EVALUACIÓN DEL USO AGRÍCOLA Y FORESTAL DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO TEMASCALTEPEC, NEVADO DE TOLUCA, MÉXICO*

Lourdes Villers Ruiz**
Jorge López Blanco**

Resumen

Se obtuvieron características del relieve, vegetación, áreas de uso agrícola y forestal en la Cuenca del Río Temascaltepec, en las laderas oeste y suroeste del Volcán Nevado de Toluca, en el Centro de México. Se determinaron los cultivos dominantes en las áreas agrícolas, para cada una de las 15 comunidades de la cuenca. Se determinó el porcentaje de superficie con cobertura de bosque, para los 148 predios considerados como de explotación forestal. La mayoría de las áreas forestales localizadas en el intervalo altitudinal de 2 000 a 3 000 m, presentan menos de 60% de cobertura de bosque. Las principales masas forestales corresponden a bosques de los géneros *Pinus* y *Abies-Pinus*. La pendiente media dominante de las superficies agrícolas es de 11° y sus límites van de 4.7 a 11.4°. Los principales cultivos de las comunidades son maíz, avena y papa. El procesamiento y análisis de la información se realizó en un SIG.

Palabras clave: uso del suelo, evaluación agrícola-forestal, Nevado de Toluca, México.

Summary

Characteristics of relief, vegetation, farmland, and forest exploitations were obtained of the Temascaltepee River Basin, in the western and southwestern slopes of the Nevado de Toluca Volcano, in Central Mexico. The main crops were characterized for each of the 15 communities of the basin. A percentage of the land covered with forest was established for each of the 148 areas considered for forest exploitation. The majority of the forests localized between 2 000 and 3 000 m, have less than 60% of their area covered by woods. Larger cover of forests areas are constituted by *Pinus* and *Abies-Pinus* communities. The average slope dominant of the croplands is 11° and its limits are from 4.7° to 11.4°. The main crops at regional level are corn, oat, and potato. The processing and information analysis were done in a GIS PC-based software.

Key words: Land use, Land cover, Agriculture Assessment, Forest Assessment, Nevado de Toluca, Mexico.

Introducción

La Cuenca del Río Temascaltepec se localiza sobre las laderas oeste y suroeste del Volcán Nevado de Toluca (Foto 1). Este volcán se encuentra en la porción media del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), a 80 km al suroeste de la ciudad de México (Figura 1). La cuenca tiene una extensión de 339.6 km, hasta el punto de salida considerado en este trabajo, el cual se encuentra muy cerca de la ciudad de Temascaltepec.

Recibido: 17 de octubre de 1995.

^{**} Instituto de Geografía, UNAM, México.

En 1936 se decretó como "Parque Nacional Nevado de Toluca" al área del volcán que está incluida por arriba de la cota de los 3 000 msnm, la cual comprende comunidades de vegetación alpina, bosque abierto de *Pinus hartwegii* y bosques mixtos. Cubre una superficie de 51 000 ha que incluye al volcán y parte de su piedemonte. En la actualidad ha cambiado el régimen de administración del parque, a partir de noviembre de 1995 se decretó el que siga siendo Parque Nacional, pero la administración actualmente recae en el gobierno estatal (véase *Diario Oficial* 3/XI/1995).

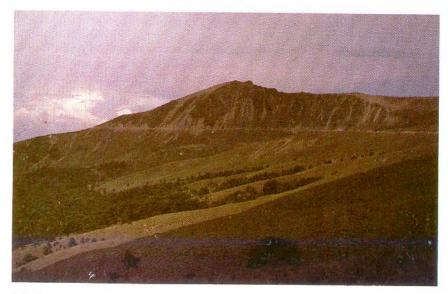


Foto 1. Ladera noroeste del Volcán Nevado de Toluca. Se muestra la franja de transición entre el bosque de *Pinus hartwegii* (4 040 msnm) y la vegetación alpina.

La influencia de la acción humana en el parque se ha incrementado a partir de la década de los treinta, principalmente en el área del cuerpo volcánico, a causa de la construcción de la carretera que conduce al interior del cráter. Dentro del área del parque se han desarrollado algunos centros de población, los cuales evidentemente generan un efecto de perturbación directa en sus ecosistemas.

La importancia estratégica de la cuenca, en relación con la disponibilidad de los recursos hídricos, radica, en gran parte, en que el volumen de agua que se extrae de sus corrientes y acuíferos es para el aporte hidráulico del Sistema Cutzamala. La cuenca en estudio, junto con otros sistemas externos a la Cuenca de México "exportan" agua a la ciudad de México. Es por ello que el uso del suelo en la cuenca, repercute tanto en la posibilidad del uso sostenible y equilibrado de los recursos locales, como en la importante función de recarga de acuíferos de los sistemas regionales.

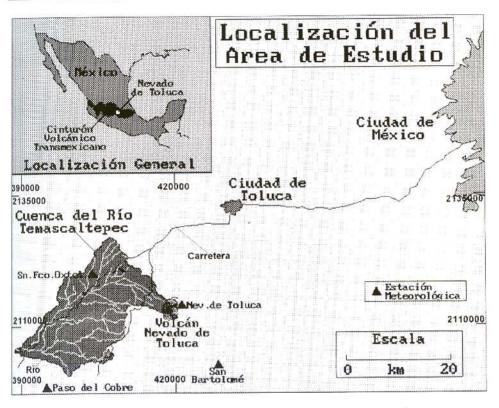


Figura 1. Localización del área en estudio, Cuenca del Río Temascaltepec. Volcán Nevado de Toluca, México.

El Nevado de Toluca se encuentra incluido dentro del CVTM, que desde el punto de vista biogeográfico es un área de diversidad singular, ya que existen afinidades de su biota con elementos de las regiones Neártica y Neotropical. Por esta razón, dicho cinturón ha sido considerado por algunos autores como zona de transición entre las regiones mencionadas (Darlington, 1957). Otros en cambio, como Goldman y Moore (1945), lo han definido como una provincia biótica diferente, con características propias. Estudios más recientes, como el de Rzedowski (1978) incluyen al CVTM dentro de la región Mesoamericana de Montaña.

