

125
209

247145



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“DELIMITACION DE UNIDADES AMBIENTALES EN EL SUR DEL VALLE DE MEXICO, CON AYUDA DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y PERCEPCION REMOTA”



BIBLIOTECA
INSTITUTO DE ECOLOGIA
SUNAM

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

MARDOCHEO FELIX PALMA MUÑOZ

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSE ALEJANDRO VELAZQUEZ MONTES



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1997

FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

COPIA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
Delimitación de Unidades Ambientales en el sur del Valle de México, con
ayuda de sistemas de información geográfica y percepción remota.

realizado por Mardocheo Félix Palma Muñoz

con número de cuenta 7529695-9 , pasante de la carrera de BIOLOGIA

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

Dr. José Alejandro Velázquez Montes

Propietario

Biól. Guillermo Isamu Arita Watanabe

Propietario

Dr. Gerardo Héctor Rubén Bocco Verdinelli

Suplente

Dr. Luis Enrique Eguiarte Fruns

Suplente

Dr. Fernando Alvarez Noguera

FACULTAD DE CIENCIAS

Consejo Departamental de Biología

COORDINACION GENERAL
DE BIOLOGIA

*A mi papá, que siempre me alentó
y me inculcó su gran amor por la naturaleza,
el esfuerzo no fue en vano*

A mi mamá, por su paciencia y cariño

A todos mis hermanos

*De manera muy especial quiero dedicar el presente trabajo a Violeta,
mi socia;
quien me enseñó lo que es el valor, la fortaleza y el gran amor a la vida,
para mí,
la gran ausente*

*a mi Flaquita chula, por su extraordinario apoyo,
en las buenas y en las pésimas,
quien fue la principal impulsora para que retomara el camino*

Agradecimientos

Quiero agradecer al Dr. Alejandro Velázquez, quien antes que nada ha demostrado lo que vale la amistad y brindarme todo el apoyo para realizar el presente trabajo.

Al Biólogo Guillermo I. Arita, quien ha compartido todos sus conocimientos sin reserva, las sugerencias al presente y sobre todo el apoyo logístico brindado en la Subdirección de Información Geográfica del CEA de la SAGAR, a su cargo.

También al Dr. Gerardo Bocco, quien hizo valiosas observaciones y grandes sugerencias

Un especial agradecimiento al Dr. Luis Eguiarte y al Dr. Fernando Alvarez, por la confianza depositada y su amistad a lo largo de tantos años.

Al Dr. José Luis Palacio por facilitar amablemente la imagen con la que se realizó el presente trabajo.

A la ilustre Dra. Silke Cram y su familia que es como mi segunda familia.

Quiero agradecer de manera especial a la Dra. Lucía Almeida, el apoyo incondicional y sobre todo la infraestructura del Laboratorio de Biogeografía y Sinecología de la Facultad de Ciencias, sin el cual el presente trabajo no podría haberse realizado.

A los integrantes del laboratorio de Biogeografía, y muy especialmente al Biól. Héctor Rangel Cordero, quien le organiza la vida a todos, a Tammo y Lucy (que como dan lata). Y en un lugar especial a Ana Herrera, quien desde un principio me ayudo en lo que estuvo a su alcance.

A los Geógrafos Jorge Tello y Leopoldo Zamudio por sus enseñanzas a través de los Sistemas de Información Geográfica y su camaradería.

Y no puedo dejar de agradecer a mi otra familia: a Mima que como el cuchillito de palo, no corta pero como ayuda; a Dalía, Mango, Catarina y Arancha Pancha y muy especialmente al Dr. Raúl Ortiz Asiain, que además de ser mi suegro, ha sido un importante guía en mi superación académica; un gran ejemplo.

Claro sin olvidarme de todas mis Marías: Yuri, Chenchá, Lola, Exequiel, Tomasita (mi gran amor), Pepe Jr. y Roñito.

A la parentela restante.

Muy especialmente quiero agradecer todo el apoyo a la Familia Quintero Pérez y sobre todo por su inigualable amistad a Pepito.

También a la Familia Soberón - Mobarak, a quienes tengo en un lugar especial

Al Microcine por lo que fue durante tantos años y muy, pero muy muy agradecido, a mi tío Alejandro Martínez Mena.

A todos los cuates

Contenido

1. Resumen	7
2. Introducción	8
3. Antecedentes	12
3.1. Población y uso del suelo	15
3.2. Factores abióticos	17
3.2.1. Características de la zona de estudio	17
3.2.1.1. Emplazamiento	17
3.2.1.2. Geología y relieve	18
3.2.1.3. Suelos	20
3.2.1.4. Hidroclimatología	21
3.3. Factores bióticos	23
3.3.1. Vegetación	24
3.3.2. Mamíferos	24
3.3.3. Aves	25
3.3.4. Anfibios y reptiles	25
3.3.5. Aspectos humanos	26
3.3.6. La expansión urbana	26
3.3.7. Explotación agropecuaria y forestal	28
3.3.7.1. Actividades agrícolas	28
3.3.7.2. Actividades ganaderas	29
3.3.7.3. Explotación forestal	30
3.3.8. Otras actividades	32
4. Objetivos y metas	33
4.1. Objetivo general	33
4.2. Objetivo particular	33
4.3. Metas del presente trabajo	33
5. Métodos	34
5.1. Características de la imagen	34
5.1.1. Características espectrales de una imagen Landsat TM	34
5.2. Procesamiento de la imagen	35
5.2.1. Transformación y realce de la imagen	35
5.2.2. Proceso realce	35
5.2.2.1. Análisis de componentes principales	35
5.2.2.2. Índice de vegetación normalizado	35
5.3. Creación de la imagen compuesta de color como imagen base	36
5.4. Análisis de la imagen base	36
6. Resultados	41
6.1. Modelo de Suelos y Geoformas	41
6.2. Clasificación supervisada según Velázquez	41
6.3. Clasificación supervisada y recodificación (este trabajo)	43
6.4. Mapa temático	47
6.5. Propuesta de Plan de Manejo	47
6.6. Algunas alternativas para el Plan de Manejo	50
7. Discusión	52
7.1. El problema	52
7.2. El método	54
7.2.1. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG's) y la percepción remota	54
7.2.2. Objetivos de un SIG	55
7.3. El ambiente	57
7.3.1. Aplicaciones ecológicas	57
7.3.2. Análisis espacial	57

7.3.3. Análisis de proximidad	58
7.3.4. Modelado	58
7.3.5. Recomendaciones a futuro	59
8. Conclusiones	60
9. Literatura citada	61
10. Anexo 1 (disco flexible de 3.5")	63

1 Resumen:

En el presente trabajo se delimitaron unidades ambientales en la zona sur del Distrito Federal, con una base geocológica y se realizó una zonificación de las áreas de mayor interés. Se incluyen asentamientos urbanos, corología de áreas protegidas, corredores biológicos potenciales y áreas potenciales de restauración ecológica. Este trabajo integra información puntual obtenida con datos de diez años de trabajo en la zona, y se da un contexto espacial a través de dos Sistemas de Información Geográfica (SIG) y con la interpretación de una imagen multiespectral "LANDSAT TM (Thematic Mapper)" de la zona sur del Distrito Federal del 15 de octubre de 1991.

Se delimitaron estas unidades ambientales después de realizar una clasificación supervisada, utilizando la misma clasificación de Velázquez (1993), usando los sistemas "ERDAS IMAGINE" e "ILWIS" en el mapa digital del área de estudio. Se realizó una verificación "*in situ*" de esta zonificación y se presenta una vía que puede ser la base para elaborar un plan de ordenamiento territorial preliminar para la zona de estudio.

Kapit sa patalim

Refrán Sampalés, Filipinas

2 Introducción:

La zona de estudio es el sur de la Cuenca de México y está ubicado en un lugar importante desde el punto de vista biogeográfico, ya que es un área de contacto y de transición entre dos regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical (figura 1). La Cuenca de México ha ofrecido condiciones favorables para el establecimiento de una gran diversidad de flora y fauna. Desde tiempos remotos la Cuenca de México ha sido una de las regiones más pobladas del país y actualmente es la que tiene mayor densidad en el mundo.

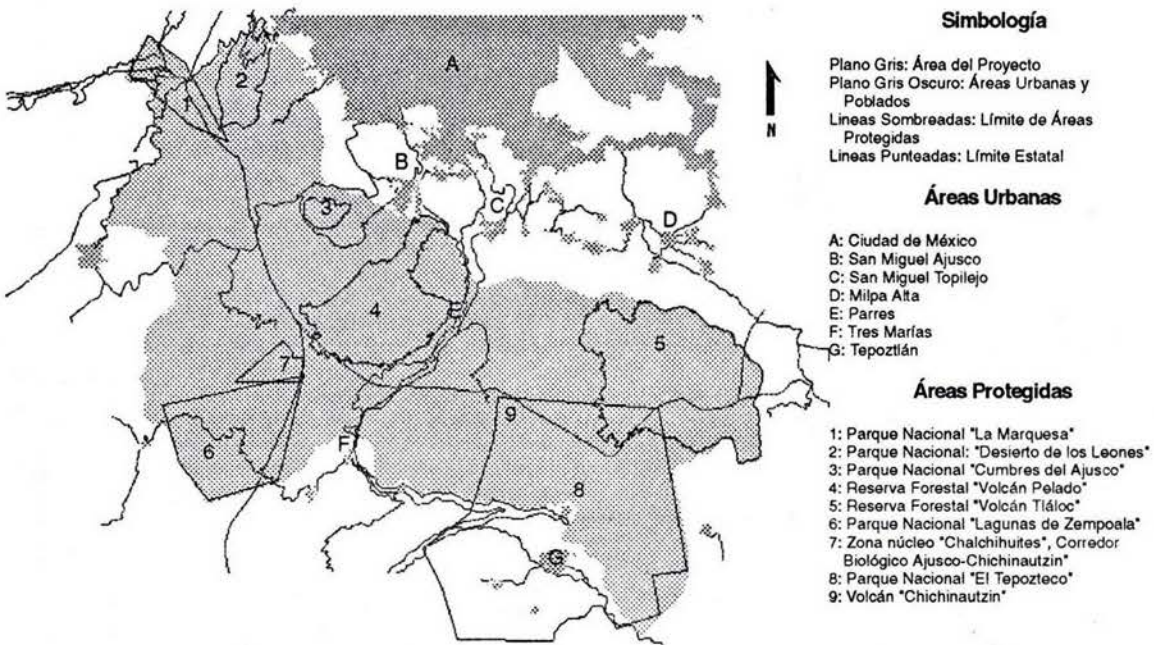


Figura 1 Zona de estudio en el sur de la Cuenca de México

Desde entonces las actividades humanas han repercutido de diferentes maneras en las áreas silvestres y particularmente en la fauna y flora regional. Actualmente, la situación de los recursos naturales es deplorable, donde algunas poblaciones de animales y plantas se encuentran restringidas a bosques relictos de áreas naturales más extensas, ofreciendo un panorama poco alentador debido a la frágil situación por la que atraviesan algunas de estas especies.

Estudios recientes basados en la revisión de registros y colecciones, sugerían que las zonas montañosas que delimitan la Cuenca de México, albergan alrededor de unas 250 especies de plantas y animales endémicos, lo que significa que cerca del 1.8% del germoplasma mundial se restringe a esta zona.

La región en general ha sido considerada como una provincia zoológica debido a que posee elementos ecológicos particulares, por ejemplo alberga aproximadamente un 11% de la

mastofauna del país y al menos el 8% de la avifauna mexicana (Flores y Gerez, 1994). Esta alta diversidad biológica animal no es más que el resultado de la alta diversidad vegetal, tanto de especies endémicas como de comunidades atípicas, limitadas en su distribución en esta zona, constituyendo la provincia florística “Serranías Meridionales dentro de la región Mesoamericana de Montaña” (INEGI, 1981). Esta zona además representa la principal fuente de recarga de los mantos acuíferos de la Cuenca de México, proporcionando una fuente de recursos, entre ellos los alimenticios, donde destacan los cereales y diversos productos de origen animal, así como recursos forestales diversificados, brindando una gama de bienes y servicios a los habitantes de la Ciudad de México.

Debido a sus características paisajísticas y a su alta diversidad biológica, en esta región se han establecido, desde hace más de 80 años, áreas protegidas tales como el “Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones”, el “Parque Nacional Miguel Hidalgo “La Marquesa””, el “Parque Nacional del Ajusco”, el “Parque Nacional Lagunas de Zempoala”, el “Corredor Biológico Ajusco - Chichinautzin” y el “Parque Nacional El Tepozteco”. Sin embargo estas áreas no resguardan adecuadamente todos los recursos paisajísticos, florísticos y faunísticos de la región, ya que parte importante de especies de plantas y animales no están contenidas en estas. El deterioro producido por las actividades humanas rebasa los límites de las áreas protegidas (Stelma, 1995).

Teóricamente, la definición de las áreas protegidas es el resultado de un análisis global principalmente de la diversidad de los recursos bióticos y abióticos de una región (Gómez Pompa, 1994). En la práctica, esto se ha visto limitado debido a su conocimiento parcial y disciplinario, por lo que es necesario contar con evaluaciones integrales de inventarios regionales específicos, que conlleven al conocimiento ecológico de la estructura y composición de las comunidades naturales (plantas, animales y humanos) y el recurso abiótico que las integran.

El conocimiento biológico de un área no es suficiente *per se*, para generar propuestas concretas de manejo y conservación de los recursos naturales.

Uno de los principales problemas es la interpretación de bases de datos de tipo biológico dentro de un contexto geográfico. Una vez resuelto se podrían diseñar propuestas y alternativas de manejo que se sustentarán bajo un marco geocológico.

Otros de los problemas más comunes en la evaluación y el manejo de los recursos naturales son:

1. El generar información monotemática obtenida por diversos métodos y generalmente por varios autores, lo que dificulta la comparación así como el monitoreo; y
2. La presentación de la información (*v. gr.*, gráficas, cuadros) lo que limita la interpretación para implementar acciones en el campo.

En general, aspectos como la geología, geomorfología, edafología y ecología son abordados independientemente. Para efectos de manejo de recursos naturales y conservación es indispensable utilizar un enfoque holístico, como el sugerido por la escuela de geocología o ecología del paisaje (Troll, 1950; Zonneveld, 1979).

La introducción del término geocología se debe a Troll (1968), a partir de su idea original de la ecología del paisaje. Troll (1972) definió la geocología como la ciencia de la

interrelación total y compleja entre los organismos y sus factores ambientales. Ives (1980) señala que esta definición bien podría servir también para la ecología, pero apunta algunas de las más importantes diferencias. En la práctica los ecólogos han dejado al margen los aspectos abióticos de los ecosistemas. El punto de vista aportado por geógrafos y geólogos contribuye a disponer de una perspectiva más global del problema, al centrar gran parte de sus esfuerzos en la influencia de los aspectos geomorfológicos, hidrológicos y climáticos sobre la organización de los paisajes a diferentes escalas. Sin embargo, los especialistas son conscientes de que muy pocos paisajes pueden interpretarse sólo con la ayuda de las llamadas geociencias, debido a la generalizada transformación que han sufrido por actividades humanas. Por ello en geoecología se trata de estudiar la dinámica del paisaje -y su organización espacial- a partir fundamentalmente de la geografía física (incluida también la biogeografía), teniendo en cuenta que una parte muy importante de esa dinámica y de esa organización deben atribuirse a la forma en que el hombre ha utilizado el territorio (García-Ruiz, 1990).

La perspectiva geoecológica de Troll (1968 y 1972) para las regiones de montaña sigue plenamente vigente y quizás más que nunca por el creciente papel del hombre en los territorios montanos y por la enorme importancia que se concede a la dinámica geomorfológica a la hora de explicar la diversidad y la inestabilidad de los ecosistemas de montaña. La hidrología de laderas y los procesos geomórficos, controlados en gran parte por la topografía, representan los factores más importantes para explicar la heterogeneidad de los suelos, la distribución espacial de los nutrientes y, en definitiva, la potencialidad de los diferentes ambientes que pueden identificarse en un territorio montañoso. La mayoría de los restantes elementos que se integran en el paisaje -incluido, aunque en menor medida el uso del suelo- se hallan relacionados precisamente con la dinámica discriminada del agua en las vertientes (García - Ruiz, 1990).

Desde un punto de vista geoecológico resulta fundamental la diferenciación de varios niveles altitudinales que conducen por abstracción, a la definición de alta y media montaña. En ellas, la diversidad se encuentra relacionada con la pendiente y con las formas topográficas que ésta crea. Pero el argumento que las diferencia es otro. En alta montaña es el papel del hielo y de la nieve en el funcionamiento hidromorfológico del territorio y en los límites que impone a las actividades humanas y a la colonización por parte de especies animales y vegetales (García - Ruiz, *op. cit.*)

En cambio, en montaña media es el hombre el que explica los grandes rasgos de la organización actual del espacio. La montaña media es, en general, el territorio de preferente actividad humana en la montaña, donde se sitúan los asentamientos y la mayor parte de los campos de cultivo. El paisaje lleva así la impronta de la historia socioeconómica, aunque la intervención antrópica tiende a adaptarse, como se ha visto, a la heterogeneidad que crea la topografía (García - Ruiz, *op. cit.*).

La información que se genera siguiendo este enfoque puede ser representada en mapas, lo que pone a disposición elementos fundamentales para la implementación de medidas de manejo y conservación.

Los resultados hasta ahora obtenidos sugieren ser adecuados para describir, evaluar y planear más objetivamente el uso de los recursos naturales (Van Wijngaarden, 1985; Hommel, 1987). Otra ventaja más de este enfoque integral es el tiempo relativamente corto en que se lleva a cabo (Van Gils, 1981).

Es por esto que se utiliza un enfoque geocológico para el área de estudio. Cada unidad geocológica consistirá de uno o varios estratos.

3 Antecedentes

Atrapada entre las montañas del Eje Volcánico Central, la Cuenca de México ha sido, y es todavía, el centro cultural, político, económico y social de la nación mexicana. Es también la sede del mayor complejo urbano del mundo, uno de los ejemplos más notorios del fenómeno de concentración urbana en los países del Tercer Mundo. El viejo Tenochtitlan, la capital del Anahuac, la colonial ciudad de los palacios que maravilló a Alejandro de Humboldt es hoy el estereotipo del desastre urbano que representan las megalópolis de los países dependientes. (Ezcurra, 1990).

Antes de la conquista española, la Cuenca de México se encontraba ocupada por un conjunto de pueblos bajo el dominio de Tenochtitlan-Tlatelolco, que compartía los elementos tecnológicos y culturales de una civilización lacustre altamente desarrollada. La agricultura azteca estaba basada en el cultivo de las chinampas, un sistema de agricultura intensiva altamente desarrollada. (Ezcurra, *op. cit.*).

Con la conquista, las ciudades de la Cuenca fueron rediseñadas según la traza de los pueblos españoles y la superficie lacustre comenzó a ser considerada incompatible con el nuevo estilo de edificación y uso de la tierra. A partir del siglo XVII, comenzaron a construirse obras de desagüe de tamaño y complejidad crecientes, con el objeto de librar a la ciudad del riesgo de inundaciones y de secar el lodoso subsuelo del fondo del lago. Estas obras a su vez, produjeron poco a poco cambios en el ambiente de la Cuenca (Ezcurra, *op. cit.*).

La situación ambiental de la Cuenca de México se ha deteriorado muy rápidamente en los últimos 40 años. Como en muchas partes de América Latina, la industrialización de México en el siglo XX trajo como resultado un proceso de migración acelerada de campesinos hacia las grandes ciudades. En su rápido crecimiento, la ciudad de México fué devorando los pueblos satélites de la antigua capital, hasta convertirse en la inmensa megalópolis que es actualmente. El conglomerado urbano ocupa la mayor parte del Distrito Federal, y también una fracción importante del vecino Estado de México. Las cadenas montañosas al sur y al oeste de la Cuenca, hasta hace unos quince años poco afectadas por el crecimiento de la ciudad, sufren ya de las consecuencias del desarrollo urbano explosivo. La Cuenca de México, que ocupa sólo el 0.03% de la superficie del país, es el habitat del 22% de su población y constituye un problema ambiental, social, y político de inmensas proporciones. (Ezcurra, *op. cit.*)

La Cuenca México abarca una superficie de 9600 km², comprendiendo parte de los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Distrito Federal. Dentro de ésta, poco más del 15% es ocupado por lo que se conoce como el Valle de México, que en su mayor parte se localiza dentro de los límites políticos del Distrito Federal. (Flores y Gerez, 1994)

Sin embargo, la porción urbana ocupa solamente poco más del 40% del total del D.F., y el 60% restante constituye un territorio con características y recursos agroforestales, que hasta hace poco tiempo habían sido olvidadas por la fuerte presión de la primera (COCODER, 1988).

En esta entidad se ha conjuntado un rápido proceso de crecimiento interno, con un fuerte movimiento de inmigración de los diferentes estados del país, originado por la grave

centralización de actividades administrativas, políticas, educativas y culturales entre otras (Ezcurra, 1990).

Las necesidades de la creciente población para satisfacer sus requerimientos mínimos de espacio, alimentación, salud, recreación y empleo, han llevado a la utilización de los recursos disponibles, reduciendo considerablemente la cantidad y calidad de los mismos y ocasionando, consecuentemente, la degradación del medio natural (COCODER, 1988).

Como ejemplo de la problemática situación del D.F., pueden mencionarse, entre otros: la necesidad de importar a la ciudad casi la totalidad de los suministros necesarios para su mantenimiento y para el consumo humano (agua, combustibles y energía eléctrica), los altos costos de los servicios, la elevada producción de desechos y contaminantes, y finalmente el deterioro de los recursos naturales con que aún se cuenta en la entidad (Ezcurra, 1990; PRUSDA, 1988).

