

00361
10
242



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

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

**GEOECOLOGIA DEL PAISAJE E IMPACTO
AMBIENTAL EN LA SIERRA NEVADA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS (BIOLOGIA)
P R E S E N T A :
RENE LOPEZ BARAJAS

MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

DEDICO ESTA TESIS A MIS PADRES Y HERMANOS
POR EL GRAN APOYO QUE ME HAN BRINDADO.

Ricardo López M.
Isabel Barajas

Ricardo
Paz
Paty
Rubén

INDICE

	pág.
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES DEL AREA	20
HISTORIA Y GEOLOGIA	22
GEOGRAFIA	27
CLIMA	31
HIDROLOGIA	36
FLORA	38
FAUNA	42
METODOLOGIA	46
RESULTADOS	62
DISCUSION Y CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFIA	96
ANEXOS	

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Geografía de la UNAM y a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, por la beca que me fue otorgada y que hizo posible la realización del estudio, así como las facilidades para el uso de las instalaciones y equipo, del Instituto.

Al Dr. Jorge F. Cervantes Borja por su acertada dirección, y por motivarme en el apasionante estudio de la Ciencia de la Ecología del Paisaje.

A los miembros de la Comisión Dictaminadora M.en C. Magdalena Meza Sánchez, Dra. Pilar Ruiz Azuara, M.en G. Víctor Manuel Martínez Luna, M. en C. Lucía Almeida Leñero M. en C. Nelly Diego Pérez, Dr. Cornelio Sánchez Hernández, por su valiosa ayuda con las observaciones, comentarios y correcciones al trabajo que fueron esenciales para la cristalización del mismo.

A mis compañeras y amigas Martha Pavón, Teresa Mercado, Sandra Barrios y Gloria Alfaro por su gran ayuda.

RESUMEN

La Sierra Nevada localizada en los 19° de latitud Norte, es una de las unidades naturales más importantes de los climas tropicales templados de México, que permanece como remanente de los últimos avances de las condiciones frías neárticas impuestas por las características de los climas glaciales del Cuaternario.

Este trabajo presenta una definición de diferentes unidades del paisaje, establecida mediante el uso de técnicas de percepción remota en imágenes del satélite Landsat MSS, que son utilizadas para estudios sobre recursos naturales. El desarrollo del trabajo se basó en el muestreo de 15 sitios de campo, a partir de los cuales se obtuvo el perfil físico-ambiental de los mismos. Con dicha información se confeccionó un banco matricial de información con el que se procedió a una integración de tipo cluster y valoración de análisis factorial de componentes principales. Para identificar y correlacionar las firmas espectrales de los campos de entrenamiento (sitios de muestreo), las imágenes fueron confrontadas con los datos de campo, para con ello establecer los patrones de imagen, correlativas con las unidades del paisaje. Los valores obtenidos sirvieron para extrapolar la definición espectral de la Sierra Nevada y con ello generar mediante aproximaciones sucesivas la correlación óptima entre los patrones de la imagen y las estructuras del paisaje.

Los resultados muestran que este tipo de técnicas requieren de información de campo precisa para llegar a obtener resultados confiables y adecuados en la definición de los umbrales (bordes) del paisaje global. En ello se deberán de considerar los cambios estacionales, que inducen cambios ambientales sustanciales, que provocan errores en la precisión de los límites de las unidades del paisaje, mismos que se tornan más críticos en los bordes ecotonales donde el cambio es una característica continua, de la transformación de las estructuras naturales. Por ello se requiere de información estacional y secuencial de imágenes de satélite. La conclusión definitiva del paisaje sólo es válida para las condiciones morfológicas del mismo, quedando para el futuro su validez como técnica para el estudio de los cambios de la geocodinámica del paisaje, una vez que se cuente con la información suficiente y adecuada para ello.

INTRODUCCION

En las pasadas dos décadas el concepto de "Paisaje" ha tenido gran importancia en la ciencias ecológicas, ambientales y geográficas, en particular cuando éste se relaciona directamente con diferentes campos de interacción entre las actividades humanas y su medio natural

El concepto moderno del paisaje define la entidad global que se estructura por los elementos físicos, bióticos y humanos, su complejidad implica que su investigación se resuelve mejor en términos de un análisis funcional, basado en el concepto integrativo "holístico." Bajo dicha consideración es posible comprender lo que ocurre dentro de la sociedad y la naturaleza.

Los estudios del paisaje como entidad ecológica, la ecología del paisaje se han desarrollado con mayor proporción en varios países de Europa. En ellos esta disciplina ha sido implementada como una extensión moderna del más clásico naturalismo germano del siglo XIX. En síntesis, esta ciencia trata de comprender y explicar las interrelaciones que existen entre el hombre y la naturaleza desde la perspectiva de la transformación del paisaje que ambos han formado y construido en su interacción espacial y temporal, incorporando en ello la dinámica del cambio histórico de la tierra.

Así una de las características fundamentales de la teoría ecológica del paisaje, es el reconocer y valorar el papel que el hombre desempeña en la dinámica de la transformación del paisaje para formalizar en ello su estudio sistemático y el de sus implicaciones ecológicas. Es por esto que la Ecología del Paisaje es una disciplina científica moderna, orientada para la planeación, manejo, conservación y desarrollo de la naturaleza y el uso de sus recursos Naveh y Lieberman, (1984), Cervantes, (1989).

Bajo este enfoque, los procesos pedológicos, geomorfológicos, climatológicos, biogeográficos y ecológicos se estudian por las interrelaciones que los integran como un paisaje. Es por ello que el paisaje se ve también como una categoría espacial geográfica y ecológica de integración y síntesis con ciertas condicionantes y comportamiento que la hacen superior a la clásica unidad de regionalización físico-espacial (Drdós, 1983).

Los objetivos de la ecología del paisaje están dirigidos al conocimiento integral de los recursos naturales, y para la utilización óptima de éstos, integra para ello, bases ecológicas que facultan la transformación del medio natural acorde con las necesidades del desarrollo, pero sin menoscabo de la calidad y preservación de la naturaleza (Ruzicka, 1985).

En años recientes se le ha dado mayor énfasis a la planeación del paisaje, con la estrecha intervención de los aspectos de planificación urbana y regional. Para lo cual, la ecología del paisaje se vincula fundamentalmente con disciplinas científicas y sociales.

La unificación de la síntesis del paisaje con la planificación ambiental como partes integrantes de la planeación regional, enfatizan sobre todo la valoración cuantitativa del impacto que sobre la naturaleza y el medio ambiente causan los usos del suelo. Con el fin de dar soluciones integrales y no solo de mitigación.

Entre las instituciones en donde se desarrolla la ecología del paisaje se encuentran: "The International Biological Program" de Alemania con un trabajo multidisciplinario para estudios de bosques, "The German-Austrian Society for Ecology", que funciona con un equipo multidisciplinario de científicos organizados en donde la ecología del paisaje ocupa una posición importante. Otra

de las organizaciones que tiene en cuenta estudios sobre la biosfera es el MAB (Programme on Man and the Biosphere) cuyo proyecto: Número seis, "El impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas de montaña" (1973), menciona que existen grandes diferencias en la escala y en el área cubierta por las montañas y las zonas templadas, pero que existe cierto tipo de características ecológicas que las hacen importantes para la utilización del suelo. Por lo que estas zonas están en vías de una rápida presión ejercida por el hombre, dando un giro al cambio en el uso del suelo. Se contemplan las situaciones de las comunidades poco perturbadas hasta las muy modificadas para cubrir así la coexistencia equilibrada de la agricultura, la silvicultura y el turismo.

Para abordar estudios sobre ecología del paisaje se han desarrollado metodologías tales como el método del CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), donde se ha utilizado como patrón de estudio la topografía, clima, suelo y vegetación, en el análisis regional del uso del suelo en Australia Basinkl, 1978, en Tricart, 1979 y Naveh y Lieberman, 1984, y del ITC (International Institute for Aerial Survey and Earth Science) en Holanda, donde se ha aplicado el concepto holístico del paisaje, así mismo se han destacado otras escuelas tales como la soviética, francesa y alemana. Dentro de la primera se encuentran los excelentes trabajos de Akademija, 1969, Mukhina, 1973, Beroutchachulll, 1991. Dentro de la escuela francesa existen estudios del paisaje mediante técnicas de percepción remota tales como los de Amat et al, 1984 y 1985. Así como el de Antrop (1985). Con respecto a la escuela Alemana existen los trabajos de Barner (1981), y el de Richter y Shonfelder (1981) entre otros.

MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual y epistemológico de la Ecología del Paisaje sustenta sus bases centrales en los principios unificados de la Ecología, Geografía, y la Teoría General de Sistemas. Por

la necesidad de llegar a una visión integral de los geoeosistemas para entender con ello el funcionamiento del paisaje como una entidad holística integrada de los componentes interactuantes como son el clima, suelo, vegetación y las actividades humanas. Por tanto, el objetivo central de la ecología del paisaje es la de unificar el desarrollo socioeconómico y la conservación de la naturaleza.

Esta disciplina concibe la aproximación al estudio de la superficie terrestre en función de la organización espacial y la temporal, la primera consiste en el estudio de las relaciones espaciales y de las configuraciones de los geoeosistemas y sus elementos en cuanto a la composición y distribución de energía, materia y espacio vertical y horizontal. La segunda estudia los patrones de la dinámica de los cambios de la estructura y función en el tiempo, así como los cíclicos y la evolución unidireccional. Bajo dicha consideración, en el análisis del paisaje existen al menos tres diferentes enfoques:

Un análisis científico que pretende el esclarecimiento de la génesis, desarrollo y evolución de las estructuras del sistema natural de su funcionamiento, su dinámica en el espacio y tiempo como una unidad autogenerativa.

Un análisis funcional para la investigación de su relación con los procesos socioeconómicos, manteniendo el paisaje como un objeto resultante de las actividades sociales.

La orientación tecnológica en términos de modelos explicativos predictivos, y experimentales para buscar regularidades técnicas y científicas.

Es de gran relevancia para los fines teórico - metodológicos el que el paisaje pueda describirse como una unidad espacial discreta e individual. En el análisis del paisaje, las diferentes dimensiones espaciales de los objetos requieren enfoques y procedimientos específicos de investigación, para ello

es importante la base de la "teoría de las dimensiones geográficas" (Naveh y Lieberman, 1984), que reconoce diferentes unidades:

Unidades espaciales básicas con caracteres homogéneos (geotopos).

Unidades que consisten en combinaciones de componentes espaciales básicas con material heterogéneo y de diferentes dimensiones (geocoro).

Unidades regionales que representan áreas con algunos factores dominantes seleccionados con cierto grado de homogeneidad.

El paisaje global como un todo. La esfera del paisaje es un objeto global que comprende una sección de elementos de la biota y los procesos de reproducción de la sociedad.

En esta se encuentra el estrato natural principal que es el ecológico geosinérgico que funciona como la zona dominante de materia y flujo de energía, producción de biomasa, intercambio hídrico y gaseoso, filtración y evaporación; así como procesos de amortiguamiento.

La ecología del paisaje se enfoca en tres características del paisaje:

1.- Estructura. Distribución de energía, materiales y especies en relación con el tamaño, forma, número, tipos y configuraciones de los ecosistemas

2.- Función. Interrelaciones entre los elementos espaciales, esto es los flujos de energía, materiales y especies entre los ecosistemas.

3.- Evolución. Modificación en la estructura y función del mosaico ecológico a lo largo del tiempo.

El ecosistema y los componentes abióticos. Los componentes abióticos son la parte fundamental de un complejo del paisaje ya que en ellos se reflejan los índices y las propiedades ecológicas y procedimientos que se llevan a cabo en el paisaje, ya que los procesos físico químicos y biológicos operan como parte de una unidad en el espacio y tiempo.

Los ciclos naturales se dan en un continuo de escalas espacio tiempo y en él existen cambios que van desde las reacciones bioquímicas de unos cuantos segundos y que se desarrollan en ambientes tan pequeños como un organelo, hasta los procesos evolutivos milenarios. Las diferentes ramas de la biología estudian estos procesos, siendo la ecología, biogeografía y la evolución, las disciplinas que se encargan del estudio que va más allá del nivel de organización celular.

El ambiente es la parte integral del ecosistema, se pone énfasis en la energética y los ciclos biogeoquímicos como punto de partida en el análisis funcional del ecosistema. Los componentes de los ecosistemas son agrupados en forma diferente de acuerdo con los enfoques biótico y funcional.

Los estudios de ecología del paisaje, dada su complejidad, son abordados desde el punto de vista holístico y sistémico, que se basa en la doctrina filosófica del expansionismo y el procedimiento de síntesis. El expansionismo sostiene que todos los objetos, eventos y fenómenos son partes de unidades más grandes. El procedimiento de síntesis ubica a la estructura en un sistema mayor que lo contiene y trata de explicar la función que éste tiene en el sistema más grande.

Por otro lado, la base epistemológica de la ecología del paisaje está sustentada por la "Teoría General de Sistemas". El marco teórico considera que la realidad está compuesta por unidades ordenadas en una estructura sistemática de jerarquías. Este enfoque conceptual de visión global propone estudiar y establecer los patrones comunes de organización o estructura de

las relaciones de los elementos componentes.

Aunque existen dos significados para la palabra paisaje, el de la lengua común se ha relacionado más con el paisaje escénico (Naveh y Lieberman, 1984) que se refiere a una categoría fisonómica que al interpretarse bajo un lenguaje científico se traduce en una imagen de territorio, empleada por los geógrafos físicos, como equivalente a un geocomplejo, como categoría territorial o sea un paisaje geográfico compuesto de objetos materiales en cualquiera de sus tres estados (González, 1981; Bartkowski, 1983). Así, el paisaje es considerado como una estructura espacio-temporal; segmento de la esfera del paisaje en el que se unifica la "troposfera, hidrosfera, pedosfera, biosfera y litósfera" bajo formas de paisaje incluida la esfera socioeconómica en sus interacciones, enlaces y relaciones. La ecología del paisaje es entonces, una ciencia interdisciplinaria que relaciona a la sociedad humana, su evolución y ajuste, con un patrón espacial del paisaje constituido por procesos bióticos y abióticos interactuantes (Hynek y Trnka, 1985).

Cartográficamente una unidad de paisaje se ha definido como un área homogénea mapeable en suelo, topografía, clima, potencial biológico, etc., cuyos límites se determinan por un cambio en una o más características (Naveh y Lieberman, 1984). Este tipo de unidad se caracteriza por tener cuatro aspectos específicos:

- 1.- Agregación particular de tipos de ecosistemas.
- 2.- Flujos e interacciones particulares entre los ecosistemas que los conforman.
- 3.- Patrones geomorfológicos, climático y cultural característicos.
- 4.- Un régimen de perturbaciones típicas.

Los enfoques de estudio del paisaje incluyen en términos generales varias corrientes:

-Espacial descriptivo (Geografía)

-Funcional descriptivo (Biología)

La combinación de las anteriores: ecología del paisaje.

Tales enfoques son concebidos desde que Troll, en 1939, reconoce la necesidad de llegar a una visión integral de los ecosistemas para poder realizar estudios apropiados y entender el funcionamiento del paisaje, partiendo de la premisa, de que un paisaje es una entidad holística (integrada) más que la suma de componentes interactuantes (clima, litología, suelo, vegetación, actividades humanas), y que para su estudio se deben complementar los enfoques geográficos y los biológicos.

La introducción de la dimensión geográfica, espacial, al concepto de ecosistema fue uno de los puntos de partida importantes para el logro de una mejor aplicación del enfoque ecosistémico propuesto por Clements y Tansley a principios del siglo XX (en Etter, 1990). Fue así como en la práctica, la ecología del paisaje permitió combinar la aproximación horizontal del análisis espacial de los fenómenos naturales empleado por los geógrafos, con la aproximación vertical del análisis funcional de los biólogos, introduciendo de esta manera la noción de ecotopo y consolidando dos disciplinas importantes en el estudio integral del medio natural: la ecociencia y la geociencia (Naveh y Lieberman, 1984; Cervantes, 1974, 1975, 1979).

La geociencia estudia los sistemas del aire, agua, tierra, energía y vida que rodea al hombre, y depende de los conceptos obtenidos de meteorología, geofísica, oceanografía, ecología, así como de herramientas metodológicas de las ciencias físicas, químicas, biológicas y matemáticas.

Por tanto, la interacción del hombre con el medio, implica a las acciones por efecto único de las fuerzas físicas y que se incluyen en el campo de la geociencia y las que involucran directamente a los seres vivos y forman el campo de la ecociencia (Cervantes, 1974, 1975, 1979). Así entonces, las teorías científicas de la teoría general de sistemas, la biocibernética y

la ecosistemología, constituyen el marco conceptual, epistemológico y metodológico en la comprensión de ese complejo sistema de interacciones que estudia la ecología del paisaje o la geoecología (Naveh y Lieberman, 1984).

La teoría general de sistemas, incrementa su desarrollo técnico y filosófico a partir de los años cuarenta siendo su principal representante, Bertalanffy en Aracil, 1988. Esta trata fundamentalmente sobre las propiedades y leyes de los sistemas (Bertalanffy, 1968). Es en general una metodología que se aplica al análisis de los componentes de un sistema, para evaluar, solucionar y mejorar su operación conjunta; por ello, es una herramienta fundamental en la toma de decisiones que se basa en aspectos sistémicos y matemáticos (Cervantes, 1974).

La ecosistemología es la teoría de ecosistemas transdisciplinario con el ecosistema humano total, como el nivel más alto de integración ecológica y con la ecósfera, como su entidad de paisaje global, definido en tiempo y espacio (Naveh y Lieberman, 1984). Bajo este enfoque es posible entonces considerar que el paisaje tiene seis dimensiones:

1. La perceptiva: ofrece las unidades de medida del paisaje a escala humana.
2. La conceptual: almacena la percepción del ambiente en la mente del hombre y se refiere a un mapa mental que es codificado, evaluado e interpretado.
3. La funcional: estudia las relaciones funcionales entre los objetos considerándolos como movimientos verticales y horizontales de materia y energía.
4. La topológica: Los fenómenos deben ser nombrados, descritos y ordenados en una estructura comprensible (unidades regionales fundamentales). Bajo esta dimensión se reconocen las siguientes unidades

a) Unidades espaciales básicas con caracteres homogéneos (geotopos y ecotopos) (Cervantes, 1974); o bien el sitio (Zoneveld, 1979).

b) Unidades espaciales que consisten en combinaciones de componentes espaciales básicos con material heterogéneo (geocoro).

c) Unidades regionales generalmente contienen una serie de paisajes y representan áreas con algunos factores dominantes seleccionados, crean un cierto grado de homogeneidad. La región es una parte de la superficie terrestre con condiciones climáticas, fisiográficas, bióticas y socioeconómicas.

d) La esfera del paisaje global como un todo

- Cuenca hidrográfica: Las cuencas forman una parte de un paisaje o contienen varios paisajes según su superficie y ubicación, donde sus límites pueden coincidir o no con los de una unidad de paisaje. Es siempre una unidad geográfica funcional.

5. La corológica: los sistemas de la Tierra pueden describirse y clasificarse por atributos especiales, resultando en una clasificación jerárquica de unidades del paisaje.

6. La dinámica: interrelación hombre-ambiente.

El grado de modificación del paisaje por el hombre está estrechamente relacionado con el número de personas y su consumo de energía. Las bases energéticas encaminadas a asimilar y utilizar un territorio, así como con la duración del empleo del mismo.

El uso del medio natural fundamentado científicamente, no debe reducir el potencial natural, ni empeorar sus cualidades, pero el hombre, para obtener más rápidamente ventajas de la explotación de los recursos naturales, a veces altera en tal

grado el ciclo de la sustancia y la energía que las consecuencias son irreversibles; por ejemplos la tala de bosques a un ritmo más acelerado que la repoblación natural y/o contaminando el ambiente con desechos de producción y envenenando el aire con sustancias mortíferas; el hombre rara vez comprende que esto provoca cambios irreversibles del paisaje y posteriormente conduce a una alteración del equilibrio móvil (ciclos) del planeta, poniendo a la humanidad en una situación difícil (Riábchikov, 1976)

La vegetación es un continuo complejo de poblaciones y no un mosaico de unidades discontinuas (Whittaker, 1967). La escuela de Wisconsin dirigida por Curtis en 1949 desarrolló una técnica llamada Análisis de Gradiente para el estudio de la variación continua. Este análisis de consiste en tomar muestras a intervalos a lo largo de un gradiente ambiental

ASPECTOS GENERALES DEL PAISAJE

El término paisaje tiene dos significados, uno del lenguaje común que significaría un paisaje visual o una representación de un escenario natural (pradera, bosque, etc.) y otro del lenguaje científico que significa un geocomplejo, una categoría territorial. En alemán Landschaft (paisaje) no sólo se refiere a la percepción estética del paisaje, sino que contiene primordialmente una connotación espacial geográfica de la Tierra.

Al igual que todo sistema concreto, los paisajes se componen de dos grupos de patrones o partes fundamentales: los que son visibles (fenosistema) y los que no lo son (criptosistema) (González, 1981).

Los patrones fenosistémicos son una manifestación y reflejan partes, procesos o interacciones no visibles, es decir criptosistémicos. El fenosistema de un paisaje se compone de dos partes principales.

Geoforma: se refiere a todos los aspectos que tienen que ver con la morfología de la superficie terrestre (relieve-volumen, forma y longitud de pendientes; tipo y densidad del patrón de drenaje; etcétera).

Cobertura: incluye todos los aspectos que cubren la superficie terrestre ya sean de origen natural o cultural (fisonomía y composición de la cobertura vegetal expresada por las formas de vida dominantes y sus asociaciones; estratificación de biomasa; coberturas naturales no bióticas, como el hielo, el agua, las suelos y las coberturas culturales, como los edificaciones, infraestructura, etcétera).

La cobertura muestra de una manera diferente, más fácilmente y en escalas más sutiles, los procesos de cambio. Por su parte la geoforma puede almacenar mejor información acerca de aspectos dinámicos de un área, que sean temporalmente más remotos.

La ecología del paisaje basada en una dimensión integral se apoya en tres elementos generales de acuerdo con la aproximación de estudio de la superficie terrestre.

1.- La estructura. Comprende el estudio de las relaciones espaciales y de las configuraciones de los ecosistemas. Las características estructurales de un paisaje están determinadas por tres propiedades generales (González, 1981).

a) La vectorial. Esta propiedad define en forma general las toposecuencias o asociaciones de relieve de las distintas geoformas que determinan comportamientos o patrones repetitivos predecibles. El concepto de catena incluye patrones asociativos de topografía, suelo, vegetación y uso, que está ligada directamente al tipo de sustrato y a su génesis.

b) La equipotencial. Se origina en las variaciones latitudinales y altitudinales que determinan las condiciones climáticas generales que generan las características de

zonalidad.

c) La celular. Crea los límites del tipo más abrupto de paisaje; se da cuando se presenta discontinuidad de los patrones de distribución del sustrato (litología, hidrología, suelos) por causa de intrusiones, deposiciones, drenaje, etc., que determinan las características de la zonalidad e intrazonalidad. También las actividades humanas por medio de quemas, mecanización y fertilización recurrentes.

En los paisajes naturales son más característicos los límites transicionales: las actividades humanas en general, dan por resultado el incremento del número de límites abruptos en un paisaje.

2.- La Funcionalidad. Estudia los tipos de interacción entre los factores formadores del paisaje y los elementos de éste, en cuanto a los tipos, las intensidades y las direcciones de los flujos de energía, materia y especies. Comprende fotosíntesis, respiración (flujo de energía), circulación de minerales (ciclos biogeoquímicos), sucesión (cambios en tiempo) (Lugo y Morris, 1982).

3) La Temporalidad. Estudia los patrones de la dinámica de los cambios de la estructura y el funcionamiento en el tiempo.

Cambios cíclicos y cambios unidireccionales. El paisaje natural es una supraestructura conspicua de un sistema de interacciones, caracterizado por un importante dinamismo, y se mantiene por la interacción de componentes vivos e inertes (roca, atmósfera, agua, microorganismos, plantas, animales y acciones humanas).

El desarrollo o la evolución de un paisaje depende de la operación de tres mecanismos:

a) Procesos geomorfológicos y climáticos particulares que actúen por un periodo prolongado.

- b) Patrones de colonización de organismos.
- c) Perturbaciones locales en ecosistemas específicos, durante tiempos cortos.

Dentro del análisis del paisaje existen tres enfoques diferentes.

- 1.- Científico y Técnico, determina las estructuras del sistema natural y su funcionamiento y dinámica en el espacio y el tiempo (Naveh, 1984).
- 2.- Funcional, considera el paisaje como objeto de actividad social.
- 3.- Análisis comparativo de estructuras del paisaje con normas establecidas por la sociedad, bajo consideración de regularidades técnicas y científicas, conduciendo a una evaluación y prognosis de estructuras del paisaje.

TIPOS DE PAISAJE

Forman y Godron (1986) identificaron cinco tipos de paisajes en relación con el tipo, grado e intensidad de la actividad humana.

PAISAJES NATURALES: sin impacto humano significativo.

PAISAJES MANEJADOS: donde se cosechan y manejan las especies nativas.

PAISAJES CULTIVADOS: donde predominan las actividades agropecuarias con reemplazo de las especies nativas.

PAISAJES SUBURBANOS: compuestos por un mosaico de parches heterogéneos de conjuntos residenciales, cultivos con vegetación seminatural y natural.

PAISAJES URBANOS: áreas donde la matriz se compone de construcciones urbanas con algunos parches dispersos de vegetación manejada.

Elementos que conforman a un paisaje dado:

Tipo parche: son definidos como una superficie no lineal de tamaño variable que difiere fisonómicamente de sus alrededores, y poseen un grado de homogeneidad interno. Por lo general se encuentran inmersos en matrices de características contrastantes en cuanto a fisonomía y composición. Un ejemplo de parche es un bosque remanente rodeado por un pastizal. Existen diferentes tipos de parches: los de perturbación, remanentes, de recursos ambientales y los introducidos.

Tipo corredor: son definidos como una franja angosta y alargada, de forma y dirección variable que atraviesa una matriz y difiere de ella. Los corredores en un paisaje unen o separan elementos de una matriz geográfica. Pueden ser de origen natural o cultural, sin embargo, son más conspicuos en paisajes culturales. Los corredores naturales están directamente relacionados ya sea con redes de drenaje, con las vías de migración biótica o, bien, con condiciones particulares del sustrato por diferencias litológicas o hidrológicas. Un ejemplo podría ser un bosque ripario en una zona árida.