A pesar de que en el CVTM existen grandes áreas declaradas como parques nacionales (se han reportado 26 de acuerdo con SEDUE, 1989), su alto deterioro las convierte en áreas prioritarias para realizar acciones de conservación. El CVTM es una de las provincias fisiográficas de la República Mexicana que ha recibido gran perturbación antropogénica. Existe una alta concentración urbana en esa área, 51% de la población de todo el país se concentra en este espacio (INEGI, 1992). La tasa de crecimiento acelerada de estas ciudades (3% anual) y el consecuente incremento de las actividades productivas primarias han

ocasionado la sobreexplotación de los bosques, la apertura no controlada de áreas para pastoreo y el uso del fuego como medio para abrir nuevas áreas agrícolas y de pastoreo. Estas actividades han ejercido una fuerte presión sobre los recursos ocasionando deterioro de los ecosistemas naturales.

Este estudio se justifica por la importancia que representa el evaluar las condiciones de degradación del medio natural, causado por las formas de uso de los recursos en la cuenca. Las actividades antrópicas en el área son de varios tipos: desde la extracción continua de resinas naturales en los bosques de *Pimus*, que reducen su capacidad de defensa ante las plagas de hongos e insectos (Foto 2), hasta el corte clandestino del bosque en el parque (Foto 3), o bien, el cambio de uso del suelo en amplias áreas de bosque, convirtiendo sitios en áreas de pastoreo e implantación de la agricultura (Foto 4).



Foto 2. Extracción de resinas naturales en el bosque de Pinus (3 000 msnm).

El alcance de esta investigación está relacionada con los siguientes objetivos generales:

 Evaluar la cobertura y composición del bosque por predio forestal y determinar los cultivos principales en los conjuntos de las áreas agrícolas de las 15 comunidades de la cuenca.



Foto 3. Resultados de la extracción clandestina de madera en el bosque de Pinus hartwegii.

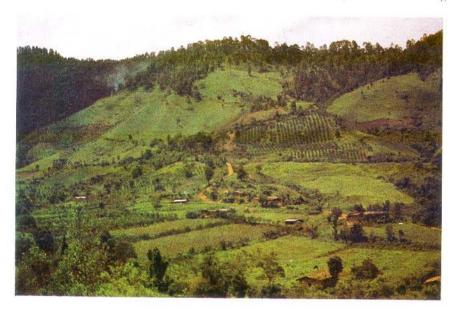


Foto 4. Diferentes usos del suelo: agricultura, inducción de pastos y explotación forestal. San Andrés de los Gama (2 200 msnm), al este de la ciudad de Temascaltepec. cerca de la salida de la cuenca.

 Relacionar algunas características geométricas del relieve con respecto a las áreas de uso agrícola y forestal de la cuenca.

Con base en la información de campo, la cartográfica y documental de la cuenca, se planteó hacer un ánalisis considerando los siguientes objetivos específicos:

- Establecer los límites altitudinales de vegetación, a partir de información antecedente, perfiles y colectas botánicas.
- Identificar los géneros dominantes de especies por predio forestal.
- Determinar la pendiente media de las áreas agrícolas de cada comunidad de la cuenca.

Área en Estudio

Medio ambiente biofísico

sólo en la salida de la cuenca.

En la cuenca existe un importante gradiente altitudinal (2 980 m), de acuerdo con sus valores extremos, de 1 700 a 4 680 m, en una distancia de menos de 50 km (Figura 2). Este gradiente genera una amplia diversidad de condiciones ambientales, sobre todo en relación con climas y asociaciones vegetales. Los intervalos de altitudes con mayor superficie en la cuenca (no se mencionan todos los intervalos) van de 2 000 a 2 500 m, con un 25% del área total de la cuenca, de los 2 500 a 3 000 m con 40% y de los 3 000 a 3 500 m el 23%. Sólo

un 6% del área se localiza en altitudes mayores a los 3 500 m (Figura 2).

Con respecto a la inclinación del terreno, el intervalo dominante es el de los 4 a 8° con un 19% del total, este intervalo corresponde a rasgos de las planicies aluviales, los piedemontes y las superficies cumbrales de los flujos lávicos cubiertos por piroclastos. El siguiente intervalo dominante es de 8 a 12° (16%). Menos de 4% del área tiene pendientes mayores a 35°, concentrándose éstas en las laderas más inclinadas del Nevado de Toluca, así como en las laderas de los conos volcánicos aislados.

Siguiendo la clasificación de Köppen, adaptada para México por García (1988), los tipos de clima, considerándolos en sentido descendente en cuanto a altitudes (todos presentan lluvias de verano) son los siguientes: Frío: Temperatura media anual (Tma) de -2° a 5°C. Se localiza sólo en las porciones más altas del volcán, de 4 000 m hasta la cresta del cráter. Semifrío, Tma de 5 a 12°C, es el segundo de mayor cobertura en la cuenca, corresponde a las porciones norte y noreste de la misma, va de 3 300 a 4 000 m. Templado, Tma de 12 a 18°C, tiene la mayor cobertura en la cuenca, desde su salida hasta la porción inferior de las

laderas del Nevado, va de 2 000 a 3 300 m. Semicálido, Tma mayor a 18°C, se presenta

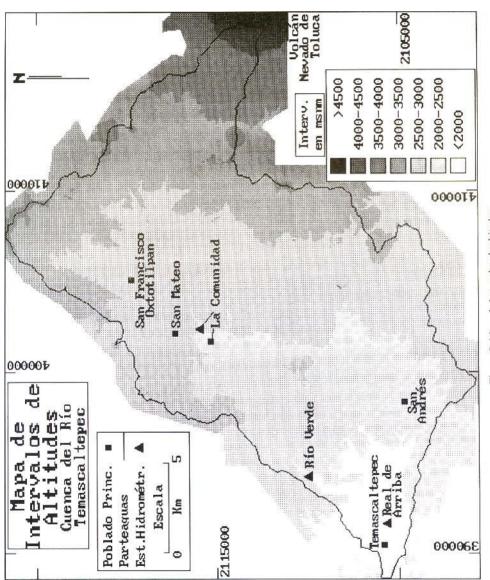


Figura 2. Mapa de intervalos de altitudes.