Esta compleja problemática urbana había ocasionado, entre otras cosas, que el área rural del Distrito Federal no recibiera la atención requerida, utilizándose sólo como una reserva física para el crecimiento urbano, sin considerarse que ésta representa una reserva potencial para satisfacer las necesidades de la población de diferentes maneras, pues cumple con relevantes funciones:

1. Es una fuente de bienes, puesto que contiene áreas para el aprovechamiento agrícola, forestal, pecuario y acuícola
2. Es una fuente de servicios, ya que los sistemas naturales permiten la captación, infiltración y purificación del agua, el mejoramiento del ambiente, la conservación de una importante reserva de germoplasma y vida silvestre, así como la recreación al aire libre, la educación, la interpretación y la investigación entre otros.

Aunado a lo anterior, no se contaba con un diagnóstico de las características específicas del área que permitiera derivar sistemas normativos para su manejo.

En 1984, la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural concluyó el Programa Rector del Uso del Suelo y Desarrollo Agroforestal del sur del Distrito Federal (PRUSDA), realizado en la región rural del D.F., comprendida en siete delegaciones: Tláhuac, Xochimilco, Milpa Alta, Tlalpan, Magdalena Contreras, Alvaro Obregón y Cuajimalpa.

Los objetivos y metas del PRUSDA fueron:

1. El uso del suelo: tendencias y condición actual
2. El uso potencial del suelo: caracterización de la aptitud de las tierras y comparación con el uso actual del mismo
3. Descripción de los aspectos fisiográficos: geología, geomorfología, climatología, hidrología
4. Caracterización de comunidades naturales: flora y fauna
5. Descripción de los aspectos socioeconómicos: población, ocupación y su relación con el uso del suelo, tenencia de la tierra
6. Con la información anterior se planteó como meta del programa:

“Proponer la reordenación del territorio, así como las formas de manejo de los recursos tendientes a lograr el desarrollo de las actividades productivas y la conservación de la riqueza natural de la zona rural del Distrito Federal”

Dentro de los resultados se determinaron los usos del suelo, así como la composición de las diferentes comunidades vegetales que componen la zona forestal y las regiones de matorrales y pastizales. Asimismo, fué posible conocer la dinámica del uso del suelo a través del tiempo, y con ello, establecer sus tendencias futuras. COCODER realizó un análisis comparativo del uso del suelo en un período de 25 años (de 1959 a 1984) el cual reveló los datos del cuadro 1:

Uso del Suelo	1959 (ha)	1984 (ha)	(%) Cambio
Urbano	5,536.00	18,639.15	(+) 236.68
Bosques	42,536.00	36,177.42	(-) 14.94
Agrícola Temporal	30,564.00	30,636.02	(+) 0.23
Agrícola Chinampera	2,268.00	1,313.00	(-) 42.10
Matorral	12,080.00	5,478.25	(-) 54.65
Pastizal	7,556.00	8,583.72	(+) 13.60
Cuerpos de agua	98.00	68.00	(-) 30.61

Cuadro 1 Antecedentes en el uso del suelo de 1959 a 1984 según COCODER, 1988

En un estudio similar pero de 1950 a 1990, se ve que el crecimiento urbano aumentó 78.3% al anterior, como se muestra en el cuadro 2:

Uso del Suelo	Superficie de cambio (ha)	Factor de cambio	Tasa de cambio (%)
Agricultura	+ 14,826.3	1.129	+ 12.98
Urbano	+ 64,827.8	4.149	+ 314.95
Erosión	- 14,151.0	0.100	- 89.92
Pastizal	- 44,822.0	0.714	- 28.51
Vegetación*	- 2,958.5	0.917	- 8.27
Cuerpos de Agua	- 17,722.7	0.096	- 90.38

* Para la vegetación se consideraron a las comunidades arbóreas y arbustivas

Cuadro 2 Cambio en el uso del Suelo en la Cuenca del Valle de México 1950-1990, según Sistemas de Información Geográfica, S.A. de C.V., 1993

Con esto se demuestra que durante mucho tiempo ha existido un proceso de utilización no adecuada del suelo que se caracteriza por la introducción de asentamientos humanos en

suelos con vocación acuícola y ocasionalmente forestal, desplazándose la agricultura hacia las partes más altas en las que anteriormente fueron bosques, y por el crecimiento de los pastizales como parte de la ganadería extensiva mal planteada, todo ello con detrimento de las áreas forestales.

Desde el punto de vista social, se tiene que los cambios indeseables en el uso del suelo son en parte, el resultado de la presión que ejerce la cercanía de la ciudad en las áreas rurales periurbanas, pues este fenómeno se manifiesta en el hecho de que la tierra tiene mayor valor en el cambio de uso del suelo, debido a la gran demanda de tierras para fines urbanos. La gran especulación en la tenencia de la tierra causa la implementación de asentamientos irregulares y el abandono de las actividades productivas. (Velázquez, 1996)

3.1 Población y uso del suelo

La población del área metropolitana de la ciudad de México (que incluye al Distrito Federal y áreas conurbadas del Estado de México), ha venido creciendo en forma continua desde fines de la Revolución (cuadro 3). Entre 1950 y 1980, la tasa media de crecimiento anual fue de 4.8% (cuadro 4). El crecimiento poblacional se extendió más rápidamente hacia las áreas industriales del Estado de México, al norte del Distrito Federal, en las que la tasa de crecimiento fue considerablemente mayor (13.6%), mientras que el crecimiento poblacional en el Distrito Federal ha sido menor (3.3%), pero siempre superior al del resto del país (D.D.F., 1987; D.D.F., 1986).

El crecimiento de la mancha urbana, estimado a partir de fotografías aéreas de 1953 y 1980, es de 5.2% anual, algo mayor al de la población. En 1953 la ciudad de México cubría 240 km² (8% de la Cuenca de México) mientras que en 1980 había aumentado a 980 km² (33% de la Cuenca). La mayor parte de los nuevos desarrollos se han edificado sobre suelos agrícolas de alto valor productivo, lo que agrega un costo adicional al crecimiento de la ciudad: más de 50,000 hectáreas de buenos suelos agrícolas se han perdido durante los últimos treinta años (Lavin, 1983).

Adicionalmente, los nuevos desarrollos urbanos que no ocupan suelos agrícolas han sido creados sobre las laderas de la Cuenca, sin tomar provisiones adecuadas en relación con el problema de la escorrentía y de la erosión hídrica que generan la tala y la construcción en áreas de fuerte pendiente. Como consecuencia, las avenidas de agua y la erosión del suelo han aumentado significativamente. (Galindo y Morales, 1987).

Al aumentar la mancha urbana más rápido que la población, las densidades poblacionales tienden a disminuir. Intuitivamente, se esperaría que las menores densidades generaran una mayor disponibilidad de áreas verdes dentro de la ciudad. Sin embargo no es así. La expansión de áreas urbanas no ha mantenido el viejo estilo de desarrollo. Las nuevas urbanizaciones muestran una gran heterogeneidad, según el nivel de ingresos de los grupos sociales que las habitan, pero en general son pobremente planeadas e incluyen pocos espacios verdes y depende también del sector de la ciudad donde se encuentren (Lavin, 1983), (Cuadro 5).

Año	Superficie (km ²)	Población (miles)	Densidad (hab./km ²)
1600	5.5	58	10,584
1700	6.6	105	15,885
1800	10.8	137	12,732
1845	14.1	240	16,985
1900	27.5	541	19,673
1910	40.1	721	17,980
1921	46.4	906	19,534
1930	86.1	1,230	14,287
1940	117.5	1,760	14,974
1953	240.6	3,480	14,464
1980	980.0	13,800	14,082
1989 (*)	1371.0	19,200	14,000

* Valor proyectado

Cuadro 3 Evolución de las áreas urbanas y la densidad poblacional en la ciudad de México desde 1600 hasta 1989 (DDF, 1986)

Año	Distrito Federal	Estado de México	Total
1519 (Conquista)	0.3	---	0.3
1620 (Colonia)	0.03	---	0.03
1810 (Independencia)	0.1	---	0.1
1910 (Revolución)	0.7	---	0.5
1940 (Cardenismo)	1.8	---	1.8
1950	3.0	---	3.0
1960	4.8	0.4	5.2
1970	6.8	1.9	8.7
1980	8.8	5.0	13.8
1986	10.0	6.7	16.7
1989	11.0 (*)	8.2 (*)	19.2 (*)
Tasa media de crecimiento anual (1950-1986)	3.3%	13.6%	4.8%
Error estándar	0.3 %	1.7%	0.2%

* Valor proyectado

Cuadro 4 Población de la ciudad de México desde 1519 a 1989, en millones de habitantes. Los datos anteriores a 1950 son estimaciones aproximadas y corresponden a sucesos históricos de importancia (DDF, 1987)

Sector	Superficie relativa (%)		Tasa de cambio
	1950	1980	anual (%)
Norte	52.6	21.8	- 2.9
Sur	41.6	14.7	- 3.5
Este	23.5	4.0	- 5.9
Oeste	62.5	28.1	- 2.7
Centro	5.0	3.7	- 1.0

Cuadro 5 Tasas de cambio de las áreas verdes dentro de diferentes sectores de la ciudad de México, desde 1950 hasta 1980, medidas como porcentaje de la superficie del sector y estimadas a partir de fotografías aéreas (Lavin, 1983).

3.2 FACTORES ABIÓTICOS

3.2.1 Características de la zona de estudio:

3.2.1.1 Emplazamiento.

De las costas de Colima y Nayarit se extiende hacia el estado de Veracruz una de las principales unidades geológicas y geomorfológicas de la República Mexicana: el Sistema Volcánico Transversal. Es una franja de unos 900 kms, alargada de oeste a este, con amplitudes variables de 50 a 250 kms. Se debe a una extraordinaria actividad volcánica que tiene lugar en el pliocuatnario. Morfológicamente, el Sistema Volcánico Transversal consiste en una serie de planicies escalonadas, desmembradas por volcanes aislados, pequeños grupos de volcanes y grandes cadenas montañosas volcánicas. El modelado erosivo se reconoce sólo en pequeñas localidades, ya que la intensa actividad endógena ha impedido su desarrollo normal. (Lugo, 1984).

La Cuenca México corresponde a la parte sur de la Altiplanicie Mexicana, está rodeada por cadenas montañosas pertenecientes al Sistema Volcánico y se ubica entre los 19° 2' y 20° 12' de latitud norte y los meridianos 98° 28' y 99° 32' longitud oeste (Fig. 1) (INEGI, 1981).

La Cuenca de México es una unidad hidrográfica cerrada (aunque actualmente se desagua en forma artificial) de aproximadamente 9,600 km². Su parte más baja, una planicie lacustre, tiene una elevación de 2240 msnm. La Cuenca se encuentra rodeada en tres de sus lados por una sucesión de sierras volcánicas de más de 3,500 m de altitud (El Ajusco hacia el sur, la Sierra Nevada hacia el oriente y la Sierra de las Cruces hacia el poniente). Hacia el norte se encuentra limitada por una sucesión de sierras y lomeríos de poca elevación (Los Pitos, Tepotzotlan, Patlachique, Santa Catarina y otros). Los picos más altos (Popocatepetl e Iztaccihuatl, con una altitud de 5,465 y 5,230 msnm respectivamente) se encuentran al sureste de la Cuenca. Varios otros picos alcanzan elevaciones cercanas a los 4,000 m. Estas montañas periféricas representan un límite físico importante a la expansión de la mancha urbana (Lugo, 1984).

3.2.1.2 Geología y relieve

La Cuenca de México debe su formación a procesos volcánicos y tectónicos que se han ido desarrollando a partir del Eoceno Superior, es decir de los últimos 50 millones de años. El vulcanismo produjo espesores de dos kilómetros de lava basáltica hasta riódacítica, con material piroclástico asociado (tobas, cenizas y brechas). En menor proporción se encuentran sedimentos lacustres depositados durante el Cuaternario y material aluvial con intraestratificaciones de cenizas volcánicas del Plio-Pleistoceno. (Lugo, 1984)

El área está constituida por dos paisajes geomórficos principales: la planicie propiamente dicha, donde existen geformas tales como la llanura lacustre, algunas planicies aisladas, lomeríos bajos y planicies de inundación, y las sierras que lo circundan con geformas tales como laderas y valles erosivos. Las primeras se caracterizan por formar, en conjunto, una gran extensión de cubiertas por derrames lávicos sobrepuestos, representados por numerosos aparatos volcánicos juveniles (Ajusco, Pelado, Oyameyo, etc), domos, sierras (Chichinautzin, Las Cruces, Santa Catarina, etc.), lomeríos altos, conos cineríticos y lahares. Dentro de las geformas se encuentran los valles intermontanos, rampas de pedimontes y cañones (Lugo, *op. cit.*).

Entre las laderas montañosas y la planicie, de origen lacustre, se extienden mantos de acumulación volcánica y de acarreo, formando un pedimonte irregular en su extensión y composición.

Las sierras más importantes que conforman los límites naturales de la Cuenca de México son, la Sierra Chichinautzin - en el sur-, la de Las Cruces - al suroccidente -, la del Monte Alto y Monte Bajo - continuación de la anterior - en el occidente -, la Sierra Nevada en el suroriente y su extensión al norte, conocida como Sierra de Río Frío, y la de Pachuca, al norte (*op. cit.*). Los grupos de volcanes de la Cuenca de México son variables en cuanto a su composición y edad.

En el sur de la Cuenca de México se muestra claramente un tipo de relieve endógeno (volcánico acumulativo), como resultado de una extraordinaria actividad volcánica a fines del pleistoceno y en el holoceno. En esta región se localiza la mayor concentración de volcanes jóvenes los cuales llegan a 300 aproximadamente (Bloomfield, 1975).

En general estos volcanes en su mayoría poseen un cráter con grado variable de relleno; algunos se encuentran abiertos en forma de herradura, otros son adventicios. El diámetro en la base del cono es de 1,000 a 2,000 m; en el cráter de 150 a 400 m; la pendiente en promedio es de 32°; la profundidad alcanza hasta unos 115 m en el Xitle, su altura relativa es menor de 250 m (Lugo, 1984). Los volcanes más jóvenes muestran coladas de lava asociadas; en los más antiguos se encuentran cubiertos total o parcialmente de materiales eyectados por volcanes más jóvenes.

La mayor expresión de las formas volcánico - efusivas se reconoce en la Sierra Chichinautzin, de edad probablemente holocénica. En conjunto cubren una superficie de varios cientos de kilómetros cuadrados. Por su juventud no presentan una red fluvial integrada, solo corrientes asiladas. Aunque en conjunto son superficies de poca inclinación (4° a 12°), presenta una alternancia de depresiones y elevaciones de hasta unos 15 m de diferencia vertical. (Martín del Pozzo, 1980).

Los materiales del Chichinautzin se extendieron hacia la vertiente sur de la Sierra. Cubren parcialmente las rocas antiguas de la Formación Tepoztlán. Forman pendientes fuertes y escarpes, resultado del relieve preexistente que cubren.

Los estratovolcanes son prominentes en el paisaje de sierras. En la Sierra de Río Frío destaca el Tlaloc, de forma cónica, alcanza una altura de 4,120 msnm y está constituido por lavas del tipo de las andesitas, dacitas y riodacitas; se le atribuye edad cuaternaria (Mooser, 1975)

El Ajusco fué formado en varias etapas de actividad desde el pliocuaternario. Sus laderas de fuerte inclinación se ven afectadas por procesos gravitacionales intensos. Está constituido principalmente por andesitas porfídicas (Martín del Pozzo, 1980). El Popocatepetl y el Iztaccihuatl, en la Sierra Nevada, presentan glaciares, y el primero una actividad importante. La Sierra de las Cruces ocupa una superficie considerable, en especial su vertiente oriental, la que corresponde a la Cuenca de México. Arriba del límite superior del pedimonte, hacia la línea divisoria principal, se presentan laderas de material lávico y piroclástico, originalmente con una pendiente de 12°, cortadas por cañadas profundas que dejan entre sí superficies estrechas de parteaguas (Lugo, 1984).

La Sierra de Zempoala es una estructura volcánica compuesta por rocas intermedias y básicas, anteriores al Cuaternario, en donde la erosión fluvial y los procesos gravitacionales han llevado a cabo una acción de modelado que impide reconocer los rasgos originales.

En la Sierra del Tepozteco, la erosión ha actuado más que en cualesquiera otra de las unidades de paisaje geomorfológico. La erosión la ha convertido en una serie de cerros escalonados, unidos en sus porciones inferiores, o bien totalmente desmembrados. La Sierra de Tepoztlán es de origen volcánico - acumulativo esencialmente, con acumulaciones locales de fanglomerado, lahar y aluvión. (Lugo, *op. cit.*).

La planicie lacustre de la Cuenca de México, sobre todo en su parte sur, se convierte en receptora de las corrientes montañosas que en el pasado originaron mantos acumulativos. Actualmente, este proceso se ha alterado artificialmente, hacia el occidente de la Ciudad de México por la urbanización.

Los sedimentos lacustres provienen en gran parte de las explosiones de piroclastos de los volcanes jóvenes de la Cuenca de México, aunque también de los acarreos que producían las corrientes montañosas, principalmente las de la sierras de Las Cruces y de Río Frío (Lugo, *op. cit.*).

El relieve acumulativo fluvial, entonces, no tiene una expresión significativa en el sur de la Cuenca de México, solo se reconoce por formas muy locales condicionadas por el volcanismo joven, o por obras de ingeniería (presas).

En la Sierra de las Cruces encontramos un pedimonte volcánico en su porción superior. En él predominan los materiales piroclásticos, los depositados *in situ*, los removidos, así como material proluvial y lahares. Se distingue de las laderas montañosas por un cambio de pendiente de unos 6° - 8°, en el primer caso, y mayor de 12° en el segundo.

Finalmente existen formas de relieve creadas por el hombre, las cuales son excavaciones a cielo abierto, para la extracción de arena al occidente de la Ciudad de México, con dimensiones de 2.0 - 2.5 km. por hasta 600 m de amplitud. Por ello representan una

ampliación de barrancos, dando como resultado un relieve antrópico. El hundimiento de la Ciudad de México, por otra parte, es un fenómeno que se ha producido principalmente por la extracción de agua del subsuelo y las grandes construcciones. Por esta alteración se presenta remoción subterránea de partículas por las aguas subsuperficiales, produciendo asentamientos por colapso y microsismos, debidos a asentamientos subterráneos. El fenómeno de hundimiento del terreno se presenta acompañado de la compactación de suelos arcillosos, especialmente en el suroeste de la Ciudad de México.

El impedimento de la infiltración natural de las aguas de lluvia por la plancha de asfalto de la Ciudad de México, evita la recarga natural de los mantos acuíferos. El incremento de la temperatura por la contaminación, hace retroceder la línea de las nieves permanentes. El crecimiento de barrancos causado por la deforestación aceleran la erosión y la sedimentación (Lugo, *op. cit.*).

3.2.1.3 Suelos

Las características genéticas y morfológicas de los diversos tipos de suelos presentes en la Cuenca de México están determinadas básicamente por la complejidad litológica dada por la composición y la edad de los materiales eruptivos y por la influencia diferencial del clima debido a los cambios altitudinales de casi 3000 m que presenta la zona. Otros factores como la pendiente y el desagüe también se ven reflejados en los procesos edáficos y determinan cambios taxonómicos locales en los grupos de suelos.

Así se desarrollaron, según la zona climática y la edad de las cenizas, varias formas de suelos de cenizas volcánicas que abarcan desde las cenizas poco intemperizadas (Regosoles), sobre diferentes formas de Andosoles hasta unidades de suelo que ya han perdido sus propiedades de Andosol características (*v. gr.* Cambisol) (Miehlich 1980).

Los principales tipos de suelos reportados por INEGI (1978) para el sur de la Cuenca de México según la clasificación FAO son: Andosol húmico y Litosol.

Otros suelos presentes en menor proporción o formando asociaciones son: Regosol déstrico y eútrico, Cambisol eútrico, Feozem háplico y Fluvisol déstrico.

Los Andosoles. son suelos desarrollados a partir de materiales piroclásticos volcánicos, básicamente arenas y ceniza volcánica rica en vidrio. Presentan colores oscuros, texturas que varían de francas a franco arenosas y densidades aparentes generalmente inferiores a 0.9.

Werner (1978) reporta que se encontró un desarrollo de los Andosoles claramente dependiente de la altura en la Sierra Nevada. Miehlich (1980) menciona que en la Sierra Nevada aparecen todos los Andosoles de la clasificación FAO: vítrico, húmico, mólico y ócrico.

Los Andosoles vítricos poco desarrollados se encuentran exclusivamente en la ceniza reciente y se reportan cuatro subunidades por causas climáticas, estratigráficas y antrópicas.

Los Andosoles húmicos se presentan las cenizas de edad mediana y antigua bajo un clima frío - húmedo.

Los Andosoles mólicos se formaron en las laderas inferiores cálidas - secas en la piroclástica más antigua, con horizontes A-B-C y alta saturación de bases.

Debido a la erosión y a la pérdida de humus, los Andosoles mólicos se convierten en Andosoles ócricos con un horizonte superior ócrico y un horizonte B - cámbico.

Los Litosoles son suelos poco desarrollados muy someros, debido a procesos de erosión que impiden el desarrollo del perfil. También comprende los suelos coluvionados de espesor muy variable, los cuales son comunes en las pendientes fuertes.

