante los retos de la biodiversidad*, CONABIO, México, 343 p.
- Mueller Dombois, D. y H. Ellenberg (1974), *Aims and Methods of Vegetation Ecology*, John Wiley and Sons, 547 p.
- Mueller Dombois, A., M. Little y T. van der Hammen (1988), "Manual of methods for transects studies. Comparative studies of tropical mountain ecosystems", *International Union of Biological Sciences*, Suiza, 65 p.
- Munsell Soil Color Chart (1973), Macbeth Division of Kollmogen Corporation, Baltimore, Maryland.
- PROTIMBOS, Protectora e Industrializadora de Bosques (1972), "Datos de Evaluación Forestal. Estudio Dasonómico, Secretaría de Desarrollo Agropecuario", Metepec, Gobierno del Estado de México.
- PROTIMBOS, Protectora e Industrializadora de Bosques (1989), "Datos de Evaluación Forestal. Estudio Dasonómico, Secretaría de Desarrollo Agropecuario", Metepec, Gobierno del Estado de México.
- Sandoval Basso, 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), Fac. de Ciencias, UNAM, México, 107 p.
- SARH (1992), *Compendio de información sobre áreas naturales protegidas*, Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre, Dirección General de Flora y Fauna Silvestre y Áreas Naturales Protegidas, México, 146 p.
- SARH (1993), *Plan de manejo. Parque Nacional Nevado de Toluca*, Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre, 44 p.
- SEDUE (1989), *Gaceta Ecológica*, vol. 1, núm. 1, julio de 1989. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- Trejo, I. y J. Hernández (1996), "Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite", en Percepción Remota, *Investigaciones Geográficas Boletín*, núm. esp. 5, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 11-18.
- Vázquez, C. y A. Orozco (1989), *La destrucción de la naturaleza*, Fondo de Cultura Económica, México, 102 p.
- Villa Salas, A. y M. Caballero del Oya (1993), "Técnicas de muestreo usadas en Mexico en investigaciones forestales", en *Recopilación de notas sobre técnicas de muestreo usadas en inventarios forestales*, Public. Especial 64, SARH-INIFAP, División Forestal, pp. 21-47.
- Villalpando Barriga, O. K. (1968), *Algunos aspectos ecológicos del volcán Nevado de Toluca*, tesis Licenciatura (Biología), Fac. de Ciencias, UNAM, México, 36 p.
- Villers Ruiz, L., J. López Blanco, J. Hernández Lozano e I. Trejo Vázquez (1995), "Delimitación de áreas de bosque en predios forestales en el Nevado de Toluca, México: integrando en SIG, inventarios, imagen MSS y fotomapas", *Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota*, Puerto Vallarta, México, 5-10 de noviembre, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 621-627.
- Villers Ruiz, L. y J. López Blanco (1996), "Evaluación del uso agrícola y forestal del suelo en el Cinturón Volcánico Transmexicano: el caso de la Cuenca del Río Temascaltepec, Nevado de Toluca", *Investigaciones Geográficas Boletín*, núm. 31, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 69-92.