Los promedios mensuales de temperatura media y de lluvia mensual se muestran en las figuras 3a y 3b. Las estaciones que se consideraron están ubicadas muy cerca o dentro de los límites de la cuenca (véase Figura 1). En la figura 3a se observa que los valores de temperatura media crecen a partir de enero, hasta llegar a los máximos en mayo. Son notables las diferencias entre los valores de las estaciones a causa de su localización altitudinal.

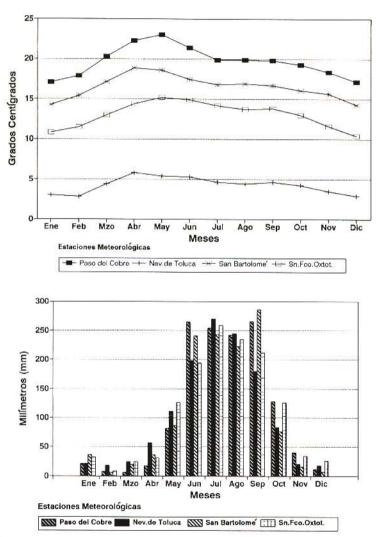


Figura 3. Características climatológicas del área (localización de las estaciones en la Figura 1). 3a. temperatura media mensual. 3b. Precipitación media mensual.

En relación con la cantidad de lluvia mensual, se puede observar su concentración en los meses de junio a septiembre, fluctuando entre poco menos de 200 mm hasta valores mayores de 250. Esta marcada estacionalidad de la temperatura y precipitación produce efectos importantes en los ecosistemas, tanto en la disponibilidad de agua para la presencia e intensidad de los procesos hidrológicos en las laderas de la cuenca, como en la temporalidad de las actividades productivas de los habitantes. En relación con los valores promedio de lluvia total anual, la mayor extensión de la cuenca se localiza en el intervalo de los 1 200 a 1 500 mm. Sólo en la porción este de la cuenca, hacia el suroeste del Nevado, existen valores de más de 1 500 mm (INEGI, 1983).

Los registros de escurrimiento mensual que se tienen para el área en estudio corresponden a las únicas tres estaciones hidrométricas que se han instalado en el interior de la cuenca (véase Figura 2; SARH, 1971). Los valores medios de escurrimiento anual son, en las estaciones La Comunidad y Río Verde, 57 Mm³ y en la de Real de Arriba 69 Mm³, estos valores promedio están condicionados tanto por la extensión del área de captación en el sitio de ubicación de la estación hidrométrica, como por la cantidad de años registrados.

Las características litológicas presentan una influencia amplia ocasionada por la cobertura de materiales piroclásticos, depositados durante las sucesivas erupciones del Nevado de Toluca, las cuales se han presentado sobre todo en los últimos 40 000 años (Bloomfield y Valastro 1974, 1977; Aceves, 1994).

Las unidades geomorfológico-morfogenéticas más representativas de la cuenca, ordenadas de mayor a menor cobertura, son:

- Superficies cumbrales y escarpes de flujos lávicos basálticos del cuaternario.
- Laderas de volcanes poligenéticos del cuaternario, formadas por flujos andesíticos y dacíticos, con diferentes sucesiones de etapas eruptivas.
- Conos volcánicos de coladas de lava basáltica y andesíticas del cuaternario.
- Superficies cumbrales de flujos lávicos andesíticos y dacíticos del terciario, cubiertas de piroclastos del cuaternario.
- · Planicies aluviales formadas por depósitos cuaternarios.

Además existe un conjunto de pequeñas planicies (inicialmente lacustres y posteriormente aluviales), formadas por el cierre del drenaje fluvial, ocasionado por los flujos lávicos de diversos orígenes. Los tipos de suelos de mayor cobertura en el área son: andosoles en las laderas que conforman el Nevado; cambisoles y feozem en la porción baja de la cuenca; luvisoles al este de Temascaltepec (con procesos de erosión acelerada); regosoles y litosoles en las laderas cercanas al cráter del Nevado de Toluca (arriba de los 4 200 m; INEGI.

1976). Existen algunos estudios a detalle sobre las características de los andosoles dentro del Nevado de Toluca, por ejemplo, Navarro (1976) diferenció los suelos derivados de cenizas volcánicas y Grajales *et al.* (1986) presentaron una clasificación detallada de los andosoles por pisos pedoclimáticos.

Medio ambiente humano

Existen 15 comunidades rurales que hacen uso forestal, agrícola y pecuario del suelo en la cuenca, en conjunto forman una población de 14 120 habitantes (**Tabla 1**; INEGI, 1991). La mayor parte de esas comunidades (doce), pertenecen al municipio de Temascaltepec el cual tiene una población total de 11 950 habitantes. Dos comunidades (La Peñuela y Raíces) pertenecen al municipio de Zinacantepec y una al municipio de San Simón de Guerrero. En general son comunidades con condiciones demográficas estables, ya que en los últimos cuarenta años han tenido una tasa de crecimiento anual de 2.1 a 2.2% (la tasa nacional de crecimiento en la última década fue de 2.3%).

La población de estas comunidades tiene sus antecedentes culturales en diversos grupos indígenas, principalmente los matlatzincas quienes fueron los primeros pobladores del área, posteriormente dominados por otro grupo, los nahuas. Para el caso de las comunidades de la parte alta del volcán (Municipio de Zinacantepec), fueron fundados por matlatzincas y otomíes. En la comunidad de San Francisco Oxtotilpan se ha concentrado el mayor número de hablantes matlatzincas (61% del total). Ellos comparten una sólida organización social que los identifica como etnia.