Los Regosoles se componen de materiales no consolidados, son suelos muy poco desarrollados, profundos, con un horizonte diagnóstico A - ócrico. Los Regosoles éutricos presentan una saturación de bases del 50% entre los 20 y 50 cm de profundidad. Los dístricos tienen una saturación de bases menor al 50%.

Los Cambisoles tienen un horizonte B cámbico y no presentan ningún otro horizonte diagnóstico aparte de un horizonte A ócrico o úmbrico. Para los cambisoles rigen los siguientes criterios: tener bajo contenido de sales y no presentar ninguna característica diagnóstica de los Vertisoles y Andosoles. Los Cambisoles éutricos tienen un porcentaje de saturación de bases mayor a 50 y no contienen carbonatos (Fitzpatrick 1980).

Los Phaeozems háplico presentan un horizonte A mólico y un porcentaje de saturación de bases de 50 o más en los primeros 125 cm. No deben presentar ninguna característica diagnóstica de la Rendzinas o Vertisoles. Tienen bajo contenido de sales, no tienen propiedades hidromórficas en la superficie.

Fluvisol - suelos poco desarrollados formados a partir de sedimentos aluviales, muestran una estratificación característica debido a las condiciones ambientales que prevalecieron durante el proceso de sedimentación. Son suelos profundos con texturas que varían según la naturaleza de los depósitos que los forman (planicie aluvial, valles y pedimontes) (ver figura 4 en los resultados).

3.2.1.4 Hidroclimatología:

La Cuenca de México es una cuenca cerrada, pero ésta fue abierta artificialmente mediante el Túnel de Tequixquiac, situado al noroeste del pie del Cerro de Xalpan. A través de dicho túnel son recogidas las aguas de la planicie y por el gran canal de desagüe llegan hasta el río Tula donde se forma el Pánuco (Reyna, 1989).

Desde la época virreinal con la construcción de diques diversos, empezaron a modificarse las dimensiones de la red hidrográfica y los lagos, hasta que para 1888 De Garay apunta que sólo existían vestigios de lo que en otras épocas fueron grandes lagos. En la actualidad, el de Xochimilco queda activo pero enfrenta serios problemas de azolvamiento y de contaminación; se hacen esfuerzos para reactivar el de Texcoco. La desaparición de los lagos provocó cambios en el ciclo hidrológico y el clima; aunada a las características orográficas propias de la cuenca, en los últimos años la intensa deforestación, ha ocasionado serias anomalías y fluctuaciones climáticas (Reyna, *op. cit.*).

Las corrientes superficiales son de régimen torrencial e intermitente, ya que principalmente se observan en la época de lluvias. Los principales tipos de desagüe superficial son el subdendrítico en la porción oeste. En el sur, dada la elevada infiltración, se carece de cualquier tipo de desagüe superficial.

En el área de estudio existen las siguientes zonas (Köppen modificado por García, 1981):

Zona Templada, con temperatura media anual entre 12° y 18°C, tiene una amplia distribución en la cuenca, ya que domina desde altitudes cercanas a 2000m y hasta 2800 ó 2900 msnm. Comparten estas características templadas, las regiones Texcoco - México, Zumpango - Xaltocan y gran parte de la de Xochimilco - Chalco.

Mientras que en la serranía de Tepotzotlan, Tezontlalpan, gran parte de Pachuca, Chichicauhtla y la de Calpulalpan por tener altitudes superiores y ya muy cercanas a los 3000 msnm, los descensos de temperatura se marcan más y al año se tienen entre 14° y 12°C.

Zona Semifría, caracterizada por presentar una temperatura media anual entre 5° y 12°C. Localizada solamente en las partes más elevadas de las sierras que rodean la cuenca, a altitudes mayores de 3000 m. En los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl arriba de los 4000 m, la temperatura media anual es menor de 5°C y la media del mes más caliente permanece por abajo de 6.5°C.

En toda la cuenca, la marcha anual de la temperatura es de tipo Ganges, dado que los meses calientes siempre son antes del solsticio de verano (21 de junio).

Por su posición geográfica y particular topografía, la cuenca se ve afectada por sistemas de circulación atmosférica que definen claramente dos épocas: la húmeda (junio - octubre inclusive) y la seca (noviembre - marzo principalmente).

Las lluvias son principalmente del tipo orográfico (debido al relieve abrupto), convectivo y frontal. Los dos primeros se combinan perfectamente en el verano, en tanto que el tercero es característico del invierno; tiene sus orígenes en las masas de aire polar que se desplazan desde el sur de Canadá y Estados Unidos y provocan muy poca precipitación y ocasionalmente algunas heladas y nevadas en las sierras que limitan la cuenca. La mayor cantidad de precipitación (más de 1200 mm) se recibe en el oeste y sureste, es decir, sobre las sierras de Las Cruces, del Ajusco y Nevada (Reyna, 1989).

A pesar de las significativas diferencias que existen entre la forma de uso de la tierra, con su capacidad de uso, y de las alteraciones a que está sujeta, la región presenta todavía una gran riqueza.

El valor natural de la zona en particular, se ha subestimado, por lo que es importante recalcar lo siguiente: la dinámica evolución geológica del área originó condiciones edafológicas y geomorfológicas muy diversas, que no han permitido la formación de un sistema permanente de corrientes superficiales, pero a cambio, permite infiltraciones (Reyna, *op. cit.*). En la figura 2 se muestra el climograma de la estación de El Guarda presente dentro del área de estudio donde se aprecian los meses del año donde se presenta la temporada de secas y lluvias; en un lapso de diez años.

El Guarda (3000 m)

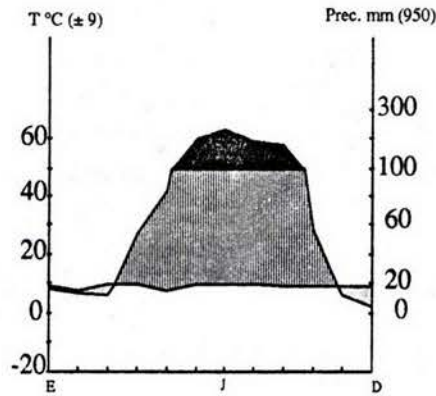


Figura 2. Climograma de la Estación Climatológica "El Guarda" de los años 1980 a 1990.

3.3 FACTORES BIÓTICOS

Su ubicación dentro el Eje Neovolcánico Transversal y más específicamente, como parte del Valle de México, le confiere especial importancia en cuanto a sus componentes florísticos y faunísticos, pues se localiza en uno de los puntos de transición de las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical (Ceballos y Galindo, 1984; Rzedowski, 1978). México a nivel mundial es considerado un país megadiverso Mittermeier (1992) y se representa mejor en los cuadros 6 y 7:

	Número de especies		porcentaje
	en México	en el mundo	
Aves	1,041	9,040	11.5
Mamíferos	439	4,300	10.2
Anfibios y reptiles	989	10,817	9.1
Plantas	26,000	250,000	10.4

Cuadro 6 Representación de la biodiversidad mundial en México, con base en el número de especies (Mittermeier y Mittermeier, 1992).

	Países y número de especies				
Plantas	Brasil	Colombia	China	MÉXICO	Australia
	55,000	45,000	30,000	26,000	25,000
Anfibios	Brasil	Colombia	Ecuador	MÉXICO	Indonesia
	516	407	35	282	270
Reptiles	MÉXICO	Australia	Indonesia	Brasil	India
	707	597	529	462	433
Mamíferos	Indonesia	MÉXICO	Brasil	China	Zaire
	519	439	421	410	409

Cuadro 7 Países con mayor número de especies de cuatro grupos representativos de la biota (Mittermeier y Mittermeier, 1992).

México no solamente se distingue por su diversidad de especies sino también por su alto índice de endemismo, es decir, de especies que solamente se encuentran dentro de los límites geopolíticos del país. Así, y como se indica en el cuadro 8, de las 707 especies de reptiles que existen en el país, 393 son endémicas, es decir, 56% de ellas ocurren sólo en México; de las 282 especies de anfibios, 176 son endémicas, lo que representa 62% del total del país; de las 439 especies de mamíferos, 139 son endémicas, es decir, 33%.

Es importante subrayar que no sólo los bosques tropicales son responsables de la diversidad biológica de México. Los bosques de pino - encino son los más diversos de la tierra, con 55 especies de pinos, 85% de las cuales son endémicas de México; los encinos son los segundos más diversos con 138 especies, 70% de las cuales son endémicas. Los desiertos albergan, entre otras plantas, la mayor variedad de cactáceas del planeta, muchas de las cuales son endémicas y se encuentran severamente amenazadas. Conviene mencionar que la gran diversidad de reptiles que se encuentra en el país se debe en parte a la variedad de desiertos, donde los reptiles son especialmente abundantes (SEMARNAP, 1995).

<i>Especies</i>	<i>Número de especies endémicas</i>		
	<i>en México</i>	<i>en el mundo</i>	<i>porcentaje</i>
Anfibios	179	282	62
Reptiles	393	707	56
Mamíferos	139	439	32

Cuadro 8 *Endemismos de México comparados con los del mundo* (Mittermeier y Mittermeier, 1992).

En cuanto al número de plantas fanerógamas en la República Mexicana, existen 220 familias que abarcan 2,410 géneros y cerca de 26,000 especies, lo que sitúa a este país en el cuarto lugar mundial en diversidad florística (cuadro 6). Esto nos lleva a considerar la importancia que tiene el asignar las más altas prioridades a la conservación. Sin duda, conservar las áreas críticas de bosque tropical húmedo es de vital importancia, pero es urgente comenzar a prestar más atención a los otros tipos de ecosistemas, y México, dada su gran diversidad no sólo de especies sino también de ecosistemas, debe dar prioridad a este aspecto.

Para la zona de estudio, a continuación se presentan los datos de fauna y flora, obtenidos por Velázquez *et. al.* (1996).

3.3.1 Vegetación

Del total de 22,000 especies calculadas por Rzedowsky (1978) se tiene un total de 103 familias, 242 géneros y 879 especies en la zona sur de la Cuenca de México. De estas se tienen 167 especies que caen dentro de alguna de las siguientes categorías y se distribuyen de la siguiente forma, 32 especies son características o sea que definen una comunidad vegetal (dominancia), 72 que entran en alguna categoría de riesgo (rara, amenazada, etc.) y 72 endémicas. Esta zona representa el 4% de la vegetación a nivel nacional.

3.3.2 Mamíferos

La alta riqueza mastozoológica de México es un producto de su gran heterogeneidad ambiental y topográfica y muestra de esto es que en el área de estudio se presentan 59 de las 450 especies de mamíferos reportadas para el país, dentro de estas se encuentran 14 de las

140 especies endémicas, lo que representa el 13.1 y el 10% respectivamente y dentro de las cuales podemos mencionar al teporingo (*Romerolagus diazi*), el tlalcoyote (*Taxidea taxus*) y al puma (*Puma concolor*).

3.3.3 Aves

Se determinó para los bosques del sur de la Cuenca de México una riqueza avifaunística de 192 especies. Esta riqueza nos indica que por lo menos el 78% de las aves terrestres del Distrito Federal se encuentran en esta región. El 78 % de las especies son residentes, mientras que las especies migratorias invernantes solo constituyen el 21 %, el resto son especies transientes y residentes de verano.

De las especies presentes, existe un componente que es considerado bajo los diversos criterios de vulnerabilidad existentes, relacionados al tamaño de sus poblaciones, principalmente de aquellas que se encuentran disminuídas por alteraciones humanas, o que son especies naturalmente raras. Con base en lo anterior, se señala la existencia de especies que pueden considerarse de alta prioridad de conservación:

1. el gorrión serrano *Xenospiza baileyi*, considerado en peligro de extinción;
2. la gallina de monte *Dendrortyx macroura* y el halcón cola roja *Buteo jamaicensis* se encuentran bajo protección especial y
3. el búho cornudo *Bubo virginianus* presenta la condición de amenazada, entre otras.

Esta singular riqueza ornitológica adquiere mayor importancia al señalar que el 24% de las especies de aves endémicas del país se encuentran en las montañas del sur de la Cuenca de México.

3.3.4 Anfibios y reptiles

De la herpetofauna (anfibios y reptiles) se tiene un total de 292 especies de anfibios y 711 de reptiles reportados en México.

En la zona de estudio se encuentran 24 especies de anfibios que representan el 8.22% del total y 56 especies de reptiles las que indican el 7.56% del total.

Del total de estas especies se tienen 20 de anfibios (83.3%) y 47 de reptiles (83.9%) que son endémicas de México y están distribuidas en la Cuenca.

Como se puede observar esta serie de datos lo que nos indica es que la zona tiene una gran riqueza faunística y florística y representa un altísimo porcentaje de endemismos a todos los niveles, por lo que es de vital importancia su conservación.

Según el Plan Rector de COCODER (1988) las funciones básicas de la región deben ser:

1. Producción sostenida de satisfactores agropecuarios en las zonas que presentan capacidad para el desarrollo de estas actividades
2. Recarga de mantos acuíferos (freáticos)
3. Reserva de vida silvestre y germoplasma
4. Purificación del aire
5. Recreación e interpretación ambiental

6. Educación e investigación

7. Aprovechamiento del bosque

El mantenimiento a largo plazo de los puntos antes señalados, requiere la aplicación de criterios de manejo, los que integran forzosamente la conservación de los recursos naturales, la recuperación de áreas y de elementos del ambiente degradado, así como el desarrollo equilibrado, se debe considerar el estado de los recursos, las demandas de la población y la capacidad el ambiente para cubrir estas demandas. Estos criterios involucran necesariamente el principio de uso diferencial de los recursos, con el cual es posible definir y separar los sitios más adecuados para la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la recarga acuífera o el uso múltiple de los recursos.

En este último siglo las diferentes actividades humanas se han convertido en un factor determinante en la distribución y abundancia de las especies (Ledig, 1988). Los casos más evidentes y documentados son los de bosques tropicales en donde un gran porcentaje de su área ha sido deforestada lo que ha provocado la pérdida de una gran cantidad de especies tanto animales como vegetales (Ledig, 1988; Lugo, 1988; Myers, 1988). Por tal razón el análisis de la condición actual de cierta área y su fauna y flora, no podría ser completo si no se toman en cuenta las actividades humanas y el impacto que éstas producen en el hábitat.

Esto es particularmente importante para cualquier especie, ya que el área de estudio es una zona forestal que se encuentra muy cercana a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En esta ciudad se concentran la mayor parte de las actividades administrativas gubernamentales y una de las zonas industriales más importantes de México. Además posee una considerable zona rural donde se llevan a cabo un gran número de actividades productivas (COCODER, 1988).

3.3.5 Aspectos humanos

Las actividades humanas realizadas en el área y en los alrededores se puede englobar en dos grandes procesos:

1. la expansión urbana
2. la explotación agropecuaria y forestal

Se concluye que las actividades humanas realizadas en la zona amenazan a todas aquellas especies animales y vegetales con que comparte el hábitat. Por tal razón, para cualquier intento de conservación del área se recomienda lo siguiente:

1. control de crecimiento de los asentamientos humanos y
2. la regulación y el reordenamiento de las actividades productivas.

Todo lo anterior bajo el marco de un plan de manejo integral, que considere tanto la protección de las especies como el desarrollo social regional.

3.3.6 La expansión urbana

Políticamente, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) abarca en diferentes proporciones, todas las delegaciones del Distrito Federal y 21 municipios del Estado de México. Esta ciudad ha tenido un crecimiento alarmante en los últimos cuarenta años (1940-1980), ya que en este período creció de 11,700 Ha a cerca de 120,000 Ha. Dentro de este

mismo período, la población se incrementó de 1,670,314 habitantes a 13,455,000, con una tasa de crecimiento anual muy alta y una fuerte incidencia de las migraciones sobre el crecimiento total (Chargoy, 1989). Este mismo fenómeno se puede observar en las entidades políticas que abarca, ya que en 1940 sólo se encontraba dentro de lo que ahora es el Distrito Federal, mientras que para 1980 ya incluye 21 municipios del Estado de México (Schteingart, 1987).

La pregunta que surge del párrafo anterior es saber hacia donde está creciendo esta superficie urbana. No se ha llevado a cabo un estudio formal de monitoreo para toda la zona. Un estudio comparativo del uso del suelo (1959 a 1984) de la zona rural del Distrito Federal (COCODER, 1988) nos da una idea sobre este fenómeno. Los resultados obtenidos durante este período de 25 años muestran lo siguiente:

1. la superficie urbana aumento más de un 200%
2. la superficie agrícola prácticamente no disminuyó
3. por el contrario la superficie forestal (que incluye bosques, matorrales y pastizales) disminuyó un 23%.

Entre estos datos destaca el gran incremento de la zona urbana y que la superficie agrícola no ha disminuido, lo cual sólo puede explicarse a través de dos procesos:

1. La mancha urbana se está extendiendo tanto sobre la superficie forestal como la agrícola.
2. Reducción del área forestal por la apertura de nuevas tierras destinadas a la agricultura.

Estos procesos han provocado no sólo la disminución de la superficie forestal sino también su fragmentación (Stelma, 1995). Esta formación de islas tiene considerables efectos sobre las poblaciones y habitats tanto de especies animales como vegetales lo que ilustra el proceso de insularización que está teniendo lugar en estas áreas. Además, hay que considerar que los asentamientos urbanos se están extendiendo hacia lugares que no son los más propicios para esto, ya que están avanzando sobre barrancos y laderas de antiguos volcanes. Los efectos implican enormes inversiones en las obras de infraestructura, control de erosión, y en el retiro de escombros de las carreteras, calles y avenidas. Aunado a esto, se presentan derrumbes o deslizamientos del terreno, y los problemas del desazolve de los sistemas de desagüe y en la restauración de viviendas afectadas por las inundaciones (Galindo y Morales, 1987).

El crecimiento anárquico de la ciudad es debido principalmente a la falta de planificación urbana por parte de las autoridades, aunque también existen otros dos factores de tipo social que están implicados en esto. El primero tiene que ver con la venta ilegal de predios por parte de los comuneros y ejidatarios. El segundo concierne a las familias que invaden terrenos, los cuales de acuerdo con la legislación mexicana, después de ser habitados pacíficamente durante un lapso mínimo de cinco años pueden regularizar legalmente su tenencia.

Otro factor directamente relacionado con el aumento de la zona urbana es la contaminación provocada por la localización de diferentes industrias y los vehículos automotores de la ZMCM. En los últimos diez años la emisión de contaminantes de la atmósfera se incrementó más de 150 por ciento, alcanzando la cifra de seis millones de toneladas anuales

aproximadamente. Del total de contaminantes, cuatro millones sesenta y siete mil son producidas por vehículos automotores y ochocientos noventa y cuatro mil por fuentes industriales. En el centro de la Ciudad de México, las concentraciones de contaminantes han rebasado los niveles permisibles en 330 por ciento para ozono, 46 por ciento para monóxido de carbono, y 156 por ciento para las partículas suspendidas totales (Girón, 1986).

La contaminación además de afectar la salud de los habitantes, también está deteriorando las comunidades forestales de los alrededores de la Ciudad de México. El daño se puede apreciar principalmente en las ramas, hojas de los árboles y el debilitamiento de los mismos, provocando que sean más vulnerables al ataque de plagas y enfermedades (Vásquez, 1986). Uno de los casos más evidentes de este tipo de daños se puede observar en el Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, donde hay grandes extensiones de bosque de oyamel (*Abies*) en que todos sus elementos están muertos (Calva, 1987; Cantoral, 1987). También se puede mencionar el caso de los bosques de *Pinus hartwegii* en el Volcán Ajusco, cuyos individuos están perdiendo sus hojas en forma acelerada (Vásquez, 1986). Si bien se considera que el fenómeno de debilitamiento de los árboles es multifactorial, los contaminantes juegan un papel muy importante en este proceso (Klein y Perkins, 1988). Esta formación de parches dentro de la cubierta forestal es muy posible que este provocando cambios microclimáticos cuyo efecto sobre la fauna silvestre ha sido poco estudiado.

3.3.7 Explotación Agropecuaria y Forestal

Dentro del área de estudio existe una zona rural extensa en la que se realizan un sinnúmero de actividades las cuales podemos agrupar en: Agrícolas, Ganaderas y Forestales.

3.3.7.1 Actividades agrícolas

Aunque no se encontraron trabajos particulares sobre los tipos de producción agrícola para el área, Villegas (1979) da una muy buena idea de su situación global. De acuerdo con la autora, existen dos tipos de sistemas agrícolas en el área: el tradicional y el moderno.

1. *El tradicional*: consiste en el cultivo de maíz (*Zea mays*) principalmente, realizado en pequeñas parcelas donde las prácticas agrícolas y los implementos usados son los tradicionales, tales como la tracción animal y el uso de arado. El cultivo de maíz se puede encontrar a todo lo largo de la zona agrícola pero predominando cerca de las zonas urbanas o poblados. La topografía en donde se practica este tipo de agricultura va de sitios con poca pendiente a lugares escabrosos y de fuertes pendientes. Otro cultivo de mucha importancia económica es el del nopal (*Opuntia streptacantha*), principalmente para las zonas vecinas a Milpa Alta, D.F. El nopal es un producto muy bien remunerado ya que se utiliza tanto la hoja, como el fruto. Su cultivo requiere de suelos muy ricos en nutrientes por lo que los lugareños utilizan estiércol como fertilizante. La venta del nopal se realiza tanto a nivel nacional como internacional, principalmente a Japón. Otros cultivos que pueden encontrarse acompañando al maíz o al nopal son: la haba (*Vicia faba*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*), la calabaza (*Cucurbita* sp.); y en algunos casos especies ornamentales tales como la rosa (*Rosa* sp.), la nube (*Gypsophil* sp.), la gladiola (*Gladiolus* spp.), el alhelí (*Mathiola incana*), el perrito (*Lamourouxia* spp.), entre otros.