Tipo matriz: Este elemento es el más extenso de los mencionados, adquiriendo así un papel dominante en el funcionamiento de un paisaje. Se define pues como matriz de un paisaje, aquel tipo de elemento del paisaje que ocupa la mayor área relativa. El papel y la extensión de la matriz dependen mucho del tipo particular del paisaje. Pueden encontrarse paisajes en los que domina claramente el elemento matricial con unos pocos parches y corredores, o bien, pueda haber paisajes compuestos enteramente por parches formando un mosaico muy complejo. Un bosque natural no perturbado puede considerarse una "matriz", los claros "parches" y los caminos "corredores".

ANTECEDENTES

El término paisaje fue introducido como un término geográfico científico por A. von Humbolt a principios del siglo XIX, que lo definió como el carácter total de la región de la Tierra. Posteriormente, los geógrafos rusos le dieron un significado más amplio incluyendo los fenómenos antropogénicos, orgánicos e inorgánicos en el concepto de paisaje llamando a esto geografía del paisaje. En 1939, Carl Troll (biogeógrafo alemán, en Naveh y Liberman 1984, definieron el paisaje como la entidad visual y espacial total del ámbito del hombre, integrando la geósfera con la biosfera y lo hecho por el hombre. Troll acuñó después el término ecología del paisaje o su sinónimo geoecología esperando una colaboración más íntima entre geógrafos y ecólogos.

En los años cincuenta y sesenta Neef y Schmithuesen desarrollaron también el concepto de paisaje y ecología del paisaje. Dansereau (1957) definió el paisaje como la suma de los ecosistemas interactuantes y en 1963, Buchwald considera al paisaje como el sistema dinámico multiestratificado de la biosfera y la geósfera. Egler (1964) acuñó el término ecosistema humano total al darse cuenta del papel activo del hombre como una parte integral de un nivel mayor que opera en el paisaje.

Berry (1973), menciona que el paisaje no sólo está formado por elementos, sino por procesos por donde fluye la materia y la energía. Por último, propone que los paisajes como portadores de ecosistemas son sistemas de control en los cuales los componentes básicos están parcial o totalmente controlados por el hombre.

Definición de ecología del paisaje

La ecología del paisaje surgió en un intento por unir los sistemas naturales, agrícolas, humanos y urbanos. El desarrollo del concepto del paisaje en ecología del paisaje es casi desconocido fuera de Europa, de tal manera que el término

ecología del paisaje hasta hace algunos años estaba prácticamente ausente de la literatura de América y más aún de nuestro país.

Troll (1966) definió ecología del paisaje como el estudio de las relaciones físico biológicas que gobiernan a las diferentes unidades espaciales de una región. Consideró que la región era tanto vertical (dentro de una unidad espacial), como horizontal (entre unidades espaciales). Dansereau propuso en 1957 el estudio del paisaje como el nivel integrativo más alto de procesos y relaciones ambientales, al que llamó nivel industrial.

El concepto actual de paisaje se concibe en el sentido de paisaje cultural, es decir, el paisaje transformado por el hombre. Actualmente se le reconoce a la ecología del paisaje como la base científica para la evaluación, planeación, manejo, conservación y aprovechamiento de la tierra.

La investigación de la ecología del paisaje se enfoca hacia el desarrollo socioeconómico sostenible y hacia la conservación de la naturaleza, además del manejo adecuado de recursos naturales y la creación de bases ecológicas para la planeación ambiental. Debido al gran reto de salvar el espacio del hombre y las áreas naturales, hay una necesidad urgente de consolidar esta ciencia.

En México, los estudios de ecología se han basado en los planteamientos físicos y biológicos y sus interrelaciones, mientras que la ecología del paisaje pretende abarcar un concepto más amplio, es decir, se refiere al estudio de los componentes físicos, bióticos y sus interrelaciones con la sociedad, ya que los estudios sobre vegetación en México han sido enfocados principalmente sobre la composición florística de un gran número de ecosistemas (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowsky, 1978).

Sin embargo, los aspectos de carácter funcional han sido poco estudiados debido al largo tiempo que se requiere para ello, empero, existe una conciencia de la importancia que

reviste conocer la heterogeneidad ambiental de nuestro país, que es producto de su ubicación geográfica, de su accidentada orografía y sus diferentes climas, lo cual ha hecho que tenga una gran diversidad biológica y, por ende, una gran variedad de paisajes que constituyen un potencial de recursos naturales renovables abundantes, susceptibles de ser aprovechados óptimamente. Esto constituye un gran reto para la ciencia de la ecología del paisaje, pues se conoce aún muy poco acerca del funcionamiento de la gran variedad y riqueza de los paisajes mexicanos y al elegir a la Sierra Nevada como una zona de vegetación templada se pretende aumentar y comparar una serie de estudios ecológicos que se han hecho en la zona a diferente escala, la cual permite analizar las relaciones existentes entre la gran extensión del área en los parámetros ambientales y de vegetación que se utilizan en cada caso, así como los tipos de unidades ambientales y unidades de paisaje que se establezcan. Así mismo, es una región relativamente conocida desde el punto de vista científico.

Es de suma importancia la interpretación detallada de imágenes de satélite de la zona para delimitar los distintos sistemas de relieve así como el analizar los elementos geomorfológicos de importancia para determinar los paisajes. La información que proporcionan las imágenes se corrobora en el campo para caracterizar las diferentes comunidades de vegetación, la geomorfología, la topografía, las construcciones humanas, la actividad agrícola, la hidrología, y la dinámica de los límites de las unidades del paisaje.

Entre las técnicas recientemente desarrolladas, destaca la evaluación del paisaje natural como parte constitutiva en la planificación y explotación integral del medio natural, de esta forma, numerosas áreas legalmente protegidas están siendo designadas con títulos distintos de acuerdo con las funciones que desempeñan tal como sucede en parques nacionales, monumentos naturales, reservas biológicas. En México, la explotación del paisaje con fines recreativos es una idea que concebida en el

pasado, aún no logra el nivel adecuado para desarrollarse con plenitud.

De acuerdo con lo anterior el presente estudio tiene los siguientes.

OBJETIVOS

Definir las diferentes unidades ambientales y del paisaje en la Sierra Nevada.

Determinar las causas del impacto ambiental en la zona de estudio.

Obtener un diagnóstico de las condiciones ambientales que se asocian a las diferentes unidades del paisaje en el área de estudio.

Contribuir con una metodología para la obtención de límites y zonificación de áreas en zonas templadas.

Hipótesis

Es posible obtener los límites de las unidades del paisaje y establecer una zonificación territorial en zonas templadas, y una cuantificación del impacto ambiental mediante una metodología integral basada en la aplicación de técnicas de percepción remota, y sistemas de información geográfica.

ANTECEDENTES DEL AREA

La Sierra Nevada es una estructura geológica de gran interés que en su composición orográfica ocupa el lugar más importante dentro de las serranías que conforman el país, no obstante su corta extensión, contribuye a la conformación del relieve general del suelo en la parte alta de la meseta central y, además, hace una división de la región dándole una fisonomía diferente.

Dicha sierra está conformada por dos volcanes principales, Iztaccíhuatl y Popocatepetl situados a 64 y 84 km al sureste de la ciudad de México respectivamente, ambos han sido objeto de estudio en diferentes aspectos de los cuales destacan los realizados por White (1962) refiriéndose al lado occidental del Iztaccíhuatl en el cual describe los acontecimientos volcánicos y geomorfológicos del Pleistoceno superior.

Dada la importancia que tiene este tipo de bosques en el país, el Instituto de Investigaciones Forestales, en 1961, promovió la instalación de una serie de estaciones y campos experimentales con el fin de realizar estudios en las propias superficies para investigar diversas alternativas de usos eficientes de los recursos naturales renovables existentes en la comunidad,

Beaman (1965) en su estudio ecológico aborda las dos montañas y hace una relación de la flora alpina y subalpina de ambas. Además, menciona que al incremento de la altitud el número de especies y de individuos decrece.

También para este volcán Domínguez (1975) enmarca un estudio ecológico para conocer las relaciones que existen entre el suelo y la vegetación, así como de los factores climáticos y bióticos como parte importante para el desarrollo del bosque. Otro estudio en el Iztaccíhuatl es el de Anaya et al (1980) en el que hace una relación entre la vegetación y los suelos del declive occidental, bajo un transecto altitudinal donde resalta la importancia de los bosques de coníferas por su aprovechamiento y

por la superficie que ocupa este tipo de bosques en el país.

Barron y Ortiz (1981) realizaron un diagnóstico del desarrollo de comunidades rurales en áreas forestales circundantes al campo experimental forestal de San Juan Tetla, Puebla; ubicada en la vertiente oriental del mismo volcán.

Almeida et al. (1994) realizó un estudio sobre el zacatonal alpino del volcán Popocatepetl y su posición en las montañas tropicales de América. Describe cinco asociaciones vegetales zonales y dos comunidades azonales, así como la distribución geográfica y altitudinal de las comunidades y su relación con factores ambientales.

Aguilera y Ordoñez (1895) realizaron una descripción detallada del Popocatepetl basada en la geología, tipos de suelo y la importancia de los deslaves de la nieve del pico más alto que se dirigen a las partes bajas, sobre todo al Valle de Chalco.

Acerca de la fauna de los volcanes se tienen los siguientes estudios: Rojas (1951) investigó aspectos del conejo zacatucho en el volcán Popocatepetl; Villa (1953) realizó una colecta de ejemplares de mamíferos en la Sierra Nevada; Barrera (1968) realizó un estudio interesante sobre algunos Siphonopteros en el área de estudio;

Santillán (1979) desarrolló un trabajo sobre mamíferos de la ladera Este del volcán Iztaccihuatl, Blanco (1981) estudió los mamíferos de Zoquiapan; Palacios, (1985) sobre los microartrópodos del Popocatepetl donde además se tratan aspectos ecológicos de los ácaros e insectos colémbolos Flores, y Geres (1988) mencionan que se encuentran en el área 5 especies en peligro de extinción.

AREA DE ESTUDIO

Ubicación. La Sierra Nevada forma parte del Eje Neovolcánico comprendiendo parte de los estados de México, Puebla y Morelos; conformada por los volcanes principales Iztaccihuatl y Popocatepetl y se encuentra enmarcada en los límites (Fig. 1):

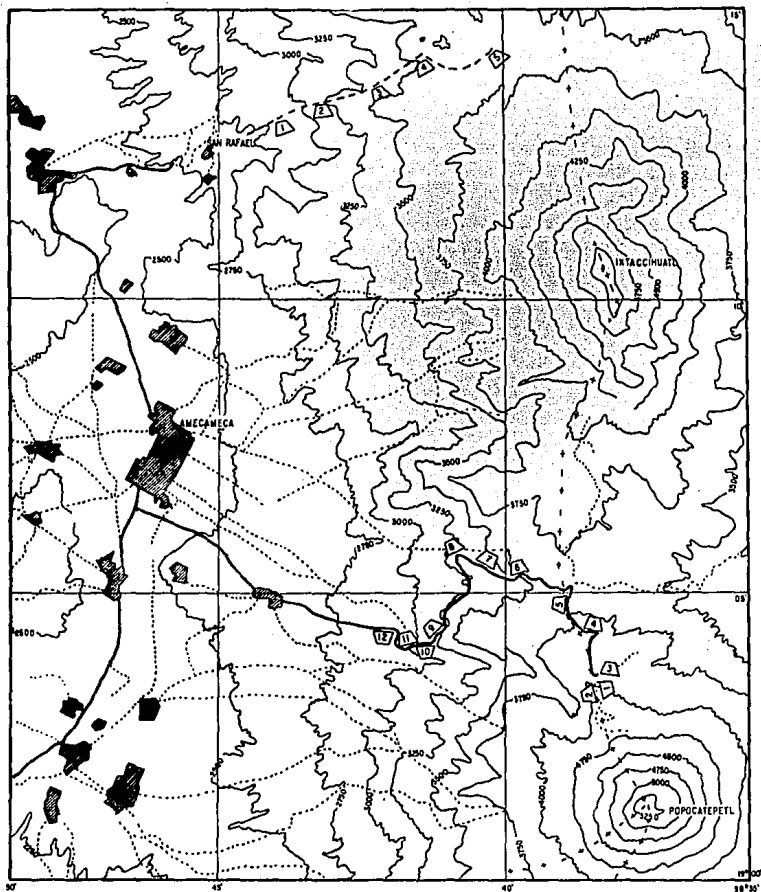
Norte: Texcoco, Mex. 19° 34' latitud Norte
Sur: Tetela del Volcán, Mor. 18° 47' latitud Norte
Oriente: Huejotzingo, Pue. 98° 20' longitud Oeste
Poniente: Chalco, Mex. 98° 58' longitud oeste

HISTORIA Y GEOLOGIA

No es difícil imaginar el majestuoso e imponente espectáculo que tuvieron ante sí, los primeros habitantes del Valle de México, y esta debe ser la razón por la que dedicaban abundante tiempo a los fenómenos del vulcanismo. Los primeros mexicanos creían que los volcanes habían surgido después que los mares invadieron la tierra, en la edad del predominio del fuego, el "Tletonatiu" (según la mitología nahua), época en que brotaron ríos de fuego y se encendió la tierra y que sólo los pájaros podían escapar, así los hombres se convirtieron en pájaros y sólo uno se salvó escondido en una cueva con su mujer, de donde volvieron a procrearse nuevos hombres y sus mujeres (Varza, 1971).

Durante la Conquista y la Colonia, los estudios se limitaron a meras descripciones y exploraciones con fines utilitarios, haciendo énfasis en su importancia hidrológica (Alzate, 1789) en: Agullera y Ordoñez, 1895. Actividades que se mantuvieron durante el periodo independiente, y no es, sino muy entrado el presente siglo, cuando las investigaciones tuvieron un panorama más amplio: "Los recursos de la Sierra Nevada, representan la riqueza potencial más valiosa y virgen para ser aprovechada por nuestra ciudad y valle de México fundamentalmente en abastecimiento de agua y generación de energía..." y esto

MAPA DE LA ZONA DE ESTUDIO



-  poblado
-  límite del estado
-  carr. pavimentada
-  veredas
-  curvas de nivel
-  brazos

0 2.000 8.000 Km.
Esc. 1:50,000

 sitios de muestreo

Figura 1

representa problemas complejos cuya "solución requiere el pensamiento, visión y acción fecunda del sociólogo, del economista, del urbanista, etc." (Vizcaino y Blstrain, 1952).

Sin embargo, pesaron más los problemas inmediatos y los planes institucionales se dirigieron a resolverlos desatendiendo otras áreas prioritarias, como la geología de la zona, por ejemplo: sólo en las dos últimas décadas se realizaron estudios realmente serios, de los que destacan los excelentes trabajos de Demant; Mauvois y Silva, Mooser, en Vázquez (1985) sobre una zona de la Sierra Nevada. En ellos el factor común es la idea clara de que es una zona extremadamente compleja y sus opiniones son contrapuestas sobre el tiempo de aparición de la Sierra Nevada.

El macizo Popocatépetl-Iztaccihuatl, o Sierra Nevada constituye el parteaguas de unos 90 km de longitud que separa las cuencas de México y de Puebla; el Popocatépetl forma parte del límite superior de la gran Depresión del Balsas.

Mooser (1957) menciona que los esfuerzos tectónicos del Terciario originaron levantamientos acompañados por fracturas tensionales que permitieron el ascenso de material ígneo, lavas que formaron volcanes y domos cuyas corrientes y cenizas inundaron valles y sepultaron planicies, obstruyendo el antiguo drenaje al final del Mesozoico. En el transcurso del Terciario, continúa Mooser, las erupciones volcánicas formaron acumulaciones extraordinarias, a tal grado que existen localidades en las que alcanzan 2 000 m o más de espesor. Depósitos de lavas, tobas y brechas rellenaron la cuenca de México y algunas perforaciones alcanzaron profundidades de 700 m en el subsuelo y sólo se registran sedimentos clásticos y volcánicos del Terciario.

Al final del Mioceno hubo una disminución de la actividad volcánica, pero en el Plioceno inferior se renovó y las andesitas basálticas formaron extensos complejos que entre otras cosas

cerraron toda conexión directa con el norte (Zimapan y Tula).

Simultáneamente un mecanismo de afallamiento en bloques a lo largo de fracturas tensionales dirigidas de Norte a Sur, probablemente relacionadas con el movimiento rotacional en el sentido del reloj a lo largo de la zona de fracturamiento Clarion, de material ígneo, provocó un desnivel exagerado y por condiciones climáticas semiáridas, con lluvias torrenciales, que arrasaron los suelos de montañas desprovistas de vegetación densa, depositándose extensos abanicos aluviales nuevamente en la base del Iztaccíhuatl y del Popocatepetl, constituyendo parte de la formación Tarango, series clásticas de material andesítico derivado de la destrucción rápida y erosión profunda de los complejos volcánicos del Terciario medio y superior.

Ya en el Pleistoceno, (1 m.a. aproximadamente), un nuevo ciclo de vulcanismo con dirección S-N, dio sello actual a la Sierra Nevada. Las condiciones climáticas eran dominadas por temperaturas bajas, alta humedad y la formación de glaciares en el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl.

Potentes arroyos y deshielos destruían los depósitos de la formación Tarango, a veces totalmente o cavando profundas barrancas con rapidez, originando dos sistemas de valles que desaguaban en el Alto Amacuzac; uno sobre el costado oriental de la Sierra Nevada, cruzando Zumpango, en Pachuca, la parte oriental de la Sierra de Guadalupe, por abajo de Xochimilco, hasta llegar a Cuernavaca, por un cañón hoy cubierto por lavas basálticas.

El otro sistema recorre el pie occidental de la Sierra Nevada, por debajo de Chalco y por Amecameca, para desembocar en la Cuenca del Alto Amacuzac, por Cuautla. Estos sistemas fluviales, manifestaron su poder destructivo al casi desaparecer la formación Tarango y cavar profundos cañones hacia el interior de la Sierra de las Cruces y de la Sierra Nevada. Este es el origen del Cañón de San Rafael.

Vázquez (1985) cita que la Sierra Nevada se encuentra en un conjunto discontinuo de diferentes áreas volcánicas (cinco en total) correspondiéndole la zona volcánica de los valles de Toluca, México y Puebla, sujeta a procesos vulcanotectónicos durante los últimos millones de años, pero afirma que " debe ser abandonada la idea según la cual el volcanismo del Eje Neovolcánico Transversal comenzó en el Mioceno.." ya que incluso las rocas más antiguas del Iztaccihuatl, consideradas como terciarias por Mooser y Erffa (1960) y Hilger (1973), han sido datadas recientemente en 0.904 ± 0.072 m.a., por tanto, los estratovolcanes, como conjunto del vulcanismo del eje transmexicano tienen una edad cuaternaria, lo que se apoya en las determinaciones paleomagnéticas de Steele (1985).

Por tanto, lo que Mooser asigna a "lavas del Iztaccihuatl antiguo" una edad Plioceno-Cuaternaria, deberá limitarse, en lo sucesivo, sólo al Cuaternario. Pero esto no es extensivo al Tláloc y al Telapón, pues es posible que sus últimos derrames sean del Plioceno-Pleistoceno, constituyendo los volcanes más antiguos de la Sierra Nevada.

No es exagerado afirmar entonces que la construcción de la Sierra Nevada ha sido originada por grandes emisiones piroclásticas desde el Plioceno. "Los depósitos derivados constituyen la formación Tarango (Mooser, 1957 y 1975), estas emisiones han continuado durante el Cuaternario en el Iztaccihuatl. Por ello, se puede afirmar que los extensos piedemontes piroclásticos de la Sierra Nevada, tanto en la Cuenca de México, como en la de Puebla Tlaxcala, no pueden ser consideradas del Terciario, sino exclusivamente Cuaternarias y que la llamada Formación Tarango no se limita al Terciario sino también al Cuaternario " (Vázquez, 1985).

En síntesis, la historia geológica de la Sierra Nevada se inició con intensa actividad volcano tectónica desde el Mioceno (según diferentes autores y a reserva de las investigaciones de

las dataciones absolutas) particularmente desde fines del Plioceno hasta la actualidad, lo que provocaría que las rocas volcánicas se originaran en diversas etapas de actividad y en distintos centros eruptivos, por lo que la disposición de las rocas de distintas erupciones, han sido irregulares en el sentido horizontal y vertical, cuya consecuencia es la diversidad de opiniones que tienen los autores sobre sus edades.

El Popocatepetl es un volcán estratificado, lo que indica que hubo una actividad brusca al principio y espaciada después, así lo demuestran los depósitos subsecuentes de material igneo que abarca una vasta zona e incluyen los abanicos volcánicos de Amecameca. Se extiende hasta tocar con las lavas de la Sierra del Chichinautzin al Oeste, mientras que al Norte, la zona está influenciada por las lavas del Iztaccihuatl. El volcán Popocatepetl tiene la forma de un cono, pero su simetría queda destruida por el Pico del Fraile, ligera protuberancia que sobresale del flanco noreste y es vestigio del Nexpayantla, que quedó sepultado bajo la alternancia de oleadas de lava que forman el cono actual y que son andesitas, dacitas, traquita y basalto acompañado de cenizas, lapilli y pómez, y capas de piroclastos.

Las rocas del volcán con base en las distintas lavas hasta ahora reconocidas (Domínguez, 1975) son: basalto labradorítico; andesitas de hiperstena y traquita.

GEOMORFOLOGIA

El Popocatepetl debido a su juventud, dimensiones, actividad, localización y condiciones climáticas tiene una de las formas del relieve volcánico más interesantes de México. El cono volcánico se eleva 1,500 m sobre su base con pendiente fuerte de 33 hacia la porción superior, en gran parte cubierta de nieve y hielo (Lugo, 1984).

Su cima posee un cráter amplio de forma elipsoidal, con ejes de aproximadamente 600 por 400 m, el mayor orientado al noreste. La profundidad del cráter es de 205 m la mínima y 505 m la máxima (Aguilera y Ordoñez, en Lugo, 1984). El borde es irregular en forma de arista con fuertes diferencias de alturas; la máxima se localiza en el pico mayor, al NW, su edad ha sido considerada por varios autores como pliocénica, pero está activo hasta la actualidad.

El Popocatepetl y el Iztaccíhuatl han ejercido una gran influencia al modificar bruscamente el relieve y, por lo tanto el mesoclima, lo que está ligado con el régimen hidrológico, los suelos, la vegetación y las actividades humanas.

La elevación de los volcanes ha favorecido las acumulaciones de nieve y el desarrollo de glaciares. En el Popocatepetl la erosión se está produciendo con fuerte intensidad, en sus laderas superiores, en ellos se desarrollan numerosas barrancas en una red radial, y procesos gravitacionales como deslaves, corrimientos de tierras y derrumbes.

El Iztaccíhuatl es la tercera montaña de México, por su altitud, pero de morfología distinta a la del Popocatepetl. Es un volcán originado por varias etapas de erupción; alargado de norte a sur, presenta tres cimas principales: cabeza (5,140 m), pecho (5,280 m) y rodillas (5,000 m) (Lugo, 1984). En sus laderas escarpadas se llevan a cabo intensos procesos erosivos, se le atribuye una edad Cuaternaria (Mooser, 1975). En el Iztaccíhuatl,

las lavas ocupan superficies considerables. Esto se aprecia en las vertientes oriental y occidental, con fuertes inclinaciones y paredes verticales. La disercción se aprecia a lo largo de las fracturas originales de la ladera, o entre los espacios que quedan entre las estructuras.

El Tláloc de forma cónica, alcanza una altura de 4,120 msnm y está constituido por lavas del tipo de las andesitas, dacitas y riódacitas, se le atribuye edad Cuaternaria (Mooser, 1975). El Telapón es muy similar al Tláloc en morfología y constitución de lavas y piroclastos.

El flanco oriental de la Sierra Nevada está diseado por numerosas formas erosivas profundas que nacen en las proximidades de la cima del parteaguas, con circos reducidos muy activos. Se extienden unos 6 a 8 km hasta alcanzar el piedemonte, donde continúan a manera de barrancas profundas y desembocan en la planicie acumulativa en la población de Huejotzingo, Puebla.

La vertiente oriental del Iztaccihuatl presenta una disección mayor que el resto de la Sierra Nevada. Esto se debe no solo a la acción de las aguas de escurrimiento, sino a los accidentes naturales del terreno provocados por las emanaciones jóvenes de lava. Está cortada por seis cañadas profundas que nacen en las partes altas entre los 4,500 y 4,800 msnm. Presentan perfiles longitudinales y transversales muy accidentados, resultado de alteraciones por acumulaciones volcánicas recientes; sus profundidades varían de 60 a 300 m en promedio de 100 - 200 m.

La dinámica de los hielos es de gran intensidad (erosión glacial o excavación), que va acompañada de intemperismo, procesos gravitacionales y fluviales. En los últimos años ha sido considerable un retroceso de los frentes glaciares en la Sierra Nevada, esto puede explicarse debido a que los glaciares se encuentran en condiciones inestables debido a que la temperatura media anual aumenta hasta 1°C, provocando así una alteración en el régimen de los glaciares (García, 1981), lo que

se explica por la fuerte concentración de contaminantes en el sur de la cuenca de México la cual provoca un aumento en la temperatura (Lugo, 1984).

Algunos glaciares han retrocedido y otros incluso han desaparecido. Esta dinámica se podría observar mediante la comparación de imágenes de satélite de diferentes fechas para determinar su movimiento.

La red fluvial de la Sierra Nevada posee un desarrollo mayor que el de la nivación, predominando las redes paralelas puniformes, aunque el proceso erosivo tiene un amplio desarrollo, formando barrancas con diferentes condiciones de erosión según el material, como volcánicos no consolidados y lavas.

El flanco oriental de la Sierra Nevada está diseado por numerosas formas erosivas que nacen en las proximidades de los límites del parteaguas, con una extensión de 6 a 8 km, hasta alcanzar el piedemonte y desembocar hacia la población de Huejotzingo, Puebla.

Las alturas más prominentes de la Sierra Nevada son las siguientes:

Popocatépetl	5 542 msnm
Iztaccíhuatl	5 286 msnm
Tlálóc	4 120 msnm
Ventorrillo	3 870 msnm
Telapón	3 850 msnm
Gordo	3 700 msnm
Tlacachelo	3 400 msnm
Papayo	3 300 msnm

En el Iztaccíhuatl, el nivel en las laderas muestra mayor modelado, con grandes superficies ocupadas por lava, apreciadas en ambas vertientes con fuertes inclinaciones y paredes verticales, quedando descubiertas al removerse los materiales proclásticos no consolidados, La vertiente oriental

presenta una mayor disección debido a las emanaciones jóvenes de lava, cortada por seis cañadas que nacen en la parte alta, presentando perfiles longitudinales y transversales muy accidentados, mientras que el frente norte está cortado por tres cañadas principales, Tlacopaso, Mextitla y Tlatzala y sus aguas escurren hacia la población de San Martín Texmelucan, Puebla.