Más de 70% de la población económicamente activa en 10 de las 15 comunidades se dedican a actividades primarias (agricultura, explotación forestal, ganadería, caza); sólo en los poblados de Temascaltepec, San Simón y Carboneras, más de 30% de su población económica está en el sector terciario, el cual incluye principalmente actividades de comercio y transporte. En el sector secundario (industria) está incluido un porcentaje alto de la población económica, tanto en las comunidades mencionadas como en la de Real de Arriba (Tabla 1).

Debido a que las dos principales actividades primarias en el área son la explotación forestal y la agricultura, se ha puesto especial interés en la caracterización de las comunidades forestales que se explotan y en los productos agrícolas que se cultivan.

Tabla 1. Población y sectores económicos por comunidad

Comunidad	Población Total		Económ.	Sector	Sector	Sector	
Nombre	Hab.	%	Activa %	Prim. %	Sec. %	Terc.	
San. Fco.Oxt.	1 576	11	24	79	10	7	
San Mateo	1 133	8	23	78	12	8	
San Miguel Oxt.	981	7	28	88	7	4	
Mesón Viejo	459	3	29	91	4	2	
Cien/San Andrés	1 579	11	26	73	12	13	
La Peñuela	457	3	25	86	3	6	
San Antonio	881	6	26	78	6	7	
Tequesquipan	921	7	19	69	2	10	
Real de Arriba	380	3	29	52	23	21	
Carboneras	666	5	23	59	8	31	
Raíces	380	3	30	91	1	6	
Temascaltepec	1 987	14	32	5	33	56	
San Simón	1 333	9	22	18	42	33	
La Comunidad	1 387	10	28	80	7	10	
Pobl.Total (hab.)	14 120	100	3.678	2 213	558	724	

Fuente: INEGI, 1991.

Económ. Activa % = Porcentaje de la Población Económicamente Activa en relación con la Población Total.

Sector Prim. % = Sector Primario (agricultura, forestal, ganadería) en % de la Población Económicamente Activa.

Sector Sec. % = Sector Secundario (industria) en % de la Población Económicamente Activa.

Sector Terc. % = Sector Terciario (comercio, transporte) en % de la Población Económicamente Activa

Metodología

Se determinaron las diferentes comunidades vegetales con base en las cartas de uso del suelo y vegetación (INEGI, 1980) y los trabajos de González (1986) y Sandoval (1987). En general se reportan para el área de la cuenca: zacatonal alpino desde los 4 000 m a los 4 200 m bosque de Pinus hartwegii de los 3 400 m a 4 000 m formando ecotonos con Abies religiosa y Alnus acuminata entre los 3 400 y 3 500 m. Los bosques de Abies religiosa también se presentan a los 3 000 m. Siguiendo estas descripciones se seleccionaron dos puntos al interior de los linderos del parque (4 050 y 3 875 m), pudiendo obtener datos del zacatonal alpino y el bosque de *Pinus hartwegii*. Se hicieron tres muestreos más (3 290, 2 920 y 2 240 m) donde se encontraban tres diferentes asociaciones genéricas (*Pinus-Quercus, Pinus-Abies y Abies-Pinus-Alnus*).

El método de levantamiento en campo se hizo a partir de la delimitación en el terreno de cuadros de muestreo de 500 m² (20 x 25 m) siguiendo la metodología propuesta por la escuela Zûrich-Montpellier (Weger, 1974 y Mueller-Dombois *et al.*, 1988). Se registraron datos de: especies por estrato, cobertura de especie por estrato, medio físico (pendiente, orientación, características del suelo, unidad geomorfológica, condiciones de perturbación, etc.).

En este trabajo se presentan algunos resultados generales de esta evaluación de vegetación con el fin de ilustrar la influencia de los intervalos de altitudes, en relación con el tipo de vegetación dominante.

En cuanto a la densidad de cobertura vegetal y presencia de géneros para explotación de madera, para cada uno de los 148 predios forestales registrados en el área, se contó con información procedente de la fotointerpretación de fotografías aéreas integrada sobre los fotomapas a escala 1:20 000, y con datos tabulares producidos por la DSEI (Dirección del Sistema Estatal de Información, Gobierno del Estado de México) y PROBOSQUE (Protectora de Bosque, entidad encargada de la explotación de la madera) para 1989. En el caso de las áreas agrícolas y sus productos, se obtuvo información de fotomapas a escala 1:10 000 y los datos tabulares recabados por la DSEI para el periodo agrícola 1988-1989. A la fecha es la información más reciente que se tiene para el área, ya que no ha habido actualización de los datos con ese grado de detalle.

Para realizar la captura, el procesamiento y el análisis de la información se usó la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG). Éstos han sido definidos de diversas maneras (Maguire *et al.*, 1991), pero su característica principal es que permiten el manejo de una base de datos de objetos o entidades, en donde su localización y relaciones espaciales juegan un papel primordial en el análisis.

Por los reportes de resultados que se han tenido mundialmente, acerca de las aplicaciones en la evaluación, conservación y manejo de los recursos naturales con dicha tecnología (Burrough, 1989; Aronoff, 1989 y Maguire *et al.*, 1991), ese es el procedimiento más apropiado para llevar a cabo los objetivos propuestos en este trabajo. El SIG empleado fue ILWIS (Integrated Land and Water Information System; Valenzuela, 1988; ITC, 1992).

El procedimiento para el análisis de la información dentro del SIG que se siguió fue: digitización de las curvas de nivel a cada 20 m, a partir de la cartografía topográfica a escala 1:50 000, para la caracterización altitudinal de la cuenca (INEGI, 1986). Se digitizaron los límites de las áreas de uso del suelo y vegetación, áreas erosionadas y áreas desprovistas de

vegetación, a partir de los fotomapas escala 1:10 000, generados por el Gobierno del Estado de México. Se digitizaron los límites de los predios en explotación forestal, a partir de fotomapas a escala 1:20 000 (DSEI, 1990a y 1990b).