2. *El moderno*: se desarrolla en grandes extensiones, con el uso intensivo de fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, así como de maquinaria para la siembra y la cosecha. El cultivo de

avena (*Avena sativa*) es el más representativo de este sistema, sembrándose principalmente hacia las extensas zonas planas de suelos profundos que existen entre los volcanes, y el uso que se le dá al producto es forrajero principalmente. En condiciones similares se siembra el trigo (*Triticum sativum*) y la cebada (*Hordeum vulgare*). Otros cultivos que podemos encontrar dentro de estas áreas son la papa (*Solanum* sp.) y la zanahoria (*Daucus carota*).

La mayor parte de los cultivos son de temporal. Algunos cultivos dependen de la lluvia de verano (mayo a octubre) exclusivamente para llevar a cabo su ciclo de vida. Otros dependen de la humedad que retiene el suelo fuera de la época de lluvias y una mínima proporción (ca. cinco porciento) son de riego.

Las observaciones realizadas por diversos autores por el área han mostrado que existe una tendencia a que el área agrícola se recorra hacia las superficies que originalmente eran forestales. Es decir que tanto la zona agrícola como la zona metropolitana se expanden ganando terreno a las zonas boscosas. Hay casos en la zona agrícola está ocupando inclusive algunos de los pequeños volcanes que se encuentran en el área. Estos volcanes no son los terrenos más aptos para la agricultura debido a la pendiente y a que durante la época de lluvias presentan una fuerte susceptibilidad a la erosión, y en muchos de los casos la formación de cárcavas. La apertura de superficies a la agricultura causa gran impacto a las áreas forestales, ya que la modificación del suelo es muy intensa, provocando que la recuperación del bosque sea muy lenta, y en un momento dado, imposible.

3.3.7.2 Actividades ganaderas

Aunque la ganadería es una actividad secundaria para los pobladores del Sur de la Ciudad de México, ésta representa una fuente importante de ingresos para quienes la practican (COCODA, 1984). En la zona existen varios tipos de ganado, como bovino, ovino, caprino y equino. Sin embargo son los dos primeros los que sobresalen en cuanto a número de cabezas. La ganadería depende sustancialmente de las áreas forestales, pues la vegetación herbácea del bosque es la única fuente alimentaria para los rebaños, ya que no se les dá complemento alimenticio de ningún tipo y pasan dentro de ellas de 8 meses a un año (López-Paniagua y Rodríguez, 1988; Obieta y Sarukhán, 1981). López-Paniagua y Rodríguez (1988) encontraron que los animales se alimentan al menos de cuarenta y cinco especies silvestres diferentes, de las cuales diecinueve son hierbas, trece pastos, doce arbustos, y un árbol. También mencionan que el contenido nutritivo de las plantas consumidas por el ganado proporciona energía (fibra), pero tienen deficiencia de proteínas, por lo que los animales requieren de un complemento alimenticio para cubrir estas necesidades. Esta carencia proteínica se refleja en una baja producción.

Hay varios estudios que se han llevado en la zona acerca del efecto de este pastoreo intensivo. Obieta y Sarukhán (1981) encontraron que las áreas con pastoreo muestran gramíneas de menor tamaño y una mayor proporción de suelo descubierto; las especies más afectadas son *Muhlenbergia quadridentata*, *Festuca haephaestophila* y *Muhlenbergia macroura*. De modo que las herbáceas (*Achillea*, *Penstemon*, *Lupinus*, *Cirsium*, *Alchemilla*, etc.) tienen mayor posibilidad de invadir el suelo descubierto y dar lugar a que la cobertura de la vegetación herbácea sea reflejo del grado de pastoreo. Este es el caso de *Alchemilla procumbens*, una especie comúnmente encontrada en el sotobosque de *Pinus hartwegii* y que en zonas perturbadas es mucho más abundante.

El pastoreo también tiene efectos sobre la estructura del suelo por el constante pisoteo. Este altera el movimiento y el almacenamiento de agua al haber agregación de partículas que se compacta hasta al menos 50 cm de profundidad. Esto afecta los sistemas radicales de las plantas herbáceas y de las plántulas de pino, ocasionando un restringido aprovechamiento de la humedad (Blanco *et. al.*, 1981).

El pastoreo excesivo no sólo es nocivo para el pastizal, sino también para el mantenimiento de los pinos. Al escasear las especies palatables, el ganado mordisquea las yemas terminales de las plántulas jóvenes, lo que da origen a malformaciones y retardo en el crecimiento, lo cual implica una menor habilidad competitiva (Obieta y Sarukhán, 1981).

Una actividad que va unida al pastoreo es el fuego, realizado por los lugareños para incrementar la calidad y cantidad del pasto que sirve de alimento para el ganado (Blanco *et. al.*, 1981). López-Paniagua y Rodríguez (1988) observaron que hay un incremento considerable en la proporción de proteínas en el "pelillo" (brotes de pasto que crecen después de un incendio) de *Muhlenbergia macroura*. Sin embargo, el efecto del fuego disminuye la cobertura de pastos amacollados como *Muhlenbergia macroura* y *Festuca tolucensis* (Benítez, 1987). Otro de los efectos producto del fuego es la erosión (Blanco *et. al.*, 1981). Se evaluó el efecto erosivo de las quemas cuantificando la escorrentía y suelo perdido por arrastre y se encontró que en el zacatonal amacollado se registra una mayor pérdida del suelo en comparación con otras asociaciones vegetales.

3.3.7.3 Explotación Forestal

Las actividades forestales que se realizan en el área tienen dos formas de explotación, la extensiva y la intensiva.

1. *La explotación extensiva.* Este tipo de explotación es realizada por los pobladores de los asentamientos humanos de la zona. Existen seis actividades principalmente, de las cuales las cinco primeras fueron documentadas por Aranda (1978).

1. La tala tiene dos fines: el consumo doméstico y la venta de madera. Esta última se realiza tanto de manera clandestina (bastante común), o bien a través de la expedición de un permiso forestal que otorga la Delegación Forestal de la SAGAR. La obtención de estos permisos es un procedimiento largo y conflictivo.
2. El ocoteo es el corte fraccionado de los pinos con el objeto de comercializarlos para hacer fogatas o antorchas que alumbrén el camino. En la zona, ésta es una actividad clandestina que está teniendo un fuerte impacto, ya que al debilitar a los árboles, provoca que sean más susceptibles a infecciones de parásitos como el muérdago enano (*Arcethobium* spp.), y de diferentes insectos (*v. gr.*, *Trips* sp. y *Dendroctonus adjunctus*), así como a ser derribados por el efecto de los vientos (Blanco *et. al.*, 1981).
3. La recolección de hongos silvestres. De acuerdo con el trabajo de Gispert *et. al.* (1984), los lugareños tienen un buen conocimiento de las especies comestibles, que son utilizadas tanto para consumo, como para la venta. La colecta se lleva a cabo tanto en los alrededores de la Sierra del Chichinautzin como de la Sierra Nevada. Los hongos son recolectados en ocasiones para la venta en las ciudades, actividad que se realiza por intermediarios quienes los llevan a los mercados.

4. Otra actividad de explotación forestal que fué importante en la zona, principalmente en la Sierra del Chichinautzin, es el corte de zacatón (pasto amacollado), el cual se utiliza para la fabricación de escobetas, escobas, tejados y forraje.
5. La caza es una actividad que no está permitida en la zona y que se realiza principalmente por los pobladores del área con el fin de obtener alimento, aunque no es raro encontrar a personas que se dedican a la caza comercial y deportiva.
6. Una última actividad que debe considerarse es la recreación, ya que la zona es utilizada como área de esparcimiento para los pobladores de la Ciudad de México. Esta actividad se lleva a cabo principalmente durante los fines de semana y en lugares cercanos a las carreteras.

Dentro de este tipo de explotación extensiva, las actividades que están teniendo un efecto negativo directo sobre el habitat son: la tala, el ocoteo, la extracción de pastos y la caza. El considerarlas negativas tiene que ver con la manera desordenada en que se practican, ésto es, sin una planificación adecuada. Estas actividades implementadas bajo una planeación adecuada y uso racional, podrían realizarse sin que las superficies forestales y la fauna silvestre que las habitan resulten irreversiblemente afectadas, e inclusive redituando en la economía de los habitantes de la zona.

2. *La explotación intensiva.* El segundo tipo de explotación, se refiere a un sistema mucho más intensivo que el anterior y que está dado por la presencia de la Unidad de Explotación Forestal de Fábricas de Papel San Rafael y Anexas, a partir de 1948 . Esta se localiza en las inmediaciones del Parque Nacional Zoquiapan, el cual colinda con el Parque Nacional Iztapopo, y cuenta con una superficie asignada de 117,274 Ha. (Obieta y Sarukhán, 1981). Del área arbolada explotable, el 72.48 porciento está representada por el género *Pinus*, el 26.43 porciento por *Abies*, y el 0.98 porciento por *Cupressus*. La intensidad de tala de estos bosques es del 40 porciento de las existencias de madera reales totales y está basada en la capacidad de regeneración del bosque. Es decir que se espera un incremento igual al volumen que se extrajo después de la corta. El método de tratamiento utilizado es el de selección o entresaca. Esta selección es muy importante desde el punto de vista biológico, ya que al talar los árboles maduros o viejos, se deja un número considerable de árboles (básicamente jóvenes) que pueden mantener una regeneración continua del bosque. Asimismo, los individuos enfermos o parasitados son extraídos junto con los seleccionados (Obieta y Sarukhán, 1981; SOP, 1976).

Dentro de la unidad de explotación existe una zona para extraer resina, donde sólo el 67 porciento es explotable. La actividad de resinación es la extracción de resina por medio de diferentes métodos a partir de los árboles de pino. A partir de la resina es posible obtener una gran cantidad de productos como son: trementina, colofonia, bárea, aguarrás y substitutos del aceite de linaza, entre otros. Dentro de la Unidad de Explotación Forestal existe una zona de resinación que está siendo manejada en forma combinada, para madera aserrada, leña y resina de pino. Esta madera aserrada es utilizada para obtener vigas para la construcción, y la leña como rajadas para papel. La zona de resinación cubre una superficie total de 7,768 Ha, y el aprovechamiento anual es de 1,373,233 Kg de resina de pino. El método utilizado es el denominado "de muerte", que se lleva a cabo exclusivamente sobre el arbolado que previamente se selecciona para las cortas.

La información sobre la explotación intensiva muestra que existe un ordenamiento de la superficie forestal y una planeación de actividades, cosa que no sucede con la explotación extensiva. No obstante, el impacto producido por la explotación intensiva a los estratos herbáceo y arbustivo no está documentado. Se sugiere realizar una evaluación más precisa para saber cuál de los dos tipos de explotación provoca un deterioro mayor de los hábitats naturales a largo plazo.

3.3.8 Otras actividades

La extracción de tierra es otra actividad muy común en la zona y poco documentada, que se realiza en la Sierra Chichinautzin principalmente. Para llevar a cabo esta actividad se requiere un permiso, el cual es obtenido de manera similar a los de extracción forestal. Este exige un límite de metro y medio de profundidad para la extracción y la reforestación de los lugares donde se llevó a cabo la actividad. De aquí surge la duda de cómo se autoriza este tipo de explotación, ya que se extrae la mayor parte de la riqueza del suelo, cuya formación tardó cientos de años. De las observaciones realizadas se dedujo que la reforestación no se lleva a cabo y el rango de profundidad de extracción muy pocas veces se respeta, ya que en muchos sitios se deja sólo la roca madre después de la extracción.

No se cuenta con documentación formal sobre los volúmenes de extracción de suelo. Velázquez *et. al* (1996) hizo recorridos en campo y realizó las siguientes observaciones, las que permitieron cuantificar lo siguiente: en una sola mañana (8:00 AM a 13:00 PM horas) se extrajeron veinte camiones de 12 m³ cada uno, de una zona muy pequeña (casi media hectárea), lo cual sugiere que la velocidad de extracción en un día normal llega a ser de un volumen de cerca de 240 m³, lo que da una idea del impacto y de la intensidad de la misma. Esta actividad junto con la agricultura, son las que provocan una mayor modificación a las zonas de vegetación natural. El suelo extraído se vende a productores de flores y dueños de viveros, principalmente de Xochimilco, D.F.

Se considera que las actividades humanas que existen en la zona son factores muy importantes para que, la flora y la fauna esté siendo amenazada. Por tal razón cualquier esfuerzo de conservación del área debe considerar el control de crecimiento de los asentamientos humanos, la regulación, y en un momento dado, el reordenamiento de las actividades productivas. Todo esto, bajo el marco de un plan de manejo integral que contemple la conservación y permanencia del acervo genético y desarrollo social regional del área.

4 Objetivos y metas

4.1 Objetivo general:

Elaborar el análisis holístico para que sustente una propuesta de ordenamiento ecológico preliminar, dentro de la información que se tiene disponible actualmente de la zona sur del Distrito Federal.

4.2 Objetivo particular

Realizar una zonificación con bases geoecológicas de tipo puntual y espacial a través de un Sistema de Información Geográfica.

4.3 Metas del presente trabajo

La meta de este trabajo es exclusivamente la delimitación de unidades ambientales, usando los procesos necesarios dentro de la percepción remota y un sistema de información geográfica; y de modo general tener una representación espacial corregida de la información que se tiene actualmente de la zona de estudio.

5 Métodos

Dentro de la metodología se usó el procedimiento según Kalensky (1986), la cual se presenta en los siguientes pasos:

1. Selección y revisión de los datos de entrada (información previa);
2. Decidir el nivel de clasificación y tipo de clases deseadas;
3. Corrección radiométrica y geométrica de la imagen digital;
4. Realce de la imagen y/o clasificación no supervisada ("clustering");
5. Colecta de datos reales en campo;
6. Clasificación supervisada;
7. Reclasificación y filtrado de clases;
8. Análisis de precisión;
9. Planimetría de clases;
10. Terminación cartográfica (retícula de coordenadas, anotaciones y leyenda);
11. Copias impresas (imágenes, cuadros estadísticas, mapas temáticos)

5.1 Características de la imagen

La imagen digital que se utilizó fue una **Landsat TM** con las coordenadas WGS 026/047 con fecha de 15 de octubre de 1991, orientada al mapa, con la proyección Universal Transversa de Mercator (U.T.M.), correspondiente a la zona 14 y el Esferoide de Clarke de 1886; con un tamaño de pixel de 25m.

5.1.1 Características espectrales de una imagen Landsat TM

Los sensores de Landsat registran en las partes visibles e infrarrojo cercano del espectro electromagnético, en el infrarrojo medio y en el infrarrojo lejano (térmica) (ver cuadro 9).

<i>Landsat TM</i>	<i>Landsat-5 MSS</i>	<i>SPOT* MS</i>	<i>Observaciones</i>
0.45-0.52			Penetra agua
0.52-0.60	0.50-0.60	0.50-0.59	Pico de reflectancia de vegetación <i>ca.</i> 0.54
0.63-0.69	0.60-0.70	0.61-0.68	Máxima absorción de clorofila <i>ca.</i> 0.66
	0.70-0.80		Empieza el infrarrojo cercano
0.76-0.90	0.80-1.10	0.79-0.89	Contrasta la vegetación viva y muerta; sensible a la humedad superficial del suelo
1.55-1.75			Ventana atmosférica del infrarrojo medio. Sensible a la humedad de los cultivos y suelos y separa las diferencias de densidad
2.08-2.23			Ventana del infrarrojo medio - útil en geología
10.4-12.50			Ventana del infrarrojo lejano - sensible a los fenómenos térmicos

* Nota: SPOT Pancromática registra en una sola banda espectral a 0.51-0.73 mm con el doble de la resolución espacial del SPOT MS (aprox. 10m el pixel, Howard, 1991)

Cuadro 9 Características espectrales de los satélites Landsat y SPOT (en micrómetros).

Los datos burdos del Landsat TM, son grabados, transmitidos y procesados en una escala de grises del rango de 256 valores de pixel en cada uno de sus canales (Howard, *op. cit.*).

5.2 Procesamiento de la imagen

El tratamiento de la imagen se realizó con el programa de procesamiento de imágenes ERDAS IMAGINE v. 8.1, en una estación de trabajo de Silicon Graphics, modelo Indigo 2, con 64 MB de memoria RAM y 8 GB, en disco duro. Trabajando bajo la versión 5.2 del sistema operativo IRIX.

Se realizó un recorte de la imagen con las siguientes coordenadas U.T.M. correspondientes a la zona 14 que corresponde a la zona de estudio y solamente de las primeras cinco bandas:

Esquina superior izquierda X= 450,000 ó 99° 28' 34"	Esquina superior izquierda Y= 2'145,000 ó 19° 23' 59"
Esquina inferior derecha X= 508,000 ó 98° 55' 26"	Esquina inferior derecha Y= 2'080,000 ó 18° 48' 46"

Donde X representa el oeste o longitud de la imagen y la Y el norte o latitud de la misma con respecto al mapa.

5.2.1 Transformación y realce de la imagen

De este recorte de la imagen se realizó la transformación de la imagen, este proceso se realiza para crear bandas artificiales a partir de combinaciones de las originales, con el objeto de mejorar la separación de aspectos temáticos dentro de la imagen. Son transformaciones enfocadas hacia la clasificación temática, sea esta visual y/o digital (Arita, com. pers.)

5.2.2 Proceso realce

El realce que se realizó en la imagen fueron los de análisis de componentes principales e índice de vegetación normalizado.

5.2.2.1 Análisis de componentes principales

Este análisis de componentes principales se hizo con las tres primeras bandas que corresponden al espectro visible (TM1, TM2, TM3). El archivo resultante representa solo una banda; con este proceso se persigue el resumir un grupo amplio de variables (Niveles Digitales de cada banda) en un nuevo conjunto más pequeño, sin perder una parte significativa de la información.

En la imagen bandas adyacentes del espectro implican con frecuencia, el detectar información redundante, debido al comportamiento similar de los tipos de cubierta en regiones próximas del espectro. Es decir, las mediciones realizadas en una banda, pueden presentar una fuerte correlación con las deducidas en otra, resultando irrelevantes una o varias de ellas.

El análisis de componentes principales permite sintetizar las bandas originales, creando nuevas bandas (componentes principales de la imagen) que recojan la mayor parte de la información (Hashimoto *et. al.*, 1993, Howard, 1991, Arita com. pers.).

5.2.2.2 Índice de vegetación normalizado

Lo que implica este índice es el efectuar una división pixel a pixel entre los niveles digitales correspondientes entre dos o más bandas de la misma imagen.

Para este caso se usan las bandas TM3 que detecta la máxima absorción de clorofila (que tan verde se ve la vegetación) y la TM4 que contrasta la vegetación viva y muerta (que tan brillante se ve la vegetación); y es sensible a la humedad superficial del suelo (ver cuadro 9); la fórmula es la llamada *fórmula multiradial simple* que se presenta de la siguiente forma: $TM4 - TM3 / TM3 + TM4$ este cociente multiplicado por 255 que son los valores del intervalo de grises de la imagen y entran dentro de la proporción de bandas más comunes en percepción remota (Howard, 1991).

Este índice se aplica para mejorar la discriminación entre suelos y vegetación, y reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas (Hashimoto *et. al.*, 1993). De la aplicación del presente índice se obtuvo una sola banda.

Por último se usó la banda burda TM5, lo que representa la ventana atmosférica del infrarrojo medio. Esta banda es sensible a la humedad de los cultivos y suelos y separa las diferencias de densidad con lo cual esta banda permite separar espectralmente muy bien la vegetación con respecto al suelo y el agua (Howard, 1991).

5.3 Creación de la imagen compuesta de color como imagen base.

Para crear la imagen compuesta se utilizaron las bandas creadas anteriormente; componentes principales, índice de vegetación normalizado y la TM5 para su interpretación y se ubicaron de la siguiente manera para su análisis:

1. En el canal verde se utilizó la banda del índice de vegetación, para que al momento de desplegarla, por las características de la misma, el color de la vegetación fuera en verde;
2. En el canal azul la banda cruda TM5, que por las mismas razones nos desplegara el agua y la humedad en tonos azules y
3. En el canal rojo se utilizó la banda de componentes principales, para complementar las dos anteriores y poder completar el espectro visible y crear una imagen lo más conveniente para los fines de la interpretación (ver figura 3).

5.4 Análisis de la imagen base

Dentro de los pasos sugeridos por Kalensky (1986), las actividades metodológicas se resumen de la siguiente manera:

1. Los datos seleccionados para analizar la imagen fueron con base a los datos de la clasificación de Velázquez (1993) e información real de campo. Realizar dos salidas de campo para obtención y verificación de los datos con la imagen; preferentemente en la época en que fue tomada la imagen (octubre), con el fin de tratar de tener los mismos valores de reflectancia en campo, como en la imagen misma (aunque sea en otro año).
2. Realizar una clasificación no supervisada; una clasificación supervisada con los datos de Velázquez (1993); y finalmente una reclasificación y recodificación de la imagen con el menor número de clases posibles para que con esa imagen se delimitaran las unidades ambientales presentes en el área de estudio.
3. La imagen con la que se trabajó estaba corregida de origen; a la imagen no se le hizo ninguna corrección radiométrica ni geométrica; no obstante para tener seguridad de que la imagen estaba bien corregida, se verificó con la carta topográfica de INEGI (1978) de Milpa Alta (E14-A49), escala 1:50,000.