El número de glaciares que se encuentran en este volcán ascienden a 23, según diferentes autores, y los principales valles glaciares son: Tlaltepango, Meipecho y Atzintli, mientras que las principales morrenas se encuentran en la vertiente noroccidental.

CLIMA

La clasificación climática de la zona estudiada y las zonas aledañas fue tomada de la Carta Climatológica Veracruz 14QVI del CETENAL, (1970) usando las modificaciones al sistema de Köppen por García (1988).

Las estaciones de muestreo, campamento Huayatlaco, Amecameca y San Rafael, quedan comprendidas en el grupo de los climas templados fríos y templados propiamente dichos, por extrapolaciones realizadas. La región más fría o polar se encuentra por arriba de los 4,500 m, donde la temperatura media anual es menor de -2°C y la del mes más caliente menor de 0°C , es aquí donde se encuentran los glaciares.

Circundando a la zona anterior, de los 3,950 a 4,500 msnm, aproximadamente, hay un clima ETH que pertenece al mismo tipo de los climas fríos, con temperaturas que oscilan entre -2°C y 5°C . La zona comprendida entre los 3,950 y los 3,700 msnm aproximadamente, tiene un clima frío ETH wig, isotermal con lluvias en verano y marcha de temperatura tipo Ganges.

El piso vegetacional de *Pinus hartwegii*, desde los 3,400 msnm hasta cerca de los 4,000 msnm, tiene un clima E(T)HC (w'2) (w)g, que es frío, con temperatura del mes más frío sobre 0°C , y la del mes más caliente entre 0 y 6.5°C , de altura, subhúmedo, con régimen de lluvias de verano, el más húmedo de los subhúmedos, con menos del 5% de precipitación invernal, con canícula, isotermal y la marcha de la temperatura tipo Ganges.

El resto de la zona de estudio, hasta los 2,900 msnm presenta un C(w2)big que es templado subhúmedo, entre 5 y 10% de precipitación invernal respecto a la total anual.

Tiene verano fresco largo (temperatura del mes más caliente, bajo 22°C), isotermal, marcha de la temperatura tipo Ganges. El número de días despejados en toda la Cordillera Neovolcánica es

mayor a los 150 al año y el porcentaje de insolación es muy alto.

Mesoclima

La zonificación mesoclimática descrita por Meza (inédito) se elaboró de acuerdo con los datos de temperatura, humedad y cantidad de precipitación anual considerando el número de meses con lluvia de la época húmeda del año.

Cada tipo mesoclimático está caracterizado por un número romano, una letra mayúscula y un número arábigo. El número romano representa el piso altitudinal térmico, la letra mayúscula representa la humedad de acuerdo con la cantidad de precipitación anual que se recibe en el área, el número arábigo representa el número de meses húmedos del año. De esta forma, se considera que los tipos hidrotérmicos caracterizados corresponden en su distribución espacial a las regiones mesoclimáticas, para la Sierra Nevada.

Cuadro 1. Zonificación Mesoclimática en la Sierra Nevada
(Meza inédito)

Sim.	Tipo mesoclima	Piso altitud.	T C anual	Precip. anual	No. meses c/pp
III-C-7	fresco subhúmedo	2400-2750	13-15	800-1000	7
IV-B-6	semifrio-semiseco	2750-3000	11-13	600- 800	6
VI-D-7	muy frío húmedo	3500-4500	-2 5	1000-1200	7
VII-D-6	polar de altura	> 4500	<-2	800 -1000	6

III -C-7 Fresco subhúmedo, se localiza en las partes medias de la Sierra Nevada, sus temperaturas varían entre 13°C y 14°C, siendo las precipitaciones medias anuales entre 800 y 1,000 mm, sin embargo, se ha subdividido en dos partes por la diferencia de altitud, temperatura y humedad.

IV-B-6, Semifrio seco, que se encuentra en las partes altas de la sierra de mas de 2,750 msnm. Su precipitación esta entre 600 y 800 mm, que lo caracteriza como semi-seco; tiene también nieblas esporádicas y heladas, en la época fria del año.

La zona VII -D -6, polar de altura, se localiza a más de 4,500 msnm donde las temperaturas medias anuales no sobrepasan los -2°C , y en la época fría son aún menores; las precipitaciones son del orden de 800 a 1,000 mm con lluvias orográficas esporádicas, granizo y tormentas eléctricas intensas con frecuentes heladas y zonas de nieblas. Por las temperaturas tan bajas, el agua y el suelo están siempre congelados, formando la primera una cubierta de hielo o nieve perpetuos.

VI -D -7 Zona muy fria húmeda, se localiza entre 3,500 y 4,500 msnm, las temperaturas medias varían entre -2 y 5°C y las precipitaciones entre 1,000 mm y 1,200 mm; esta zona también es de lluvias orográficas intensas, con granizo, tormentas eléctricas y precipitaciones nivosas y heladas fuertes en la época fría del año.

Según su relación climática, las especies arbóreas de la Sierra Nevada presentan determinada estratificación (véase siguiente cuadro).

Cuadro 2. Especies arbóreas y su relación mesoclimática

Especie	Mesoclima	P. anual	Altitud
<i>Quercus spp</i>	fresco-subhúmedo	800-1000	2400-2800
<i>Arctostaphyllum</i>	fresco-subhúmedo semifrio	800-1000	2400-2900
<i>Alnus acuminata</i>	fresco-subhúmedo semifrio-subhúmedo	800-1200	2400-3500
<i>Pinus lelophylla</i>	fresco-subhúmedo	800-1000	2400-2700
<i>Pinus teocote</i>	fresco-subhúmedo	800-1000	2500-2800
<i>Pinus patula</i>	semifrio	800-800	2500-2900
<i>Pinus pseudostrabus</i>	fresco subhúmedo semifrio	800-1000	2500-3000
<i>Pinus ayacahuite</i>	fresco-sunhúmedo semifrio	800-1000	2500-3200
<i>Pinus montezumae</i>	fresco-subhúmedo	800-1000	2600-3200
<i>Cupressus lindleyi</i>	semifrio	800-800	2800-3100
<i>Abies religiosa</i>	frio-subhúmedo	800-1000	3000-3550
<i>Pinus hartwegii</i>	frio-subhúmedo muy frio húmedo	800-1200	3400-4050

(Modificado de Meza, inédito)

SUELO

El suelo que se encuentra en el volcán Popocatepetl se ha desarrollado a partir de materiales volcánicos y se les ha denominado suelos de ando. Estos suelos pueden presentar perfiles AC, A(B)C ABC, con profundidades que oscilan entre 50 cm hasta más de un metro, y bien drenados y aireados. La porosidad total es generalmente alta y muy uniforme en todo el perfil (Wright 1964, en Domínguez, 1975).

El color de la capa orgánica es oscuro, de negro a café oscuro. La textura va desde moderadamente fina como migajón arcillo-limoso. El pH generalmente se encuentra en el intervalo de 5 a 7. Su grado de acidez varía de débil o moderado a neutro.

El porcentaje de materia orgánica es alto en la parte superficial, debido a la baja temperatura que limita la acción microbiana y al tipo de vegetación que continuamente está aportando materiales al suelo.

Domínguez (1975) proporciona datos edafológicos de los 2,900 a los 4,020 m de altitud, donde concluye que los suelos están poco intemperizados por tratarse de un volcán joven con erupciones recientes, que el tiempo, la altitud, el clima y la vegetación entre otros factores, están influyendo en su madurez.

Considerando que los suelos se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas y de rocas andesíticas y basálticas se ha establecido un desarrollo gradacional en donde los suelos menos desarrollados se ubican arriba de los 4,000 msnm. Se presentan suelos con mayor desarrollo y desde los leptosoles, que son los suelos menos desarrollados, originados a partir de roca dura y coherente, los regosoles se han formado sobre rocas muy fragmentadas (regolita), en pendientes muy pronunciadas, por último a partir de depósitos de arenas y cenizas volcánicas han dado origen a suelos más evolucionados como los andosoles vítricos. Tiene una elevada proporción de vidrio volcánico en las

fracciones de arena y limo. El pH aumenta con la profundidad debido a la liberación de bases de las fracciones minerales finas, por lo que es ligeramente ácido en la superficie y casi neutro o ligeramente alcalino, en la profundidad.

Dentro del grupo de los regosoles se tienen dos variantes los regosoles distrícos que se localizan en las partes sujetas a erosión y los regosoles eutrícos en las partes de las cañadas con mayor estado de conservación y humedad y cubierta vegetal densa.

HIDROLOGIA

Los recursos hídricos que proporcionan los volcanes provienen principalmente del deshielo y de las precipitaciones pluviales, las corrientes superficiales de la Sierra Nevada se pueden clasificar como perennes o intermitentes, las intermitentes se producen solo en el momento de la lluvia e inmediatamente después de ésta, en la Sierra Nevada predominan las corrientes intermitentes, aunque existen algunas perennes de gran importancia UAM (Eds) 1992.

La Sierra Nevada concuerda con la línea que divide las aguas tributarias del Océano Atlántico de las del Pacífico. Las faldas de este macizo están surcadas por numerosas cañadas que se originan en el borde inferior de los casquetes de hielos perpetuos. Los arroyos que las recorren en la vertiente occidental van a desembocar al norte de los 19° 05' latitud Norte a los canales de la antigua zona lacustre de Chalco y al lago de Texcoco, que pertenecen a la cuenca de México (Barrera, 1968). Esta fue una cuenca endorreica que, en virtud de las obras del gran canal del desagüe del Valle de México, actualmente es tributaria del Río Tula, afluente del Río Pánuco, y desagua en el Golfo de México. Al Sur de dicha latitud todas las corrientes contribuyen a formar el Río Cuautla, a su vez tributario del Balsas. En la vertiente oriental, las corrientes del norte del macizo corresponden a la Subcuenca del Río Nexapa, pero en este caso ambos ríos son importantes tributarios de la Cuenca del Balsas. Este último desemboca en el Océano Pacífico.

La precipitación cae en forma de nieve o granizo y no se funde inmediatamente, por lo que se observa una superposición de capas anuales que permiten la formación de hielo y glaciares.

Las cimas del Iztaccíhuatl y del Popocatepetl están cubiertas de hielos y nieves perpetuas cuyo límite en verano está entre 4,600 y 4,700 m de altitud; la del primero está ocupada por 12 pequeños glaciares y la del segundo por tres (Lorenzo, 1959). Las faldas del macizo están surcadas por numerosas cañadas que se

originan en el borde inferior de los glaciares. Los arroyos que las recorren en la vertiente occidental desembocan al norte de los 19 15' latitud Norte a los canales de la antigua zona lacustre de Chalco; al sur de dicha latitud, con excepción de la cañada de Nexpayantla, todas las corrientes contribuyen a formar el Río Cuautla, a su vez tributario del Balsas.

En la vertiente occidental surgen varios arroyos superficiales y subterráneos derivados de los deshielos del Iztaccihuatl. Algunas de las corrientes principales de esta vertiente son los ríos Papalotla, Magdalena, Xalapango, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica, Tlalmimilolpan y Coatepec, desembocando directamente en el ex lago de Texcoco.

En la vertiente sur se localizan corrientes que tienen su origen en las faldas del volcán Popocatepetl: el arroyo Amatzinac que corre por el oriente del estado de Morelos es tributario del río Palmas que a su vez es afluente del río Nexapa; el manantial y barranca Agua de la Máquina y Yancuiltalpan, Huexocoapa y Axocupan, cuyas aguas además de ser de uso doméstico de varios poblados son de aprovechamiento agrícola y frutícola.

En la vertiente oriental, las corrientes del norte del macizo, corresponden a la cuenca del río Atoyac; las australes a la del río Nexapa, pero en este caso los dos ríos son importantes tributarios del Balsas.

No obstante que en el Popocatepetl la precipitación pluvial es considerable y existe el agua de los deshielos, las corrientes superficiales son débiles, debido a la gran permeabilidad de los suelos y a la gruesa capa de material pumítico que favorecen su rápida infiltración que posteriormente forma lechos subterráneos de aguas artesianas en los valles de México y Puebla (Dominguez, 1975).

FLORA

La flora característica de las zonas de clima templado y frío de la mitad meridional de México posee afinidades mixtas, interviniendo principalmente el elemento boreal y el andino, pero casi siempre a nivel genérico, pues las especies en su gran mayoría son locales Hemsley (en Rzedowski 1965) calcula sólo en 5% el número de géneros endémicos de esa zona, en cambio las especies de distribución restringida forman el 85%.

Por otro lado, Rzedowski, (1965) considera que la flora de las montañas mexicanas es muy distinta a la de las montañas rocallosas, pues se caracteriza por muchos géneros de distribución local, además menciona que en México se localiza el centro de distribución o de variación de las especies de encinos (*Quercus*).

Mc Vaugh 1952, en Rzedowski, 1965, con base en estudios taxonómico-filogenéticos, llega a la conclusión de que varios grupos de plantas de clima templado han tenido su centro de diversificación en el sur de México, de donde posteriormente se dispersaron hacia el norte a lo largo de las sierras madres.

Sharp 1953 en Rzedowski, 1965 toma como criterio la afinidad a nivel de la familia y considera que la flora de clima templado de México es pobre en comparación con la flora tropical y sugiere que ello puede deberse a la circunstancia de que en este país, muy recientemente y a raíz de la elevación de la Altiplanicie, se han creado las condiciones necesarias para la inmigración de la flora de clima templado.

Martin 1958 en Rzedowski, 1965 indica que la altiplanicie de México se considera como un centro importante de evolución de la biota de tipo templado. Menciona diferentes tipos de vertebrados endémicos y otros cuya área de diversificación se localiza en el Altiplano. Llama la atención de que gran número de especies

mexicanas de los géneros *Quercus* y *Pinus*, en su mayoría confinados a las partes altas del país sugieren la existencia de un importante centro de radiación evolutiva.

Rzedowski (1965) señala que además de *Quercus* y *Pinus* existen otros muchos géneros con un gran número de especies distribuidas en las áreas de clima templado de México y la flora correspondiente no debe considerarse como pobre. La acentuada diversidad a nivel específico está quizás relacionada con la existencia de numerosas serranías aisladas, situación que tal vez ha prevalecido en México antes del levantamiento del Altiplano y existe aun en la actualidad en varias partes del país. Algunos géneros parecen ser de derivación sudamericana y tienen en México un centro secundario de dispersión como por ejemplo: *Stevia*, y *Perezia*, Bacigalupi (1931) en Rzedowski, 1965.

Sin embargo, de los estudios realizados, muy pocos tienen en cuenta datos derivados del registro fósil, y la generalidad de las conclusiones no va más allá del terreno de la hipótesis.

Para tener bases científicas más firmes en el campo de la fitogeografía de México, sería interesante realizar estudios sobre registros fósiles, como polen, para tener así una idea más precisa acerca del origen e historia y migraciones de los ambientes en que vivieron las plantas de clima templado y frío en nuestro país.

Según UAM (Eds) 1992, en el área de estudio se han registrado un total de 914 especies distribuidas en 370 géneros y 89 familias. De acuerdo con los grupos superiores 643 son dicotiledóneas, 260 monocotiledóneas y 11 gimnospermas. El total de especies equivale al 45 % del total de la flora reportada para el Valle de México y al 5 % de la flora fanerogámica del país.

Actualmente no se han realizado colectas sistemáticas en las laderas del Este de los volcanes (especialmente del Iztaccihuatl) y es posible afirmar que aún no se tiene un listado completo de las especies para la zona. La UAM (Eds) 1992, calcula que el

total aproximado de la flora sería de de 1 184 especies, que equivalen al 57 % del total de la flora del Valle de México y al 6 % de la flora del País. Por lo anterior es de considerar que la flora de los volcanes es muy rica. Un listado de las especies se puede encontrar en el trabajo antes mencionado.

Los principales tipos de vegetación que se presentan son:

Bosque de Quercus. - Los encinares generalmente se desarrollan en altitudes superiores a los 2,500 m, en suelos profundos o someros, en altitudes menores a 2,500 msnm, predominan *Quercus laeta*, *Q. deserticola*, *Q. crassipes* y *Q. obtusata*, algunas veces mezclados con varias especies de pinos. Entre 2,500 y 2,800 msnm predominan *Q. rugosa*, *Q. mexicana* y *Q. crassipes*, mientras que a mayores altitudes predominan *Q. laurina* conviviendo alguna veces con *Q. crassifolia*, *Q. rugosa*, *Abies*, *Arbutus*, *Juniperus* y algunas especies de pinos.

Bosque mesófilo de montaña. Se presenta en laderas abruptas y en los fondos de algunas cañadas, situadas en los declives inferiores de la Sierra Nevada, en alturas entre 2,500 y 2,800 msnm, en suelos profundos y húmedos durante todo el año. Predominan árboles como *Clethra mexicana*, *Cornus disciflora*, *Garrya lauriflora*, *Ilex toluhana*, *Meliosma dentata*, *Prunus brachybotrya* y *Quercus laurina*.

Bosque de Juniperus. Crecen principalmente en las laderas y en algunas planicies en alturas entre 2,450 y 2,800 msnm, la especie más frecuente el enebro *Juniperus deppeana*, *J. monticola*, *J. flaccida*.

Bosque de Pinus. Son los pinares característicos de las zonas montañosas en altitudes superiores a 2,300 msnm con suelos profundos o someros y algunas veces rocosos. Entre 2,350 y 2,600 msnm predominan *Pinus leiophylla* algunas veces mezclado con encinos. En altitudes cercanas a los 2,500 m predominan *P. montezumae* y *P. rudis*, mientras que a más de 2,900 m predominan *P. hartwegii*.

Bosques de *Abies*. Se encuentra generalmente en altitudes, superiores a los 2,700 msnm, en suelos profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica y húmedos durante todo el año. La especie dominante es desde luego el oyamel (*Abies religiosa*) que en las elevaciones menores se mezcla principalmente con varias especies de encinos y de pinos.

Pastizales. Es un tipo especial de pastizal constituido por gramíneas altas y se sitúa en las regiones altas y también en las faldas de la Sierra Nevada, las especies más frecuentes son *Calamagrostis toluensis*, *Festuca amplissima*, *Festuca toluensis*, *Muhlenbergia macroura*, *M. quadridentata* y *Stipa ichu* (Martínez y Matuda, 1953-1972).

Según Beaman (1962) el límite de la vegetación arbórea en el volcán Iztaccíhuatl, está a una altitud aproximada de 4,020 msnm y para el volcán Popocatepetl es a los 3, 911 msnm y en el Paso de Cortés es a los 3, 723 msnm. Daubenmire (1954), citado por Beaman, menciona que el efecto de la elevación del límite de la vegetación arbórea está relacionado con los factores tales como eficiencia de luz, deficiencia de CO₂, profundidad de nieve, viento, deficiencia de calor en invierno y también está correlacionado con las isoterms a 10°C en los meses cálidos.

FAUNA

Es claro que algunos animales forman parte del paisaje, se ha considerado a la fauna como un síntoma de la "salud" del geocosistema (Gonzalez, 1981). como algunas aves e insectos, sobre todo, constituyen componentes acústicos importantes en el paisaje, como el canto de las aves son componentes funcionales en el mantenimiento del paisaje cultural y estético.

La repoblación de la fauna alterada en muchas áreas es una tarea importante para la conservación y gestión de los recursos naturales de la Sierra Nevada. Por ejemplo, la repoblación de los pájaros carpinteros es fundamental para mantener el equilibrio de las plagas de descortezadores *Dendroctonus mexicanus*, *adjunctus* y *Scolytus mundus* plagas muy voraces que cambian determinantemente el paisaje estético de la Sierra Nevada.

El Eje Neovolcánico ha sido considerado como frontera entre dos grandes regiones zoogeográficas americanas: la Neártica y la Neotropical, constituyendo una amplia zona de transición que cambia gradualmente desde México hasta Centroamérica.

Goodman y Moore (1946) en: Rzedowski 1971 caracterizan al área central de la provincia biótica del Eje Neovolcánico Transversal, como "un área de estructuras titánicas donde están representadas las zonas zoogeográficas de Norteamérica y el conjunto de fuerzas naturales ha favorecido la evolución y sobrevivencia de un gran número de géneros, especies y razas regionales que encuentran hábitat compatibles, frecuentemente de estrecha proximidad, pero bajo condiciones ambientales locales ampliamente variables".

De acuerdo con Reyes y Halffter (1976), la fauna de estas montañas corresponde al "patrón de dispersión neártica", es decir, grupos de afinidades y origen septentrional, que ocupan sistemas orográficos mexicanos y guatemaltecos. Tanto para vertebrados como para insectos, sus afinidades neárticas y holárticas son muy marcadas.

Barrera (1968), menciona que la fauna de mamíferos de la cordillera consta de 68 especies, de las cuales sólo una es representante del orden Marsupialia, una del Edentata y una de la Artidactylia, cinco de la Insectivora, cuatro de los Lagomorpha y 43 de Rodentia. Para este autor la fauna tiene afinidades fundamentalmente boreales, en las que el elemento neártico predomina sobre el neotropical, el cual es notablemente exiguo.

En cuanto a los mamíferos del Parque Nacional, se han reportado que las musarañas *Criptotis alticola* y *Sorex saussurei* saussurei, el teporingo *Romerolagus diazi*, los conejos *Silvilagus cunicularis cunicularis* y *S. floridanus orizabae*, la ardilla *Sciurus nelsoni hurtus*, el ratón *Neotomodon alstoni* y la rata *Neotoma mexicana torquata* alcanza el límite superior de su distribución en estas comunidades. Las tuzas *Thomomys umbrinus peregrinus* y *Pappogeomys merriamii merriami*; los ratones *Reithrodontomys megalotis saturatus*, *R. chiropsis chryropsis*, *Peromyscus hylocetes*, *P. melanotis* y el metorito *Microtus mexicanus mexicanus*, son especies que llegan al límite de la vegetación de pastizal alpino aunque sus poblaciones disminuyen conforme aumenta la altura.

De estas especies, ninguna es exclusiva de las altitudes de la Sierra, y la gran mayoría alcanza su máxima frecuencia en los bosques de Pino y en los zacatonales. Los grandes mamíferos, como los coyotes *Canis latrans caotis*, el zorrillo *Mephitis macroura*, el tlalcoyote *Taxidea taxus berlandieri*, la comadreja *Mustela frenata perotensis* y el lince *Felis rufus scuinapae*, son realmente escasos y esporádicos. Tiempo atrás, en las grandes cañadas de la zona, como en la de Nexpayantla en el Popocatepetl, se encontraba al venado cola blanca *Odocoileus virginatus mexicanus* y el puma *Felis concolor azteca*, hoy totalmente desaparecidos en la zona.

En lo que respecta a la avifauna, se encuentran reportadas las siguientes especies predominantes: los zopilotes

Corapgis atratus y *Catartes aura*; el águila ratonera *Buteo jamaicensis*; el cernicalo *Falco sparverius* y el buho pigmeo *Glaucidium gnoma gnoma*, la paloma de las rocas *Columba livia* y el cuervo *Corvus corax*.

En cuanto a las aves de menor tamaño, se han reportado entre otros, a los carpinteros *Coraptes cafer* y *Dendrocopos stricklandi aztecus*, este último, endémico de la región al igual que el saltón *Atlapetes peleautus peleautus*.

Un trabajo interesante fue realizado por Birkenstein y Tomlinson (1981) en UAM (Eds) 1992, sobre las aves del parque nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl donde reportan 10 órdenes, 20 familias y 205 especies.

Babb y Arias (1985) realizaron un estudio sobre la avifauna en el Parque Nacional Izta-Popo de donde se obtuvo que de las 35 especies registradas entre residentes y migratorias, sólo 12 eran las más frecuentes, encontrándose los colibríes *Athis heloisa* y *Lampornis clemenciae*, los cuervos *Corvus corax* y *Cyanocitta stelleri*, y las aves de menor tamaño como *Parus sclateri*, *Sitta pygmaea*, *Catharus occidentalis*, *Ergaticus ruber*, *Basileuterus belli*, *Junco phaenotus*, *Atlapetes virenticeps* y *Sialia sialis*.

Actualmente el número de especies que podría comprender la avifauna del área de estudio es de aproximadamente 205 distribuidas en 32 familias, siendo los emberizidos el grupo más grande (Wilson y Ceballos, 1986; Reyes y Halffter, 1976, en UAM, 1992).

Las aves que se califican como amenazadas o en peligro de extinción están incluidas principalmente cuatro para el Parque Nacional Izta-Popo:

<i>Falco peregrinus</i>	En peligro de extinción
<i>Xenospiza baileyi</i>	" "
<i>Cyrtonyx montezumae</i>	Amenazada o vulnerable
<i>Cinclus mexicanus</i>	A vigilar

Los reptiles identificados son las lagartijas *Sceloporus gramicus microlepidotus* y *S. aeneus aeneus*, el escorpión *Barissia imbricata* y la vibora de cascabel *Crotalus triceriatus*. La clase de los anfibios está representada por la salamandra *Pseudoeurycea* y por la rana *Hyla lafrentzi*.

Entre los invertebrados de la Sierra Nevada se halla el coleóptero carábido *Trechus azteca*, que se encuentra en el bosque de Pino hasta los 3,750 msnm y los coleópteros sílfidos *Pteroloma sallei ordazi* del Popocatepetl y *Pteroloma sillei sillei* del Iztaccihuatl, el cual se distribuye hasta los 4,350 msnm en el pastizal alpino. Son los animales que alcanzan mayores altitudes en las montañas que rodean a la cuenca de México, junto con *Calafius bolevari*, que se distribuye en el Iztaccihuatl de los 3,400 a los 4,600 msnm (Reyes-Castillo y Halfter, 1976; Bolívar y Pieltoni, 1940). Palacios, (1985) menciona los aspectos ecológicos de los ácaros e insectos colémbolos en el Popocatepetl.

METODOLOGIA

Las unidades de paisaje de la Sierra Nevada se delimitaron y tipificaron utilizando un método basado en dos etapas: la primera, analítica descriptiva de diagnóstico basada en un estudio de procesamiento digital de imágenes de satélite complementada con comprobaciones de campo, y levantamiento de características de sitio referidas al tipo de topografía, mesoclima, geomorfología, suelos, y vegetación, y la segunda de tipo sintética explicativa, basada en el análisis de relaciones de causa-efecto entre las propiedades espectrales de las imágenes y su identificación con propiedades de los objetos que definen la naturaleza a los paisajes de la Sierra Nevada, para lograr así un modelo digital y sintético de los mismos.

Fase Analítica Descriptiva (Diagnóstico)

Determinaciones de Campo.

1 Cartografía a escala de 1:50 000, donde se incluyeron mapas de uso del suelo y vegetación, así como topográficos de Huejotzingo y Amecameca (INEGI, 1978).

2 Cartografía a escala 1:10 000, donde se incluyeron mapas de la cuenca de México, de zonas mesoclimáticas (Meza, inédito), geológicos, geomorfológicos y de vegetación (Atlas del Estado de México, 1992).