Las siguientes fases comprendieron funciones de reclasificación, cruzamiento y aplicación de tablas, para la creación de los mapas finales de propiedades del relieve y de las características de las especies forestales y de los cultivos agrícolas dentro de la cuenca. A partir de la información tabular existente, se caracterizó tanto al bosque en relación con los géneros dominantes, como a las áreas agrícolas, con respecto a los principales cultivos. Se determinaron los intervalos de cobertura de bosque en los predios forestales a partir del cruce entre el mapa de sus límites, con respecto al de uso del suelo de 1988-1989.

Resultados

Evaluación de la vegetación. Las asociaciones dominantes en la cuenca, relacionadas con los intervalos altitudinales, fueron definidas durante una primera revisión de los datos reportados. En altitudes menores de 2 000 m (7% de la cuenca) predomina Quercus y latifoliadas. De 2 000 a 2 500 m (25%), Pinus y Quercus. De 2 500 a 3 000 m (40%), Pinus y Abies. De 3 000 a 3 500 m (23%), Abies, Alnus y Pinus. De 3 500 a 4 000 m (5%), Pinus hartwegii. De 4 000 a 4 500 m (1%), Agrostis y Calamagrostis. Arriba de los 4 500 m (menos de 1%), sin vegetación.

Durante el trabajo de campo se realizaron perfiles de vegetación a detalle para cada cuadrante, se colectaron ejemplares botánicos que fueron determinados por especialistas de la Facultad de Ciencias, UNAM. Los ejemplares fueron depositados en el herbario de la misma facultad. Se hicieron los cálculos de cobertura para las especies colectadas. Esta información permitió caracterizar de mejor manera a las comunidades vegetales reportadas en los estudios antecedentes

- 1. Comunidad de zacatonal alpino (4 050 m), cuya composición florística está representada principalmente por las especies de Agrostis tolucensis, Calamagrostis tolucensis, (cobertura vegetal de 60% en el área muestreada) Gnaphalium liebmanii, Lupinus aschenbornii, Arenaria bryoides, Bryomanginia saint-pierre (cobertura de 25%) Draba jorullensis y Oxalis alpina (cobertura menor a 10%).
- 2. Bosque de Pinus hartwegii (3 975 m), es una comunidad de bosque abierto donde fisonómicamente domina esa especie de pino. Los árboles miden de 15 a 18 m, y la cobertura arbórea no rebasa 50% del área muestreada. En el estrato herbáceo y arbustivo se presentan las siguientes especies: Calamagrostis tolucencis, Alchemilla procumbens, Cerastium molle, Lupinus montanus y Circium sp. que en su conjunto llegan a cubrir cerca de 70% del área para ese estrato.

- 3. Bosque cerrado de Abies-Pinus-Alnus (3 290 m). La cobertura arbórea en esta área es de cerca de 80%. Este estrato está representado por las siguientes especies: Pinus montezumae, Pinus pseudostrobus, Abies religiosa, Alnus jorullensis y Alnus acuminata. En el estrato herbáceo y arbustivo se encuentran: Muhlenbergia rigida, Fuchsia microphilla, Monnina xalapensis y Bromus exaltatus.
- 4. Bosque cerrado de Abies-Pinus (2 920 m). Presenta una cobertura vegetal para el estrato arbóreo de cerca de 90%, las especies que conforman este estrato son: Abies religiosa y Pinus montezumae. El estrato herbáceo y arbustivo se encuentra cubriendo cerca de 65% del suelo con especies como: Salvia elegans, Festuca amplissima, Fuchsia microphylla y Oxalis alpina.
- 5. Bosque semicerrado de Quercus-Pinus (2 240 m), la cobertura del estrato arbóreo es de 50%, las principales especies son: Quercus scytophylla, Pinus pseudostrobus, Pinus ayacahuite y Pinus rudis. En el estrato herbáceo se encuentran principalmente Buddleia parviflora, Calliandra grandifolia y Eupatorium sp.

Evaluación agrícola. Las comunidades que tienen las mayores superficies agrícolas en la cuenca son Cieneguilla y San Andrés a las cuales les corresponde en conjunto un 38%. Le siguen las comunidades de San Francisco Oxtotilpan y Tequesquipan (cada una con 16% de la superficie agrícola total) (Foto 4, Figuras 4 y 5).

En relación con el análisis de pendiente media de las áreas agrícolas, a 54% de la superficie le corresponde un valor de 11° (San Francisco Oxtotilpan y Cieneguilla/San Andrés). Un 46% restante presenta un intervalo de pendiente media que va de los 5° (Carboneras) a 8° (Figura 5). A las comunidades Mesón Viejo, Temascaltepec y Tequesquipan, las cuales cubren 19% de la cuenca, tienen un valor de pendiente media de 9°. Es importante señalar que a Tequesquipan le corresponde 16% del área agrícola de la cuenca. Se puede ver que estos valores no coinciden con los óptimos para realizar actividades de agricultura tecnificada (SPP, 1981:15). Esta es una de las razones que explica el que se realicen las labores agrícolas de manera manual y con ayuda de animales de tiro.

A pesar de las características topográficas del terreno y de la vocación eminentemente forestal del área, la agricultura es una actividad importante en la cuenca. En ella se tienen registrados los siguientes cultivos: maíz, avena, avena forrajera, alfalfa, papa, durazno, clavel, limón, aguacate y rosa. Además, dentro de las áreas agrícolas se presentan superficies con pastizal inducido y cultivado para desarrollo de ganadería extensiva. En algunos casos quedaron incluidos también, dentro de las áreas agrícolas, pequeñas superficies con bosque, ganadería estabulada, áreas urbanas, áreas erosionadas, etcétera.