4. El realce de la imagen ya fue descrita en el punto 5.2.1 y se hizo una clasificación no supervisada con 30 clases utilizando el algoritmo de agrupación del vecino más cercano (clustering) según Richards, (1986).
5. Se realizaron dos salidas al campo para verificación de datos en octubre de 1995 para tratar de tener las mismas condiciones en el campo de lo que es la fecha de toma de la imagen de satélite. En estas salidas se realizó la verificación de los puntos de confusión, que principalmente fue con los cultivos, pastizales y algo de bosque mixto.
6. El patrón básico para reconocer un problema aplicado al análisis digital es primeramente definir las clases espectrales de interés dentro de un área cubierta por la escena de la imagen satelitaria (tipos de bosques, cultivos, erosión, urbanización, etc.), y así construir una regla de decisión la cual hace que cada pixel de la escena sea puesto en una clase previamente identificada, y decir que tipo de característica u objeto terrestre representa este pixel. Escoger un grupo vectorial lo más idóneo para describir los objetos de interés, lo que viene siendo el mayor problema del analista, y el proceso es conocido como *selección de características*. (Howard, 1991). En base a esto se seleccionaron las áreas de interés para efectuar la clasificación supervisada, con base a la clasificación de Velázquez (1993) y datos de campo, los puntos para la selección de estas áreas se registraron con el uso de GPS al centro de las parcelas, para su posterior ubicación en la imagen.
7. A continuación se realizó una reclasificación y recodificación de la imagen para obtener el número de clases deseadas, que en este caso fue de once clases espectrales, a lo no clasificado se le asignó un valor al recodificar dentro de las clases de mayor probabilidad (urbano y cultivos), evaluándolo dentro de un modelo pesimista.
8. Posteriormente se hizo una evaluación de la precisión de la clasificación utilizando una matriz de confusión aleatoria (50 puntos), y aplicándole el coeficiente Kappa (ERDAS, 1994), ver cuadro 10; comparando los datos de Velázquez (1993) y los recorridos de las salidas de campo de octubre de 1995. Los datos de las clasificaciones se presentan en la figuras 4 y 5 y los cuadros 11 y 12 como parte de los resultados.
9. Los criterios para la delimitación del área de estudio sobre la imagen de satélite (Landsat TM), incluyeron: (1) áreas protegidas, (2) áreas boscosas que conectan las áreas protegidas, (3) hábitats principales para especies en vías de extinción y endémicas, (4) áreas con demanda de acciones de conservación con alta probabilidad de una restauración exitosa, (5) unidades que albergan condiciones poco deterioradas por actividades humanas y (6) sitios con alto valor histórico. Por otro lado se establecieron sitios que deberían ser explícitamente excluidos, hasta donde fuera posible, tales como las áreas de cultivo permanente y zonas conurbadas o suburbios meramente dependientes de las actividades ciudadanas todo esto de una manera interactiva. El análisis digital interactivo se usa para proveer una clasificación de la imagen informativa, para mejorar la precisión geográfica, para resaltar la imagen para uso en el campo, para actualizar mapas y proveer información en capas, como entradas para los sistemas de información geográfica (Howard, 1991). Posteriormente se realiza un remuestreo de la imagen pasando la resolución del pixel de 25m a 90m para poder utilizar la imagen en el programa de ILWIS v 1.4 en una computadora PC 486. Este remuestreo se realiza por la limitante de la capacidad de la computadora y así poder utilizar esta imagen como base para hacer un análisis visual interactivo de las áreas que delimitan las unidades ambientales que se

consideran para el presente trabajo. En esta parte del trabajo se realizó una vectorización de las zonas de interés, una poligonización y evaluación de dichas áreas. Esta información se restituyó al mapa base en forma de capas, se analizó y se elaboraron los mapas correspondientes a cada categoría asignada a los polígonos y finalmente se evaluó toda la información vertida e integrada sobre el mapa base. Finalmente se le agregó una imagen vectorial de los límites administrativos; estos fueron tomados del CIMA (1994) de INEGI y procesado con el programa AutoCad Ligth.

10. Se imprimieron los principales mapas del trabajo y todos los mapas se grabaron en formato *.tif en un disquete de 3.5 para el despliegue en cualquier tipo de computadora y programa de imágenes disponible, ya sea en ambiente DOS, UNIX, Windows o Mac (Anexo I).
11. Se efectúa una evaluación del alcance del enfoque de este trabajo y los procedimientos aplicados (discusión y conclusiones).

REPORTE DE EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LA CLASIFICACIÓN

Image File : d:/tmp/invitado/giszs/csaga90m.img

Nombre Usuario: Mardocheo Palma

Fecha : Vie 30 Agosto 19:54:43 1996

PRECISIÓN DE LOS TOTALES

Clase Nombre	Referencia Totales	Clasificado Totales	Número Correcto	Precisión del Modelo (1)	Precisión del Usuario (2)
No clasificado	0	0	0	---	---
Bosque	8	8	8	100.00%	100.00%
Bosque denso	5	5	5	100.00%	100.00%
Pastizal denso	0	0	0	---	---
Nubes	0	0	0	---	---
Sombras de nubes	0	0	0	---	---
Cuerpos de agua	0	0	0	---	---
Urbano	11	10	10	90.91%	100.00%
Selva Baja Caducifolia	3	3	3	100.00%	100.00%
Pastizal y bosque mixto	6	4	3	50.00%	75.00%
Bosque mixto	4	4	3	75.00%	75.00%
Cultivos	13	16	12	92.31%	75.00%
Totales	50	50	44		

Precisión global de la Clasificación = 88.00%

(1) El modelo es generado aleatoriamente en la imagen por el programa ERDAS; en este caso fueron 50 puntos.

(2) Son los datos tomados de campo y de fotointerpretación y mapas

ESTADÍSTICAS KAPPA (K[^])

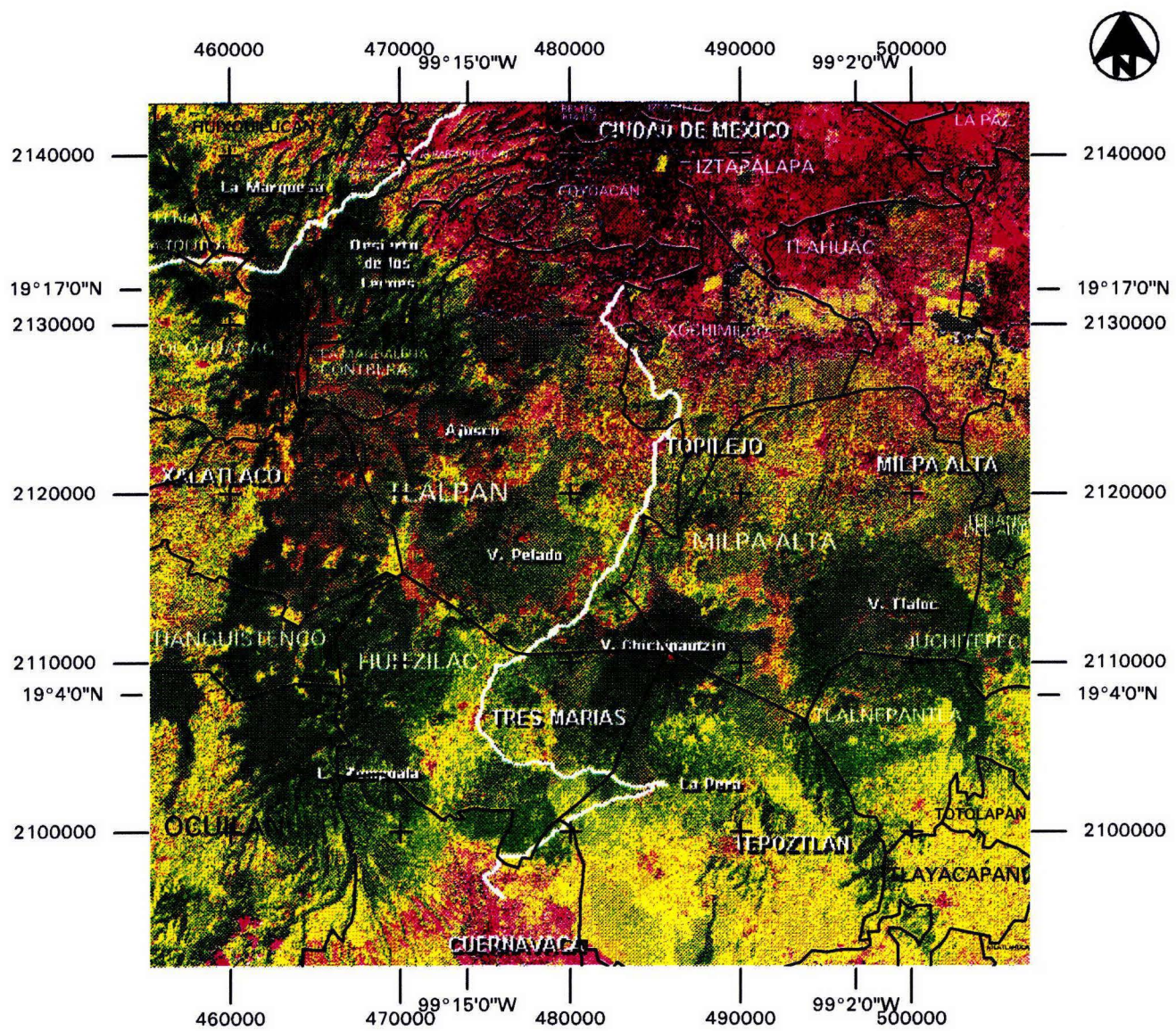
Estadísticas Kappa Globales = 0.8532

Condicional Kappa para cada Categoría.

Clases	Kappa
No clasificado	0
Bosque	1
Bosque denso	1
Pastizal denso	0
Nubes	0
Sombras de nubes	0
Cuerpos de agua	0
Urbano	1
Selva Baja Caducifolia	1
Pastizal y bosque mixto	0.7159
Bosque mixto	0.7283
Cultivos	0.6622



Cuadro 10 En este cuadro se observa el resumen de la evaluación de precisión de la clasificación supervisada de la imagen y el coeficiente Kappa



Regiones de la zona de estudio, donde se localizan las principales poblaciones y Áreas Naturales Protegidas y sus Municipios y Delegaciones de la Zona Sur de la Cuenca de México

SISTEMA DE PROYECCIÓN:
 Esferoide de Clarke 1866
 Proyección U.T.M.
 Cuadrícula cada 10,000 m.
 Datum Horizontal NAD27 (México)
 Zona U.T.M. 14

Fuente original: Imagen Landsat TM; Instituto de Geografía, U.N.A.M. Fecha de toma: Octubre de 1991



- Área Urbana y Poblados
- Áreas con vegetación natural
- Áreas con cultivos y Pastizal natural
- Autopista
- Límites Administrativos (Estado, Municipio y Delegación)

Figura 3 MAPA BASE DE LA ZONA SUR DE LA CUENCA DE MÉXICO

6. Resultados

6.1 Modelo de Suelos y Geoformas

Como parte de los resultados se presenta la siguiente figura, la cual fue procesada primeramente en ILWIS, aplicándole los filtros de pendientes y sombreado, los cuales nos permiten evaluar el modelo de una manera exagerada, y asociarlo a los diferentes tipos de suelo y principales geoformas, y las áreas de correspondencia; posteriormente se editó en los programas Photostyler y Corel Draw.



Figura 4. Modelo en el que se muestran las áreas asociadas a los diferentes tipos de suelos y principales geoformas.

6.2 Clasificación supervisada según Velázquez

De la aplicación de la clasificación supervisada según Velázquez (1993), se obtuvieron 26 clases, ver cuadro 11 y figura 5; cabe aclarar que el total de clases no se basa exclusivamente a la clasificación de Velázquez, ya que este no considera en su clasificación la Selva Baja Caducifolia, que se presenta en la imagen satelitaria, así como otras clases inherentes a la imagen, como son las grandes zonas urbanas, los cuerpos de agua, las nubes y sus respectivas sombras, estas últimas no nos permiten clasificar correctamente el área sombreada, ya que la respuesta espectral del área que cubren cambia. Ver figura 7.

La escala de trabajo fue hecha 1:400000 y en base a esto la erosión no pudo ser evaluada y por la época de la toma de la imagen (después de la temporada de lluvias). Esto se debe a que la erosión no es fácilmente detectable, ya que en las salidas de campo los lugares que presentaban erosión (cárcavas) el área era muy pequeña y/o el suelo desnudo presentaba una capa muy pequeña de vegetación reciente (generalmente pastos) y a la resolución del tamaño de pixel de 25m no permitió diferenciarlo espectralmente ni visualmente.

Clases	Hectáreas	%	Especies diagnósticas
Bosque	5380.02	2.01	<i>Pinus hartwegii</i> , <i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i> , <i>Abies religiosa</i> , <i>Furcraea bedinghausii</i>
Bosque	10162.26	3.80	<i>Abies religiosa</i> , <i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i> , <i>Abies religiosa</i> , <i>Furcraea bedinghausii</i>
Bosque denso	7694.19	2.87	<i>Abies religiosa</i>
Bosque denso	7554.06	2.82	<i>Pinus hartwegii</i> , <i>Abies religiosa</i>
Bosque mixto	8242.56	3.08	<i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i>
Bosque mixto	10411.74	3.89	<i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i> , <i>Furcraea bedinghausii</i>
Bosque mixto	1844.37	0.69	<i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i> , <i>Stipa ichu</i>
Bosque mixto	3887.19	1.45	<i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i> , <i>Zea mays</i> , <i>Opuntia streptacantha</i>
Bosque mixto	4736.07	1.77	<i>Pinus hartwegii</i>
Bosque mixto	5517.72	2.06	<i>Pinus hartwegii</i> , <i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i>
Cultivo	22729.41	8.49	<i>Avena sativa</i> , <i>Zea mays</i>
Cultivo	6057.99	2.26	<i>Opuntia streptacantha</i>
Cultivo	56371.95	21.05	<i>Zea mays</i> , <i>Opuntia streptacantha</i>
Pastizal denso	7035.66	2.63	<i>Festuca tolucensis</i>
Pastizal denso	5486.13	2.05	<i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i> , <i>Stipa ichu</i>
Pastizal y bosque mixto	10765.71	4.02	<i>Festuca tolucensis</i>
Pastizal y bosque mixto	12201.84	4.56	<i>Festuca tolucensis</i>
Pastizal y bosque mixto	8705.07	3.25	<i>Festuca tolucensis</i> , <i>Mulhenbergia macroura</i>
Pastizal y bosque mixto	15335.73	5.73	<i>Festuca tolucensis</i> , <i>Mulhenbergia macroura</i>
Pastizal y bosque mixto	5559.84	2.08	<i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i> , <i>Stipa ichu</i> , <i>Furcraea bedinghausii</i>
Pastizal y bosque mixto	6141.42	2.29	<i>Mulhenbergia macroura</i> , <i>Alnus firmifolia</i> , <i>Stipa ichu</i> , <i>Avena sativa</i>
Selva Baja Caducifolia	7465.77	2.79	<i>Bursera</i> spp, <i>Lysiloma divaricata</i> , <i>Ipomoea</i> sp, <i>Stenocereus</i> sp. (Trejo, 1996. a,b)
Cuerpos de Agua	16.2	0.01	Corresponde a las Lagunas de Zempoala y Salazar
Nubes	382.32	0.14	
Sombras de nubes	318.33	0.12	
Urbano	37773.54	14.11	Ciudad de México, Cuernavaca y poblados
Total	267777.09	100.00	

Cuadro 11 Clases presentes en la imagen Landsat, áreas y especies diagnósticas o dominantes según la clase, la repetición del mismo nombre de la clase se debe a que presenta casi la misma vegetación pero va cambiando según la cobertura o la pendiente en que se localiza la clase.

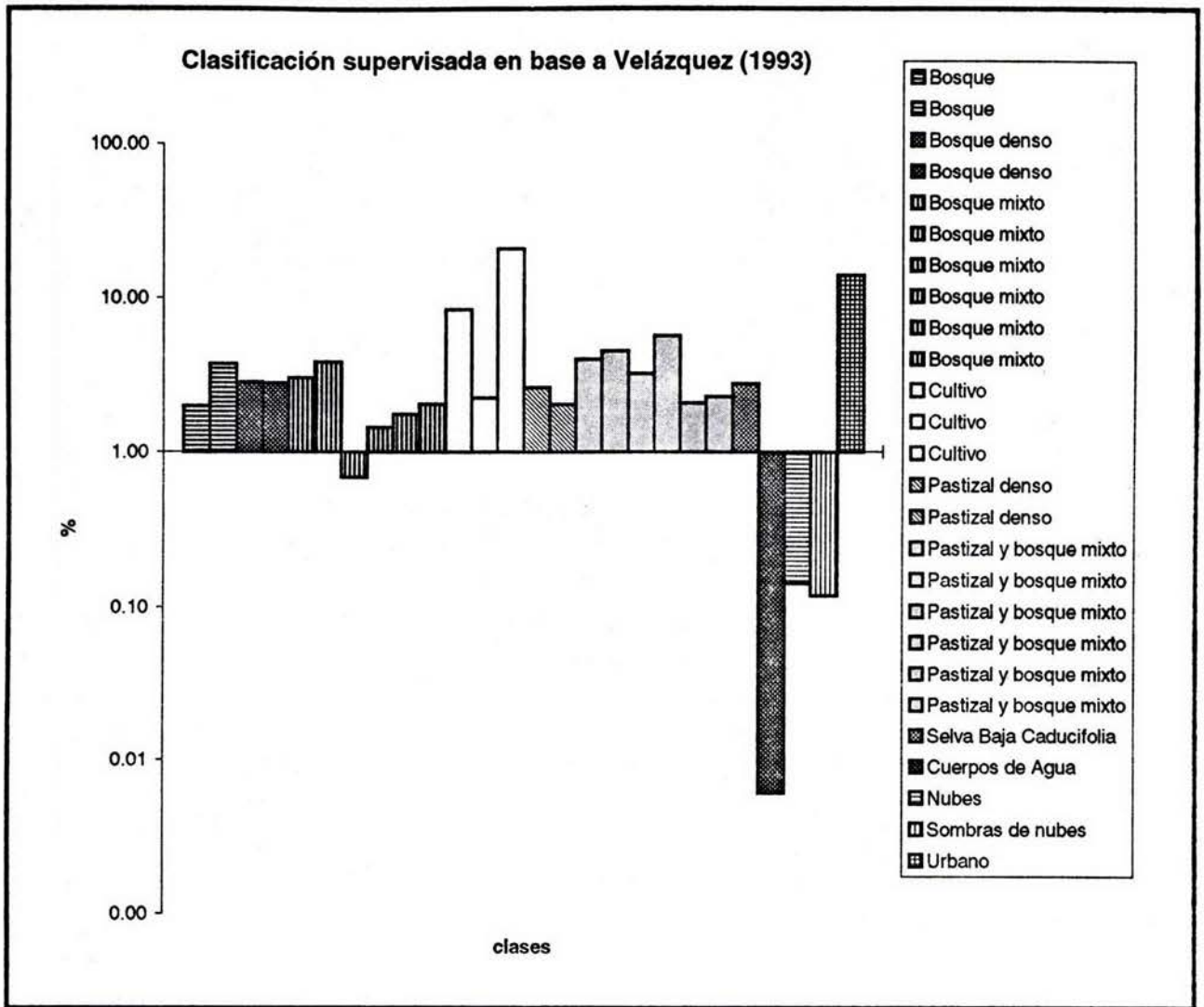


Figura 5 Porcentaje de áreas de cobertura de la imagen Landsat después de la clasificación supervisada según Velázquez (1993); el orden de las barras corresponden al orden del cuadro 11 y el achurado se repite para la misma clase.

6.3 Clasificación supervisada y recodificación (este trabajo)

De la clasificación supervisada para este trabajo se obtuvieron once clases las cuales se definen a continuación y el área que ocupan en la imagen satelitaria de la zona de estudio. Cuadro 12 y Figura 6 y figura 8. Se evaluó la clasificación con una matriz de error para cada una de las clases (Cuadro 10) y de manera global nos da un total del 88.00% de acierto y aplicándole a esta matriz de error el coeficiente Kappa, nos da un valor de 0.8532; este coeficiente expresa la reducción proporcional en el error generado por el proceso de clasificación, comparado con el error de la clasificación. Para este caso el valor global de 0.8532 puede implicar que el proceso de clasificación eliminó el 85% de los errores que la clasificación puede generar (ERDAS, 1994).

Clases	Hectáreas	%	Especies diagnósticas
Bosque	37469.79	13.99	<i>Pinus-Abies-Alnus-Mulhenbergia-Furcraea</i>
Bosque denso	31811.13	11.88	<i>Pinus-Abies</i>
Bosque mixto	20367.45	7.61	<i>Pinus-Alnus-Stipa-Furcraea-Mulhenbergia-Avena-Zea-Opuntia</i>
Cultivos	81439.83	30.41	<i>Avena-Zea-Opuntia</i>
Pastizal denso	15283.08	5.71	<i>Festuca-Mulhenbergia-Alnus-Stipa</i>
Pastizal y bosque mixto	35086.77	13.10	<i>Festuca-Mulhenbergia-Alnus-Stipa-Pinus-Furcraea-Avena</i>
Selva Baja Caducifolia	8123.49	3.03	<i>Bursera, Lysiloma, Ipomoea, Stenocereus</i> (Trejo, 1996. a,b)
Cuerpos de agua	16.2	0.01	Corresponde a las Lagunas de Zempoala y Salazar
Nubes	383.13	0.14	
Sombras de nubes	328.05	0.12	
Urbano	37468.17	13.99	Ciudad de México, Cuernavaca y poblados
Total	267777.1	100	

Cuadro 12 Clases y áreas obtenidas de la imagen de satélite después de haber aplicado la clasificación supervisada y la recodificación.