3 Para obtener la dominancia, frecuencia y valor de importancia del estrato arbóreo en diferentes sitios se tomaron datos cuantitativos mediante el método de medición de distancias o "método Wisconsin" (Curtis, 1949).

4 Se llenaron fichas de campo (Fig.2) para obtener posteriormente una matriz, que sirvió de base para usar el programa CERLOP, el cual permitió reconocer el impacto ambiental.

La determinación de las diferencias cuantitativas entre las

FICHAS DE CAMPO

IDENTIFICACION

NUMERO		clase	fecha
SUPERFICIE Km ²	% de la entidad ambiental de la región	% de todas las entidades ambientales homólogas	
MUNICIPIO(S)	localidad		

CARACTERISTICAS NATURALES

GEOMORFOLOGIA	geomorfo	Potencial de amenabilidad		Tipo de la	Piso	Valor de la pendiente de %		
		alta	baja			Cóncavo	<2	5 - 15
HIDROGRAFIA	tipo de medio	idílico	idílico	pendiente	Cosecha	de tráfallo		receptor
VEGETACION Y FAUNA	tipo dominante	especies características						
EDAFOLOGIA	tipo de suelo	Fuero del suelo	solos		pedregos		grado de acidez	límite mediana legua
			ácidos	alílicos				
GEOLOGIA	litología superficial		tipo de formaciones superficiales					
MESOClima								
USO ACTUAL DEL SUELO	URBANO		SERVICIO E INFRAESTRUCTURA		AGRICOLA		OTROS	
	RECREACIONAL		FORESTAL		GANADERO			

CARACTERISTICAS GENERALES

CONTAMINACION AMBIENTAL	SUELOS	alta medio baja	AGUAS	alta medio baja	AIRE	alta medio baja	descripción:	
ESTABILIDAD AMBIENTAL	alto	Recuperación ambiental	reversible			irreversible o plazos:		
	medio baja					corto	mediana	largo
IMPACTO AMBIENTAL	ALTO	tipo de impacto:						
	MEDIO							
	BAJO							
	NULLO							
ELEMENTOS PATRIMONIALES	Valor natural		Paleontológico		Arqueológico		Otros:	
	Valor cultural histórico		ecológico		científico			
NIVEL DE URBANIZACION	totalmente urbanizado		Urbanización dispersa		descripción:			
	edificaciones aisladas		sin edificaciones					
VOCACION DEL SUELO	Urbano		Servicio e infraestructura		Agrícola		Otros	Descripción:
	Recreacional		Forestal		Ganadera			

NIVELES DE PROTECCION Y USOS DEL SUELO

CONSERVACION		MEJORAMIENTO		PROVISIONES		RESERVAS		ZONAS URBANAS	
uso	destino	uso	destino	uso	destino	uso	destino	uso	destino

OBSERVACIONES :

Figura 2

especies de un rodal, a partir de los atributos indicados quedan implícitas en el "Índice de Valor de Importancia" (IVI), que es una suma de los parámetros relativos mencionados. Dicho parámetro puede ser convertido en el Porcentaje de Importancia (PI) por una simple división de tres.

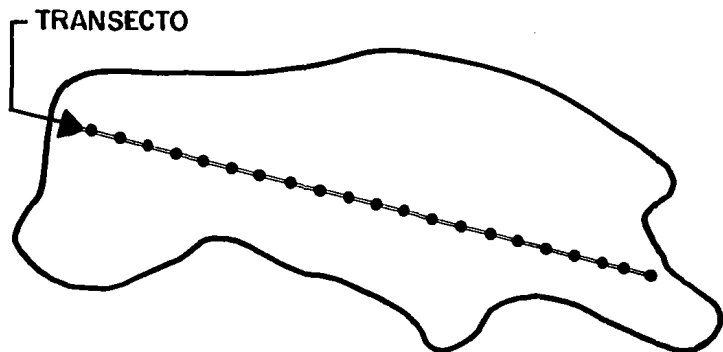
Con el muestreo se realizó un censo del arbolado del que se tomaron los siguientes datos: especie, diámetro a la altura del pecho (DAP), cobertura y altura de cada árbol, así como temperatura y humedad relativa para cada sitio de muestreo.

- a) Se reconocieron los rodales presentes en las áreas de estudio (Popocatepetl e Iztaccihuatl) (fig.3)
- b) Se tomaron 18 puntos de muestreo en cada rodal de forma sistemática cada 20 m de distancia (fig.4)
- c) En cada punto se marcaron cuatro cuadrantes mediante una cruz orientada en la dirección del transecto (fig.5)
- d) En cada cuadrante se tomaron del árbol más cercano al punto central los siguientes datos: distancia del punto central al árbol más cercano, diámetro a la altura del pecho (DAP), a partir de 15 cm. cobertura de follaje del árbol y altura del árbol. Se calculó la altura del árbol midiendo el ángulo en relación con una distancia de 10 m, más la altura a los ojos de la persona que medía, mediante un clisímetro.

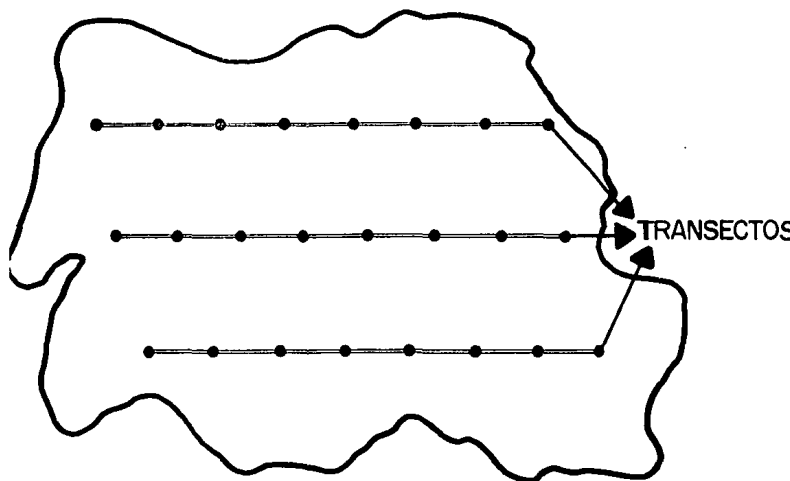
Los datos obtenidos se calcularon mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{área basal de cada especie}}{\Sigma \text{ área basal total de especies}} \times 100$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{No. de individuos de cada especie}}{\Sigma \text{ total de individuos de especies}} \times 100$$



RODAL I



RODAL 2

Figura 3

● PUNTO DE MUESTREO

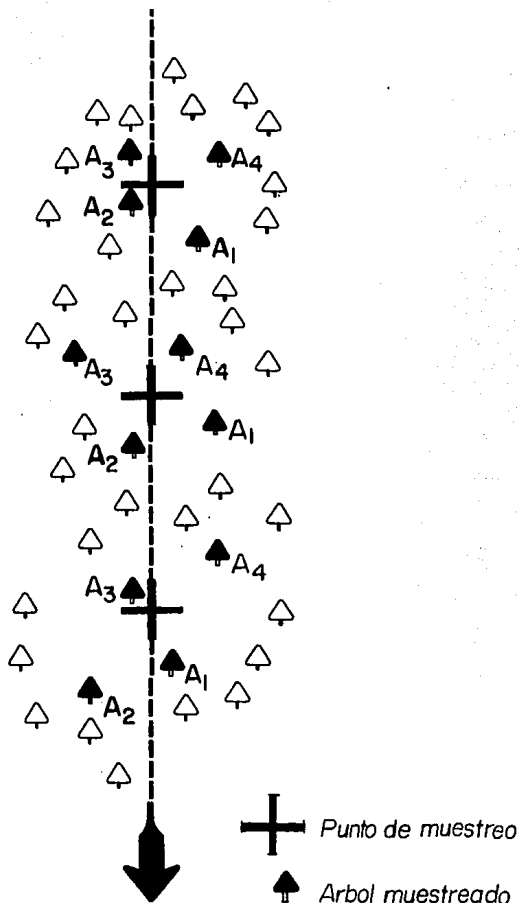


Figura 4

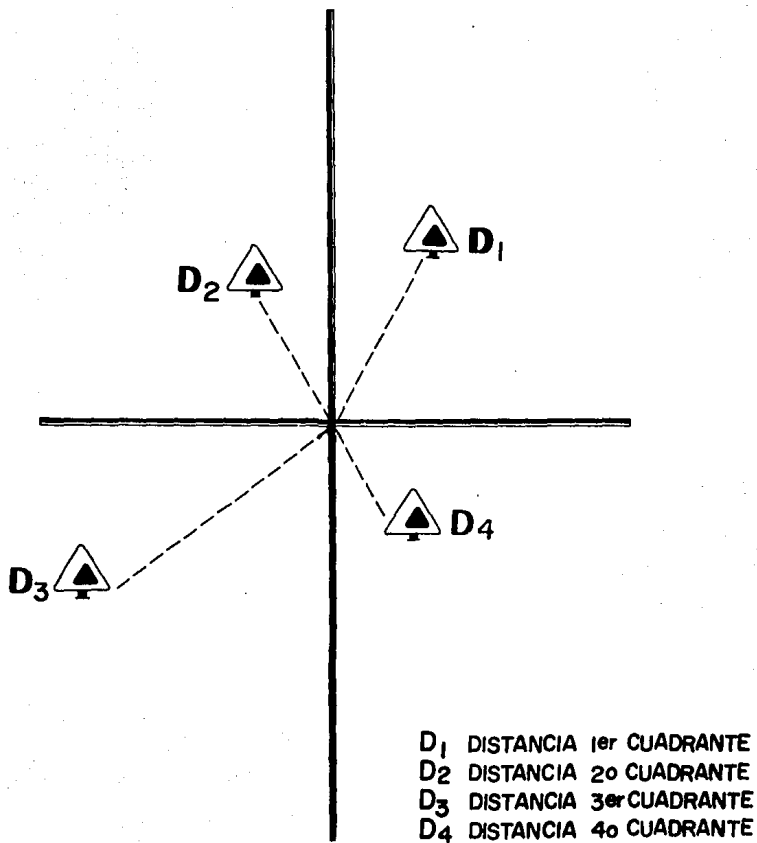


Figura .5

DIAGRAMA METODOLOGICO

I FASE ANALITICA DESCRIPTIVA (DIAGNOSTICO)

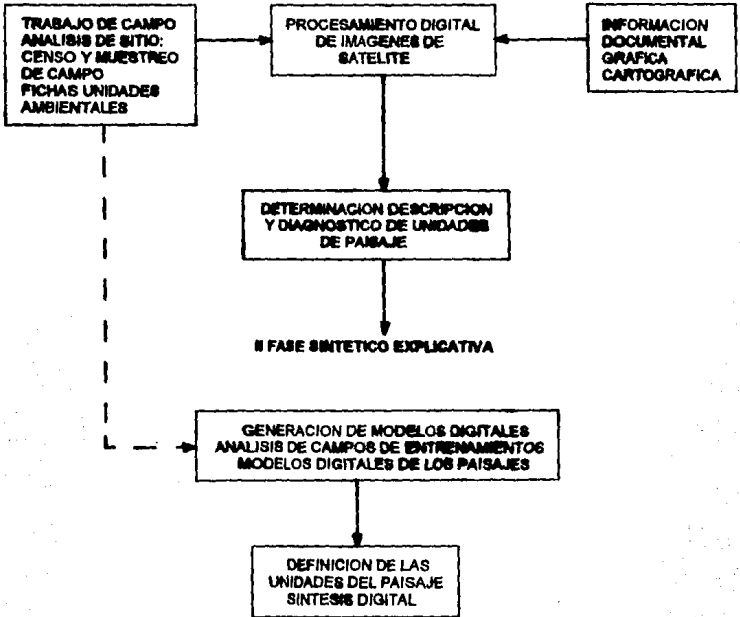


Figura 6

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Puntos de ocurrencia de c/sp}}{\Sigma \text{ de ocurrencia de todas las spp}} \times 100$$

Una vez obtenidos estos parámetros se calcularon los índices de valor de importancia y porcentaje de importancia (Cottam y Curtis, 1955):

$$I V I = \text{Dominancia} + \text{Frecuencia} + \text{Densidad}$$

relativa relativa relativa

$$P I = I V I / 3$$

Análisis Cartográfico

En esta primera fase fue indispensable la ubicación del área y el conocimiento de la magnitud de la superficie en la que se efectuó el estudio, recopilándose el material necesario tales como: cartas forestales, topográficas, fisográficas, edafológicas, fotografías aéreas e imagen de satélite Landsat MSS.

Interpretación. En esta fase se inició el análisis entre lo que es propiamente la imagen, de satélite y fotográfica y las posibles manifestaciones de los diferentes objetos de la superficie del área de estudio, esto quiere decir que un mismo objeto puede manifestarse diferente según sus rasgos de sensibilidad, época de toma y otros factores que condicionan la imagen, asimismo se pretendió sentar las bases para la siguiente fase, ya que ésta se relaciona con el reconocimiento general de campo en donde se buscó la relación existente entre la imagen y el campo.

Clasificación. Esta fase tuvo por objeto sintetizar la información que se obtuvo consistente en el ordenamiento de las variables que se pretendían estudiar de uno o varios parámetros de una población de árboles en términos cuantitativos para efectos de análisis estadístico.

Análisis. El análisis consistió en el señalamiento o delimitación de la información obtenida de las imágenes en su aspecto mecánico en el cual, una vez definida la información, fue necesario señalar en la imagen los levantamientos de la información de campo la cual se complementó y verificó.

Fotointerpretación. Con el fin de sistematizar la búsqueda de datos e información mediante la técnica de fotointerpretación, se realizaron las siguientes fases que determinaron diversas características de los datos obtenidos.

- a) identificación
- b) interpretación
- c) clasificación
- d) análisis

Identificación. En esta etapa se obtuvieron las características favorables de los factores de la fotointerpretación y el nivel de referencia para clasificar en forma rápida la información básica o "determinaciones previas", como grandes grupos de áreas de acuerdo con la vegetación, topografía y geomorfología.

Interpretación. Se siguió la clave de interpretación de acuerdo Niero *et al.* (1989), que consistió en la descripción de un conjunto de elementos que caracterizan una determinada superficie de la tierra que permiten el levantamiento de diferentes clases de uso del suelo. En el área de estudio se visualizaron las características morfológicas de la imagen, tales como cursos de agua, tipos de vegetación, tipos de suelo, geomorfología, y aspectos culturales de formas rectangulares, como construcciones, cultivos y vías de comunicación.

Clasificación. El tamaño de los objetos que se pretendieron identificar sobre las imágenes constituyeron un factor importante para la identificación de objetos de forma plana y de tamaño relativo como áreas erosionadas o carreteras que se observaron

debidamente a la escala de la imagen.

La sombra de las imágenes es resultado de la iluminación oblicua que da a la superficie terrestre el sol y que es registrada por el sensor, lo que puede proporcionar un factor de confusión al interpretar la imagen.

Otro factor para la clasificación fue la tonalidad del color, que es una respuesta de la cantidad relativa de luz reflejada o de la radiación emitida y que es registrada por una emulsión fotográfica. La tonalidad es un elemento esencial en la interpretación de la imagen, especialmente cuando se trata del infrarrojo o blanco y negro.

Análisis. Se realizó de acuerdo con las bandas 4, 5, 6 y 7 de la imagen MSS. Mediante la banda 4 se observaron superficies de agua diferenciando la vegetación y la geomorfología, mediante la banda 5, (0.6 a 0.7 μ m) se observan coberturas de vegetación, en la banda 6 (de .7 a .8 μ m) se observan también coberturas vegetales y junto con la banda 7 se puede realizar un mapeo de la vegetación más claro.

SINTESIS

Para la elaboración de la síntesis se llevaron a cabo los siguientes pasos, según Tarlet (1977), Mac Harg (1972).

- a) Area de estudio
- b) Inventario
- c) Criterios de ponderación
- d) Interpretación
- e) Sobreposición
- f) Síntesis por actividad
- g) Síntesis general

La síntesis por actividad se realizó mediante la sobreposición de cartas temáticas tales como carta base

topográfica, carta de suelo, carta de mesoclima y carta de vegetación mediante las cuales se obtienen las Unidades Ambientales.

Evaluación de la calidad ambiental

Para evaluar la calidad ambiental se usó el Índice CERLOP (Cervantes, et al 1992), que consiste en un procedimiento matricial en el que se considera como indicador de la calidad ambiental el grado de deterioro sufrido por los diferentes ambientes, en sus elementos y componentes, así como en las funciones geoecológicas que rigen su operatividad en el tiempo y en el espacio. El deterioro se evalúa en forma relativa o porcentual considerando como criterio principal la de una calidad natural que equivale al 100 %.

De esta manera, en la medida en que los ambientes se muestran deteriorados por diferentes tipos de acciones como vectores de impacto, el valor inicial de calidad 100 tiende a decrecer, llegando a 0, cuando los elementos y/o las funciones se muestran afectados por uno o varios vectores de impacto, considerados, pierden totalmente sus propiedades cualitativas y cuantitativas originales.

En la matriz se consideran entonces como elementos base: la atmósfera, agua, suelo y vegetación, que son primordiales en la naturaleza.

Las funciones de cada ambiente y subambiente son la climática, hidrodinámica, geodinámica y ecodinámica. (Ver anexos de impacto ambiental).

Para la obtención de los planos de información (PIs) mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) se digitalizaron diferentes temas, correspondientes a la Sierra Nevada; por ejemplo, el tipo de suelo, topografía, pendiente, etcétera.

La adquisición de mapas poligonales (temáticos) se realizó mediante la mesa digitalizadora, adquiriéndose las líneas de datos de entrada. Posteriormente fueron asociadas a polígonos que representan las clases del mapa poligonal. Se digitalizaron las curvas de nivel de la topografía y tipos de suelo a partir del mapa geológico.

La integración de estos PIs (topografía, suelos, pendiente) fue fundamentada en el criterio de la ponderación en el cual fueron definidos "pesos" para cada plano de información y para cada clase contenida en cada uno de estos planos, las ventajas que ofrece esta técnica es la obtención de un tipo de uso del suelo para diferentes tipos de paisajes. El procedimiento de ponderación tuvo en consideración turismo activo y pasivo, uso forestal, uso agrícola y refugio de fauna silvestre.

Para la generación del mapa de pendientes se utilizó la información de la inclinación del terreno, la pendiente es generada en forma de dos modelos numéricos (PIs) ambos en formato raster. El primero representa el ángulo en grados de inclinación de la superficie en cada punto; el segundo, denominado aspecto representa el ángulo en grados de orientación de la superficie en cada punto, contando a partir de la dirección norte en sentido del reloj.

Los 2,250 niveles de gris mapean, en el caso de la pendiente, en intervalos de 0 a 90° grados, y en el caso de orientación de 0 a 360° (Felgueiras, 1988).

Para generar un formato de la imagen de un modelo de elevación de terreno para el PI activo se utilizó la función REFINAR GRADO REGULAR. Se definieron pesos de prioridades que son usados para la realización de la media ponderada. El valor de cada pixel del PI resultante es definido por la formula:

$$\text{Sp}/\text{sp}$$

Donde Spc es la suma de los productos del peso de un PI por el peso de la clase del pixel de cada PI utilizado, y el sp corresponde a la suma de los pesos de los PIs.

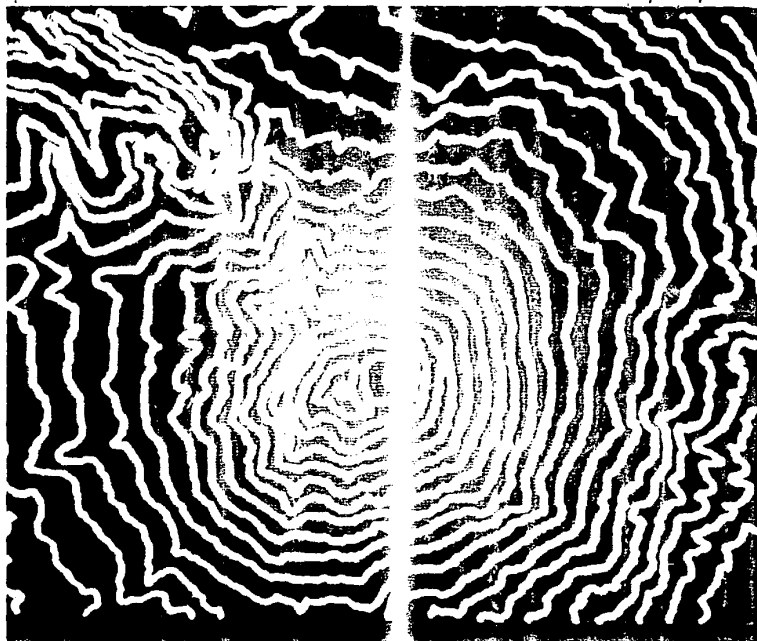


Figura 7 Curvas de nivel del Volcán Popocatepetl desde la cota de 3 000 msnm, digitalizadas mediante Sistemas de Información Geográfica.

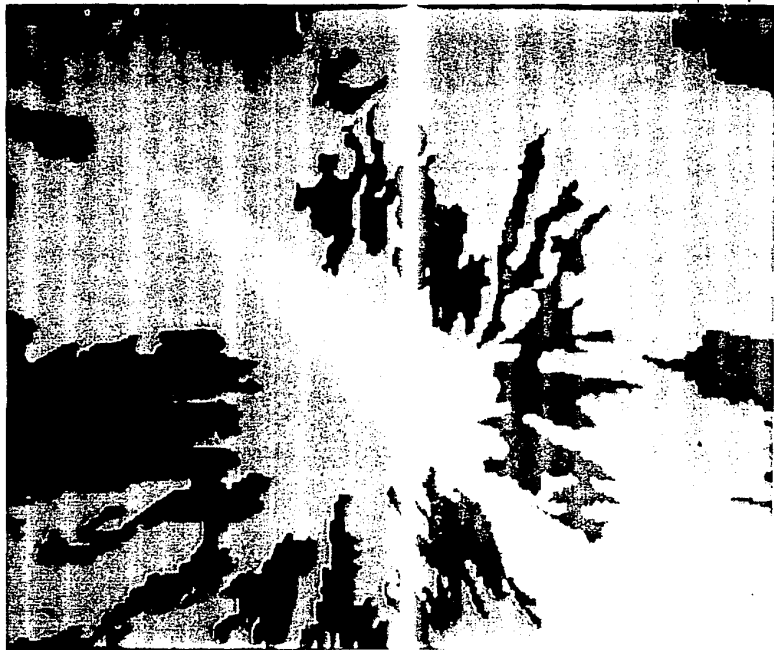
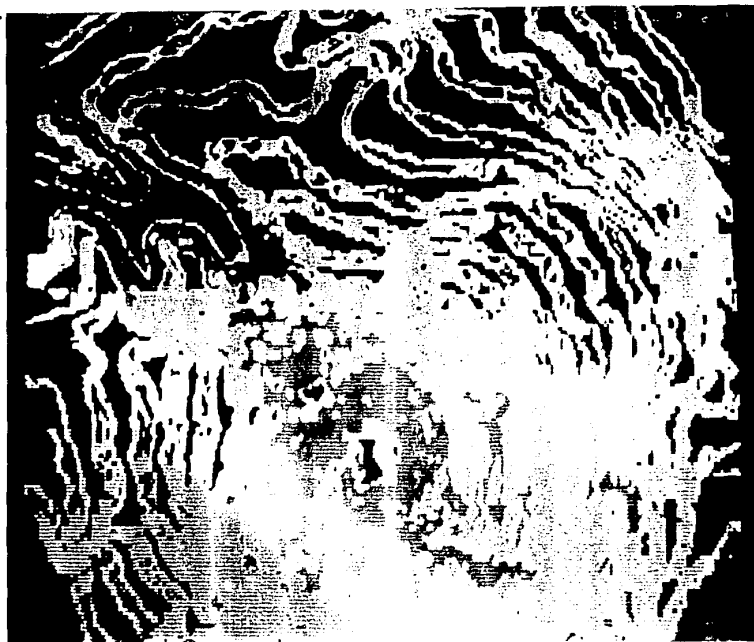


Figura 8 Tipos de suelo. Rojo: roca ígnea andesítica. Azul: roca ígnea toba andesita obtenidos mediante SIG.



Plano de pendientes en el Volcán Popocatepetl.

Clase 0° - 15° azul

Clase 30° - 45° rojo

Clase 15° - 30° verde

Clase 45° - 80° rosa

Figura 9

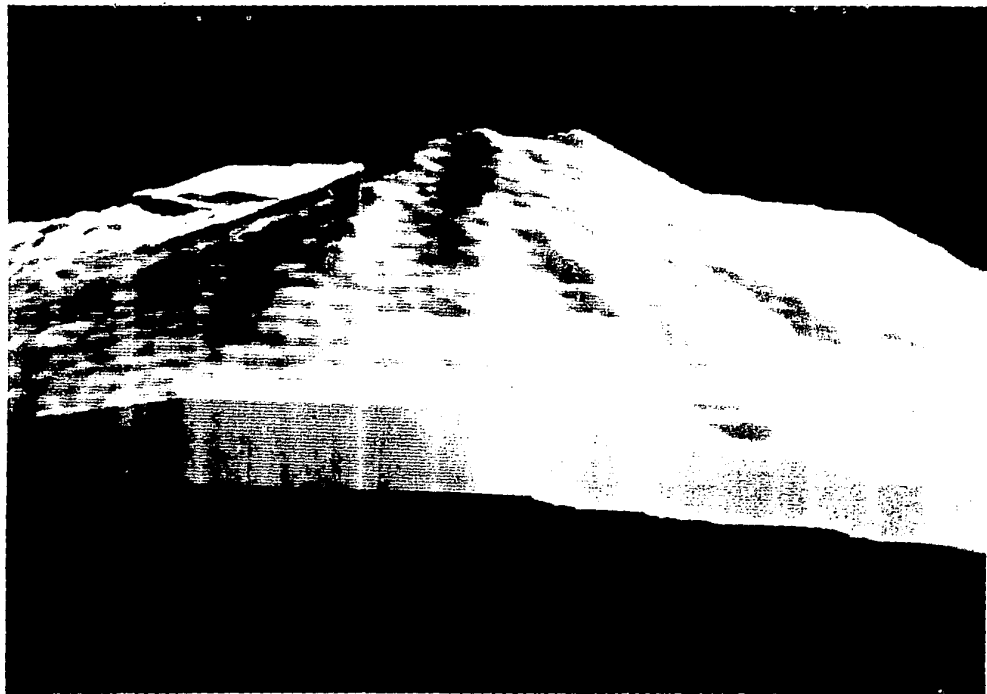


Figura 10 Modelo digital de terreno del Volcán Popocatepetl, ladera sur, obtenido a partir de las curvas de nivel, mediante SIG.