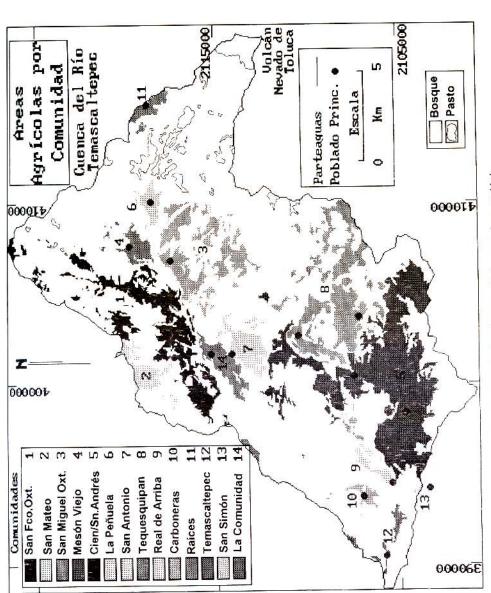


Figura 4. Mapa de áreas de uso agrícola para cada comunidad.

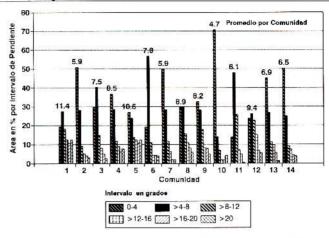


Figura 5. Intervalos de pendiente en áreas agrícolas, Cuenca del Río Temascaltepec.

Nota: Los valores en % están con respecto al área agrícola total de la cuenca. Los valores de pendiente media están en grados. Comunidades: 1. San Francisco Oxtotilpan (16%). 2. San Mateo (3%). 3. San Miguel Oxtotilpan (10%). 4. Mesón Viejo (2%). 5. Cieneguilla/San Andrés (38%). 6. La Peñuela (2%). 7. San Antonio (4%). 8. Tequesquipan (16%). 9. Real de Arriba (1%). 10. S. Carboneras (1%). 11. Raices (2%). 12: Temascaltepec (1%). 13, San Simón (0.2%). 14. La Comunidad (4%).

La tabla 2 muestra los valores de las áreas agrícolas por comunidad y su cobertura en porcentaje de los principales cultivos. En más de 50% de las superficies agrícolas se cultiva maiz para autoconsumo (subsistencia). De las 15 comunidades, en ocho se cultiva avena. La avena forrajera y la papa son cultivos casí exclusivos en las comunidades de La Peñuela y Raíces respectivamente. En menor cantidad, de 4 a 5% de la superficie agrícola de las comunidades de Cieneguilla, San Andrés y Real de Arriba se cultiva durazno. Se reportan superficies como no cultivadas, que corresponden a un 35% en el caso de las comunidades de Cieneguilla-San Andrés y de Tequesquipan, y mayores de 10% para la mayoría de las comunidades restantes, estas parcelas no estaban cultivadas (no sembradas o en descanso) cuando se realizó el registro de la información agrícola.

En la columna "otros" de la tabla 2 se agrupan cultivos que no son sembrados en grandes extensiones y además no tienen gran cobertura en el interior de la cuenca, pero sí tienen importancia en ciertas comunidades. Por ejemplo, en 30% de la superficie agrícola de la comunidad de Real de Arriba se produce durazno, limón y aguacate. En el caso de la comunidad de San Simón se tiene un 13% con cultivo de aguacate. También dentro de las áreas agrícolas existen extensiones de pasto natural inducido por "quemas", o pasto cultivado producto de la introducción de especies exóticas a la región, estos son los casos de las comunidades de San Mateo, Tequesquipan y La Peñuela.

Tabla 2. Principales productos por comunidad

Comunidad Nombre	Agricul- tura ha	Maíz %	Avena %	Papa %	Duraz- no %	Forraje %	Barbecho %	otros %
San Fco. Oxt.	1 471.6	72.4	9.3	0.0	0.0	0.0	15.0	3.3
San Mateo	207.1	64.5	1.0	0.0	0.0	0.0	15.9	18.7
San Miguel Oxt.	897.5	71.4	9.5	9.0	0.0	0.0	9.8	0.4
Mesón Viejo	227.6	70.4	9.7	4.5	0.0	0.0	11.6	3.9
Cien/Sn. Andrés	3 409.3	51.2	3.4	0.0	4.2	0.0	39.2	1.9
La Peñuela	159.5	9.2	0.0	2.7	0.0	84.6	0.0	3.5
San Antonio	368.3	72.4	7.6	0.4	0.0	0.0	19.6	0.0
Tequesquipan	928.6	53.1	0.4	0.0	0.0	0.0	35.6	10.8
Real de Arriba	77.2	54.3	0.0	0.0	4.9	0.0	10.6	30.2
Carboneras	1 08.5	85.2	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	2.2
Raíces	1 29.1	0.0	0.0	93.7	0.0	6.3	0.0	0.0
Temascaltepec	51.7	68.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	7.0
San Simón	23.3	72.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	12.9
La Comunidad	373.7	75.7	7.2	0.0	0.0	0.0	17.1	0.0
Total	8 432.8	59.2	5.0	2.6	1.7	1.7	26.2	3.6

otros = pasto, limón, aguacate, bosque, erosión.

Evaluación forestal. La mayoría de los predios forestales que se encuentran en el intervalo altitudinal de 2 000 a 3 000 m, presentan menos de 60% de cobertura actual de bosque (véanse Figura 2 y Figura 6), un 40% restante de esos predios se usa para agricultura. Esto se demuestra al observar la distribución y extensión de las áreas agrícolas de la figura 4 en el intervalo altitudinal mencionado.

En la figura 7 se señalan los géneros dominantes dentro de los predios forestales, depurados a partir de los datos tabulares. Para este análisis no se ha considerado el área del parque por no existir información disponible sobre los predios. El criterio de dominancia está en función de que la cobertura del género sea mayor a 50% en el predio. En un alto porcentaje de los predios (30% con respecto al total de la cuenca, 10 064 ha), domina el género Pinus, ya sea en bosques monoespecíficos de Pinus hartwegii o bien bosques mixtos al asociarse con otros géneros, principalmente con Alnus y Abies.

El siguiente tipo de bosque que se presenta en el área es en donde existe codominancia de Abies-Pinus, éste suma una extensión de 3 599 ha, que representan 11% de la cuenca. Las asociaciones donde codominan Pinus-Quercus suman una superficie de 1 639 ha (5%). Masas forestales de Abies exclusivamente ocupan una superficie de 2 098 ha (6%) y de Quercus solamente suman una superficie de 2 202 ha (6%). En la figura 7 se señala como "bosque fragmentado", a los predios forestales que presentan menos de 50% de área arbolada (27% de la superficie de la cuenca) y como "área sin información" la que corresponde al parque (15% de la cuenca).

