



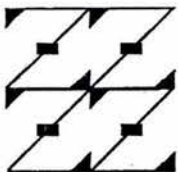
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

**ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS PAISAJES
DE LA REGIÓN TLÁLOC-IZTA-POPO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I Ó L O G O
P R E S E N T A :
E D G A R V I L L E D A C H Á V E Z

FES ZARAGOZA
UNAM



Director de Tesis
M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas

LO HUMANO
EJE
DE NUESTRA REFLEXION

México D. F.

2004



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.

Dedicatoria

A mi madre, Juana Chávez González, quien me demostró que no hay ningún obstáculo imposible y que nunca es tarde para hacerlo.

A mi padre, Tomás Villeda Ángeles de quien aprendí que no hay ningún pretexto para no salir adelante, siempre trabajando y buscando una alternativa.

A mi tía Celia Chávez González, por aguantarme todo este tiempo y por el apoyo brindado.

A mi tío, Alberto Ibarra Contreras por el importante apoyo moral cuando lo necesitaba, por haberme brindado su casa y por su comprensión en momentos difíciles.

A mis hermanos Omar, Izhar y César, por quienes hago todo esto.

Al apoyo de mi vida, Rosa Isela Escamilla Vega, quien sin su amor y comprensión, no lo hubiera logrado.

Agradecimientos

Agradezco a la FES- Zaragoza y sus profesores por haberme formado profesionalmente.

Al M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas indiscutiblemente por ser mi tutor, por su amistad, aporte de conocimientos y por enseñarme como se hacen las cosas.

A los sinodales, M. en C. Manuel F. Rico Bernal, al M. en C. David Nahum Espinosa Organista, a la M. en C. Rosalva García Sánchez y al Dr. Gerardo Cruz Flores, por sus críticas y correcciones para mejorar esta tesis.

Finalmente, a mis amigos, Pepe, Ezequiel, Rodrigo, Luis, Bety y Natalia, por su amistad, apoyo y compañía, además de esos momentos que hicieron más fácil esta tarea.

INDICE

1	RESUMEN	4
2	INTRODUCCIÓN	4
3.	ANTECEDENTES	6
4.	JUSTIFICACIÓN	7
5	MARCO TEÓRICO	7
5.1	Ecología del Paisaje	7
5.2	Composición, Estructura y Función	9
5.3	Escala	11
5.4	Percepción Remota	11
5.4.1	Tipos de Satélites (Sensores)	13
5.4.2	Espectro Electromagnético	15
5.4.3	El Satélite Landsat ETM +	18
5.4.4	Absorción y Reflectancia	20
5.5	Sistemas de Información Geográfica	20
5.5.1	Operaciones de un SIG	22
5.5.2	Componentes Principales de un SIG	23
5.5.3	Levantamiento Fisiográfico en SIG	24
5.6	Sistema de Clasificación Fisiográfico	26
5.7	Análisis Espacial	26
5.8	Formatos de Medición	27
5.8.1	Vector	29
5.8.2	Ráster	30
5.9	Fragmentación	31
5.9.1	Causas de la Fragmentación	32
5.10	Cuantificación del Paisaje	33
5.11	Elementos del Paisaje	35
5.12	Índices del Patrón del Paisaje	35
5.12.1	Métricas de Clase	35
5.12.2	Métricas de Paisaje	36
6	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	38
7	HIPÓTESIS	39
8	OBJETIVOS	39
9	MATERIAL	40
10	MÉTODO	40
10.1	Zona de Estudio	40
10.2	Vegetación	42
10.3	Diagrama de Flujo	47
10.4	Procedimiento	48
10.4.1	Imagen Satelital	48
10.4.2	Muestreos	48
10.4.3	Fotointerpretación	49
11	RESULTADOS	52
11.1	Clases de Uso de Suelo	54
11.2	Estructura de los Paisajes por Zona	54
11.3	Graficas de Uso de Suelo	57
12	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
12.1	Características de los Paisajes por Zona	60