Procesamiento digital de la imagen de satélite

Por su amplia cobertura, 3,500 Km², las imágenes de los satélites son una opción importante para el estudio de la ecología del paisaje, debido a las siguientes características del sensor.

Sensor MSS

El sensor MSS (Multispectral Scanner) ha sido uno de los sensores más empleados, gracias a la larga serie de imágenes disponibles desde el año de 1972. Este es un equipo de barrido óptico electrónico, su campo total de visión es de 11.56° lo que, a la altura orbital del satélite, le permite explorar una franja del terreno de 185 km, dividiéndola a ambos lados de la vertical de la traza.

Con objeto de acoplar la secuencia de barrido a la velocidad del satélite, el sensor MSS registra seis líneas simultáneamente con cada oscilación del espejo. La radiancia recibida por el sistema focal se transmite a un sistema óptico que la descompone en 4 bandas y la envía a distintos detectores. Por lo tanto, el MSS dispone de 24 detectores (6 líneas por 4 bandas), compuestos por foto-diodos de silicio (banda 7) y por tubos foto-multiplicadores bandas 4,5,6.

Una escena adquirida por el sensor MSS comprende 2 340 líneas de barrido y 3,240 columnas por línea. Cada pixel corresponde a una superficie real de 79 m de lado (0.62 ha), si bien en la transformación digital se le asigna un formato nominal de 57 por 79 m, lo que explica la simetría entre el número de líneas y de columnas en la imagen.

La radiancia recibida para esa área de terreno se transforma a un valor entero en la computadora. Los actuales MSS codifican las cuatro bandas entre 0 y 255, medida estándar en un equipo de tratamiento digital.

En el diseño del sensor MSS se tuvieron en cuenta las medidas espectrales de laboratorio, de tal forma que las 4 bandas, pretenden realizar la aplicación de este sensor a la detección de diferentes tipos de paisajes, vegetación, agua y geología.

Las bandas visibles 4 y 5 tienen mejores disposiciones para detección de áreas urbanas o vías de comunicación, también proporcionan interesante información sobre la calidad del agua. Las dos bandas en el infrarrojo cercano (6 y 7), registran parámetros vitales en el metabolismo de las plantas, además de ser muy sensibles a la humedad.

Los dos primeros satélites Landsat contienen un sistema de tres cámaras RBV, (Return, Beam, Vidicon) cada uno de los cuales registra información en una banda espectral comprendida entre el verde y el infrarrojo cercano con una resolución espacial de 80 m

El presente estudio hubiese requerido de un trabajo de campo extenuante y con un largo periodo de tiempo, sin embargo, con ayuda de la tecnología espacial moderna, y el uso de la percepción remota fue posible realizar menos trabajo de campo.

Mediante la clasificación automática las diferentes unidades del paisaje en la Sierra Nevada presentan diferentes valores en la imagen, que se basa exclusivamente en la cantidad de energía reflejada por el terreno en las 4 bandas del espectro electromagnético, en las que registran los barredores multiespectrales a bordo del satélite de la NASA Landsat, para llevar a cabo una clasificación automática de las categorías de interés.

De las consideraciones anteriores se desprende que el primer paso en el desarrollo de la técnica tendiente a la evaluación del paisaje, mediante el procesamiento digital de la imagen Landsat MSS, consiste en determinar cuáles son las categorías informativas que pueden ser reconocidas y cartografiadas automáticamente, así como evaluar la precisión lograda en la

categorización y delimitación de las unidades de paisaje.

Se utilizó una imagen Landsat MSS de fecha del mes de julio 1987, que se procesó mediante el programa PIXSAT versión 1.0.

La técnica desarrollada se basó en el esquema de estructuración de 16 sitios de campo, que aunque no fueron representativos estadísticamente, sí son importantes para el muestreo automatizado, con dicha información se confeccionó un banco matricial de información, mediante una ventana de 1,000 líneas por 1,024 píxeles que cubrió el área de la Sierra Nevada,

1.- Concatenación de las bandas 4, 5, 6 y 7

2.- Falso color en 3 bandas

El concepto de falso color debe su nombre a que la banda del cañón rojo se sustituye por la banda de infrarrojo, de tal forma que lo que se observa en la pantalla como rojo corresponde en realidad al infrarrojo, esta combinación surge principalmente del hecho que la vegetación refleja mucha energía en la banda infrarrojo. Es por ello que en los estudios de vegetación se utiliza esta banda.

3.- Índice de vegetación

El índice permite separar algunas clases espectrales de manera general. La separación se deduce de las propiedades de reflectancia de las tres clases agua, suelo y vegetación, considerando las bandas rojo e infrarrojo.

4.-Clasificación supervisada

Clasificación supervisada implica un cierto conocimiento del área de estudio, Campbell (1981). Esta mayor familiaridad permite delimitar sobre la imagen áreas piloto, que se consideran suficientemente representativas de las categorías por ejemplo, vegetación, agua, suelo, áreas urbanas a estas áreas se

les denomina áreas de entrenamiento, que sirven para "entrenar a la computadora" en el reconocimiento de las distintas categorías.

5.-Clasificación no supervisada

Esta técnica define las clases espectrales presentes en la imagen. No implica ningún conocimiento del área de estudio. En la imagen se forman una serie de agrupaciones o conglomerados (clusters), más o menos nítidos según el caso, estos grupos equivalen a pixels con un comportamiento espectral homogéneo y, por tanto, definen las clases temáticas que se interpretan.

6.- Análisis de los componentes principales.

Consiste en resumir un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto, más pequeño, sin perder una parte significativa de la información original.

Elementos de Interpretación de la Imagen

- 1.- Forma
- 2.- Tamaño
- 3.- Color y tonalidad
- 4.- Patrón
- 5.- Textura
- 6.- Localización
- 7.- Sombra
- 8.- Relación de contexto

Análisis de integración de los datos

- a) Visual
- b) Digital

Las clases muestreadas fueron utilizadas como técnica de entrenamiento para la clasificación, en la cual se calcularon los parámetros que caracterizan la distribución de los datos espectrales de las mismas.

Sobre la base de estas áreas muestreadas, y con el fin de evaluar las diferentes unidades del paisaje, se realizó una clasificación supervisada del área total mediante el algoritmo de máxima verosimilitud de Bayes.

Para los fines del presente trabajo se realizaron muestreos de cobertura vegetal midiendo con una cinta métrica el dosel de los árboles, para cada uno de los sitios de muestreo. Asimismo, fueron considerados los valores espectrales correspondientes a los sitios de muestreo con sus respectivas dominancias que se definen como la cobertura de todos los individuos de una especie, medida en unidades de superficie.

Mediante el programa PIXSAT se obtuvieron valores digitales del índice de vegetación de los sitios muestreados con valores espectrales, con una distribución espacial, y los valores digitales medios del número de píxeles representativos de cada punto muestreado fueron transformados en valores de reflectancia permitiendo así mismo la elaboración del Índice de Vegetación.

$$IV = (B7 - B5) / (B7 + B5)$$

En donde B7 es la banda en el canal infrarrojo y B5 es la banda en el canal rojo. Esta fórmula mapea cada par de valores de entrada al intervalo [-1,1]. Para normalizar este intervalo a [0,255] y obtener una imagen desplegable, se usa la fórmula:

$$IV = 255 (IV+1)/2 = 255 [(B7-B5)/(B7+B5)+1]/2 = 255 [B7/(B7+B5+1)]$$

En donde + 1 se agrega al divisor para evitar divisiones entre cero.

Su empleo se justifica para mejorar la discriminación entre suelos y vegetación y para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización de distintas cubiertas.

FALTA

PAGINA

61

RESULTADOS DE VEGETACION

En la TABLA I se presentan los resultados obtenidos a partir de los muestreos de campo, en el volcán Popocatepetl, de los 8 puntos. En los sitios-2 (3,900 msnm), 4 (3,800 msnm) y 5 (1,750 msnm) se observa que los PI corresponden a 67 y 37%, 11 y 93%, 60 y 32% respectivamente para *Pinus* sp.

En los sitios-6 y 7 (3,470 y 3,480 msnm) se presentan *Abies religiosa* empero *Pinus* sp, sigue dominando en los sitios tanto en frecuencia como en densidad *Pinus* sp.

En los sitios 9 (3,230 msnm) y en el 10 (3,100 msnm), se presentan *Abies religiosa* y *Juniperus monticola* dominando en ambos en frecuencia y densidad *Abies religiosa*. Finalmente en el sitio-11 (3,000 msnm), constituido por *Abies religiosa*, *Cupressus lindleyi*, *Juniperus monticola* y *Pinus* sp, se presenta con mayor frecuencia, densidad y dominancia *Juniperus monticola*, siguiéndole *Abies religiosa* y en menor valor *Cupressus lindleyi* y *Pinus* sp.

El índice de valor de importancia (IVI) y el porcentaje de importancia (PI), para los sitios-2,4,5, es de 300% y 100% respectivamente para el sitio-6 es de 223% y 74% y en el sitio-7 el IVI es de 260% con un PI de 87% en todos ellos domina *Pinus* sp. En el sitio-9 *Abies religiosa* es quien presenta menor IVI 14% y PI de 5% presentándose en el sitio-10 un valor de 281% de IVI y un PI de 94% .

Finalmente, el sitio 11 presenta un IVI de 116% y un PI de 39% dado por *Juniperus monticola*. Los porcentajes de importancia oscilaron entre el 74% (sitio-6) y el 100% (sitios-2,4,5), en las tablas se aprecian los comportamientos de cada uno de los parámetros antes mencionados.

El muestreo en el volcán Iztaccihuatl se propusieron 6 puntos cuyos resultados se recogen en la tabla II

En el sitio-1 (3,360 msnm), se encuentra nuevamente la mezcla de *Abies religiosa* y *Pinus* sp, presentando mayor frecuencia, densidad y dominancia relativas *Abies religiosa*, con un IVI de 200% y un PI de 67% El sitio-2 (3,250 msnm) esta caracterizado por *Pinus* sp con un IVI de 285% y un PI de 95%

El sitio-3 (3,170), presenta una mezcla *Abies religiosa* y *Pinus* sp, de los cuales *Abies religiosa*, tiene valores mayores de IVI de 165% y un PI de 55% . El sitio-4 (3,100 msnm) lo constituye *Abies religiosa*, *Quercus* sp y *Pinus* sp en los cuales, no eran valores significativos en su dominancia en ninguno de los parámetros anteriores entre *Quercus* sp y *Pinus* sp. sin embargo *Abies religiosa* presenta un PI de 3% no significativo

El sitio-5 (2,850 msnm), se encuentra la mezcla nuevamente de *Abies religiosa*, *Juniperus monticola* y *Pinus* sp, de los cuales la mayor frecuencia, densidad y dominancia relativa estan dados por *Abies religiosa*, teniendo un IVI de 180% y un PI de 60% en las tablas se simplifica la caracterización de estos sitios de muestreo.

Análisis de la vegetación

La ubicación de los sitios de muestreo de cada volcán con su nivel altitudinal se muestran a continuación:

LOCALIZACION DE SITIOS DE MUESTREO POPOCATEPETL

LOCALIDAD*	MSNM	SITIO
Tlamacas	3 900	1
Tlamacas	3 950	2
Km 25.5	3 800	3
Km 24.5	3 750	4
Km 19	3 470	5
Km 18	3 480	6
Km 17	3 470	7
no muestreado		8
Km 15	3 270	9
Km 12.5	3 170	10
Km 10.5	3 000	11

* LOS SITIOS SE ENCUENTRAN A LO LARGO DE LA CARRETERA AMECAMECA - TLAMACAS

TABLA 3

En la localidad de Tlamacas, (1) a 3,900 msnm, se cuantificó un porcentaje de importancia del 100% de *Pinus hartwegii* que corresponde al tipo mesoclimático (N) muy frío húmedo, con una temperatura media anual de -2 a -5°C y una precipitación anual de 1,200 mm, con un porcentaje de cobertura vegetal del 90% se observa un paisaje de bosque de *Pinus hartwegii* deteriorado debido a las actividades turísticas y recreativas.

En la localidad de Tlamacas, a 3,950 msnm, se cuantificó un porcentaje de importancia del 100% de *Pinus hartwegii* que corresponde al tipo mesoclimático VI-D-7 muy frío húmedo, con una temperatura media anual de -2 a 5 °C y una precipitación anual de 1,200 mm, con un porcentaje de cobertura vegetal del 85% observándose un paisaje de bosque abierto de *Pinus hartwegii*.

En el km 25.5 (3) a 3,800 msnm, se cuantificó un porcentaje de importancia del 100% para *Pinus hartwegii* que corresponde al tipo mesoclimático VI-D-7 muy frío húmedo, con una temperatura media anual de -2 a -5°C y una precipitación anual de 1,000 a 1,200 mm, con un porcentaje de cobertura vegetal del 95% observándose un paisaje de bosque de *Pinus hartwegii* muy similar al del sitio 2.

En el km. 24.5, (4) a 3,750 msnm, se cuantificó un porcentaje de importancia del 95 % de *Pinus hartwegii* que corresponde al tipo mesoclimático VI-D-7 muy frío húmedo, con una temperatura media anual de -2 a -5°C y una precipitación anual de 1,000 a 1,200 mm, asimismo se presenta una cobertura vegetal del 90 % presentándose un paisaje abierto de *Pinus hartwegii*.

En el km. 19, (5) a una altitud de 3,470 m se cuantificó un porcentaje de importancia del 100% de *Pinus hartwegii* que corresponde al tipo mesoclimático VI-D-7 muy frío húmedo, con una temperatura media anual de -2 a -5°C y una precipitación anual de 1,200 mm, con un porcentaje de cobertura vegetal del 75% observándose un paisaje abierto de *Pinus hartwegii*.

En el km 18, (6) a una altitud de 3,480 m, se cuantificó un porcentaje de importancia del 75% de *Pinus hartwegii* y 30% de *Abies religiosa* correspondiendo al tipo mesoclimático V-c-6 frío subhúmedo, con una temperatura media anual de 5 a 11 °C y una precipitación anual de 800 mm, con un porcentaje de cobertura vegetal del 65% observándose un paisaje de bosque mixto de *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*.

En el km 17, (7) a una altitud de 3,470 m, se cuantificó un porcentaje de importancia del 80% para *Pinus hartwegii* y 10% para *Abies religiosa* correspondiendo al tipo mesoclimático V-c-6 frío subhúmedo, con una temperatura media anual de 5 a 11 C y una precipitación anual de 1000 mm, con un porcentaje de cobertura vegetal del 85 % observándose un paisaje de transición con *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*.

El sitio No.(8) no fué posible realizar el análisis de la vegetación debido a lo abrupto del terreno.

En el km 17.5 (9) a una altitud de 3,230 m, se cuantificó un porcentaje de importancia del 90% para *Abies religiosa*, mientras que para *Juniperus spp* fué del 85%, correspondiéndole el tipo mesoclimático V-c-6 frío subhúmedo, con una temperatura media anual de 5 a 11°C y una precipitación anual de 600 mm, con un porcentaje de cobertura vegetal del 10% .Con un paisaje abierto de *Abies religiosa* y *Juniperus monticola* ya que en el sitio ha existido silvicultura.

En el km 12.5, (10) a una altitud de 3,100 m, se cuantificó un porcentaje de importancia del 94% para *Juniperus monticola*, mientras que para *Abies religiosa* fué del 23%, correspondiéndole el tipo mesoclimático V-c-6 frío subhúmedo, con una temperatura media anual de 5 a 11°C y una precipitación anual de 800 a 1000 mm. Se observa un paisaje abierto de *Abies religiosa* y *Juniperus monticola*. El sitio se encuentra muy perturbado.

En el km 10.5, (11) a 3,000 msnm, se cuantificó un porcentaje de importancia del 19% para *Pinus ayacahuite*, 14% para *Juniperus rastreus*, 13% para *Abies religiosa* y 10% para *Cupressus lindleyi*, correspondiéndole el tipo mesoclimático V-c-6 frío subhúmedo, con una temperatura media anual de 5 a 11°C y una precipitación anual de 1000 mm. Se observa un paisaje de bosque mixto perturbado.

En el transecto del gradiente altitudinal de vegetación arbórea se observa que los límites inferiores son a partir de los 2,400 msnm, aproximadamente y los límites superiores de vegetación arborea es hasta los 4,050 msnm, se observa que en el límite inferior se localizan los géneros de *Quercus sp.* *Arctostaphyllum sp.*, *Alnus acuminata*, *Pinus leiophylla*, mientras que en el límite superior se encuentra *Pinus hartwegii*. La especie *Alnus acuminata* se localiza desde los 2,400 a los 3,500 msnm, presentando una tendencia de invasión y adaptación hacia otros habitats de mayor altitud.

SITIOS DE MUESTREO, IZTACCIHUATL

LOCALIDAD	MSNM	SITIO
Nexcalanco	3 360	1
Tonecoxco	3 250	2
Teacalco	3 170	3
Coloxtitla	2 850	4
Los dos cerros	3 120	5

En la localidad de Nexcalanco, (1) a 3,360 msnm, se cuantificó una dominancia de 48% tanto para *Abies religiosa* como para varias especies de *Pinus sp* que corresponde al tipo de mesoclima V-c-6 frío subhúmedo con una temperatura media anual de 5 a 11°C y una precipitación media anual de 1000 mm. Asimismo se observó un porcentaje de importancia del 75% para *Abies religiosa* mientras que para el género *Pinus* fue de 45%, con un porcentaje de cobertura vegetal de 50%, esto se debe principalmente a que la vegetación de *Pinus hartwegii* constituye un bosque abierto además de actividades silvícolas. El paisaje que se presenta es un bosque mixto de *Abies religiosa* y *Pinus*.

En la localidad de Tonecoxco, (2) a 3,250 msnm, presentan porcentaje de importancia del 95% para *Pinus* y corresponde al tipo mesoclimático V-c-6 frío subhúmedo, con una temperatura media anual de 5 a 11°C con una precipitación anual de 800 a 1000 mm, con una cobertura vegetal muy baja del 19%, este sitio presenta un paisaje muy abierto de bosque mixto de *Pinus sp* y *Abies religiosa*.

En la localidad de Teacalco, (3) a 3,170 msnm, un porcentaje de importancia (PI) de 55% para *Abies religiosa* y un 30% para *Pinus*, correspondiendo al tipo mesoclimático V-c-6 frío subhúmedo, con una temperatura media anual de 5 a 11°C con una

precipitación anual de 1000 mm y con una cobertura vegetal del 25% muy bajo, conformada por bosque mixto de *Pinus* y *Abies religiosa*.

En la localidad de Coloxtitla, (4) a 2,850 msnm, presenta un porcentaje de importancia (PI) del 50% para *Pinus*, de 49% para *Quercus* y 5% para *Abies religiosa* correspondiendo al tipo mesoclimático (H) semifrío con una temperatura media anual de 11 a 13 °C con una precipitación anual de 800 mm, con un porcentaje de cobertura vegetal del 18% muybajo, observándose un paisaje muy abierto de bosque mixto de *Pinus* y *Quercus*, muy deteriorado debido a las actividades silvícolas.

En la localidad de Los Dos Cerros, (5) a 3,120 msnm, se tiene un porcentaje de importancia (PI) del 60% para *Abies religiosa*, de 45% para *Juniperus monticola* y de 8% para el género *Pinus* correspondiendo al tipo mesoclimático V-c-6 muy frío subhúmedo, con una temperatura media anual de 5 a -11°C con una precipitación anual de 1,000 mm, con un porcentaje de cobertura vegetal de 68% presentándose un paisaje forestal de *Abies religiosa* y *Juniperus monticola*.

TABLA I VALORES ESTADISTICOS PARA EL AREA DE MUESTREO POPOCATEPETL

PARAMETRO	SITIO-2		SITIO-4		SITIO-5	
	<i>Pinus</i>		<i>Pinus</i>		<i>Pinus</i>	
FRECUENCIA %	78	39	15	100	44	33
DENSIDAD %	78	29	11	85	61	39
DOMINANCIA %	44	43	6	94	76	24
I. V. I. %	200	111	32	279	181	96
P. I. %	66	37	11	93	60	32
PARAMETRO	SITIO - 6		SITIO - 7		SITIO - 9	
	<i>Abies</i>	<i>Pinus</i>	<i>Pinus</i>	<i>Abies</i>	<i>Abies</i>	<i>Junip</i> [*]
FRECUENCIA %	8	50	50	75	6	56
DENSIDAD %	7	47	40	54	4	43
DOMINANCIA %	1	44	54	42	4	24
I. V. I. %	16	141	144	171	14	123
P. I. %	5	47	48	57	5	41
PARAMETRO	SITIO-10		SITIO - 11			
	<i>Abies</i>	<i>Junip</i> [*]	<i>Abies</i>	<i>Junip</i> [*]	<i>Pinus</i>	<i>Cupre</i> ^{**}
FRECUENCIA %	100	50	41	35	18	24
DENSIDAD %	86	14	28	34	13	25
DOMINANCIA %	95	5	13	47	15	20
I. V. I. %	281	69	82	116	46	69
P. I. %	94	23	27	39	15	23

* *Juniperus*

** *Cupressus*

TABLA II VALORES ESTADISTICOS PARA EL AREA
DE MUESTREO DEL IZTACCIHUATL

PARAMETRO	SITIO-1		SITIO-2		SITIO-3	
	<i>Abies</i>	<i>Pinus</i>	<i>Abies</i>	<i>Pinus</i>	<i>Abies</i>	<i>Pinus</i>
FRECUENCIA %	78	39	15	100	28	33
DENSIDAD %	78	53	11	85	61	39
DOMINANCIA %	48	43	5	100	76	18
I. V. I. %	200	135	30	285	165	90
P. I. %	75	45	10	95	55	30
PARAMETRO	SITIO - 4			SITIO - 5		
	<i>Abies</i>	<i>Quercus</i>	<i>Pinus</i>	<i>Abies</i>	<i>Junipe</i> *	<i>Pinus</i>
FRECUENCIA %	3	50	50	75	50	8
DENSIDAD %	4	47	46	54	40	7
DOMINANCIA %	2	44	54	51	45	9
I. V. I. %	9	141	150	180	135	24
P. I. %	3	49	50	60	45	8

* *Juniperus*

ANALISIS DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA IMAGEN DE SATELITE

Con el fin de establecer la delimitación precisa de las unidades del paisaje, se utilizarón las imágenes de satélite Landsat MSS, las cuales fueron analizadas mediante el Procesador PIXAT que tiene un clasificador multiespectral para supervizar y clasificar las imágenes.

Las características espectrales o clases definitivas de los diferentes tipos de paisajes se obtuvieron mediante un muestreo representativo, definido por la selección de un sitio en campo y referido a la imagen como un pixel (equivalente en el campo a una superficie de 79 M²), en el programa Pixsat, a partir de cada pixel seleccionado se utiliza la distancia euclidiana para permitir que todos los pixeles "parecidos" al seleccionado formen parte de la muestra total para que posteriormente se

seleccione toda el área ampliada. Bajo dicha mecánica las clases espectrales se obtuvieron de la siguiente manera:

Para facilitar el muestreo se le asignaron a las imágenes colores (Falso color) de manera que con ello se realizaron las diferencias más conspicuas entre las clases asignadas a los paisajes y se le asignó el nombre de la imagen de entrada, por ejemplo, "Cimas y Nieves perpetuas"; y, las muestras se tomaron de la misma imagen de la cual se generó la composición de color.

El muestreo de las clases se llevó a cabo sistemáticamente en 10 campos de entrenamiento, los resultados se muestran en la tabla 5, donde se establecen los valores de covariancia entre las clases y el número medio de pixeles considerado por cada cluster generado por el programa.

Una vez que se tomaron las muestras necesarias, el siguiente paso fue la obtención de la clasificación multiespectral supervizada por el mismo programa Pixasat utilizando las mismas muestras tomadas. En este paso se obtuvo la definición el tipo y número de bandas espectrales más idóneo para la generación y clasificación de las clases, espectrales que mejor definición del objeto (paisajes forestales) podía obtenerse y cuyos valores se presentan en la Tabla 4. Dichos valores se generaron con el algoritmo que representa la distancia de "Jeffrius Matusita" Richards (1986), que establece la distancia correlativa con valores que van de cero a la raíz cuadrada de dos (1.4142) Cuando dicha distancia entre dos clases es cero, éstas son idénticas y no se pueden diferenciar, cuando el valor es máximo de 1.4142 la separación es total y las clases se separan nitidamente, es decir, para este caso se diferencian plenamente los límites abruptos de las unidades del paisaje, haciendose mas estrechos los umbrales de los bordes que en algunos casos ya constituyen estructuras en formación.

Los resultados del muestreo clasificado de las imágenes de satélite fueron nuevamente confrontadas con los datos de campo para tipificar, clasificar y correlacionar las firmas espectrales de los sitios de muestreo, (fig. 11 a, b, c, y 12); de esta forma



Imagen del satélite Landsat MSS, mediante las bandas 4, 3, 2. Observándose en el color café el bosque de coníferas, en el Popocatepetl e Intaccihuatl.

Figura 10



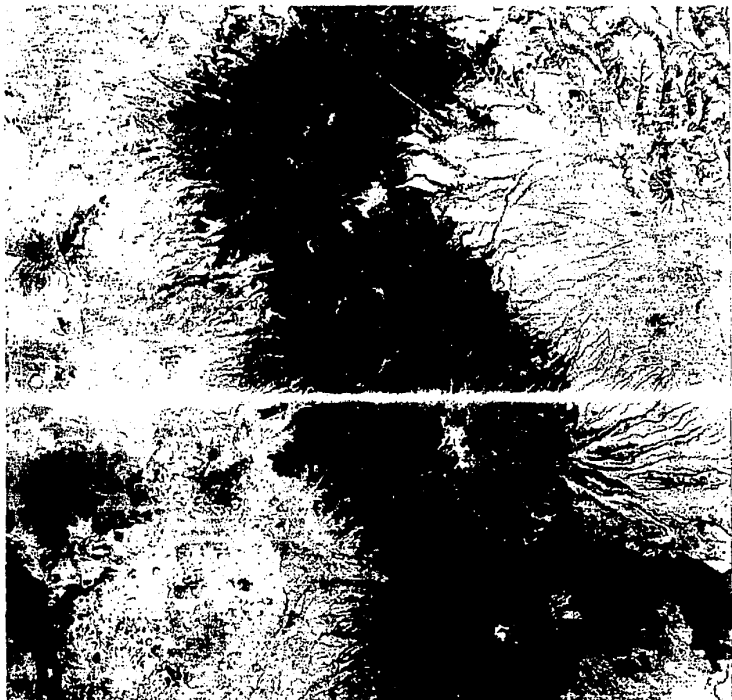
Figura 1. Vista de la estructura geológica de la zona estudiada, aproximadamente, observada en el terreno.