Figura 6. Mapa de porcentaje de cobertura de bosque por predio forestal.

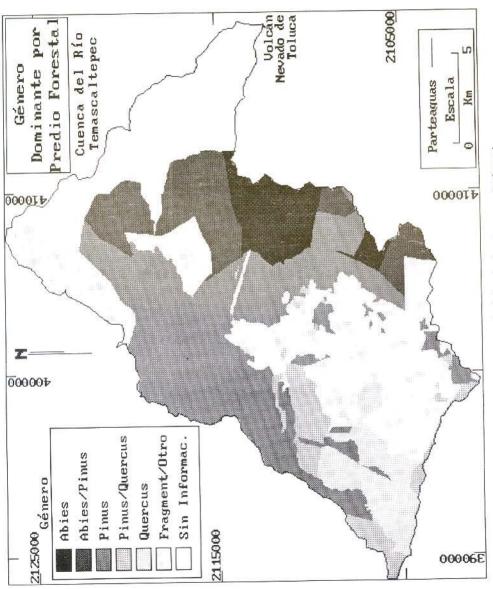


Figura 7. Mapa de géneros botánicos dominantes por predio forestal.

Discusión y conclusiones

Algunos estudios sobre comunidades específicas de vegetación para el Volcán Nevado de Toluca sugieren que aun cuando la altitud influye con mayor peso en la distribución de la vegetación, otros elementos del medio ambiente físico deben ser considerados (características climáticas, de pendiente, y de tipos de suelos). Para el área de pastizal alpino o páramo de altura (sobre los 4 000 msnm), Villalpando (1968) y González (1986), concluyeron que estos factores tienen influencia en la distribución de las asociaciones y subasociaciones.

González (1986) considera que aun cuando el factor altitudinal es el primordial en la distribución de las asociaciones de vegetación, la perturbación antropogénica ocasionada a las comunidades de páramo, ha generado cambios importantes en su composición. La causa principal ha sido la continua presencia de incendios provocados para inducir los brotes de gramíneas con fines de pastoreo.

La información presentada y los resultados obtenidos en este trabajo, han permitido interpretar y establecer un diagnóstico del uso del suelo forestal y agrícola en la cuenca en estudio.

Los estudios de evaluaciones forestales que se realizan normalmente, se han basado en enfoques de carácter dasonómicos, más que en su relación con otros factores que condicionan tales usos. En este trabajo se ha tratado de aportar resultados de mayor amplitud en términos de variables ambientales (pendiente, altitud, vegetación), aunque se reconocen las limitaciones que ofrece el tener un reducido número de muestras en términos de vegetación, así como el no tener posibilidades de corroborar la información vertida en documentos y bases de datos en los que se ha basado este diagnóstico.

La aplicación del SIG para la organización, manejo y análisis de la información fue útil para cumplir con los objetivos planteados en relación con el conocimiento de las áreas agrícolas y forestales de la cuenca. Se reconoce que el procesamiento de la información en un SIG puede tener problemas y evidentemente no mejora la calidad original de la información, aunque sí facilita su manejo y análisis. Existe todavía una serie de aspectos que deben ser evaluados para corroborar los resultados del procesamiento con dicha tecnologia. Por ejemplo, la caracterización de la propagación de los errores al sobreponer los mapas en formato de celdas ("raster") con el SIG, conduce a un acrecentamiento potencial de los errores inherentes a cada uno de los mapas, de tal forma que si se realizan sobreposiciones continuas, el error también se acrecenta progresivamente (Heuvelink *et al.*, 1989; Berry, 1993:99-105).

Otro aspecto está en relación con el uso de los modelos digitales del terreno (MDT o matriz de datos altitudinales) para agrupar clases de altitudes y pendientes del terreno. Un aspecto importante de esto es el que se refiere al error generado a partir del modelo de interpolación empleado, usado en el SIG, el cual permite calcular los valores de altitudes de toda un área, considerando que la información original (curvas de nivel digitizadas de las cartas topográficas) lo que describe es una línea que une puntos con una misma altitud y no valores de cambio continuo.

Para determinar de una manera más integral las condiciones del uso del suelo en el área en estudio será necesario complementar este primer diagnóstico con una mayor cantidad de muestreos de vegetación, una valoración de las exactitudes de la información geográfica empleada y una consideración de la información fuente generada en los últimos años, aun cuando no se encuentre acompañada de bases de datos de estudios forestales específicos. Por supuesto que un punto fundamental para establecer con mayor certeza las causas del uso del suelo, será la evaluación socioeconómica y agronómica a partir de la evaluación directa en campo de las actividades agrícolas de los que usan los recursos del suelo y la vegetación.

En este estudio se ha caracterizado una extensión de cerca de 340 km², en donde se ha resumido la actividad agrícola y forestal que realizan 15 comunidades humanas correspondientes a una población total de 14 120 habitantes. Se considera que a partir de los siguientes aspectos se podrían seleccionar temas y áreas de trabajo al interior de la cuenca. Su evaluación sería fundamental para mejorar el diagnóstico y proponer estrategias de manejo.

La cuenca tiene menos de 60% de su área cubierta de bosque principalmente en el intervalo altitudinal de 2 000 a 3 000 m y no existe ningún programa de manejo y reforestación permanente en los predios forestales. A pesar de que se realizó un número reducido de muestreos de vegetación, de alguna manera fue posible caracterizar la riqueza de especies y estratos en las comunidades de bosque. El género dominante en los predios fue el Pinus (30%) pero se constató que no son masas forestales homogéneas sino que se presentan ampliamente los bosques mixtos como Abies-Pinus (11%), Pinus-Alnus-Abies (10%) Pinus-Quercus (5%) Abies principalmente (6%) y Quercus (6%).