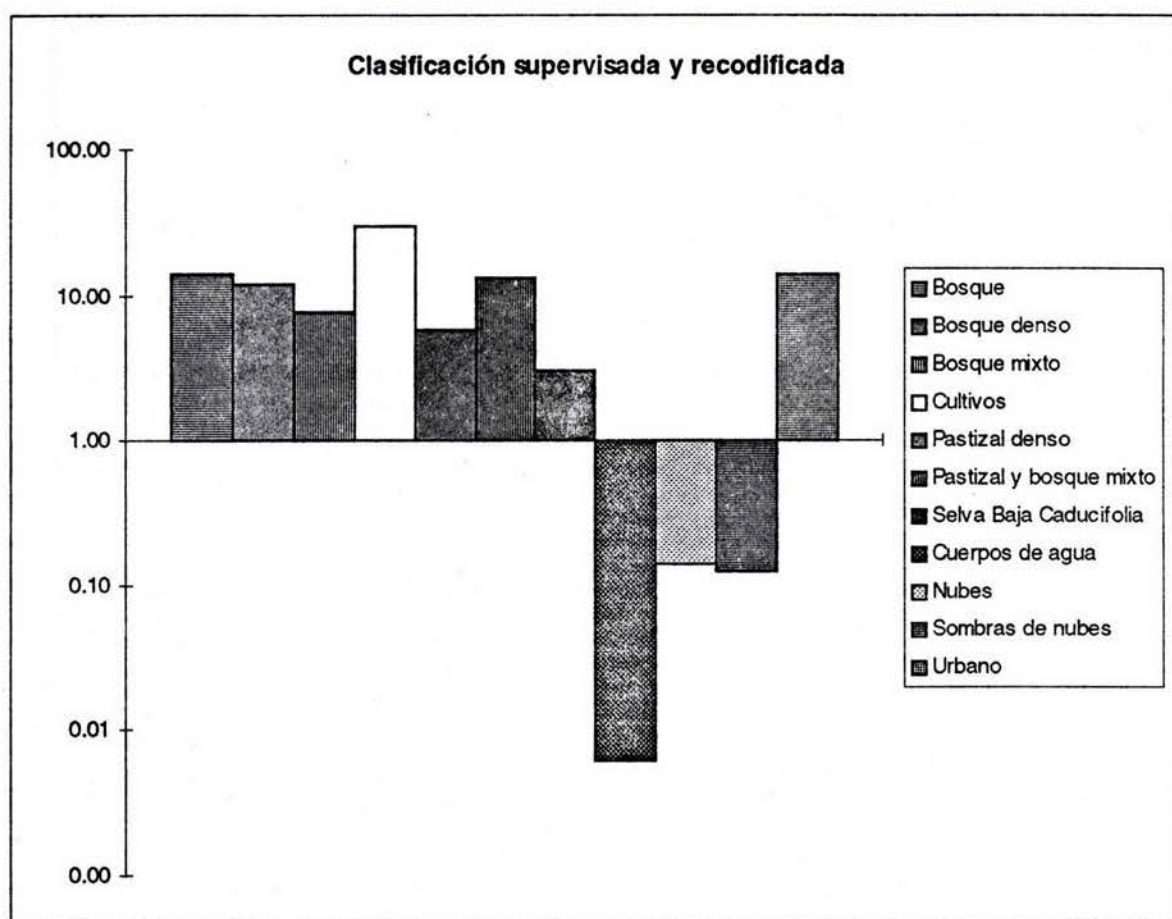


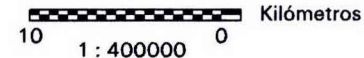
Figura 6 Áreas de cobertura y porcentaje de la imagen Landsat después de la clasificación supervisada y recodificación.

SISTEMA DE PROYECCIÓN:

Esferoide de Clarke 1866
 Proyección U.T.M.
 Cuadrícula cada 10,000 m.
 Datum Horizontal NAD27 (México)
 Zona U.T.M. 14

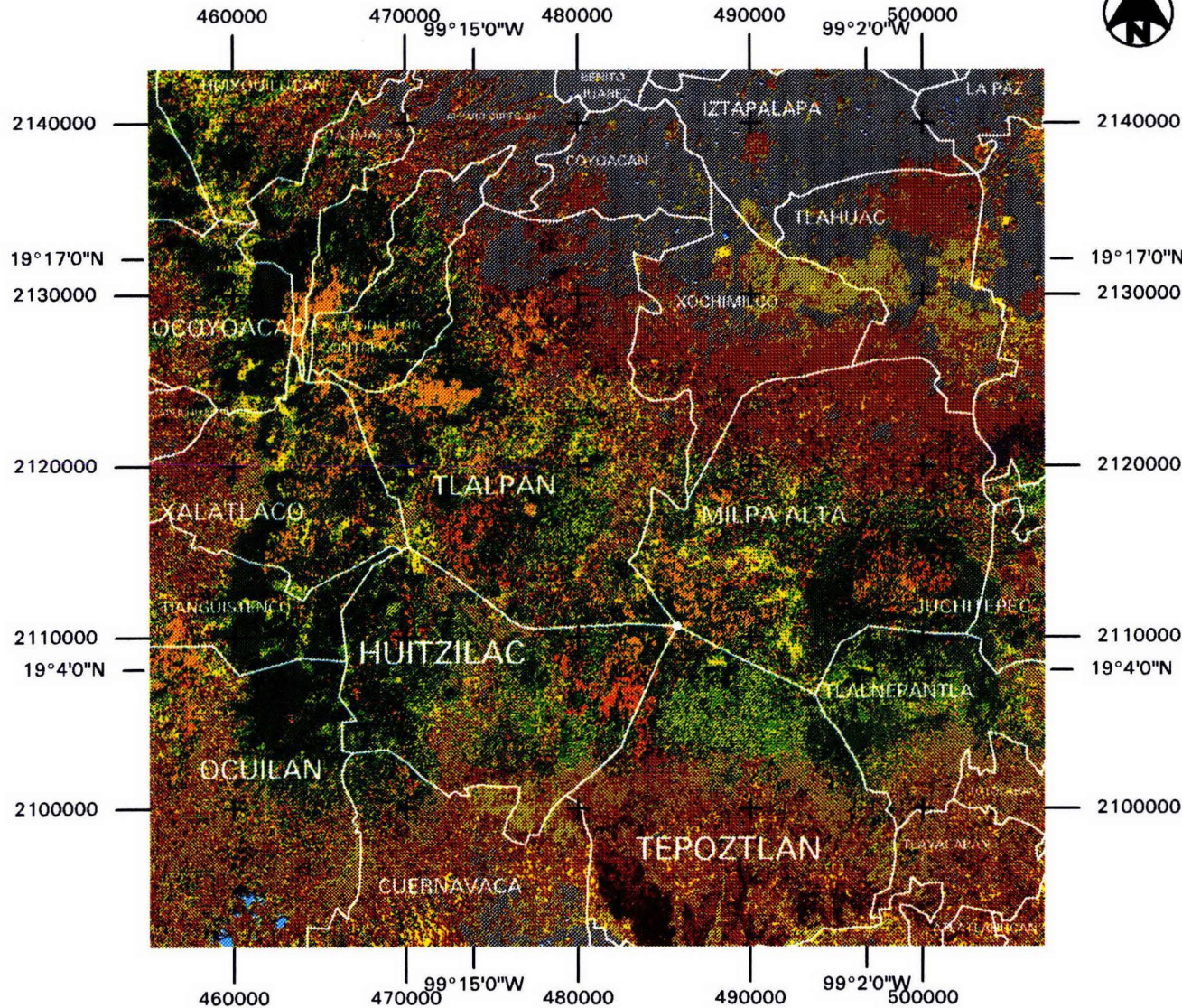
Fuente original: Imagen Landsat TM;
 Instituto de Geografía, U.N.A.M.
 Fecha de toma: Octubre de 1991

Escala



Legend

- Bosque (Abies-Mulhenbergia-Alnus)
- Bosque (Pinus-Mulhenbergia-Alnus)
- Bosque denso (Abies religiosa)
- Bosque denso (P. hartwegii-A. religiosa)
- Bosque mixto (Mulhenbergia-Alnus)
- Bosque mixto (Mulhenbergia-Alnus)
- Bosque mixto (Mulhenbergia-Alnus-Stipa)
- Bosque mixto (Mulhenbergia-Alnus-Zea)
- Bosque mixto (Pinus hartwegii)
- Bosque mixto (Pinus-Mulhenbergia-Alnus)
- Cultivo (Avena sativa-Zea mays)
- Cultivo (Opuntia streptacantha)
- Cultivo (Zea mays-Opuntia)
- Pastizal denso (Festuca)
- Pastizal denso (Mulhenbergia-Alnus)
- Pastizal y bosque mixto (Mulhenbergia)
- Pastizal y bosque mixto (Festuca-Mulhenbergia)
- Pastizal y bosque mixto (Festuca-Mulhenbergia)
- Pastizal y bosque mixto (Festuca)
- Pastizal y bosque mixto (Festuca)
- Pastizal y bosque mixto (Mulhenbergia)
- Selva Baja Caducifolia
- Cuerpos de agua
- Nubes
- Sombras de nubes
- Urbano
- Autopista
- Límites Administrativos (Estado, Municipio y Delegación)



**Figura 7 MAPA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA EN BASE A VELÁZQUEZ (1993)
 ZONA SUR DE LA CUENCA DE MÉXICO**

Elaboró: Mardocheo Palma Muñoz

6.4 Mapa temático

Como resultado del trabajo efectuado en el punto 9 del método, se obtuvieron los siguientes resultados:

Para la realización del diagnóstico corológico actual de las áreas protegidas y sus áreas circundantes se procedió a la búsqueda de los decretos de las áreas protegidas de nuestro interés publicadas en los diarios oficiales de la federación; después de recabar y transferir la información se identificó una situación que es generalizada prácticamente para toda el área en cuestión.

Esta se refiere a la falta de un catastro que permita identificar la propiedad legal de cada uno de los predios incluidos en la región. De esta forma se podría aproximar a una delimitación de las áreas naturales protegidas legalmente; en la imagen se reconocieron *ca.* de 112,000 hectáreas.

En la evaluación de fragmentación se utilizaron los datos y mapas del estudio de Stelma (1995); que se utilizaron para el reconocimiento forestal y esto fue necesario para corroborar las áreas potenciales de corredores conectivos entre las áreas protegidas y las posibles áreas a restaurarse.

Para realizar el modelo de corredores naturales entre áreas naturales potenciales y áreas protegidas se consideró imprescindible contar con un análisis detallado sobre la distribución espacial de las áreas urbanas y conurbadas que se insertan dentro del área de estudio. Esto se realizó a partir de un análisis preliminar de la imagen de satélite (Landsat TM).

En la obtención de los corredores potenciales fue necesario contar con la información obtenida del párrafo anterior desplegada también sobre la imagen. Para esto se efectuó el siguiente procedimiento: primero se utilizó la imagen base con varias capas vectoriales. Sobre la primera capa se identificaron las áreas que se encuentran principalmente dominadas por centros urbanos, una segunda capa el cual se transfirió la distribución corológica de las áreas protegidas y reservas forestales. A continuación se procedió a identificar las áreas que podrían ser considerados corredores potenciales. Estos corredores representan un área de *ca.* de 43,000 hectáreas.

La definición de estas áreas se basó en la delimitación de las zonas con una marcada cobertura forestal de acuerdo a la imagen. De este proceso de regionalización se obtuvo una capa de "Corredores Potenciales". La característica de esta capa es que se detectaron dos corredores:

1. Que conecta las áreas protegidas Parque cultural y Recreativo Desierto de los Leones, Parque Nacional Miguel Hidalgo "La Marquesa", Parque Nacional Ajusco y Parque Nacional Lagunas de Zempoala;
2. Que conecta el Parque Nacional Tepozteco, Corredor Biológico Ajusco - Chichinautzin y a las reservas forestales de los volcanes Tlaloc y Pelado (SEMARNAP, 1995).

Es importante recalcar que la única zona de conexión entre las regiones del noroeste y del sureste está representada por el volcán Pelado. Este volcán, no obstante está sujeto a un cambio de suelo muy acelerado transformándose de áreas forestales a zonas agrícolas e industrial (ver figura 9).

Por otra parte para lograr identificar las zonas que potencialmente podrían ser sujetas a un programa de restauración ecológica, se procedió a identificar sobre la imagen las áreas que cubrieran los siguientes requisitos:

1. Estar alteradas, ya sea por deforestación, quema, etc;
2. Vocación de suelo apto para recuperación forestal o zacatonal;
3. Estar situada de manera contigua a los corredores potenciales o áreas protegidas;
4. Excluir áreas de intensa demanda y conflicto por causas como problemas en cuanto al uso del suelo, legislación o fuerte demanda para convertirse en área urbana.

Bajo estas premisas se localizaron tres tipos de zonas que podrían ser restauradas en un sentido ecológico, suelos de vocación forestal y los de vocación para zacatonales. De aquí se obtiene la capa de “Áreas Potenciales de Restauración Ecológica” en donde se presenta la distribución espacial de dichas áreas que cubren *ca.* de 22,000 hectáreas.

La elaboración del plan de manejo propuesto se fundamentó en la integración de cada uno de los resultados parciales obtenidos. El escenario legal sobre tenencia de la tierra es muy difícil de realizar debido a que existen muchos intereses tanto, privados, ejidales, como comunales que oscurecen dicho panorama.

Las múltiples propuestas de desarrollo urbano sobre la región, tales como la supercarretera que conectará Toluca con Cuernavaca, la fábrica de asfalto ubicada en el poblado de Parres, la creación de un centro recreativo en la zona de Contreras, entre otras, motivaron a desarrollar una propuesta que pretende salvaguardar y recuperar la mayor parte de las unidades que presentan un potencial apto para realizar actividades de producción rural de manera sustentable sin pasar a la categoría de zonas urbanas. Ver figura 9.

6.5 Propuesta de Plan de Manejo

La propuesta de plan de manejo incluye cinco tipos de unidades:

1. Asentamientos humanos. Áreas que predominantemente son dependientes de las actividades urbanas para su subsistencia. El principal insumo financiero se deriva de actividades tales como trabajos realizados en la Ciudad de México, Cuernavaca y Toluca.
2. Áreas Protegidas. Zonas que por algún decreto están amparadas para ser protegidas.
3. Corredores potenciales. Aquí se incluyen aquellas zonas que por su condición forestal y su situación geográfica podrían conectar las áreas protegidas.
4. Áreas potenciales de restauración ecológica. En éstas se distinguen dos tipos principalmente, aquellas en donde los suelos son de vocación predominantemente forestal y aquellas donde los zacatonales serían favorecidos.
5. Áreas de amortiguamiento. Zonas que están bajo fuertes presiones sociales para convertirse en parte de los centros urbanos y que por su condición edafológica y vegetal no pueden ser fácilmente restauradas. Aquí se incluyen las áreas de cultivo, su inclusión en la propuesta obedece a tener áreas que permitan el desarrollo de una gran cantidad de actividades productivas, educativas y de recreación; además de que se promueva el no cambio al uso del suelo para evitar mayores presiones sobre la vegetación natural. Ver cuadro 11 y figura 9.

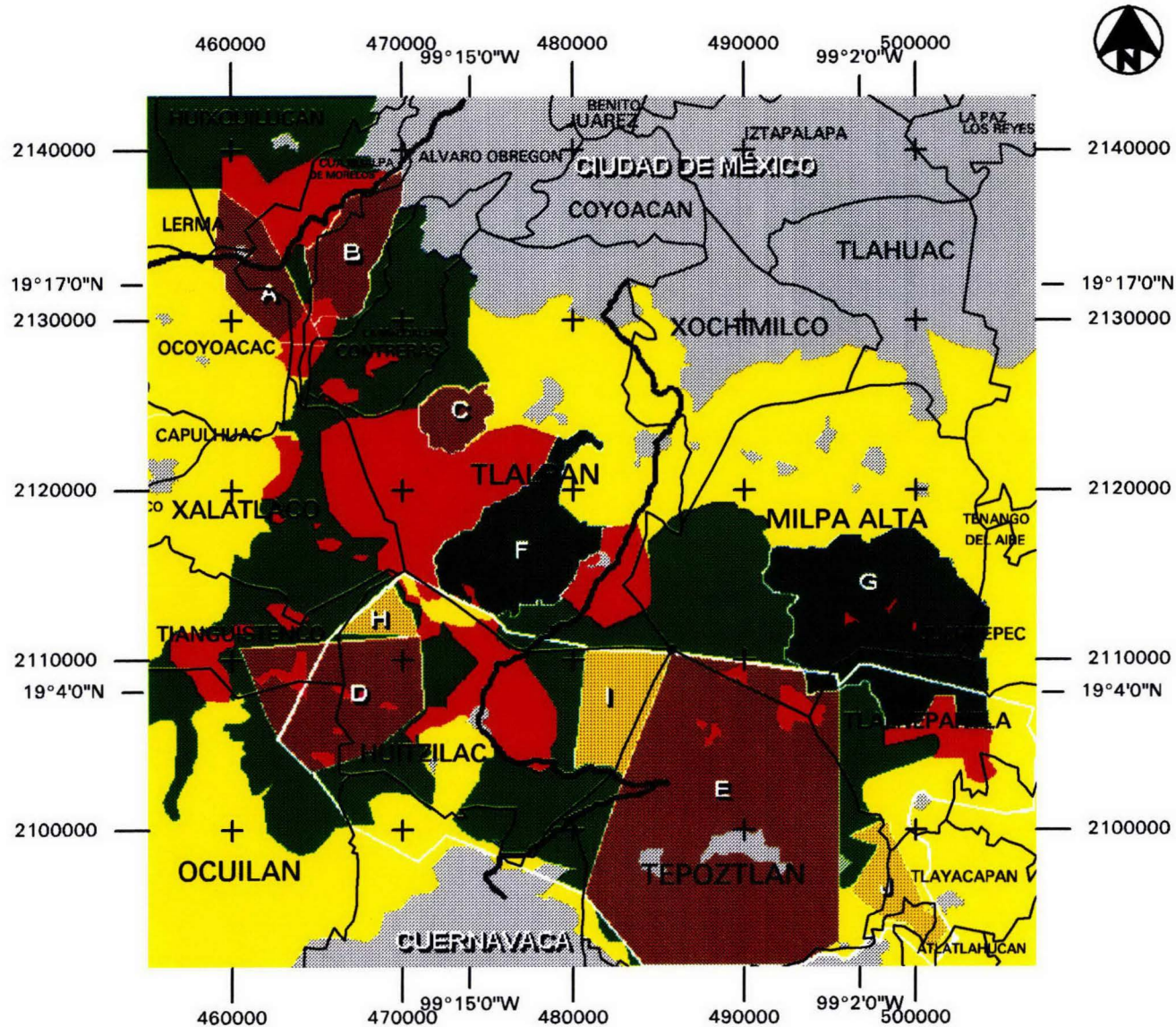


Figura 9 MAPA TEMÁTICO ZONA SUR DE LA CUENCA DE MÉXICO

SIMBOLOGÍA

PARQUES NACIONALES

- A = M. Hidalgo "La Marquesa"
- B = Desierto de los Leones
- C = Ajusco
- D = Lagunas de Zempoala
- E = El Tepozteco

RESERVAS FORESTALES

- F = Volcán Pelado
- G = Volcán Tlaloc

CORREDOR BIOLÓGICO AJUSCO CHICHINAUTZIN (Línea gruesa en color blanco)

ZONAS NÚCLEO

- H = Chalchihuites
- I = Chichinautzin-Quiahuistepac
- J = Las Mariposas

SISTEMA DE PROYECCIÓN:

Esferoide de Clarke 1866
Proyección U.T.M.
Cuadrícula cada 10,000 m.
Datum Horizontal NAD27 (México)
Zona U.T.M. 14

Fuente original: Imagen Landsat TM;
Instituto de Geografía, U.N.A.M.
Fecha de toma: Octubre de 1991



- Urbano y Poblados
- Agricultura
- Zonas núcleo
- Corredores potenciales
- Reservas Forestales
- Restauración
- Parques Nacionales
- Autopista
- Limites Administrativos (Estado, Municipio y Delegación)

Elaboró: Mardocheo Palma Muñoz

Restauración	Urbano	Parques Nacionales	Corredor Biológico	Corredores Potenciales	Agricultura
22026.8207	61620.86	35037.01	76884.75	42888.755	97998.26

Cuadro 11 Áreas evaluadas de los polígonos creados en base a la imagen clasificada. Estas áreas nos indican su cobertura dentro de la misma.

Debe recordarse que durante este estudio se realizaron dos salidas al campo. Durante éstas no fue posible verificar todas áreas deseadas ya que gran parte del trabajo se abocó a la verificación de zonas de confusión en las imágenes clasificadas. Por otro lado, debe considerarse la escala de trabajo sobre la cual se elaboró la propuesta de manejo (ca. 1: 400,000); con este nivel de resolución los límites de las fronteras entre cada unidad no son más precisos de ± 800 m ya que la línea de dibujo (ca. un milímetro) equivale a 400 m sobre el terreno. Con estos elementos se da de manera enfática el carácter preliminar de dicha propuesta.

Para la simulación preliminar del manejo integral propuesto se fundamentó en la integración de cada uno de los resultados parciales obtenidos por una parte, y por otra considerando una posición pesimista, ya que actualmente la presión ejercida por la mancha urbana que tiene la zona natural de nuestra área de estudio, es totalmente incontrolada.

6.6 Algunas alternativas para el Plan de Manejo

La presentación de estas alternativas es de alguna manera una forma en la que pueden incrementar el valor agregado de cada una de las unidades definidas en el plan de manejo; se enlistan algunas sugerencias, aunque el presente trabajo no pretende describir en detalle todas las opciones de manejo.