Figura 1.



Imagem geológica da zona de Mt. Branco, A. B.,
comparando a estrutura da estrutura
geológica do mesmo local.

Figura 1



IVMEX421
E. 1:420 000



Figure 12

se establecieron los patrones de imagen correlativos en las unidades del paisaje, que fueron después extrapoladas para toda la Sierra Nevada, generando mediante aproximaciones sucesivas la correlación óptima entre los patrones de imagen y las estructuras del paisaje, para obtener finalmente las diferentes unidades del paisaje para la Sierra Nevada (fig. 13 y 14). Los porcentajes de cobertura vegetal obtenidos en campo en los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl, correlacionaron significativamente con los valores de reflectancia espectral.

VOLCAN IZTACCIHUATL

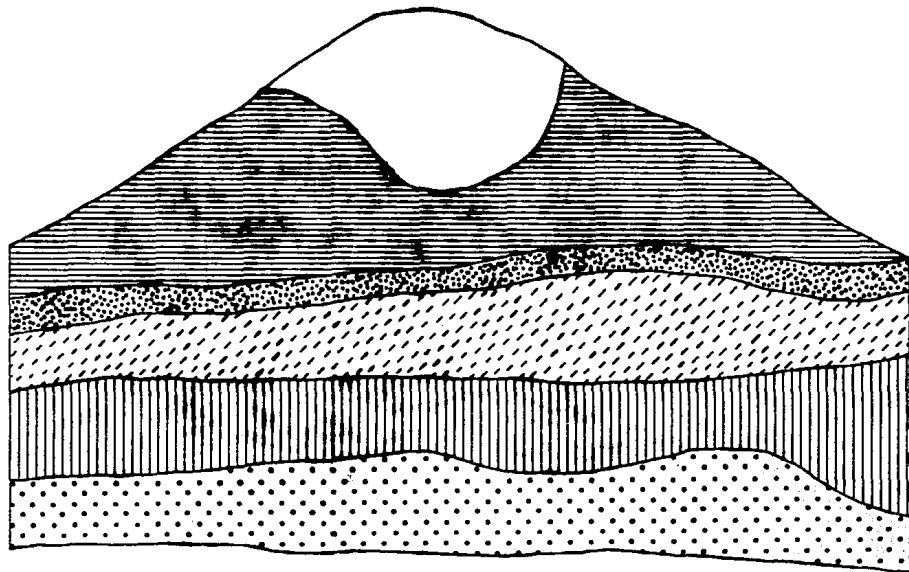
SITIO	COBERTURA VEGETAL (PI)	REFLAC. ESPECTRAL $\rho(\lambda)$
1	50 %	79
2	19	79
3	25	72
4	18	93
5	68	78




VOLCAN POPOCATEPETL

1	90	85
2	87	72
3	95	78
4	94	78
5	70	78
6	65	72
7	90	72
8	-	-
9	95	79
10	10	86
11	-	78

TABLA 4

Una vez seleccionado los pixseles se identifican con la clase a la que pertenece la muestra y el nombre del archivo al que pertenece la clase, de manera que con ello se obtuvieron las unidades clasificadas y tipificadas como paisajes las cuales



 **MIEVES PERPETUAS Y GLACIARES**
 **CIMAS NEVADAS ESPECIALMENTE ARENAS Y ROCAS**
 **ZACATONAL ALPINO 3700 - 4100**




 **BOSQUE DE CONIFERAS 2400 - 3900**
 **CAMPOS AGRICOLAS 2300 - 2400**
 **ASENTAMIENTOS HUMANOS 2200 msnm.**

Figura 13

UNIDADES DE PAISAJE IZTACCIHUATL

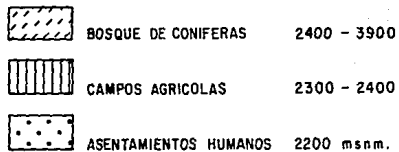
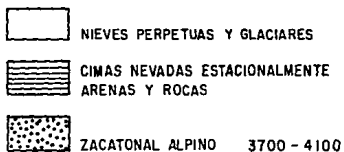
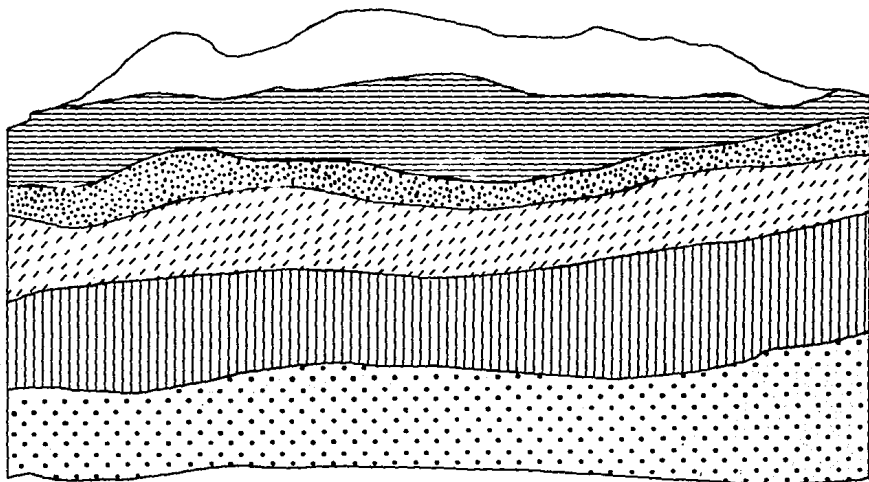


Figura 14

quedaron finalmente definidas con base en los muestreos de campo y su respectiva clasificación multiespectral.

En el presente estudio se han considerado a las diferentes unidades de paisaje de acuerdo con las características determinadas de cada región y se aprecian los rasgos más sobresalientes de un determinado ambiente, estas descripciones se basan en la selección de sus componentes principales que se asocian de manera característica

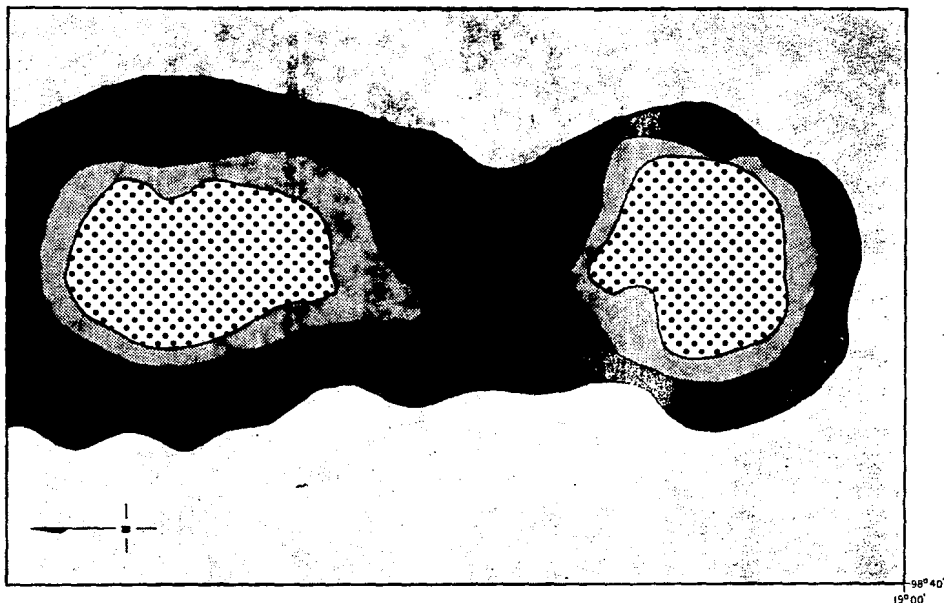
Así de acuerdo con las características ecogeográficas, se reconocen la tipificación de patrones que se presentan en la naturaleza con una reiteración de la síntesis del paisaje que se pone de manifiesto en las características más importantes de su variación espacial. (fig.15).

Los límites de las unidades del paisaje no son en general líneas precisas en el terreno sino áreas transicionales, donde se producen cambios graduales a través del tiempo. En este sentido es posible ahora definir los límites de las unidades del paisaje por medio de la percepción remota y comparar los cambios dinámicos mediante imágenes de satélite de diferentes fechas.

Se definieron entonces seis clases o unidades de paisaje definidas por 60 áreas de entrenamiento.

Unidades del paisaje	N° de áreas de entrenamiento
a) Cimas y nieves perpetuas y g.	10
b) Campos de arena y rocas	10
c) Zacatonal alpino	10
d) Bosque de coníferas	10
e) Campos agrícolas	10
f) Paisaje artificial	
asentamientos humanos	10

UNIDADES AMBIENTALES DE LA SIERRA NEVADA



AMBIENTE DE ALTA MONTAÑA



AMBIENTE FORESTAL DE MONTAÑA



AMBIENTE FORESTAL Y DE VEGETACION
INTRODUCIDA

E S C. 1 : 136 000

Figura 15

TOTAL DE MUESTRAS 60 x 1 600 96 000

Los ambientes de alta montaña presentan en nuestro país una gran variedad física y ecológica que se manifiestan principalmente en las elevaciones volcánicas más importantes del centro del país (Rzedowski, 1978). En éste caso se ubica la Sierra Nevada, donde aún se presentan procesos periglaciales y glaciales. El paisaje periglacial ocupado por pastizales del tipo amacollado, esta arriba de los 3,800 msnm. que llegan a alcanzar una altura de un metro y que se encuentran asociados con formas de vida hemcriptofita (Rzedowski, 1978).

El conjunto presenta una geología básicamente volcánica sobre la cual actúa el clima semifrío con verano fresco corto, subhúmedo de acuerdo con la estación de Huayatlaco (García, 1988). generando procesos glaciales arriba de los 4,800 msnm y periglaciales por abajo de éstos hasta los 3,800 msnm. Esto implica fenómenos típicos de crioturación, criomodelado, criocumulación y criopedología, que se repiten en todas las elevaciones del Popocatepetl e Iztaccihuatl.

En el ambiente de alta montaña de la Sierra Nevada existen cinco unidades de paisaje, dadas por el conjunto de relaciones entre los aspectos topográficos, geológicos, climáticos, geomorfológicos, edafológicos, de vegetación y de funcionalidad ecológica.

1.- Paisaje de cimas y nieves perpétuas y glaciares

Este paisaje se caracteriza por la presencia de una capa de nieve a lo largo de la roca madre de la cima de la Sierra Nevada, de los 4,500 a los 5,200 msnm.

2.- Paisaje de campos de arena y roca

Este paisaje se caracteriza por sus grandes rampas arenosas de color gris que sostiene los paisajes de Nieves Perpetuas y Glaciares. Las arenas producto de la desagregación de las rocas, y el material detrítico se presenta cubriendo grandes extensiones hasta invadir la vegetación.

Las rampas arenosas que se elevan en las formaciones erosionadas las cuales se han desgajado formando declives arenosos que descienden desde los 5 200 msnm. hasta 3 800. Muchas de las estructuras presentan un color rojo pardo; este paisaje consiste basicamente de rocas macizas en todos los flancos desde los niveles de los paisajes de las Nieves Perpetuas y Glaciares hasta el límite del paisaje cubierto por vegetación, en general las arenas que cubren toda la estructura de los volcanes forman capas muy delgadas y solo en algunos flancos de las barrancas o en los montes formados al pie de los grandes formaciones se encuentran acumulaciones de gran espesor.

3.-Paisaje de zacatonal alpino

La unidad paisaje de zacatonal alpino se encuentra en la parte occidental de la Sierra Nevada, desarrollándose a partir de los 3,500 a 4,500 msnm., colindando con las nieves perpetuas. La estrecha franja cubierta por zacatonal ocupa un medio ecológico subnevado, con influencias térmicas de 2- 5°C, heladas constantes durante todo el año, precipitación media anual de 1,200 mm y suelo derivado de ceniza volcánica muy somero con escaso desarrollo edáfico. La vegetación posee una estructura herbácea constituida por gramíneas que por lo general rebasan el metro de altura y a menudo tienen hojas rígidas durante gran parte del año (amacolladas). Entre las especies más características se encuentran *Festuca toluensis*, *Calamagrostis toluensis*, *Muhlenbergia sp* *Agrostis sp* *Poa* y *Trisetum sp* (Miranda y Hernández 1963), Almeida et al. (1994). Las hojas muertas de estos zacates suelen permanecer por un tiempo en la planta, de tal forma que el piso altitudinal donde se encuentran los zacates

presentan una fisonomía algo seca aún durante el periodo de lluvia estival. Durante el periodo seco (abril) los pastos están totalmente secos y su color es el amarillento claro de la paja.

3.- Paisaje de bosque de coníferas

Este tipo de paisaje se caracteriza por la presencia de tres asociaciones vegetales que se distribuyen principalmente de los 2,700 a los 3,500 msnm.

a) Bosque de *Pinus hartwegii*

Comunidad que forma el piso superior de la vegetación arbórea. Su desarrollo óptimo es de los 3,400 a los 4,100 msnm. donde predominan condiciones físicas extremas. La temperatura promedio es de 8°C heladas nocturnas, lluvia de 1,200 mm anuales, suelo poco evolucionado. Esta comunidad puede catalogarse como la mejor adaptada al clima semifrío con verano fresco corto, subhúmedo isotermal (García, 1988). Su estructura contiene dos estratos: arbóreo que ofrece una fisonomía de aparente crecimiento con dominio casi total de gramíneas de tipo amacollado (*Festuca toluensis*, *Calamagrostis toluensis*, *Agrostis spp.*, etc.) y leguminosas del género *Lupinus* (Miranda y Hernández, 1963). Almeida *et al* 1994. Este bosque se circunscribe a las tierras altas del talud de la Sierra Nevada Los manchones significativos por su espesura y aceptable grado de conservación se localizan en los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Telapón, sobre los terrenos del Parque Nacional.

Pinus hartwegii es considerado como el representante de bosque climático, ya que ninguna otra especie puede soportar el clima subhúmedo, rico en radiación y heladas de los lugares donde vive, sobre suelos con poca mineralización de la materia orgánica.

Se asume (Ern, 1976) que la flora original acompañante del Bosque de *Pinus hartwegii* era muy rala y tenía representantes de los géneros *Lupinus*, *Penstemon*, *Eryngium*, *Stenathium* y *Pernettya*. En esta unidad, se encontraron gramíneas, halófitas y *Senecio*

cinerarioides, *Baccharis conferta*, *Eupatorium glabratum*, *Lupinus montanus*, *Penstemon gentianoides* y *Senecio sinuatos* que se establecen después de una perturbación por el fuego.

b) Bosque de *Abies religiosa*

El óptimo crecimiento del oyamel se presenta entre los 2,700 y 3,200 msnm es común en la Sierra Nevada donde predominan condiciones de relieve de moderadas a fuertes, suelo bien desarrollado, clima templado húmedo con precipitación media anual que oscila entre los 900 y 1,500 mm y con un régimen térmico de 10-14°C. El estrato herbáceo es rico en cantidad y número de especies pertenecientes a los géneros *Senecio*, *Baccharis*, *Salvia*, *Eupatorium*, etc. su altura promedio es de 5 m y sus principal género es *Senecio*, el estrato superior de la comunidad es la masa arbórea conformada por densos bosques de oyameles con altura máxima del estrato que varía de los 35 a los 40 m. Con el *Abies* se mezclan algunos elementos arbóreos como el encino (*Quercus mexicana*), el alle (*Alnus firmifolia*) y el ciprés (*Cupressus lindleyi*) (Madrigal, 1967 y Melo, 1977).

c) Bosque de Pinos

La asociación de pináceas se presenta a altitudes que oscilan entre los 2,700 y 2,800 msnm quedando sujeta a la influencia de un clima templado, favorecido por lluvias medias anuales superiores a 900 mm de precipitación y temperaturas de 10-14°C. El estrato arbolado se encuentra a partir de los 8-15 m y sus componentes dominantes son *Pinus rudis*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. teocote* y encinos como *Quercus texcocano*, *Q. crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. mexicana*; enebros *Juniperus* sp madroños, *Arbutus xalapensis* y alles *Alnus firmifolia*, así mismo se encuentran especies representativas de los géneros *Eupatorium*, *Senecio*, *Baccharis*, *Stevia*, *Buddleia*, con una marcado dominio de gramíneas como *Muhlenbergia*, *Bromus* y *Stipa* y especies del grupo de las compuestas como *Stevia*, *Archibaccharis*, (Rzedowski, 1978). Este tipo de comunidad es objeto de fuerte impacto por

actividades antropogénicas. En la Sierra Nevada se pueden apreciar pequeños manchones que presentan un alto grado de perturbación que ha sido aprovechada por la invasión de plantas xerófilas y encinares matorraleros. Dentro de esta unidad se pudo apreciar la importancia de estos indicadores biológicos.

Abies religiosa, es otra de las especies más resistente al frío de la región (después de *Pinus hartwegii*) y por eso irrumpe profundamente en forma de cuña sobre todo en laderas de exposición septentrional o bien en barrancas profundas. Esta especie, junto con *Cupressus lindleyi* y *Pinus pseudostrobus* son consideradas como las integrantes principales de los bosques climáticos más antiguos. Incluso se han encontrado (Ern, 1976) asociaciones vírgenes del bosque de *Abies religiosa*, *Cupressus lindleyi*, *Pinus pseudostrobus* en zonas casi inaccesibles del Popocatepetl.

Estas especies pueden soportar tanta sombra y crecer y desarrollarse bajo capas de otros árboles, siempre y cuando estas no sean demasiado tupidas. La dominancia del oyamel en ciertas zonas indica que en éstas existe poca radiación, ambientes fríos y húmedos. Los cipreses indican lugares más secos, mientras que el Pino se encuentra en zonas más claras y suelos menos profundos de lomas abiertas.

Es importante indicar que *Pinus ayacahuite* tiene necesidades similares a las del oyamel; por lo tanto, se presupone que si el bosque no sufriera alteraciones por largo tiempo, el oyamel desplazaría al *Pinus ayacahuite*; sin embargo, en esta unidad de paisaje se encontró que el oyamel se ha ido restringiendo en su distribución formando parches en las barrancas.

La presencia de *Pinus pseudostrobus* en zonas medianamente aclareadas, indica el inicio de la regeneración. Esta especie es capaz de vivir en equilibrio dinámico con la fase rica de oyameles.

Pinus leiophylla, *P. teocote*, *P. rudis*, *P. montezumae*, fueron el bosque precursor, puesto que son especies pioneras cuando la zona ha sido talada o incendiada. Son heliófilas, tienen requerimientos modestos y son resistentes a los incendios. Si en la zona no se presentase por algún tiempo este tipo de perturbaciones, entonces "el bosque precursor" sería reemplazado por las formaciones boscosas de *Pinus pseudostrabus* y *P. ayacahuite*, *Cupressus* y *Abies*, que forman el "bosque climático".

En el sotobosque también se encuentra que especies de *Senecio Barba-johannis*, *S. arquillifolis* y *S. tolucaus* se establecen con el oyamel en zonas sombrías, húmedas y suelos profundos con buen drenaje.

Las gramíneas como *Epicampes macroura*, *Stipa ichu* y *Festuca amplissima* indican que existe sucesión secundaria, a causa de perturbación por fuego. *Lupinus* y *Senecio* son géneros de amplia distribución y predominan en zonas donde ha existido perturbación.

El aspecto fenológico en esta unidad se puede definir en la mayor parte de la comunidad, en la época en que se realizó el estudio estaban en estado vegetativo y muy pocas especies de *Draba*, *Gnaphalium*, *Lupinus*, *Senecio*, *Cirsium* y *Salvia* estaban en floración.

4.- Paisaje agrícola

El bosque mixto de latifoliadas y coníferas se ubica en medios ecológicos mesófilos en los que coexisten latifoliadas y pináceas, mezcla que elimina ecotonos y da lugar al típico bosque mixto de pino y encino. En éste se incluyen relictos agrupados en pequeños manchones que subsisten en laderas bajas de la Sierra Nevada. En cuanto a su estructura intervienen los tres estratos: la cubierta superior es la mezcla de encinos y pinos de diferentes especies. El estrato arbustivo tiene una mayor riqueza florística, destacando los géneros *Eupatorium* y *Salvia*.

Circunstancias de tipo antrópico han causado fuertes desequilibrios en esta masa forestal, lo que da al bosque una condición degradada y las más de las veces lo convierte en área deforestada que se transforma finalmente en campos de cultivo.

5.- Paisaje artificial

Dentro de este paisaje se incluye a los asentamientos humanos aislados o congregados, dentro de una porción de bosque, que ha sido transformado para realizar labores agrícolas. Estos sitios cuentan con cierta infraestructura habitacional que ha incrementado la casa-habitación abarcando los campos de cultivo. En este paisaje, quedan algunos elementos vegetales como relictos del ambiente natural que existía y que ha sido sustituido por la comunidad de vegetación artificial, en particular se refiere a las zonas de cultivos agrícolas que son de temporal principalmente de maíz. Este tipo de cultivos dominan en una gran superficie de los taludes medio y bajo de la Sierra que van desde los 2,380 a los 2,400 msnm.

Para analizar la interrelación que existe entre las diferentes Unidades de Paisaje es necesario analizar el comportamiento del relieve, suelo, clima, vegetación, ya sea individualmente o integrándolos, en el presente estudio se realizó de las dos formas de acuerdo con el criterio de las apreciaciones de campo.

Impacto ambiental

Los vectores de impacto resultan de los que específicamente se presentan en el área y son:

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| 1.- Desmonte | 8.- Industria |
| 2.- Pastoreo | 9.- Agricultura |
| 3.- Tala | 10.-Urbanización |
| 4.- Plagas y enfermedades | 11.-Vías terrestres |
| 5.- Incendios | 12.-Líneas de transmisión |
| 6.- Basura | 13.-Contaminación del agua |
| 7.- Turismo | |

La calificación del efecto degradante se valora en cuatro rangos:

valor	clave	interpretación
0.00	N	no existe perturbación
0.25	B	perturbación baja
0.50	M	perturbación moderada
1.00	A	perturbación muy alta
---	X	no existe relación entre vector y elemento o función

El procedimiento de cuantificación de la calidad ambiental se realizó en 18 localidades 14 para el Popocatepetl y 4 para el Iztaccihuatl, respectivamente, en las áreas de los muestreos que se realizaron para el análisis de la vegetación y en otros sitios de interés. Los resultados se presentan en las siguientes matrices.

La interpretación de estas relaciones es la siguiente:

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE OCUPACION
% GRADO DE AFECTACIÓN MEDIA

UNIDADES DE PAISAJE	ELEMENT.	FUNC.	TOTAL
P. Cimas y nieves perpetuas	1.79	1.79	1.79
P. Campos de arena y roca	1.34	0.89	1.12
P. Zacatonal alpino	14.29	7.59	10.94
P. Bosque de coníferas	50.45	43.75	47.10
P. Campos agrícolas	45.19	24.04	34.61
P. Artificial	54.02	51.79	52.90

TABLA 6

Las calificaciones otorgadas a los diferentes vectores de impacto se suman de acuerdo con su valor y al resultado se le aplica la fórmula del coeficiente CERLOP, para determinar el coeficiente de impacto absoluto (CIS), definido por la fórmula:

$$CIS = \sum_n x \cdot 0.04 .$$

Por comodidad de interpretación se manejan los valores en una sola escala y los valores de CIS se transforman a porcentaje.

Como el número de vectores de impacto considerado es de 13, el valor de impacto máximo resulta de multiplicar 13 por la constante CERLOP, de modo que al multiplicar

$$13 \times 0.04 = 5.2 \text{ coeficiente de impacto máximo } W$$

donde: 13 = No. de vectores de impacto

0.04 = constante del coeficiente CERLOP

Obtenido el % de impacto máximo (W), para cada uno de los elementos y funciones, dicho valor se resta de 100 y el resultado equivale al valor relativo de calidad ambiental que presentan los elementos y funciones de cada unidad y ambiente considerado.

TABLA 7

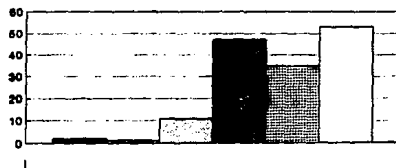
EVALUACION DE LA CALIDAD AMBIENTAL SEGUN SU GRADO DE DETERIORO
 CALIDAD AMBIENTAL = (100) - (VALOR DE IMPACTO)

PROMEDIO DE LA CALIDAD

UNIDADES DE PAISAJE	ELEMENT.	FUNC.	TOTAL
P. Cimas y nieves perpétuas	98.21	98.21	98.2
P. Campos de arena y roca	98.66	99.11	98.8
P. Zacatonal alpino	85.71	92.41	89.0
P. Bosque de coníferas	49.55	56.25	52.3
P. Campos agrícolas	54.81	75.96	65.3
P. Artificial	45.98	48.21	47.1

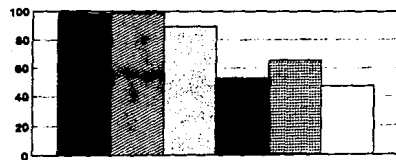
IMPACTO AMBIENTAL

% Grado de Afectacion Media



PAISAJES
 Cimas y Nevos P. Campos de Arroz y Zonas/Alpino
 Bosques de Coníferas Campos Agrícolas Artificial

Promedio de Calidad Ambiental



PAISAJES
 Cimas y Nevos P. Campos de Arroz y Zonas/Alpino
 Bosques de Coníferas Campos Agrícolas Artificial

Figura 16

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo han mostrado que los paisajes naturales para la zona de estudio están determinados por los factores geográficos que definen el área dentro de la zona tropical de altura tal como ya lo hab a establecido Leopold, (1950). De dichos factores el geológico resulta fundamental, dado que la Sierra Nevada constituye una estructura orográfica tectovolcánica que se eleva por arriba de los 2,300 msnm. y alcanza 5542 msnm, en la altura máxima del Popocatépetl.

Con la variación altimétrica cambia las características del dominio zonal del clima tropical caracterizando varios pisos térmicos e higrícos de cuya combinación se conforman los mesoclimas, característicos con las condiciones de intrazonalidad del clima tropical de altura identificado por la Clasificación de Koeppen Modificado por García, (1988), como una serie de C(A) templado cálido a (C) Templado y (ETH) Polar de altura con Hielo perpétuo). En tanto que Meza, (inédito) caracteriza un patrón de variación de mesoclimas de fresco, a semifrío, frío, muy frío.