12.2 Fragmentos Interiores	62
13 CONCLUSIONES.....	63
14 ANEXO.....	65
15 LITERATURA CITADA	68

1 RESUMEN

La presencia y extensión de áreas conservadas y degradadas en un Área Natural Protegida, como las ubicadas en la región Tláloc - Izta - Popo, están determinadas por los cambios de uso de suelo y los procesos ecológicos correspondientes. Estos cambios se pueden observar en la modificación de sus elementos y por tanto de los patrones de paisaje, manifestándose específicamente en indicadores espaciales como diversidad geométrica, conectividad, fractalidad y patrones geométricos. Desde esta perspectiva, se puede conocer el estado de conservación del parque a partir del estudio de la geometría espacial y a partir de ello proponer alternativas de manejo de los recursos naturales, de esta manera la fragmentación se manifiesta por aumento de borde, lo que implica una relación perímetro-área, ligada al estado de conservación misma que esta determinada por la intensa actividad antrópica, ya sea intensiva o extensiva. Los objetivos de este estudio fueron cuantificar la geometría espacial de los paisajes de la región para determinar su estado de conservación, las propiedades espaciales de línea, área, diversidad, conectividad, fractalidad y los atributos de vegetación, topografía y la relación entre geometría de los paisajes y el estado de conservación del parque. Para ello, se identificaron áreas de vegetación uniforme tomando en cuenta patrones de textura y coloración en una imagen satelital (Landsat ETM+, bandas 4-5-7), se encontraron 231 paisajes que se agrupan en 78 tipos de composición vegetal, distinguiéndose parches de coníferas de gran tamaño con alto perímetro y poca tendencia a la circularidad, que darían la impresión de un estado de conservación saludable de la región. Sin embargo, el alto número de fragmentos de pastizal inducido y agricultura de temporal dispersos por todo el parque provocan la degradación desde el interior, induciendo la fragmentación extensiva que es la forma más impactante de fragmentación.

2 INTRODUCCIÓN

Hasta ahora, la aproximación al conocimiento de la naturaleza ha sido posible con la utilización del método científico tradicional (hipotético-deductivo), en el cual los fenómenos de la naturaleza han sido conceptualizados como sistemas simples y aislados y cuya finalidad ha sido ofrecer una explicación

causal (determinística) y mecanicista de los fenómenos que ocurren en ella (Galicia y Zarco, 2002). La ciencia ecológica no ha sido la excepción al adoptar el método científico tradicional, por lo que en la búsqueda de generalizaciones y predicciones ha concebido una naturaleza en equilibrio, estática y homogénea. Los procesos ecológicos que la explican se conciben por tanto como fenómenos simples, unidireccionales, unicausales y respuestas lineales. Los estudios mecanicistas han ayudado a entender las relaciones causa-efecto de algunos procesos ecológicos. Sin embargo no ha sido posible explicar los patrones ecológicos en la naturaleza por medio de la extrapolación de resultados de laboratorio y de campo en pequeña escala (Martínez *et al.*, 2003).

Por otro lado, la aplicación del concepto de heterogeneidad presupone que el funcionamiento de la naturaleza está explicado por procesos que se llevan a cabo en diferentes escalas espacio-temporales, que los procesos ecológicos son dependientes de la escala. El concepto de escala es fundamental en la ecología, esta importancia de la escala ha sido enfatizada fuertemente. El concepto de escala puede definirse como la dimensión espacial y temporal que se requiere para un cambio en la tasa en la cual ocurren los procesos y en la importancia relativa de los factores que explican dichos procesos (Galicia y Zarco, 2002). Los estudios de procesos ecológicos en el laboratorio o el campo en pequeña escala espacio temporal no son considerados dependientes de la misma, es decir, muchas veces los procesos que generan los cambios importantes en el patrón ocurren lentamente y requieren amplias escalas geográficas y largos periodos de observación.

Las perturbaciones tienen un efecto estabilizador sobre la limitación de recursos, ya que estas pueden: a) eliminar a los individuos competitivamente dominantes y reducir la exclusión competitiva y b) generar una alta disponibilidad de recursos que permita que las especies de rápido crecimiento puedan coexistir (Urban *et al.*, 1987). La dinámica y estructura de los ecosistemas son explicadas por fenómenos que ocurren en diferentes escalas espacio-temporales y establece que los procesos de la vegetación se explican a mediana escala por el crecimiento de las plantas, por su estructura y por la del suelo (Holling, 1999); a mediana escala por los procesos de perturbación (fuego, plagas de insectos y huracanes) y a macro escala son los procesos geomorfológicos los que mantienen la estructura de los ecosistemas.