1. La preservación del bosque, y aún su enriquecimiento, sólo será posible mediante un programa que comprenda actividades que hagan posible que la silvicultura reditúe más de lo que rinde actualmente; que favorezca, asimismo, la transformación de las actividades agropecuarias practicadas actualmente en la zona, que estimule la creación de servicios y atractivos para los paseantes de las zonas urbanas y que, además regule la ocupación urbana de la zona.
2. La posibilidad de que la silvicultura rinda mucho más de lo que produce actualmente, al incrementar el valor agregado, estriba fundamentalmente en dos medidas: Que los árboles sean empleados para producir tabla, chapa y aglomerados, además de celulosa para papel (utilizando toda la madera que se extrae actualmente por saneamiento), y que la madera sea transformada en productos en que habitan los propietarios del bosque. Esto, en virtud de que el cultivo del bosque por sí sólo, por redituable que sea, dado el tiempo que se necesita para el crecimiento de los árboles hasta que éstos alcancen la edad maderable, no lograría ser una actividad lo suficientemente atractiva para los comuneros y ejidatarios a menos que se implemente un plan de manejo conveniente para ello o, alguna estrategia de pago por conservar las zonas naturales en las que viven.
3. El programa agrícola debe hacerse atendiendo las condiciones topográficas, edafológicas y climáticas de la zona natural, las cuales pueden dar lugar a cultivos más aptos y generosos que los que actualmente se practican y que, sobre todo, pueden desarrollarse en pequeñas áreas. Se debe atender a tres criterios principales: por un parte, la existencia de temperaturas muy bajas que conducen a la elección de cultivos que requieren de la acumulación de muchas horas

de frío y por último, que sean también de muy alta rentabilidad y que tengan como destino el mercado metropolitano.

4. El programa de desarrollo pecuario debe consistir básicamente en sustituir la población de ganado ovino que actualmente hay en la zona, por otros ovinos de mayor rendimiento y mayor registro, cumpliendo al mismo tiempo con la meta de disminuir la carga que el ganado actualmente ejerce sobre el bosque, mediante la instalación de praderas artificiales bien delimitadas, en las cuales pueda pastar y obtener forrajes.
5. El programa de desarrollo recreativo consiste básicamente en aprovechar los recursos ya existentes y crear otros nuevos, con el propósito de incrementar el volumen de paseantes para beneficiar a los habitantes de la zona, quienes aprovecharán una infraestructura adecuada, creada con el propósito de incrementar el gasto de los paseantes en la zona.
6. En cuanto al desarrollo urbano, independientemente de las políticas que se sigan para impedir la destrucción directa del bosque por una urbanización caótica e incontrolada, deberán preverse medidas encaminadas a controlar su extensión.
7. Todo esto será posible, si se tiene en consideración que en los alrededores del bosque existen los mayores recursos tecnológicos y de asistencia de que se dispone en el país para cualquier género de desarrollo, y que se cuenta con instituciones y otros recursos educativos para capacitar a la población del bosque en estos géneros de producción.
8. Finalmente, la zona natural ya dispone de una de las mejores infraestructuras en cuanto a comunicaciones se refiere, y está envuelta y a muy corta distancia por el más grande mercado del país. En tal virtud, se considera factible planear, para la preservación del bosque, un programa que, al fincarse principalmente en el incremento sustancial de los empleos y de la derrama económica entre los propietarios y habitantes del mismo, los estimule para amarlo y protegerlo.

Como un resultado complementario se incluye en detalle el tipo de unidades ambientales. Todos los mapas generados de esta tarea de modelado espacial se incluyen en una base de datos en un formato "TIF" para facilitar su despliegue e impresión. La elaboración original se realizó con la ayuda del paquete "ILWIS" versión 1.4. (Anexo I).

7. Discusión

7.1 El problema

La zona sur de la cuenca de México, ha venido siendo víctima de un uso tan irracional que, de acuerdo con los estudios hechos hasta ahora, y con los cálculos previsibles del proceso de deforestación que sufre, es de temerse que para el año 2000 ya no cuente sino con menos de la mitad del área boscosa que tenía en 1950, y sólo queden arboladas las puntas de los cerros y las zonas más inaccesibles. Todo esto sin tomar en cuenta que ya para 1950 la zona sur de la Cuenca de México, que tiene una extensión total de aproximadamente 200,000 hectáreas, había visto reducida su área boscosa a tan sólo 100,000 hectáreas.

1. Lo que sucede aquí es que es una de las zonas boscosas más bellas del país y que incluye en su área los parques nacionales Miguel Hidalgo, Desierto de los Leones, Ajusco, el Corredor Biológico Ajusco - Chichinautzin que incluye en parte o su totalidad a las Lagunas de Zempoala y Tepozteco, debe obligar a la reflexión acerca de lo que está ocurriendo en toda la geografía del país crecientemente erosionada, y debe comprometer en la batalla contra todo aquello que contribuya a la ruptura del equilibrio ecológico. La zona de estudio colinda con los valles de la Ciudad de México, de Cuernavaca y Xalatlaco. El área natural que lo comprende se extiende sobre territorios del Distrito Federal y de los Estados de México y Morelos; por eso, por su extraordinaria belleza natural y por su colindancia con zonas urbanas urgidas de recreación campestre, su cuidadosa conservación constituye una tarea inaplazable.

2. La zona sur de la Cuenca de México es una de las áreas más lluviosas del centro del país, ya que tiene precipitaciones que oscilan entre los 1,200 y los 1,500 centímetros cúbicos anuales. Esta sierra constituye un área de recarga de los acuíferos de los valles de México, Toluca y Morelos, ello se debe a su formación basáltica que permite una gran permeabilidad del agua. Aunque los bosques no influyen directamente en el volumen de las lluvias, su existencia si es, en cambio, determinante en el comportamiento que tiene el agua una vez cae al suelo. Las zonas boscosas permiten que alrededor del 85% del agua de lluvia sea absorbida por la tierra, de tal suerte que en la medida que la vegetación disminuye, especialmente si se trata de terrenos en pendiente, el volumen del agua que penetra a las capas inferiores también disminuye, y aumenta, en cambio, el agua que escurre y baja en torrentes hacia las zonas planas. Esto trae como consecuencia una enorme erosión en el suelo de las lomas y una explicable acumulación de tierras sueltas en los valles y planicies.

Por todo lo anterior se advierte que el bosque de la zona de estudio, no sólo es importante para quienes poseen sus tierras y para quienes lo explotan, sino también para los habitantes de las zonas aledañas, que aprovechan el agua de sus acuíferos y de los manantiales que la sierra origina, indispensables para la agricultura de los valles, para la vida urbana y para la industria; todo lo cual sufriría serias e irreparables consecuencias, con la desaparición de este bosque.

Como ocurre en la mayor parte de las superficies boscosas del país, sus propietarios, ya sean comuneros o ejidatarios, aprovechan la menor oportunidad que se les presenta para extender las áreas dedicadas a la agricultura y la ganadería, en detrimento de una riqueza silvícola que no les rinde el beneficio que debiera.

En el fondo, ahí está una de las múltiples causas del exterminio de nuestros bosques que obedece a múltiples razones económicas y humanas, que mucho tienen que ver con los sistemas usados

para su explotación. Esto explica que los habitantes de la sierra hayan perdido gran parte de su interés por proteger al bosque.

El dinero que pueden obtener en el bosque por derecho de monte y mano de obra es insuficiente para satisfacer las necesidades de los numerosos propietarios y trabajadores que habitan en la sierra. Por eso, si se piensa que el pastoreo y las labores agrícolas con todo y sus pobres rendimientos en esta zona reditúan entre 6 y 15 veces más dinero por hectárea que lo que les produce el bosque, resulta muy explicable que los propietarios opten por estas últimas actividades y vean con malos ojos, y hasta procuren estorbar, una reforestación que a sus ojos no representa sino el riesgo de una reducción de sus áreas de trabajo agropecuario.

Una de las principales fuentes de ingreso para los habitantes de la sierra, está constituida por la crianza de ganado caprino y lanar que es mantenido pastando libremente tanto en las praderas como en los bosques. Como esta actividad es incompatible con la explotación forestal debido a los daños que causa a los renuevos y a la población natural del bosque, es necesario implementar mejoras en las técnicas para un mejor aprovechamiento.

Pero no son únicamente los animales, que se comen los renuevos y descortezan los árboles, los que atacan al bosque y lo destruyen, ya que, precisamente para conservar viva la actividad del pastoreo, es el hombre el que juega en ello un papel doblemente destructor, una parte muy importante en la dieta de los animales está constituida por los brotes de varias especies de zacates nativos que dejan de interesarle cuando, al final de la temporada de estiaje, se han tornado en paja seca y dura. Entonces es cuando interviene el hombre, que quema grandes extensiones de pastizal para facilitar el brote de los retoños tiernos que serán alimento de cabras y ovejas; entonces es también cuando se originan los incendios que rebasan los límites previstos, y que se propagan con gran fuerza destruyendo extensas áreas boscosas.

Gran parte de las zonas deforestadas para ser convertidas en pastizales son posteriormente empleadas en la agricultura; actualmente una gran parte del área de la zona de estudio está dedicada a esta última labor.

Un gran porcentaje de los árboles de la zona sur de la Cuenca de México muestran que han sufrido algún daño: la mayor parte provocada por el ocoteo que se advierte en un alto porcentaje de los mismos y en menor proporción por el calado que se lleva a cabo en ellos con miras a su posterior derribo, marca ésta que se advierte en una menor proporción de los árboles. En realidad, el menor de los daños es el causado por plagas naturales como los insectos, el muérdago o los hongos, lo que demuestra que es el hombre el principal causante del mal estado de los árboles del bosque.

Aledañas a la zona de estudio están la ciudad de México, la de Cuernavaca y la de Toluca, con su extensa zona conurbada además de una gran cantidad de pequeñas localidades situadas, en su mayoría en las faldas de la sierra. Todas ellas han estado sujetas, desde hace algunas décadas, a un constante y acelerado crecimiento demográfico.

Es muy probable que para el año 2000 habiten alrededor de la zona sur de la Cuenca de México entre 25 y 30 millones de personas. Esta población contribuirá en parte a la densificación y hasta la completa saturación de las zonas urbanas ya existentes, pero, fundamentalmente, requerirá de nuevas áreas para su asentamiento.

Con el desarrollo indispensable de éstas, es de preverse que para el año 2000 la sierra estará prácticamente bordeada de zonas residenciales por el norte, el sur y el oriente y que las ciudades de México y Cuernavaca empezarán a conurbarse a lo largo de las carreteras que las unen. De no preverse, limitarse y ordenarse este desarrollo urbano, lo más grave será la forma caótica en que acontecerá, tal como ya ha venido sucediendo en zonas ejidales y comunales, donde la presión demográfica de las ciudades ha provocado un desarrollo urbano desordenado e ilícito ya que se efectúa en tierras en donde legalmente no debe hacerse.

Es obvio que el bosque de la zona será todavía más necesario para la gran urbe de 30 millones de habitantes, que lo que es hoy para la población que habita en los valles y planicies que lo rodean. La gran región urbana México - Toluca - Cuernavaca, precisará con mayor urgencia de los mantos acuíferos que el bosque provee, del formidable pulmón reconstituidor de la pureza del aire que entonces puede formar y de la gran zona verde de esparcimiento urbano que es actualmente.

Es muy probable que si en este bosque continúa el proceso de destrucción que ahora se está manifestando, para entonces tenga que ser reconstruido urgentemente y dentro de un marco donde, para poder lograrlo, las actuales dificultades se habrán multiplicado muchas veces.

7.2 El método

7.2.1 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG's) y la Percepción remota

Dentro de la metodología y las herramientas usadas se presenta una definición simple: *un SIG es un poderoso grupo de herramientas para la colecta, almacenamiento, recuperación, transformación y despliegue de datos espaciales del mundo real para un determinado grupo de objetivos.* (Jhonson, 1993).

El proceso de hacer mapas evoca imágenes de hojas de mapas y de utensilios de dibujo, los mapas son vistos como un medio análogo compuesto de líneas, colores, y símbolos que son creados manualmente y analizados. Este análisis manual es difícil y ofrece limitantes en sus capacidades, el objetivo del proceso análogo es primeramente descriptivo, dibujando la ocurrencia y distribución de las características.

Más recientemente, el análisis de los datos de un mapa han venido hacer la parte integral de la planeación de los recursos y del suelo. En los 1960's los procedimientos manuales de sobreposición de mapas era muy popular. Estas técnicas marcaron un cambio en el uso de los mapas, de uno en el que se enfatizaba la descripción física o del espacio geográfico, a una caracterización espacial apropiada para acciones de manejo, este cambio de mapas descriptivos a mapas establecidos fue el inicio del moderno análisis de mapas asistido por computadora.

El promedio de la medición de áreas, de valores típicos de muchas parcelas se usa para caracterizar estadísticamente un área de estudio completa; los mapas actualmente indican los detalles de la variación espacial. Las técnicas cartográficas manuales permiten la manipulación de estos datos detallados; pero aún ellos están limitados fundamentalmente por su naturaleza no digital. Las estadísticas tradicionales y las matemáticas son digitales, están fundamentalmente limitados por la generalización de los datos. Esta dicotomía nos ha llevado a los conceptos revolucionarios de la estructura de mapas, contenido y uso, iniciando así la tecnología del sistema de información geográfica (SIG).

Esto cambia radicalmente nuestra perspectiva. Los mapas se han ido transformando de imágenes análogas, describiendo la localización de las características, hacia mapas digitales con datos, cuantificando un sistema físico, social o económico en términos establecidos (August, 1993).

La representación digital almacenada de los mapas en un SIG tiene una variación en términos cuantitativos. Así, el promedio y la varianza es la unión conceptual entre datos espaciales y no espaciales. El promedio de la estadística tradicional reduce la complejidad del espacio geográfico a un simple valor. Las estadísticas espaciales retienen esta complejidad como un mapa de la variación en los datos (August, 1993).

En el análisis de mapas asistidos por computadora todos los mapas son vistos como un grupo organizado de números. Estos números tienen un significado numérico, así como sus consideraciones de su posición espacial convencional, tal como la escala o su proyección. Este es el atributo numérico de los mapas SIG que llevan al concepto de "álgebra de mapas". Por ejemplo, la primera derivación de la elevación de la superficie en la figura crea un mapa de pendientes (donde la elevación esta cambiando). La segunda derivación crea un mapa del relieve del terreno (donde la pendiente esta cambiando). Un mapa del aspecto (orientación azimutal) indica la dirección de la pendiente del terreno en cada parcela (Johnson, 1993).

Pero que pasa si la superficie no esta mostrando la elevación. Así se puede mostrar en el mapa la concentración de una variable ambiental, tales como la temperatura de los lagos, o las concentraciones de plomo en el suelo.

Este tratamiento cuantitativo de los mapas es lo que lleva a la tecnología del SIG más allá de los mapas tradicionales y de las aplicaciones de las bases de datos espaciales en mapas. Esto nos lleva a conceptos revolucionarios, tales como las implicaciones de la estructura de datos, el error de evaluación, la medición de la distancia efectiva, estableciendo patrones óptimos y conectividad visual, interpolación espacial, y la unión entre datos espaciales y no espaciales. El origen de estas nuevas capacidades analíticas es la naturaleza digital de los mapas de un SIG (August, 1993).

7.2.2 Objetivos de un SIG

El objetivo principal de un sistema de información geográfica es el procesamiento de la información espacial y debe poder realizar las siguientes funciones:

1. La creación de abstracciones digitales del paisaje (codificar)
2. Eficiencia en el manejo de los datos (capacidad de almacenaje)
3. Desarrollo de nuevas ideas dentro de las relaciones de variables espaciales (análisis)
4. Creación de resultados "compatibles con el hombre" de estas relaciones (despliegues y/o mapas)

La mejor estructura de datos depende de la naturaleza de los datos usados en el análisis, y en las herramientas analíticas requeridas por la aplicación.

Durante los últimos 20 años, las ciencias biológicas y ambientales han experimentado una revolución en la manera de adquirir datos y de analizarlos. Esto está a la par en los avances tecnológicos en computación y comunicaciones, que han permitido el análisis más rápido de bases de datos más grandes y más complejas. Los sistemas de información geográfica (SIG's), también se han visto beneficiados por esta tendencia, la cual reduce el tiempo de procesamiento, mejorando las interfase entre el usuarios y los algoritmos estadísticos y analíticos.

Cuando la cantidad de herramientas accesibles en los SIG's se incrementó, la tecnología del posicionamiento global aparece (GPS's) (August, 1993), y permite a los investigadores referir geográficamente sus sitios de muestreo, de una manera más precisa en el campo, las medidas cuantitativas y el análisis espacial se hizo más fácil. También permitiendo el cuantificar fenómenos espaciales y temporales en el paisaje, o también a una escala global (Johnston and Naiman, 1990a). El resultado es la gran aceptación de los SIG's como una herramienta invaluable para la ecología (Johnson, 1990).

Hasta hace poco, los ecólogos tenían que ignorar la heterogeneidad espacial y temporal, por la falta de herramientas para el manejo y almacenaje de datos, así como los métodos analíticos necesarios para acomodar el volumen de datos que tendrían que ser colectados para representar un ecosistema complejo. La tecnología moderna de la computación, los SIG's, y los algoritmos de estadística espacial o geoestadística, ahora permiten evaluar cuantitativamente en este tipo de sistemas, a través de grandes escalas espaciales.

En los análisis del paisaje, la opción de escala (*v. gr.*, el tamaño del área de estudio) y la resolución (*v. gr.*, el nivel de detalle) de los datos, frecuentemente requiere algún nivel de compromiso basado en la capacidad de manejo de los datos por la computadora y los programas de aplicación, más que los requerimientos del proyecto.

El tamaño de las unidades de almacenaje (discos duros, cintas, etc.) y la velocidad de procesamiento, son en si una barrera sustancial para un análisis a una escala fina de los datos sobre grandes regiones, a pesar de los adelantos en la tecnología de la computación.

Los sistemas de información geográfica, son renombrados por su capacidad de sobreponer capas de datos referidos geográficamente (mapas temáticos); sin embargo, la escala y la resolución de los datos son consideraciones importantes cuando se realizan estas operaciones (August, 1993). La escala y la resolución deben corresponder a las bases de datos originales y lo más cercano posible con otras bases, si no, lo que podría suceder es tener conclusiones inapropiadas muy fácilmente. Evaluando la integridad de los datos (incluyendo los de posición, así como la precisión de las clasificaciones) de cada capa, podemos determinar y aceptar el margen de error inherente de los datos resultantes.

Además de la escala y la resolución de los datos, se necesita considerar como están representados en un ambiente del SIG. El modelo de datos, ya sea raster (píxeles o retículas) o vectorial (líneas o polígonos), se implementa realísticamente por el investigador en el sistema, más que de factores tales como el tipo o su origen, el tipo de hipótesis a comprobar o capacidad de almacenaje del sistema.

Los algoritmos de clasificación están basados en diferentes reglas de decisión, tal como la clasificación mayoritaria o la clasificación basada en un punto arbitrario, tal como el centro de una celda. Se puede evitar la introducción de errores incontrolables en los datos, por el conocimiento de como operan estos algoritmos en nuestros datos.

Es apropiado (y ahorra tiempo) probar algunas hipótesis usando datos vectoriales y otros con datos raster (Berry, 1993); sin embargo se introducen menos errores si nosotros capturamos nuestros datos inicialmente como vectores, en lugar de rasterizados.

Desde que la mayoría de sistemas vectoriales integran un sistema para el manejo de una base de datos, este nos da una ventaja para asignar atributos múltiples a cada característica, en lugar de tener un solo atributo para cada celda.

7.3 El ambiente

7.3.1 Aplicaciones ecológicas

El uso del SIG en la ecología se ha enfocado en la caracterización general de los datos espaciales, tales como la distancia, el área y el volumen, la intersección de bases de datos georeferidos, los análisis de proximidad espacial, y la integración con modelos (Johnson, 1990).

Los ecólogos frecuentemente obtienen datos en localidades discretas en patrones a través del área de estudio: temperatura, luz, producción, densidad. Estas observaciones o medidas son extrapoladas entre los sitios de muestreo para determinar patrones a través de toda la zona de estudio. Los resultados son frecuentemente descritos gráficamente como una superficie, en donde un valor *Z* o altura representa una medición o la predicción de un valor. Una gran variedad de técnicas de interpolación pueden usarse para describir estas superficies, incluyendo el análisis de la tendencia de superficie, el análisis Fourier y el promedio de movimiento (Berry, 1993).

Los mapas creados con imágenes de satélite y radiotelemetría, así como mapas temáticos, pueden ser mezclados con las técnicas de sobreposición en un SIG.

7.3.2 Análisis espacial

Una vez creadas las bases de datos espaciales y vinculadas usando operaciones de sobreposición, un amplio rango de problemas ecológicos pueden ser direccionados y depender de una pregunta central, ¿cómo las características pueden estar relacionadas tanto en el tiempo como en el espacio? (Johnson, 1990). Dado un grupo de requerimientos ambientales conocidos, podremos predecir la localidad, la cantidad o la calidad de un hábitat o predecir la presencia de ciertas especies (Breininger et. al., 1991; Johnson et. al. 1991).

A la inversa, se puede predecir los requerimientos ambientales para cierta especie, por la intersección de un grupo de localidades con variables tales como el tipo de cobertura, suelo, elevación, o humedad. Las interacciones interespecíficas e intraespecíficas también pueden ser analizadas, así como factores conductuales como el forrajeo o preferencias de sitios de nidada y el tamaño del ámbito hogareño.