Se determinaron las comunidades que tienen la mayor cantidad de superficies agrícolas en la cuenca. De las 15 comunidades humanas que la habitan, diez se encuentran en el intervalo de los 2 000 a 3 000 m, el cual comprende 65% del área total. Cieneguilla, San Andrés y Tequesquipan presentan las mayores áreas agrícolas con fuertes pendientes y son también las que tienen mayor superficie en barbecho.

Dadas las características físicas y de vegetación del área, se desprende que la Cuenca del Río Temascaltepec tiene una vocación eminentemente forestal y que está sufriendo, aunque en algunos casos gradualmente, procesos de deforestación y ampliación de las áreas para pastoreo y agricultura.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo del Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA, UNAM) a través del proyecto: Evaluación del estado forestal del Parque Nacional Nevado de Toluca. Se agradecen los comentarios y sugerencias de los dos dictaminadores.

Referencias

- Aceves, Q. J. F. (1994), "Caracterización geomorfológica de los depósitos de nubes peleanas en el Nevado de Toluca", en Resúmenes de la 3ª Reunión Nacional de Geomorfología, mayo, Guadalajara, México, pp. 7-8.
- Aronoff, S. (1989), Geographic Information Systems: A management approach, WDL Publications Canada, 294 pp.
- Berry, J. K. (1993), "Beyond mapping: Concepts, algorithms and issues in GIS", GIS World Books, Fort Collins, Co., USA.
- 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.
- Bloomfield, K. y S.Valastro Jr. (1977), "Late Quaternary tephrochronology of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico", Overseas Geological Mineral Resources 46:1-15.
- Burrough, P. A. (1989), Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Clarendon Press, Oxford, 194 pp.
- Darlington, P. J. (1957), Zoogeography: The geographical distribution of Animal, John Wiley and Sons, Nueva York, 675 pp.
- Demant, A. (1978), "Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación", *Revista del Instituto de Geología*, 2(2), Instituto de Geología, UNAM, México, pp. 172-187.
- Demant. A. (1981), L'Axe néo-volcanique transmexican. Etude volcanologique et pétrographique signification géodynamique, Thèse. Université d'Aixe-Marseille, France, 259 pp.
- Diario Oficial (1995) Diario Oficial de la Federación, viernes 3 de nov. de 1995, pp. 2-6.

- DSEI (1990a), Fotomapas de predios agrícolas, periodo 1988-1989, escala 1:10 000 (19 hojas y base de datos), Dirección del Sistema Estatal de Información, Gob. del Estado de México.
- DSEI (1990b), Fotomapas de predios forestales en explotación 1989, escala 1:20 000 (8 hojas y base de datos), Dirección del Sistema Estatal de Información, Gob. del Estado de México.
- Garcia, E. (1988), Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Offset Larios, 4a. ed., 217 pp.
- Goldman, L. A. y R.T. Moore (1945), "The biotic provinces of Mexico", Journal of Mammalogy. 26:347-360.
- González T., M. A. (1986), Descripción y aspectos fitogeográficos de vegetación alpina del Nevado de Toluca, Edo. de México, tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, 50 pp.
- Grajales S.W., C. J. Vargas y G. G. Arévalo (1986), Cartografía y génesis de los suelos derivados de cenizas volcánicas del área de influencia del Nevado de Toluca, tesis, Chapingo, 130 pp.
- Heuvelink, G. B. M, P. Burrough y A.Stein (1989), "Propagation of errors in spatial modelling with GIS", Int. J. of Geogr. Inf. Systems, vol. 3, núm. 4:303-322.
- INEGI (1976), Cartas Edafológicas, escala 1:50 000, claves: E14A46, E14A47, E14A57, México.
- INEGI (1983) Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, escala 1:250 000, clave: E14-2. México.
- INEGI (1986), Cartas Topográficas, escala 1:50 000, clave: E14A46, E14A47, E14A57, México.
- INEGI (1991), Estado de México, Resultados Definitivos, datos por localidad, XI Censo General de Población y Vivienda 1990, México, 376 pp.
- INEGI (1992), XI Censo General de Población y Vivienda de 1990, Resumen general, México, 770 pp.
- ITC (1992), "The Integrated Land and Water Management Information System", User's Manual, Version 1.3. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, The Netherlands, 287 pp.
- Maguire, D. J., M. F. Goodchild y D. W. Rhind (eds.), (1991), Geographical Information Systems: Principles and Applications, Longman, U.K. vol. 1: Principles, 649 pp; vol. 2: Applications, 447 pp.
- Mueller-Dombois, D., M. Little y T. Van der Hammen, Manual of methods for transects studies. Comparative studies of tropical mountain ecosystems, International Union of Biological Sciences, Suiza, 65 pp.
- Navarro, C. J. (1976), Algunos estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas o de Ando del Nevado de Toluca (regiones este y sur), tesis, Facultad de Ciencias, UNAM, 43 pp.

- Rzedowski, J. (1978), Vegetación de México, Limusa, México, 432 pp.
- Sandoval, B. A. J. (1987), Actualización y análisis cartográfico sobre usos del suelo y vegetación del Parque Nacional Nevado de Toluca, Edo. de México, tesis profesional, Fac. de Ciencias, UNAM, 107 pp.
- SARH (1971), Boletín Hidrológico Núm. 49 Región Hidrológica No.18 (Cuenca del Medio y Bajo Balsas), vol. III, México.
- SEDUE (1989), Información básica sobre las áreas naturales protegidas de México, México, 82 pp.
- SPP (1981), Guias para la interpretación de cartografía, Uso potencial del suelo, México, 49 pp.
- Valenzuela, C. (1988), ILWIS overview, ITC Journal 1:3-14.
- Villalpando, B. O. (1968), Algunos aspectos ecológicos del Volcán Nevado de Toluca, tesis, Facultad de Ciencias, UNAM, 36 pp.
- Weger, M. J. A. (1974), "On concepts and techniques applied in Zûrich-Montpellier methods of vegetation survey", *Bothalia* 11 (3):309-323.