En ambas clasificaciones lo que resalta es el hecho de que la disminución de la temperatura con la altura genera los principales patrones del cambio ambiental, a los que simplemente matiza la variación de la humedad. Son entonces los cambios termohigrícos los que rigen la distribución de los diferentes tipos de vegetación de la Sierra y en ellos existe una intervención marginal del tipo genético de suelos. De manera que la relación teórica entre el clima el suelo y la vegetación, para esta unidad, se manifiestan por una relación directa entre el clima y la vegetación, en tanto que otros factores ambientales como el suelo, la exposición, la pendiente, el relieve, actúan como elementos secundarios que influyen marginalmente los cambios del paisaje, al modificar localmente los valores normales de la humedad y la temperatura en cada piso termohigríco. Por lo anterior el gradiente altitudinal establecido por medio de la variación espectral en las imágenes de satélite, definido

principalmente por las características térmicas de los objetos en el caso de la reflectancia espectral, dió una buena delimitación de las condiciones termohigras a niveles de ambientes y subambientes, permitiendo con ello, una correlación con los umbrales termoaltimétricos definidos por los mesoclimas por Meza, (op.cit).

Como los límites de los paisajes son una importante tarea tanto para la biogeografía como la ecología del paisaje. Las metodologías para llegar a dicho fin, cambian constantemente y se buscan nuevos caminos para la formulación de los límites y la zonificación de los paisajes, siendo actualmente la teoría general de sistemas la que más herramientas metodológicas ha proporcionado para ello. Una de ellas, la de la ecología del paisaje que resulta fundamental en estudios de síntesis que requieren de un manejo de información rápido y/o el uso de indicadores para establecer unidades de estructuras naturales. En este método el uso de las imágenes de satélite y las técnicas de percepción remota resultaron valiosos auxiliares para encontrar indicadores de apoyo para la definición de las unidades del paisaje. Las imágenes permitieron definir con una resolución de 79 m², las características del estado de la cobertura para toda el área de muestreo con rapidez y eficiencia. Es decir, que un análisis de campo o fotointerpretación se hubiera requerido mucho mayor tiempo, para lograr el mismo resultado.

En la clasificación multiespectral fue muy clara y precisa la separación entre los paisajes de Campos de Cultivo, Nieves Perpetuas y Zacatonal Alpino, en los que el valor de "Jeffrius-Matusita" (Cortés, inédito) alcanzó su discriminación óptima con la combinación de las bandas 2, 3, 4 o bien 1, 3, 4, debido a que la distancia máxima es de 1.414 indicando con esto que existe una separación matemática entre las clases es decir una separación entre las Unidades de Paisaje.

No resultó tan claro ni preciso, diferenciar en cambio, entre el bosque de pinos y el de oyamel, donde los valores más importantes de "Jeffrius-Matusita" alcanzaron valores menores a 1.414, con las combinaciones de las bandas 1,2,3 y 1,2,4. El

porcentaje de cobertura vegetal disminuida por las actividades de explotación forestal, se aprecia por los valores de reflectancia espectral del sotobosque y con ello, haciendo más difícil la separación de las clases definidas para ambas comunidades de bosque. Este problema podría ser mejorado y/o resuelto con el manejo de imágenes tomadas en diferentes épocas del año y de varios años, de manera que con ello se pudiera establecer un ritmo secuencial de los cambios fenológicos para las diferentes comunidades. Sin embargo, dado que solo se contó con una imagen dicho problema solo pudo ser interpretado y resuelto parcialmente con el apoyo de la información de campo.

Los resultados espectrales muestran que el lado occidental de la Sierra Nevada es más húmedo que el oriental, lo que significa una mayor permanencia de la humedad en el sitio, que paradójicamente recibe menos precipitación de acuerdo con los valores de precipitación total anual que se han registrado en el área. Durante el año, los vientos húmedos que inciden procedentes del Océano Atlántico con dirección NE y NW.

Además de las condiciones del relieve, la altitud también es importante, ya que es clara la variación de los valores de la precipitación. Se pudo observar que el límite de la vegetación arbórea está controlado por factores climáticos, y el tipo de suelo.

La acción de estos parámetros se pudo constatar en algunos lugares del área como en las barrancas y cerros de considerable elevación, lo que determina condiciones microclimáticas especiales en el medio ambiente, siendo menos húmedas cuando se trata de terrenos con pendientes pronunciadas y expuestas a la acción de los vientos, mientras que las cañadas y barrancas protegidas son más húmedas y con gran diversidad vegetal.

Para la comparación y relación de las unidades del paisaje, en el área de estudio, se requiere de la evaluación de los factores anteriores. A partir de la descripción de la vegetación se observó que muchos sitios de muestreo, a pesar de tener

diferencias en sus altitudes, el comportamiento en la frecuencia, densidad, dominancia, índice de valor de importancia y porcentaje de importancia, son muy similares y dados por los mismos géneros de árboles, que en este caso fueron *Pinus* sp en el Popocatepetl y *Abies religiosa* en el Iztaccihuatl.

Fue posible obtener una correlación entre los parámetros cobertura vegetal y la reflectancia espectral, pero es necesario contar con equipo como el posicionador GPS para ubicar de manera precisa los sitios de campo en la imagen de satélite.

La resolución de la imagen resultó confiable para delimitar diferencias entre las comunidades por ejemplo entre *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*, esto a su vez con un poco de experiencia en la interpretación de las imágenes.

Si se utiliza una imagen de satélite Landsat TM o bien una imagen del satélite Spot se podría clasificar la imagen de acuerdo con la dominancia vegetal, obtenida por los porcentajes de importancia (PIs), debido a que estas presentan una mejor resolución que la imagen obtenida por Landsat MSS.

Con la imagen Landsat MSS fue posible obtener una mayor cobertura del terreno, sin ocupar volúmenes de memoria muy grandes en la computadora como es el caso con las imágenes Landsat TM.

Es importante mencionar que es necesario realizar un análisis cuantitativo de la cobertura del sotobosque y no solo del estrato arbóreo, ya que en el presente trabajo no se realizó, con lo anterior será posible definir con mayor claridad las unidades de paisaje.

Dado que la zona de estudio constituye una estructura orográfica, su manejo puede realizarse en función del concepto de "Isla", en el cual la orientación y exposición hacia los factores climáticos de luz (temperatura) y humedad, son determinantes para

Inducir variaciones horizontales en la zonificación estratificada del mesoclima. Además la pendiente como factor de energía potencial, condiciona la distribución de la energía llevada por el agua, porque ella determina la velocidad de escurrimiento, de almacenamiento y consecuentemente del tiempo que dicha energía puede estar disponible para las plantas u otras funciones dentro de los ecosistemas. Como dicha energía potencial se puede diferenciar por el contenido de humedad y trabajo en términos de productividad de las comunidades (interpretado por los objetos de la superficie de la tierra tales como el agua, suelo y vegetación, los valores de reflectancia espectral en la región del infrarojo) entre una zonas y otras, de manera que por el análisis preciso de las imágenes se pudo lograr una buena interpretación funcional de la estructura geocológica global, generándose al mismo tiempo la posibilidad de comparar en la vertical la distribución de la energía, de manera que con ello se ubica una estructura de sistemas de cadena o cascada, muy típica para los sistemas de montaña. Odum, (1972).

Las unidades de paisaje delimitadas en la Sierra Nevada conforman entonces un sistema abierto de cascada cuyas entradas son: energía solar y precipitación mientras que sus salidas son: agua y sustancias minerales que se reparten con los escurrimientos hacia los valles de Puebla, Tlaxcala y México. La materia y energía (que es transportada y distribuida desde la cimas por el agua corriente y en menor proporción por el viento, viene a establecer la forma operativa de los geocosistemas, lo que también en el estudio hemos definido como funciones climática, hidrodinámica, geodinámica y edáfica, las cuales, subyacen al orden que define la estructura morfológica de los paisajes por los factores ambientales que definimos al principio de este capítulo. Como se ha establecido a lo largo del estudio el mantenimiento de las funciones naturales "Climática, Hidrodinámica, Geodinámica y Ecodinámica" resulta indispensable no sólo para precisar el carácter cualitativo del flujo de energía y materia dentro de la estructura geocológica global, sino también para conocer el estado de "salud" que mantiene dicha estructura.

Con la ayuda del sistema "CERLOP", Cervantes, (1992), se evaluó la vulnerabilidad ambiental, o grado de fragilidad o resistencia que ofrecen los sistemas geoecológicos y sus paisajes asociados, ante las diferentes acciones de ocupación humana y o afectaciones por factores de perturbación natural.

La evaluación fue concomitante con las características de ocupación de los paisajes en terminos de sus ventajas respecto a las facilidades para ser ocupados o utilizados por el hombre. La evaluación del impacto ambiental resultó muy bajo para Cimas y Nieves Perpetuas (la menos ocupada), con una media de sus elementos y funciones de 1.7, para el Paisaje de Campos de Arena y Roca tan solo de 1.1; mientras que para los paisajes de mayor utilidad y facilidad de acceso como los de Bosque de Coníferas 47.1, Paisaje de Campos Agrícolas 34.6 y Paisaje Artificial 52.9, los valores fueron sucesivamente más altos. De acuerdo con estos resultados se puede asumir que que la afectación por impactos en la Sierra Nevada se ha estado dando y avanzando desde las partes bajas hacia las partes altas, porque el principal agente de las mismas es la actividad humana de tala, esquileo forestal, pastoreo, agricultura (30 últimos años) la actividad turística. De acuerdo con los registros y observaciones de campo las actividades de mayor impacto son la tala y el pastoreo.

Con respecto a la evaluación de la calidad ambiental según su grado de deterioro la media de sus elementos y funciones, resultó alto y por lo tanto es óptimo el Paisaje de Nieves Perpetuas con un valor de 98.2, para el paisaje de Campos de Arena y Roca 98.8 y el Paisaje de Zacatonal Alpino con 89.0. Mientras que para el paisaje de Bosque de Coníferas con 52.3 y el Paisaje de Campos Agrícolas con 65.3 resultaron con un promedio de calidad ambiental medio, así para el Paisaje Artificial su calidad ambiental resultó bajo con 47.1.

Aunque los conceptos de manejo de cuencas pueden ser muy operativos para resolver parcialmente (por cuencas y subcuencas) los problemas del manejo de los recursos naturales agua, suelo y vegetación. El manejo global de la estructura geoecológica requiere en cambio, del manejo operativo de "isla" manejando las

funciones naturales para, establecer las acciones que horizontalmente se tendrán que llevar a cabo por cada piso mesoclimático y finalmente por el conjunto global.

CONCLUSIONES

Bajo los conceptos anteriores, se puede concluir que las características y definición de los geoeosistemas encontrados en la zona de estudio, así como la condición que guardan en términos de sus vulnerabilidad y grado de impacto recibido, el paisaje natural ha sido sustancialmente modificado por una ocupación indiscriminada para actividades de tala en toda la región, que han abatido la biodiversidad del área como es el caso de las aves amenazadas o en peligro de extinción *Falco peregrinus*, *Cirtonyx montezumae*, *Cinclus mexicanus* y *Xenospiza balleyi*.

En lo particular se puede concluir que dentro de la situación que guardan actualmente los geoeosistemas en la Sierra Nevada se tienen los siguientes aspectos característicos:

UNIDAD DE NIEVES PERPETUAS Y GLACIARES

La unidad de nieves perpétuas comprende zonas extensas donde entra una gran cantidad de energía por la lluvia y el sol capaz de disiparla, ya que no hay productores primarios (su productividad primaria neta es nula, existe erosión acentuada, la roca que se encuentra es mecánicamente degradada (casi no existe suelo), y solo sufre fisuras microscópicas que al cabo de los años puede producir un quebramiento total. Por lo tanto, este geoeosistema presenta un cambio de estado inestable.

UNIDAD DE BOSQUE DE CONIFERAS

En la unidad del bosque de coníferas existe una amplia

captación de la radiación solar incidente disponible así como de la precipitación, ya que forman extensas zonas con una amplia cobertura vegetal fotosintética activa durante la estación de crecimiento y durante la mayor parte del año.

Por otro lado, el follaje del bosque permite la compactación del suelo, facilita la infiltración y ayuda a mantener la carga de agua subterránea y el caudal de los ríos. Por lo tanto, dentro de la clasificación de Segnini (1975) y Hurd y colaboradores (1971), este geosistema es considerado estable, con una vocación natural forestal (bosque climático)

No obstante ha sido también la unidad que más ha resentido la explotación para extracción de madera en el caso de los bosques de pinos y de esquilmo en el caso de los bosques de encinos para carbón y otros productos maderables. De manera que hoy día su estabilidad está muy débil y ya resulta en muchas partes vulnerable tales como: La ladera occidental del Telapón, Valle de Zoquiapan, Nexcalanco, Toncoxico, Teacalco, Coloxtitla y Los Dos Cerros en el volcán Iztaccihuatl y Tlamacas en el Popocatepetl con cambios significativos en su composición y estructura.

Así de los 15 sitios de muestreo tanto para los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl se ve que el bosque de pinos ha perdido 39.7% de cobertura en los sitios 4 y 5 Kms 24.5 y 19 en el Popocatepetl mientras que para los sitios 6 y 7 Kms 18 y 17 el oyamel disminuyó en un 8.7% la cobertura véase los cambios en la gráfica 1 y 2 del apéndice que son los valores extremos considerados.

UNIDAD DE ZACATONAL ALPINO

Es un sitio de captación de sedimentos y amacizamiento de suelo, funcionando como retenedor de erosión. La presencia de estos zacatonales indica la actividad de productores primarios (descomponedores, formadores de suelo) es un paisaje "estático", es decir, se trata de un geosistema sin cambios de estado moderadamente inestable.

UNIDAD DE CAMPOS AGRICOLAS

En la unidad de campos agrícolas, la productividad primaria es menor que la del bosque. se encuentra que la mayor parte de la radiación solar y precipitación es de uso potencial con una cobertura vegetal relativamente baja. Comparativamente, el cultivo es menos capaz de disipar la energía que el bosque, debido a que un árbol puede disipar de unas seis a siete veces más energía que 10 plantas de maíz. Por lo tanto, cuando sólo hay plantas pequeñas como en los cultivos, el suelo y la atmósfera tienden a calentarse mucho más que cuando hay árboles; cuando existe precipitación, los cambios de temperaturas en las partículas del suelo son más bruscos, aumentando las probabilidades de quebramiento. Éste produce partículas más finas y causa la impermeabilidad de terreno, ya que se pierde la porosidad y un aumento en el escurrimiento superficial. Cabe mencionar que las plantas de los cultivos evaporan seis veces menos el agua de los árboles, lo cual presenta una disminución en la humedad de la atmósfera, pero si se tiene en cuenta que la temperatura del aire es más alta, entonces habrá una disminución considerable de la humedad relativa, como cambios microclimáticos (los cuales se harán más pronunciados conforme sea más grande el área en la que se vaya abriendo para cultivos), de acuerdo con esta dinámica el geoeosistema se encuentra en estado moderadamente inestable con vocación natural de vida silvestre y pastizal.

UNIDAD DE PAISAJE ARTIFICIAL

En la unidad de paisaje artificial, la energía que entra, es más bien, combustible (fósil), el cual se emplea sobre todo, para fines de consumo y muy poco en procesos de producción y en tales condiciones, la capacidad portadora del ambiente es más bien baja.

Se tienen pocos subsidios de energía, por ello, no aumenta la capacidad portadora del ambiente rural. En consecuencia, el aumento en la población, conduce inevitablemente a desforestar los bosques en las laderas de las montañas para abrir cultivos o la ganadería o bien emigrar a las ciudades. Este sistema se considera inestable con una vocación natural de pastizal y forestal.

Para explotar de manera adecuada cada uno de los geoeosistemas, sin destruirlo irreversiblemente, se deben considerar aspectos de conservación, preservación y regeneración. Esto se deduce por lo siguiente: De las cinco unidades de paisaje, solo una, el bosque de coníferas, se encuentra en estado estable, pero es el que ha sufrido los efectos del impacto (ganadería, turismo, tala, contaminación, incendios, agricultura) en forma desmedida y grave. Esta unidad tiene funciones importantes, por un lado, interviene en el balance hídrico ya que alrededor de los 20 millones de habitantes que viven en el valle o cuencas de Puebla, Estado de México y Morelos, se abastecen de agua para soportar una población creciente. Lo anterior sólo puede mantenerse, si las reservas de agua de los alrededores se preservan y cuidan, y si se regeneran los bosques que las rodean.

Por otro lado, tiene un valor como fuente de recreación para la población urbana y su importancia como purificador atmosférico por tanto, se debe concientizar sobre el valor de los bosques a los pobladores.

El uso que desde hace cientos de años se le ha dado a los geoeosistemas de la Sierra Nevada ha sido como cultivo de maíz, sobre todo en las laderas septentrionales del Iztaccíhuatl, hasta los 2,900 m y que actualmente están cubiertas por una vegetación de "bosque precursor" de pinos. También se ha usado para obtener leña y carbón (silvicultura). Se le ha dado, así mismo, un uso pecuario, para la caza de animales nativos (incluso algunas especies como el venado cola blanca, ha desaparecido), y

recientemente se ha dado un uso turístico y recreacional. También han sido utilizados para la fabricación de papel. La influencia de la papelería de San Rafael en sus áreas de uso, es positiva en la economía de toda el área e incluso se puede hablar de una economía forestal real. Por otro lado, es importante enfatizar que la comunidad de San Rafael depende completamente de la fábrica de papel.

Se puede señalar que para un acondicionamiento de la Sierra Nevada se deberían realizar obras de protección, actividades escénico-recreativas, actividades fitosanitarias, reforestación y áreas de amortiguamiento, así como obras de conservación del suelo y agua.

Con base en los resultados obtenidos se dan avances de lo que sería una contribución al marco metodológico de estudios de ecología del paisaje para zonas templadas, fundamentado inicialmente en la descripción de la vegetación, que es uno de los elementos que conforman el paisaje, y que es un indicador de la estabilidad ambiental.

Es de suma importancia delimitar las unidades de paisaje teniendo en cuenta un trabajo interdisciplinario y no sólo basado en un trabajo ecológico y/o de vegetación.

La Sierra Nevada con su gran cantidad de recursos que conforman sus paisajes, destacan para el análisis como un conjunto de indicadores que permiten interpretar y describir el funcionamiento del sistema ecológico.

Es importante mencionar el hecho de que la reorganización del medio natural, tales como las diferentes unidades del paisaje, son de suma importancia para conocer y proteger el medio ambiente, su inestabilidad en ciertos paisajes, y así mismo para la planeación de medidas de conservación, protección de la biodiversidad y manejo adecuado de los recursos naturales, así como también para la solución de los problemas ambientales regionales. Por consiguiente la ciencia de la ecología del

paisaje aunada con la herramienta de la tecnología espacial y enfocada desde el punto de vista de la teoría general de sistemas, son fundamentales para conocer los balances de flujos de energía y materia que se desarrollan en los geoecosistemas forestales, bajo este enfoque es vital seguir desarrollando metodologías para el análisis funcional de los ecosistemas con todos sus componentes, por lo tanto cuando los ecosistemas sean analizados y entendidos desde el punto de vista de su función, dinámica y evolución será posible su integración y manejo óptimo a través de modelos operativos de evaluación y pronóstico que son indispensables para valorar el entorno ecológico y sus recursos. Por otro lado uno de los problemas más graves en la Sierra Nevada es la degradación acelerada de su medio ambiente y esto se presenta como uno de los retos a afrontar.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, L., A. M. Cleef, A. Herrera, A. Velázquez e I. Luna, (1994). El zacatonal alpino del Volcán Popocatepetl, México y su posición en las montañas tropicales de América. *Phyto*
- Amat, J., Bouchot B. y Hotyat M. 1984. *Foret et Teledetection*. Travaux Centre Recherches. Geogr. Phis. Environnement, p.31-39. Caen.
- Amat, J. y Hotyat M. 1984. *Etude de Couvert Forestier par les images Landsat: bilan et evaluation sur la foret domaniale de fontainebleau*. Travaux Inst.Geogr. Reims, 57-58, 103-135.
- Amat, J. y Hotyat M. 1985. *Paysages forestiers et teledetection*. Reuve Geogr. de l' Est, 25,4 p.379-383, Nancy.
- Anaya L., A.L.R. Hernández Sanchez y X. Madrigal Sanchez. 1980. La vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental de Iztaccihuatl, Bol.Téc.Inst.Nal.Invest.For. Num.65.
- Antrop M. 1985. *Teledetection et analyse du paysage*. en: *Paysage et Systeme*, p. 125-138, Ed. Univ.de Ottawa.
- Amecameca E14B41 (Carta topográfica). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1985 1:50,000
- Aguillera, G. y E. Ordóñez, 1895. Expedición científica al Popocatepetl. Comisión Geológica Mexicana. Oficina tipográfica de la Secretaria de Fomento. México. 48 pp.
- Akademiya N. 1969 *Methodes d etude du paysage*. Nauka, 240 p.Moscu.
- Aleksandrova, T. P. 1983. On a System Character of Terminology in Landscape Science. En: *Landscape Synthesis - Geocological Foundations of the complex Landscape Management*. Veda. Publishing House of the Slovak Academy of Sciences. Bratislava. 59 -64 pp.

Alexandrova, T. y V. Preobrazhensky. 1985. Approaches to Investigation of Landscape Organization. En VIIth Int. Symp. on Problems of ecological Landscape Studies. Czechoslovaquia. 388 p.

Alois, H.P., Trnka, Wokoun, and V. Herber. 1985. Georegional Synthesis and Landscape Ecology. En: VIIIth International Symposium in Problems of Landscape Ecology Research. Vol I Czech. 405 pp.

Anaya, L., H. Sánchez, y X. Madrigal, 1980. La vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental del Iztaccihuatl (México). *Bol. Tec. Nal. Invest. For.* No. 65.

Aracil, J., 1988. *Introducción a la dinámica de sistemas*. Alianza. España. 362 pp.

Atlas del Estado de México, 1992. Gobierno del Estado de México y Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México 85 pp.

Babb S., y P.Arias, 1985. Distribución y abundancia de la avifauna del Parque Nacional Popocatepetl-Iztaccihuatl. *Biología de Campo*, Facultad de Ciencias, UNAM. 104 pp.

Barner, J. 1981. *Landschaftsteknik*. Enke Verlag, Leipzig.

Barrera, A., 1968, Distribución clisaerial de los Siphonaptera, su interpretación biogeográfica, *Inst.Biol. UNAM Ser. Zool.*, 1:35-100 pp.

Bartkowsky, T., 1983. The concept of Physlognomic Landscape as a tool for spatial ecological planning. En: VIIIth Internacional 'Symposium on Problems of Lanscape Ecological Research. Vol. I. Czechoslovaquia. 405 pp.

Beaman, H.J., 1962. The timberlines of Iztaccihuatl and Popocatepetl, México. *Ecology* 43(3): 377-385.

Beaman, H.J., 1965. Preliminary ecological study of the alpine flora of Popocatepetl and Iztaccihuatl, Bol. No 29:63-75 Soc. Bot. Mex

Bertalanfy, L. V., 1984. Teoría General de los Sistemas. Fondo de Cultura Económica. México. 311 p.

Billings, W. D. and R. J. Morris 1951. Reflection of visible and infrared radiation from leaves of diferent ecological groups. *Amer. Jour. Bot.* 38: 327 -331.

Bolívar C. y Pieltaun, 1940, Notas sobre algunos insectos alpinos de los volcanes de México. *Rev Hist. Nat* 1 (3):177.

Campbell, J. B. 1981. Spatial correlation effects upon accuracy of supervised classification of land cover. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47, 355-357 pp.

Cervantes, F. J., 1974. La integración de los geosistemas y ecosistemas de plan urbano. En: *El Medio Natural como marco para el desarrollo urbano*. Div. Est. Sup. ENA. México. 1-28 p.

Cervantes, F. J., 1979. Reseña general sobre la investigación sistemática del medio natural. En: *Bol. Inst. Geo. UNAM*. 9:7-25.

Cervantes, F. J., 1989. Modelo geocoesistémico para la prospección, uso y manejo del medio y los recursos naturales. *Bol. Inst. Geo.* 19:27-38.

Cervantes Borja J.F., Meza Sanchez y Reyes Gonzalez A. 1992. "Sistema CERLOP para la evaluación del impacto ambiental". Memoria de la octava conferencia internacional. "Las computadoras en las instituciones de educación e investigación". México D.F.

CETENAL, 1970. Carta climatológica Veracruz 14QVI

- Cottam, G. y T.J Curtis, 1955. Correction for various Exclusion Angles in the Random Pairs Method. *Ecology*. 767 pp.
- Cortés, A., Pixsat, Manual del Usuario. Versión 1.0, Instituto de Geografía. UNAM. Inédito.
- Curtis, J. T., 1949. A method for making rapid surveys of woodlands by means of pairs of randomly selected trees. *Ecology*, 30(1):101-104.
- Deagostini, D., 1975, Sensores remotos y principios de percepción remota. CIAF. Bogotá, Colombia, 157 pp.
- Delworth, G. B. y J. Ziunuska, 1978. Public policies affecting land devoted to agriculture and forest. En *Renewable resource management for forestry and agriculture*. Bethel & Massengale ed. USA. 585 p.
- Domínguez, R. I. 1975. Estudios ecológicos del volcán Popocatepetl. Estado de México, Tesis de Licenciatura, Biología, Fac. de Ciencias UNAM. 124 pp.
- Drdós, J., 1983. Landscape Synthesis-Geocological Foundations of the complex landscape management. Veda. Publ. House Slovak Academy of Sc. Bratislava. p. 7-9.
- Ern, H. 1972. Estudio de la vegetación en la parte oriental del México Central. Com. Proy. Pue., Tlax. 6:1-6.
- Ellen, R., 1982. *Environment, Subsistence and System* Cambridge University Press, USA. 324 pp.
- Erffa, A. Von Hilger W. Knoblich, K. Weyl R. 1976. "Geología de la Cuenca Alta de Puebla-Tlaxcala y sus contornos". Comunicaciones Proyecto Puebla -Tlaxcala 5, F.A.I.C. pp. 9-14. Puebla.

Felgueiras, C.A., 1988. Aplicaciones de modelos numéricos de elevación e integración con imágenes digitales. Curso sobre sistemas de informaciones geográficas. Instituto de Pesquisas Espaciais. Brasil. 485-490 pp.

Forman, R. and M. Gordon. 1986. Landscape Ecology. John Wiley and Sons. USA. 619 p.

Feranec, J. y J. Otáhel 1988. Creación de un mapa a gran escala de uso de suelo, usando fotografías aéreas multiespectrales. En: IV proceedings of the 13th International Cartographic Conference: 273-287.

Feranec, J. 1988. El uso de fotografías espaciales multiespectrales para dibujar un mapa de uso de la tierra en el oeste de Slovakia. En Photogrammetria (PR5) 42:157-162.

Flores-Villela, O. y P. Gérez. 1988. *Conservación en México: síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso del suelo*. INIREB, Xalapa, Ver., México.

García, E., 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). UNAM. México. 217 pp.