Los datos espaciales son exportados a rutinas estadísticas tales como la regresión múltiple, ji cuadrada, pruebas de preferencias, etc., para detectar patrones no aleatorios de asociación. Por la creación de sobreposiciones sucesivas de la misma región a través del tiempo, también se puede predecir cómo se afecta a un organismo o afecta su ambiente por los procesos de alteración del ecosistema.

Patrones históricos, tales como la distribución de las especies o eventos climáticos pueden ser trazados. Por ejemplo, capas sucesivas pueden ser usadas para detectar patrones de vegetación actual y vegetación histórica, con respecto a los cambios en el uso del suelo (Iverson and Risser, 1987).

Los patrones del paisaje tales como la heterogeneidad, conectividad, la forma de las veredas y la densidad, han sido usadas más recientemente para describir o explicar los procesos o mecanismos para la conformación paisajística (Baker, 1992; Johnston and Naiman, 1990b), así como la dispersión (Dunn, et. al., 1991).

7.3.3 Análisis de proximidad

Las operaciones de sobreposición son útiles para la generación de datos acerca de características coincidentes, tal como los patrones de vegetación o la distribución de especies actuales o pasadas.

La estructura de los elementos paisajísticos están definidos y controlados por procesos bióticos y abióticos.

Los procesos y estructuras paisajísticos interactúan uno con otro en una gran variedad de escalas espaciales; la fragmentación del bosque tiene influencia en los procesos ecológicos (Forman and Godron, 1986). Así, recientemente varias medidas en la forma de las rutas migratorias de ciertas especies animales, la heterogeneidad, la conectividad e in conectividad de la conformación paisajística han servido para describir la estructura paisajística, basándose en imágenes satelitarias (Goosens et. al., 1991).

7.3.4 Modelado.

Los modelos ordinales (también conocidos como modelos de mayor categoría), son usados ampliamente en conjunto con los SIG's para diversas aplicaciones: para optimizar la localización de ciertas zonas, para tener *a priori* la adquisición de tierras para la protección de recursos naturales, para cuantificar el monto de disponibilidad de hábitat (Johnson *et. al.*, 1991), etc.

Los modelos ordinales están basados en el supuesto de los factores que constriñen la localización geográfica de un hábitat, la actividad del uso del suelo (*v. gr.* recreación o manufactura), o un evento (*v. gr.* la tala), y pueden ser puestos en un mapa e individualmente categorizados para representar hasta que punto contribuye cada factor.

Estos modelos tienen varios puntos débiles:

1. Una gran dependencia en la disponibilidad e integridad de los datos de los mapas temáticos (el modelo es tan bueno, como tan buenos sean los datos espaciales)
2. La categorización generalmente es subjetiva
3. Es difícil aplicar categorías ordinales a datos nominales (*v. gr.* clases de suelos)
4. Las categorías son estáticas, estas no representan con precisión las condiciones ambientales sobre grandes regiones o en extremos en la topografía
5. No todos los factores que determinan el hábitat o algún uso del suelo sean óptimos, pueden representarse en el mapa (*v. gr.* interacciones de competencia)
6. Pocos modelos ordinales (sobre todo los usados para valoración de hábitats) son acompañados por estudios de validación.

Los modelos ordinales pueden ser fortalecidos por la incorporación de medidas cuantitativas y la incorporación de condiciones actuales o potenciales (*v. gr.* el hábitat que puede ser restaurado por manejo o usos del suelo que pueden cambiar potencialmente vía restauración o degradación).

7.3.5 Recomendaciones a futuro

Dentro del proceso operativo se recomienda hacer verificaciones en el campo con un procedimiento 100 % geoecológico, lo que implica un trabajo con mayor logística y tiempo y poder trabajar a una escala mayor con mayor detalle.

Para completar este trabajo falta hacer un análisis socioeconómico bien detallado de la zona, con la participación de expertos en el área y así finalizar en un ordenamiento territorial con lo cual poder hacer recomendaciones para un plan de manejo integral de toda la zona.



**BIBLIOTECA
INSTITUTO DE ECOLOGÍA
UNAM**

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

8. Conclusiones

1. La percepción remota contribuye a detectar y resolver problemas a diferentes escalas, y en un tiempo relativamente corto, este tiempo de análisis depende mucho del conocimiento previo por parte del analista, ya sea del área de estudio como de la infraestructura el proyecto. Este conocimiento es vital al momento de tomar decisiones sobre los objetivos del proyecto en cuestión.
2. La revolución actual provocada por la tecnología del SIG, está en el cambio de nuestra percepción de los mapas y como usarlos, no es sólo el hacer mapas y el manejo de bases de datos, sino que es un campo enteramente nuevo, con nuevos conceptos en la estructura de los mapas, en su contenido y en su uso.
3. En la zona de estudio se detectaron frentes de mayor vulnerabilidad, como son algunas zonas de mayor biodiversidad (Tlaloc, con una planta de asfalto a sus pies, con una concesión a 20 años y teniendo especies endémicas como el *Romerolagus diazi*) y áreas que no están protegidas como la Mesa de Tabaquillo, por mencionar solo una.
4. El 80% de las áreas protegidas no coinciden con las de mayor diversidad (gran parte de la sierra de las Cruces).
5. Los corredores potenciales son áreas mejor conservadas que las mismas áreas protegidas, estos corredores son muy importantes por varias razones, una de ellas es la cobertura de la vegetación natural que presenta, la gran cantidad de especies que alberga y lo que podría ser más importante, da una continuidad a lo que podría ser una gran zona de protección en el sur de la Cuenca de México.
6. Se puede realizar un análisis ambiental, que permita definir las unidades ambientales óptimamente, para esto es necesario trabajo de campo intenso, que este planificado con base a un análisis preliminar y que sirva para verificar este análisis.
7. Se detectó que las áreas de restauración son las zonas con vocación de recuperación, no son las más alteradas y que tienen cierta calidad para poderse restaurar.
8. Este trabajo es la base para una regionalización y con un estudio socio - económico nos podría llevar a un ordenamiento territorial y realizar un plan de manejo integral.
9. Los alcances de este tipo de tecnología (en el presente trabajo) deberían ser calibrados con datos actualizados en campo e imágenes programadas, ya que la velocidad del cambio en el uso del suelo en este tipo de zonas tan conflictivas es rapidísimo. Cabe aclarar que la información utilizada para el presente trabajo es de diferentes fuentes, que tienen problemas de referencia, de calidad, credibilidad y temporalidad.
10. Este modelo de biodiversidad tiene que ser valorado en campo para su absoluta credibilidad.

9. Literatura citada

- Aranda, J. M. 1978. La comunidad "El Capulín" como parte del problema de conservación de la Sierra del Ajusco. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 116 pp.
- August, P. 1993. GIS in mammalogy: building a database. Pp 11-26, in GIS applications in mammalogy (S. B. McLaren and J. K. Braun, eds.) Special Publication of the Oklahoma Museum of Natural History, Norman, Oklahoma, 41 pp.
- Baker, W. L. 1992 Effects of settlement and fire suppression on Landscape structure. *Ecology*, 73:1879-1887.
- Benítez, G. 1987. Efectos del fuego en la vegetación herbácea de un bosque de *Pinus hartwegii* Lind. de la Sierra del Ajusco. En: E.H. Rapoport y I.R. López-Moreno, (Eds.). Aportes a la Ecología urbana de la Ciudad de México. 111-152 pp.
- Berry, J. K. 1993. The application of GIS to mammalogy: basic concepts. Pp. 4-10, in GIS applications in mammalogy (S. B. McLaren and J. K. Braun, eds.) Special Publication of the Oklahoma Museum of Natural History, Norman, Oklahoma, 41 pp.
- Blanco, S., G. Ceballos, C. Galindo, M. Maas, R. Patrón, A. Pescador, y A. Suárez. 1981. Ecología de la Estación Experimental Zoquiapan. Cuadernos Universitarios. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 114 pp.
- Bloomfield, 1975. "The age and significance of the Tenango Basalt, Central Mexico". *Bull. Vulcanol.* N° 37 p.596-595.
- Breining, D. R., M. J. Prochancha, and R. B. Smith. 1991 Mapping Florida scrub jay habitat for purposes of land-use management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57:1467-1474.
- Calva, G. 1987. Monitoreo de la contaminación por aire a través de briofitas epífitas en el Parque Cultural y recreativo Desierto de los Leones, en *Memorias del X Congreso de Botánica*, septiembre 27 - octubre3 México D.F.
- Cantoral, T. 1987. "Inventario liquénico de el Parque Cultural y recreativo Desierto de los Leones, en *Memorias del X Congreso de Botánica*, septiembre 27 - octubre3 México D.F.
- Ceballos, G. y C. Galindo. 1984. Mamíferos silvestres de la Cuenca de México. Limusa. México D.F. 300 pp.
- CIMA, 1994. Información Estadística y Geográfica Municipal. Versión 2.0. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes: INEGI,
- COCODA. 1984. Plan Rector de Uso del Suelo y Desarrollo Agroforestal. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario del Distrito Federal. Documento de Circulación Interna. Departamento del Distrito Federal. México.
- COCODER, 1988. Plan Rector de Uso del Suelo y Desarrollo Agroforestal. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural del Distrito Federal. Memorias. Departamento del Distrito Federal. México.
- Chargoy Zamora, C.I y D.M. Flores. 1989. La problemática Ambiental en la Cuenca de México: Soluciones o Paliativos. In: Gio-Argáez, R., I. Hernández-Ruiz, y E. Saénz-Hernández (Coord.). *Ecología Urbana*. Sociedad Mexicana de Historia Natural A.C. México. 41-44 pp.
- Chargoy Zamora, C.I y D.M. Flores. 1989. La problemática Ambiental en la Cuenca de México: Soluciones o Paliativos. En: Gio-Argáez, R., I. Hernández-Ruiz, y E. Saénz-Hernández (Coord.). *Ecología Urbana*. Sociedad Mexicana de Historia Natural A.C. México. 41-44 pp.
- D.D.F. 1986. Manual de planeación, diseño y manejo de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal, Departamento del Distrito Federal, México, 681 pp.
- D.D.F. 1987. Programas de desarrollo urbano del Distrito Federal, 1987-1988, México. (Publicado en todos los periódicos de la ciudad de México el 8 de enero de 1987).
- Dunn, C. P., D. M. Sharpe, G. R. Guntenspergen, F. Stearns, and Z. Yang. 1991. Methods for analyzing temporal changes in landscape pattern. Pp. 173-198, in *Quantitative Methods in Landscape Ecology* (M. G. Turner and R. H. Gardner, eds.). Springer-Verlag, New York, 536 pp.
- ERDAS, 1994. Field Guide Third Edition. De. Chris Smith *et. al.* ERDAS Inc. Atlanta, Georgia. 628 pp.
- Ezcurra, E. 1990. DE LAS CHINAMPAS A LA MEGALÓPOLIS. EL MEDIO AMBIENTE DE LA CUENCA DE MÉXICO. La ciencia desde México # 91,F.C.E., México
- Fitzpatrick E.A. 1980. Soils. Longman. 353 p.
- Flores Villela, O. y P. Gerez 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. Facultad de Ciencias, U.N.A.M./CONABIO
- Forman, R. T. T., and M. Godron. 1986. Landscape ecology. John Wiley and Sons, New York, 619 pp.
- Galindo, G. Y J. Morales. 1987. "El relieve y los asentamientos humanos en la ciudad de México", *Ciencia y Desarrollo* 76 67-80
- García Ruiz, J.M.1990 La montaña: una perspectiva geocológica In: García Ruiz, J.M. (Edr.). *Geocología de las áreas de montaña*. Geofoma Ediciones, Logroño España. 338 pp.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. 2ª Edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 246 pp.

- Girón, H. E. 1986. "El cielo de mi ciudad", *Información Científica y Tecnológica*, 70: 32-34
- Gispert, M., O. Nava, y J. Cifuentes. 1984. Estudio comparativo del saber tradicional de los hongos en dos comunidades de la Sierra del Ajusco. *Boletín de la Soc. Mex. Mic.* 19:253-273.
- Gómez Pompa, 1994 Informe de Foros de Evaluación de Áreas Protegidas, no publicado
- Goossens, R., E. D'Haluin, and G. Larnoe. 1991. Satellite image interpretation (SPOT) of the ecological infrastructure in a small scaled landscape (Kempenland, Belgium) *Landscape Ecology*, 5:175-182.
- Hashimoto T., Takagi, M., Kajiwara K. y Fujino Ch. (Eds). 1993. *Remote Sensing Note*. Japan Association on Remote Sensing. Nihon Printing Co. Chiyodaku, Tokio, Japan. 284 pp.
- Hommel, P. 1987. *Landscape ecology of Ujung Kulon (West Java), Indonesia*. University of Wageningen. The Netherlands. 206 pp.
- Howard, John A. 1991. *Remote Sensing of Forest Resources. Theory and application*. Chapman & Hall, London.
- INEGI, 1978. *Cartas topográficas y edafológicas Amecameca, Milpa Alta, Cd. de México y Chalco*. Escala 1:50 000.
- INEGI, 1981, *Atlas Nacional del Medio Físico*.
- Iverson, L. R., and P. G. Risser. 1987 Analyzing long-term changes in vegetation with geographic information system and remotely sensed data. *Advanced Space Research*, 7:183-194.
- Ives, J.D. (edr.), 1980. *Geoeology of the Colorado Front Range*. Westview Press, 484 pp., Boulder.
- Johnson, L. B. 1990. Analyzing spatial and temporal phenomena using geographic information systems. *Landscape Ecology*, 4:31-43.
- Johnson, L. B. 1993 Ecological analyses using Geographic Information Systems. In: *GIS APPLICATIONS IN MAMMALOGY 1993* (McLaren S.B. and J. K. Braun eds.)
- Johnson, L. B., G. E. Host, J. K. Jordan, and L. L. Rogers. 1991 Use of GIS for landscape design in natural resource management: assessment and management for the female black bear. Pp. 507-517, in *Proceedings of GIS/LIS '91, Atlanta, Georgia*, 999 pp.
- Johnston, C. A., and R. J. Naiman. 1990a The use of geographic information system to analyze long-term landscape alteration by beaver. *Landscape Ecology*, 4:5-19
- Johnston, C. A., and R. J. Naiman. 1990b. Aquatic patch creation in relation to beaver populations trends. *Ecology*, 71:1617-1621.
- Kalensky, Z. D. 1986 Forest mapping based on computer analysis of remote sensing data. *Report of the 10th UN/FAO International Training Course: Applications of Remote Sensing to Monitoring Forest Lands.*, RSC Series 40, 73-80.
- Klein, R.M. y T.D. Perkins. 1988. "Primary and secondary causes and consequences of contemporary forest decline", *The Botanical Review*. vol54(1): 1-43.
- Lavín, M. 1983. Cambios en las áreas verdes de la zona metropolitana de la Ciudad de México de 1940 a 1980, Informe interno, Instituto de Ecología, México. 100 pp.
- Ledig, F. T. 1988. The conservation of diversity in forest trees. *BioScience* Vol. 8(7):471-478.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. (1979) *Remote sensing and Image Interpretation*, Wiley, New York.
- López-Paniagua, J. y T. Rodríguez. 1988. Las especies forrajeras y el proceso ganadero en la zona boscosa del Distrito Federal. 11^a Conferencia Anual de Etnobiología, Marzo 9-13, 1988. Sociedad de Etnobiología. México D.F.
- López-Paniagua, J., F. J. Romero y J. M. Chávez. 1990. Evaluación del potencial de protección de la zona núcleo Chichinautzín Quiahuištepec, Corredor Biológico Chichinautzín, Morelos. XI Congreso Mexicano de Botánica, Sep. 30-Oct. 5, 1990. Oaxtepec, Morelos. México.
- Lugo Hubp. J. 1984. Geomorfología del Sur de la Cuenca de México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Varia T. 1. Núm. 8. México, Distrito Federal. 95 pp.
- Lugo, A. 1988. Estimating reductions in the diversity of tropical forest species. En: E.O. Wilson (Ed.). *Biodiversity* Cap. 6. 58-70 pp.
- Martín del Pozzo, A.L., 1980. Vulcanología de la sierra Chichinautzín. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, U.N.A.M. México.
- Miehlich G. (1980). Los suelos de la Sierra Nevada de México. Suplemento Comunicaciones VII. Fundación Alemana para la Investigación Científica. 205 p.
- Mittermeier, R.A. y C.G. Mittermeier. 1992. "La importancia de la diversidad biológica de México". En: José Sarukhán y Rodolfo Dirzo (comps.). *México ante los retos de la biodiversidad*. 343 pp.
- Mooser, F. 1975. Historia Geológica de la Cuenca de México. *In Memoria*. Obra del Sistema de Drenaje Profundo. D.D.F. México. p. 9-30
- Myers, N. 1988. Threatened biotas: "hot spots" in tropical forest. *The Environmentalist*, 8(3):187-208.
- Obieta, M. C. y J. Sarukhán. 1981. Estructura y composición de la vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii*. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 41:75-125.
- PRUSDA, 1988, Departamento del Distrito Federal, Publicación Interna.

- Reyna Trujillo, T., 1989. Aspectos Climáticos de la Cuenca del Valle de México *In* Gio-Argáez, R., I. Hernández-Ruiz, y E. Saénz-Hernández (Coord.). Ecología Urbana. Sociedad Mexicana de Historia Natural A.C. México.
- Richards, J.A. 1986. *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*, Springer Verlag, Berlín.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 432 pp.
- S.O.P. 1976. Obras en parques naturales. Secretaría de Obras Públicas. Unidad Editorial. México. pp. 81 - 96.
- Schteingart, M. 1987. Expansión urbana, conflictos sociales y deterioro ambiental en la Ciudad de México: el caso del Ajusco. *Colegio de México. Estudios Demográficos y Urbanos* 6:449-477.
- SEMARNAP, INE, CONABIO, 1995 Reservas de la Biosfera y otras Áreas Naturales Protegidas de México, Corredor Biológico Chichinautzin pp.135-137
- Sistemas de Información Geográfica S.A. de C.V., 1993. Cambio en el Uso del Suelo en la Cuenca de México, 1950-1990
- Stelma, Kor B., 1995 Appraising habitat fragmentation. An analysis of rural areas and nature reserves south of Mexico City. Velp, The Netherlands.
- Trejo, I. 1996a Características del medio físico de la selva caducifolia en México, *Investigaciones Geográficas Boletín núm. especial 4*. Instituto de Geografía, U.N.A.M., México 95-110
- Trejo, I. y Hernández J. 1996b Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite, *Investigaciones Geográficas Boletín núm. especial 5*. Instituto de Geografía, U.N.A.M., México 11-18.
- Troll, C. 1950. Die geographische Landschaft und ihre Erforschung. *Studium Gen.*, 3:163-181.
- Troll, C., 1968. The cordilleras of tropical America: aspects of climate, phytogeographical and agraria ecology. In *Geo-Ecology of the mountainous Regions of Tropical America* (C. Troll, edr.), Drummlers Verlag, 15-56, Bonn.
- Troll, C., 1972. Geocology and the world-wide differentiation of high-mountain ecosystems. *Geocology of the high mountain regions of Eurasia. Proc. of the Symposium of the IGU Commission of High Altitude Geocology*. Franz Steiner Verlag, 1-16, Wiesbaden.
- Van Gils, H. 1981. Landscape science: some topics from the ITC approach. *W.L.O. Proc. 8 INO*, Delft:28-32.
- Van Wijngaarden, W. 1985. Elephants-Trees-Grass-Grazers. Relationships between climate, soil, vegetation and large herbivores in a semi-arid savanna ecosystem (Tsavo, Kenia). Phd. Thesis, Wageningen. ITC Publication Number 4.
- Vásquez, Z. 1986. "Daños a la vegetación", *Información Científica y Tecnológica*, 70: 28-31.
- Velázquez, A. 1993. Landscape Vegetation Ecology of Tlaloc and Pelado Volcanoes ITC. Enschede, The Netherlands
- Velázquez, A., F. J. Romero y J. López-Paniagua eds. (1996) Ecología y Conservación del Zacatuche (*Romerolagus diazi*) y su habitat. Pp 102-132. Fondo de Cultura Económica, México,
- Villegas, M. 1979. Malezas de la Cuenca de México. Instituto de Ecología. Museo de Historia Natural de la Ciudad de México. México. 137 pp.
- Werner G. 1978. Los suelos de la Cuenca Alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores. Suplemento Comunicaciones VI. Fundación Alemana para la Investigación Científica. 95 p.
- Zonneveld, I. S. 1979. Land evaluation and landscape science. ITC Textbook of photo-interpretation, VII (4). Enschede, The Netherlands. 78 pp.

10. Anexo I

En el anexo I, se tiene los archivos en formato *.tif y una explicación en el archivo leame.txt con la descripción de cada imagen y su archivo respectivo.

Kapit sa patalim
Refrán Sampalés, Filipinas

El urbano vive de milagro

Qui addit, scientium, addit et la borrem
Eclesiastes cap. I v. 18

“Quién aumenta el saber aumenta el afán” el afán por saber.

Hoc unum scio; nihil scire
Respuesta de Sócrates al oráculo de Delfos

Esto solo sé, que no sé nada

Memo mortalium omnibus horris sapit
Locución latina

Nadie es sabio en todas las ocasiones

il deficit orbis
Palabras grabadas en la columna de Hércules

“Aquí acaba el mundo”

vis unita fortios

La unión hace la fuerza

Utile dules

Lo útil es lo agradable

Sè non è vero, è ben trovato
Ariosto

Si no es cierto, está bien discurrido