Gates, D. M., H. J. Keegan, J. C. Shleter and V. R. Weidner, 1965. Spectral Properties of Plants. Appl. Opt, 4(1):

González, B. F., 1981. Ecología del Paisaje. H. Blume. España. 250 pp.

Gosz, R. L., 1978. El flujo de energía en un ecosistema de bosque. en: *Investigación y Ciencia*. No.20.

Hildebrandt, G. y R. C. Heller, 1973. The Implications of Remote Sensors for Forestry Research and Practice. Proc. 15 th IUFRO Florida.

Hilger, W. 1973. "Observaciones respecto a la geología de la región de Puebla-Tlaxcala, 7, F.A.I.C., pp.3-6, Puebla.

Hinojosa. O. M., 1958. Los Bosques de México. Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas. México. 168 pp.

Huejotzingo E14B42 (carta topográfica). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (INEGI), 1975. 1:50,000.

Hynek, y Trnka A. 1985. Georegional Synthesis and Landscape Ecology. VII th International Symposium on Problems of Landscape Ecology. Research. Vol. I. CZECH.

Lauer, W. 1968. Problemas de la división fitogeográfica en América Central. Geocology of the mountainous regions of the tropical Americas. Colloquium Geographicum, 9, 139-156, Bonn.

Leopold, A.S. 1950. Vegetation zones of Mexico. *Ecology* 31:507-518

López, R. y Morales F., 1993. Ecología del paisaje en la parte noroccidental de la Sierra Nevada. Número especial. Boletín del Instituto de Geografía UNAM. 75-87 pp.

Lorenzo, J.L., 1959. Los glaciares de México. Monografías del Instituto de Geografía. 1, UNAM; pp 111-114.

Lugo, A.G. y Morris, 1982. Los sistemas ecológicos y la humanidad. OEA. USA. 33 p.

Lugo H. J., 1984. Geomorfología del sur de la cuenca de México. *Serie Varía*, T. 1 Núm. 8 Instituto de Geografía UNAM.

Mc Harg I., 1972. Design with nature. Doubleday Company N.Y. 196 pp.

Martinez, M. y E. Matuda., 1979. Flora del Estado de México. Tomo I. 1953-1972. Biblioteca Enciclopédica del Estado de México.

Maas M., y A. Martínez. 1990. Los ecosistemas definición, origen e importancia del concepto. *Ciencias*. N° especial. 4:10-20.

Madrigal Sanchez, X. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* H.B.K. Schl. et Cham). en el Valle de México. Bol. Téc. Inst. Nal. Invest. For. N°18; 94 pp.

Meza S., M. Inédito. Relaciones Clima Suelo en algunas áreas de la Cuenca de México, Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias UNAM. 192 pp.

Melo Gallegos, C. 1977. Desarrollo de los Parques Nacionales Mexicanos. Serie Varia, Instituto de Geografía, UNAM, Num.3, pp. 58-154.

Miranda, F. y X. Hernández, 1963. Los tipos de vegetación de México y su Clasificación. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 28: 29-179.

Mooser, F., 1957. Los ciclos del vulcanismo que formaron la Cuenca de México. *Internat. Geol. Cong.* 20 th, Mexico, D.F., Tomo II, de Vulcanología del Cenozoico. Secc.1. Instituto de Geología, UNAM, 337-348 pp.

Mooser, F. 1975. Historia geológica de la Cuenca de México. Memoria de las obras del sistema del drenaje profundo del Distrito Federal, T.1, México D.F. 184 p.

Murillo G. (Dr Atl), 1940. La actividad del Popocatepetl. Ediciones Polis. México. 72 pp.

Naveh, Z y A.S. Lieberman, 1984. Conceptual and Theoretical basis of Landscape Ecology as a Human Ecosystem. *Science*, 356 pp.

- Naveh, Z y A.S. Lieberman. 1984. *Landscape Ecology - Theory and Application*, Springer -Berlag. USA. 255 pp.
- Niero, Kurkdjian y C. Foresti. 1989, Cobertura e uso da terra através de sensoramento remoto, Instituto de Pesquisas Espaciais, Brasil. 95 pp.
- Odum, 1972. *Environment Power and Society*. Jhon Willey and Sons. 283 pp.
- Palacios, V.G. 1985. Microartrópodos del Popocatepetl. (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros oribátidos e insectos colembolos). Tesis Doctorado, Facultad de Ciencias UNAM 132 pp.
- Phillipson, J., 1975. *Ecological energetics*. Omega. España. 56 pp.
- Phipps M. *Contribution a l' analyse et a classification des types de paysages*. En: Actes du XI Congres Intern. de Photogrammetric, p. 1-14, Lausanne, 1968.
- Plakhotnik, F.A. 1974. The sujet and structure of geosystems theory. En: *Soviet Geography: Review and Translation*. vol. XV. No. 7: 429-436.
- Richards, J.F., 1986. World enviromental history and economic development. En: *Sustainable Development of the Biosphere*. IIASA. Austria.
- Richard, T. F. and M. Godron, 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons. USA. 619 pp.
- Richter H. y Schonfelder G. 1981. Some Remark about Landscape Prognosis en: *Landcape Synthesis*, Actes du Colloque Internat. de Smolenice Checoslovaquia.

Richards J. 1986. Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag. 346 pp.

Rojas ,M.P. 1951. Estudio biológico del conejo de los volcanes (género *Romerolagus*), (Mammalia: Lagomorpha. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Rougerie G, y Beroutchachvili N. 1991. Geosistèmes et Paysages bilan et Méthodes. Armand Colin Editor. 296 pp. Paris Francia.

Ruiz, A. P., 1990. II Taller sobre Procesamiento Digital de Imágenes, Vol. I: Teoría, UAM-X, LIFC-UNAM, CONACYT, 116 pp.

Ruzicka, M. 1985. Tropical problems of landscape ecological research and planning. En: VIIth International Symposium on Problems of Landscape Ecological Research. CZECH.

Ryabchikov, A. M., 1975. Problems of the natural environment in their global aspect. En: the annual meeting of the middle atlante division of the association of american geological. 402-412.

Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. Ed Limusa. México. 432 pp.

Rzedowski, J., 1965. Relaciones y orígenes de la flora mexicana. *Bol. Soc. Bot. Mex.*, 29:123 -177.

Rzedowski, J., 1979. Relaciones geográficas y posibles orígenes de la flora en : J.Rzedowski y G.L. de Rzedowski (Eds) Flora fanerogámica del Valle de México, Capítulo8, Ed. CECSA, México; pp.37-41.

Santillán, A. S. 1979. Distribución altitudinal de roedores en el Campo Experimental "San Juan Tetla". Estado de Puebla, México. Tesis de Licenciatura en Biología, UAEM. México.

Seanini, B. M. 1975. Ordenamiento y balance energético. En *Rev. Geo. Am. Lat.* Costa Rica. N° 2.

Snacken F. and M. Antrop, 1983. Structure and Dynamics of Landscape systems. En: *Landscape Synthesis Geoeological Foundations of the Complex Landscape Management*. Veda. Publishing House of the Slovak. Academy of Sciences. Bratislava. 10-30 p.

Sotchava, V.B., 1978. Por Uma teoria de Clasificacao de Geossistemas de Vida Terrestre. *Inst. Geograf. Universidade de Sao Paulo. Brasil.* 25 pp.

Spurre, S. and B. Barnes., 1982. *Ecologia Forestal*. AGT. ED: Aguilar. México. 690 p.

Shugart. H. 1984. *A Theory of Forest Dinamics. The Ecological In- applications of Forest Succesions Models*. Springer Verlag, 134-155.

Steel, W.K. 1985. "Paleomagnetic constraints on the volcanic history of Iztaccihuatl: *Geofisica Internacional, volumen especial sobre el Cinturon Volcánico Mexicano- parte 1.* (Ed. S.P.Verma), vol.24, Num.1, pp. 159-167.

Tamayo, J.L., 1949. *Volcanismo*. En: *Geografia General de México. Geografia Fisica Tomo I*, Talleres Gráficos de la Nación, México, 347-355 pp.

Tarlet J., 1977. *Milieu Natural et Aménagement les Methodes de Planification Ecologique* *Annales de Géographie* 165-199 pp.

Tricart, J. y J. Killian, 1979. *L EcoGeographie FM Herodote*. Paris. 318 pp.

Tricart, J., 1972. *La tierra planeta viviente*. Akal Editor, Madrid. España.

Universidad Autónoma de Xochimilco. 1992. Programa de Manejo para el Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl. México, Secretaría de Desarrollo Social. Banco Mundial, 86 pp.

UNESCO, 1973. Programme on Man and the Biosphere (MAB). Expert Panel on project 6: Impact of Human Activities on Mountain Ecosystems, Salzburg. 69 pp.

Van der Ploug, S. W. F. and L.C. Braat, 1985. Scenario analysis for nature and landscape policy in the Netherlands en VIIIth International Symposium on Problems of Landscape Ecological Research. Vol. 1 CZECH.

Van Rijn, M., 1983. Integration des dacteurs du paysage dans le plan de developement a l'exemple du sahel nord de soussa (Tunisie). En Landscape Synthesis Geocological Foundations of the complex landscape management. Veda. Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava.

Vázquez S. L., 1985. Estudio geomorfológico del Noroeste de la Cuenca Puebla-Tlaxcala. Tesis Licenciatura Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 182 pp.

Villa-Ramírez B. 1953. Mamíferos Silvestres del Valle de México. Anales del Inst. Biol. Univ. Nat. Auton. Mex. 23:242-269.

Vizcaino, F. y P. Bistrain, 1952. Problemas generales del Valle de la Ciudad de México. Importancia del aprovechamiento integral de los recursos hidráulicos de nuestros volcanes en generación de energía y abastecimiento de agua potable para el Valle y la Ciudad de México. Ingeniería Hidráulica en México. Enero, Feb.-Mar. 1952. Vol. VI.-No. 1.

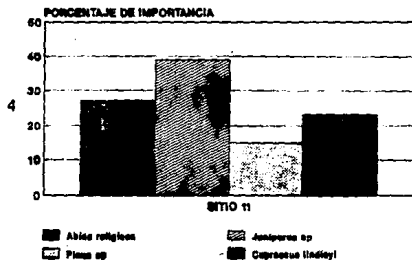
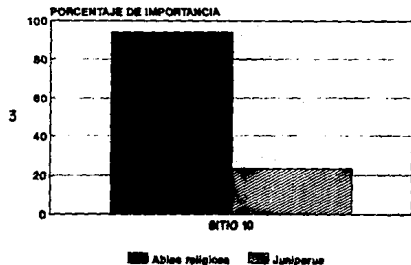
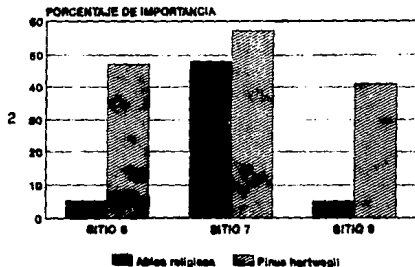
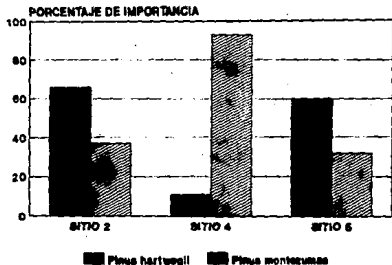
White, Sidney E., 1962. El Iztaccihuatl; acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno superior. México. INAH. Serie Investigación, N° 6.

Yarza L.E., 1971, Los volcanes de México, 2a ed. México, Aguilar
237 pp.

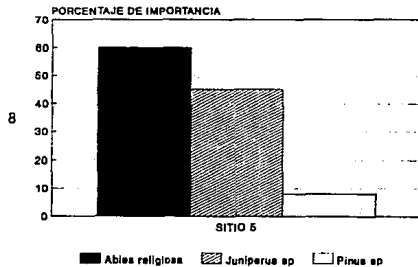
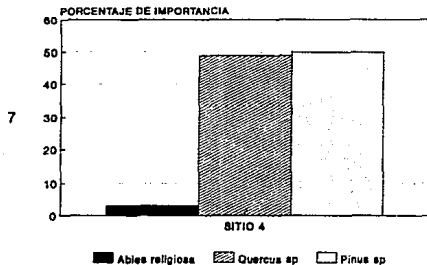
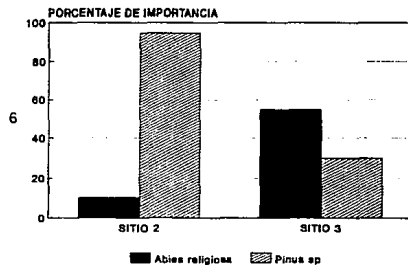
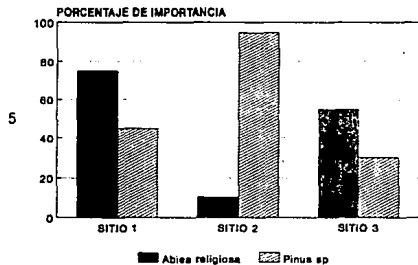
Zonneveld, J., 1979. Land evaluation and landscape science in use
of aerial photographs in geography and geomorphology. ITC textbook
of photointerpretation, Vol.VII.ITC, Enschede, The Netherlands.

ANEXOS

ESTADISTICAS DE LAS AREAS DE MUESTREO EN EL POPOCATEPETL.



ESTADISTICAS DE LAS AREAS DE MUESTREO EN EL IZTACCIHUATL.



Índice de Impacto de Ocupación para TESIS 01/19/90 del:
 Geosistema: CINGAS Y NIEVES PERPETUAS
 De ambiente: ALTA MONTAÑA
 Con subambiente: GLACIARES

numero de Impactos de Ocupación = 13

n = 5,20

Promedio de elementos = 1,92 %

Promedio de funciones = 1,92 %

\bar{x} (promedio absoluto) = 1,92 %

	mu	Bajo	Medio	Alto	In	Cls	%			
E L E M E N T O S	13	0	0,00	0	0,0	0	0,0	0,00	0,0	0,00
F U N C I O N E S	12	1	2,50	0	0,0	0	0,0	2,50	0,1	1,92
	11	1	2,50	1	5,0	0	0,0	7,50	0,3	5,77
	13	0	0,00	0	0,0	0	0,0	0,00	0,0	0,00
	13	0	0,00	0	0,0	0	0,0	0,00	0,0	0,00
	13	0	0,00	0	0,0	0	0,0	0,00	0,0	0,00
	13	0	0,00	0	0,0	0	0,0	0,00	0,0	0,00
	11	0	0,00	2	10,0	0	0,0	10,00	0,4	7,69

Inst. de Impacto de Operación para SIERRA NEVADA 02/07/90 del
 Ueda. Forestal CIMA y RIESES PEFETONS
 de Andalucía M.L.T. MOLLER
 con las especies QUERCUS

S	C	I	T
A			
N			
E			
R			
I			
E			
F			
O			
R			
E			
S			
T			
A			
L			

E	INTRODUCCIÓN	H	n	B	U
L	MAPA	H	H	H	H
E	SUELO	n	H	H	H
N	VEGETACIÓN	n	B	H	H
T					
O					
S					
F	CLIMÁTICA	n	H	H	H
U	BIOLÓGICA	H	H	H	H
C	GEOGRÁFICA	H	H	H	H
J	ECOLÓGICA	n	n	n	H
H					
E					
C					

Mapa de recorte de Superación para CAMPOS DE ACCIÓN - PCC 00.06.00 del
 Subsistema CAMPOS DE ACCIÓN Y TOCA
 De carácter ACTA MÍNIMA
 Con subtemas NÚMEROS

S	C	I	T	X
A	O	N	R	A
N	G	C	A	A
E	N	E	H	A
R	T	I	E	A
H	R	H	R	K
E	P	E	I	E
N	O	F	E	R
T	L	A	N	M
E	D	C	T	A
N				
T	E	C	E	
G	P			
F	I			
G				
R				
E				
S				
T				
A				
L				
S				
S				
S				
S				
S				
S				
S				
S				

E	ATMOSFERA	H	H	H	H
L	AGUA	H	H	H	H
E	SUELO	H	H	H	H
n	VEGETACION	H	H	M	H
H					
T	CLINICA	H	H	H	H
O	HIDRODINAMICA	H	H	H	H
S	GEODINAMICA	H	H	H	H
F	ECODINAMICA	H	H	H	H
U					
n					
C					
I					
U					
N					
E					
E					

Matriz de Impacto de Ocupación para PARQUE DE ALTURA 02.02.90 del:
 Geosistemas PARQUE DE ALTURA
 De ambiente ALTA MONTAÑA
 Con subambiente ROCAS Y ARENA

numero de Impactos de Ocupación = 13

n = 5.59

Promedio de elementos = 19.39 %

Promedio de funciones = 8.17 %

\bar{x} (promedio absoluto) = 11.78 %

	Alto		Bajo		Medio		Alto		In	Cis	\bar{x}
E L E M E N T O S	10	2	5.00	1	5.0	0	0.0	10.00	0.4	7.69	
E L E M E N T O S	9	4	10.00	0	0.0	0	0.0	10.00	0.4	7.69	
E L E M E N T O S	6	4	10.00	2	10.0	1	10.0	50.00	1.2	23.08	
E L E M E N T O S	7	2	5.00	0	15.0	1	10.0	50.00	1.2	23.08	
F U N C I O N E S	12	1	2.50	0	0.0	0	0.0	2.50	0.1	1.92	
F U N C I O N E S	12	1	2.50	0	0.0	0	0.0	2.50	0.1	1.92	
F U N C I O N E S	9	4	10.00	0	0.0	0	0.0	10.00	0.4	7.69	
F U N C I O N E S	8	1	2.50	0	15.0	1	10.0	27.50	1.1	21.15	

Matriz de Impacto de Ocupación para BOSQUE DE CONIFERAS 02/02/95 del
 Geosistema: BOSQUE DE CONIFERAS
 de alturas: ALTA MONTAÑA
 Con subambientes FORESTAL

D E S N O T E	P A S T O R E O	D E S F O R E S T A C I O N	P L A G A S Y E N F E R E D A D E S	I N C E N D I O S	D E S E C H O S S O L I D O S	T U R I S M O	I N D U S T R I A	A G R I C U L T U R A	U R B A N I Z A C I O N	V I A S T E R R E S T R E S	L I N E A S D E T R A N S M I S I O N	C O N T A M I N A C I O N D E L A G U A
---------------------------------	--------------------------------------	--	--	---	---	---------------------------------	---	---	--	--	---	--

E L E M E N T O S	ATMOSFERA	N	N	N	N	B	N	N	N	N	N	N
	AGUA	A	N	N	N	N	A	B	B	A	A	N
	SUELO	A	N	N	N	N	N	N	A	A	A	A
	VEGETACION	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
	CLIMATICA	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	HIDRODINAMICA	A	N	A	N	N	N	N	A	A	B	B
	SEDIMENTACION	A	B	A	B	N	N	N	N	A	A	B
	ECODINAMICA	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A

matriz de Impacto de Ocupación para BOSQUE DE CONIFERAS 03/02/95 del
 Geosistema: BOSQUE DE CONIFERAS
 De ambiente: ALTA MONTAÑA
 Con subambiente: FORESTAL

Numero de Impactos de Ocupación = 13

n = 5.00

Promedio de elementos = 51.44 %

Promedio de funciones = 45.19 %

n (promedio absoluto) = 46.32 %

	Nulo	Bajo	medio	Alto	In	Cls	%			
E A T M O S F E R A	12	1	2.50	0	0.0	0	0.0	2.50	0.1	1.92
L E N E A	3	3	7.50	3	15.0	4	40.0	32.50	2.5	48.08
H E S O L O	2	0	0.00	6	50.0	5	50.0	60.00	3.2	61.54
V E G E T A C I O N	0	1	2.50	0	0.0	12	100.0	122.50	4.9	94.23
C L I M A T I C A	13	0	0.00	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00
H I D R O D I N A M I C A	5	2	5.00	2	10.0	4	40.0	55.00	2.2	42.01
G E O D I N A M I C A	5	3	7.50	0	0.0	5	50.0	57.50	2.3	44.23
E C O D I N A M I C A	0	1	2.50	0	0.0	12	100.0	122.50	4.9	94.23

Método de Inducción de Operación para BOSQUE 02.07.90 del:

 Geosistemas: BOSQUE DE CONIFERAS

 De Junciones: ALTA MONTAÑA

 Con subdominios: FORESTAL

S	C	I	T
A	O	N	R
H	N	E	A
E	T	R	H
A	R	R	I
M	O	A	E
H	L	C	N
I	D	R	T
E	E	A	O
N	D	C	D
T	E	I	E
O	F	N	A
	O	C	G
	R	H	U
	E	D	S
	S	E	C
	T	C	H
	A	H	O
	L	S	S
		O	L
		L	I
		D	H
			A

E	ATMOSFERA	N	N	N	N
L					
E	AGUA	N	N	N	N
R					
E	SUELO	N	N	N	N
N					
T	VEGETACION	N	N	N	N
G					
S					
F	CLIMATICA	N	N	N	N
U					
N	HIDROLOGICA	N	N	N	N
C					
I	GEOMORFICA	N	N	N	N
D					
H	ECOLOGICA	N	N	N	N
E					

Matriz de Impacto de Ocupacion para AGRICOLA 05.02.95 del:
 Geosistema: TALUD BAJO
 De ambiente: CAMPOS AGRICOLAS
 Con subambientes: FORESTAL Y VEGETACION SECUNDARIA

Numero de impactos de Ocupacion = 15

H = 5.50

Promedio de elementos = 45.19 %

Promedio de funciones = 24.04 %

\bar{x} (promedio absoluto) = 54.61 %

	Mulo	Bajo	Hedio	Mito	In	Cls	I			
E L E M E N T O S	9	0	0.00	3	15.0	1	10.0	25.00	1.0	19.23
E L E M E N T O S	4	0	0.00	4	20.0	5	50.0	70.00	2.8	55.85
E L E M E N T O S	4	0	0.00	5	50.0	5	50.0	80.00	2.4	48.15
E L E M E N T O S	0	0	0.00	10	50.0	5	50.0	80.00	5.2	81.54
F U N C I O N E S	11	0	0.00	2	10.0	0	0.0	10.00	0.4	7.67
F U N C I O N E S	8	0	0.00	5	15.0	2	20.0	35.00	1.4	28.92
F U N C I O N E S	10	0	0.00	5	15.0	0	0.0	15.00	0.8	11.54
F U N C I O N E S	4	0	0.00	5	25.0	4	40.0	65.00	2.8	50.00

NOME DO INSTITUTO DE PESQUISA AGRICOLA: IAC/09/90
 Descrição: TRILITE BRIL
 De onde veio: CAMPO AGRICOLA
 Seu substrato: FLORESTA E VEGETAÇÃO SECUNDAR

S	C	I	T
A	O	N	R
E	N	C	A
R	T	I	N
A	R	N	E
N	F	E	R
T	O	R	A
O	L	A	C
	E	C	I
	E	I	O
		N	N
		D	D
		E	H
		S	G
		E	U
		C	A
		H	S
		O	S
		S	C
		E	O
		S	N
		T	A
		A	L
		L	I
		E	H

E	ATMOSFERA	H	H	H	H
L					
E	ÁGUA	H	H	H	H
M					
C	SUELO	H	H	H	H
R					
T	VEGETAÇÃO	H	H	H	H
O					
S					
F	CLIMÁTICA	H	H	H	H
U					
H	BIOGEOGRÁFICA	H	H	H	H
C					
I	GEOGRÁFICA	H	H	H	H
O					
H	ECOLÓGICA	H	H	H	H
E					

Atlas de Factores de Operación para ASIENTOS 05/08/70 del:
 Geosistema: ARTIFICIAL
 de Asientos: ALTA INERTIA
 Con subasientos ASIENTOS RANVAOS

S	C	I	T
H	O	N	R
A	N	C	A
R	D	E	R
I	E	R	E
E	N	A	N
H	D	C	T
T	E	I	O
O	I	O	D
F	N	D	E
O	D	E	A
R	E	B	G
E	S	E	S
S	T	H	C
A	L	S	O
			N
			T
			A
			I
			N
			A

E	ATMOSFERA	H	H	B	H
L	AGUA	H	H	H	H
H	SUELO	H	H	H	H
E	VEGETACION	H	H	H	H
N					
T					
O					
S					
F	CLIMATICA	H	H	H	H
U	HIDRODINAMICA	H	H	H	H
N	GEODINAMICA	H	H	H	H
C	ECODINAMICA	H	H	H	H
I					
O					
H					
E					
S					

Matriz de Impacto de Operación para ASERTAMIENTOS 02.08/73 del:
 Geosistema: ARTIFICIAL
 De ambiente: ALTA MONTAÑA
 Con subsistema: ASERTAMIENTOS HUMANOS

Numero de Impactos de Operación = 4

$w = 1.00$

Promedio de elementos = 7.81 %

Promedio de funciones = 0.25 %

x (promedio absoluto) = 7.00 %

	Bajo		Medio		Alto		In	Cla	%	
E L E M E N T O S	3	1	2.50	0	0.0	0	0.0	2.50	0.1	6.25
E L E M E N T O S	3	0	0.00	1	5.0	0	0.0	5.00	0.2	12.50
E L E M E N T O S	4	0	0.00	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00
E L E M E N T O S	3	0	0.00	1	5.0	0	0.0	5.00	0.2	12.50
F U N C I O N E S	3	0	0.00	1	5.0	0	0.0	5.00	0.2	12.50
F U N C I O N E S	4	0	0.00	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00
F U N C I O N E S	4	0	0.00	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00
F U N C I O N E S	3	0	0.00	1	5.0	0	0.0	5.00	0.2	12.50

Índice de Impacto de Ocupación para ASENTAMIENTOS 02/02/93 del
 Biosistema ARTIFICIAL
 De ambiente ALTA MONTAÑA
 Con subambientes ASENTAMIENTOS RURALES

numero de impactos de ocupación = 13

n = 5.30

promedio de elementos = 53.77 %

promedio de funciones = 53.85 %

\bar{x} (promedio absoluto) = 54.81 %

	Bajo		Medio		Alto		In	Cls	%	
E L E M E N T O S	7	5	12.50	0	0.0	1	10.0	22.50	0.9	17.31
E L E M E N T O S	3	4	10.00	2	10.0	4	40.0	60.00	2.4	44.15
E L E M E N T O S	2	1	2.50	5	25.0	5	50.0	77.50	3.1	57.62
E L E M E N T O S	0	0	0.00	0	0.0	13	100.0	130.00	5.2	100.00
F U N C I O N E S	13	0	0.00	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0.00
F U N C I O N E S	3	3	7.50	2	10.0	3	30.0	67.50	2.7	51.92
F U N C I O N E S	0	3	12.50	2	10.0	6	60.0	82.50	3.3	63.46
F U N C I O N E S	0	0	0.00	0	0.0	13	100.0	130.00	5.2	100.00