La variabilidad ha sido considerada como ruido, en realidad el ruido en los sistemas ecológicos se debe a que la heterogeneidad es inherente al sistema, es así como el concepto de heterogeneidad en la ecología del paisaje se define como: la variación espacial en la composición de especies, la disponibilidad de recursos, etc. (Galicia y Zarco, 2002), es decir que identifica cambios en los valores de un parámetro cualitativo o cuantitativo. La creciente preocupación por la pérdida de biodiversidad en el mundo y específicamente en nuestro país ha estimulado a investigadores y científicos a buscar métodos de manejo de los paisajes en una variedad de escalas espaciales y temporales.

Varios desarrollos han hecho posible la habilidad de analizar y manejar por completo los paisajes para cubrir los objetivos de estos problemas. En el campo de la ecología ha mantenido una base conceptual y teórica fuerte, entendiendo la estructura del paisaje, su función, y cambio. La evidencia es creciente de que la fragmentación del hábitat es perjudicial para muchas especies y puede contribuir substancialmente a la pérdida regional y global de la biodiversidad. El desarrollo de SIGs (Sistemas de Información Geográfica) y la tecnología, en particular, tiene hecha una variedad de herramientas analíticas disponibles para analizar y manejar los paisajes (Gkaravelle y Good, 2001). En respuesta a este crecimiento, el apoyo teórico, empírico y las capacidades técnicas, además de las instituciones públicas de manejo del suelo han empezado a reconocer la necesidad de manejar los recursos naturales a una escala de paisaje.

3. ANTECEDENTES

En la región se observa que el cambio en el paisaje modifica los procesos ecológicos afectando a las especies que en ellos intervienen. Estos cambios en el paisaje se pueden observar por la modificación de los elementos y por tanto de los patrones de paisaje, manifestándose específicamente en los patrones geométricos, disminuyendo el tamaño del fragmento de vegetación y aumentando su borde. Esta relación perímetro-área se encuentra ligada al estado de conservación y por tanto al tipo de fragmentación. Esta perspectiva ha sido planteada desde 1980 en la Estrategia Mundial de la Conservación (UICN-WWF-UNEP) donde se planteó el tamaño y la forma de parches de hábitat como criterios de conservación. Recientemente se han incorporado

un mayor número indicadores espaciales como diversidad geométrica, conectividad y fractalidad.

4. JUSTIFICACIÓN

Para poder conocer mejor el estado de conservación de la región es necesario entender la geometría espacial que genera alternativas de manejo adecuadas a los diferentes tipos de vegetación y ordenarlos conforme al uso y estado en que se encuentren, de acuerdo con una delimitación en tipos de paisaje que nos permitirán de una manera más fácil asignar la tarea de rescate y ordenamiento de cada paisaje dependiendo del tipo de fragmentación. La caracterización espacial de las áreas conservadas, así como de los distintos aprovechamientos dentro del área permitirá generar recomendaciones para mejorar el manejo del Parque.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 *Ecología del Paisaje*

La emergencia de la ecología del paisaje a la vanguardia de la ecología es el testimonio al reconocimiento creciente de los procesos ecológicos que afectan y son afectados por la dinámica de la interacción entre los ecosistemas. Esta ola en el interés por la ecología del paisaje también muestra los recientes esfuerzos para incluir una perspectiva del paisaje en las políticas y pautas para el uso de suelo en México (Gergel y Turner, 2002).

La ecología del paisaje estudia los patrones espaciales y las relaciones causa - efecto de los procesos ecológicos bióticos y abióticos, los patrones del paisaje en referencia a la secuencia o repetición regular de estos elementos (Gergel y Turner, 2002). Se pueden identificar elementos de área (áreas de vegetación, zonas urbanas, cultivos, etc.), y elementos de línea (caminos, bordes de los fragmentos, carreteras, líneas eléctricas, cauces de ríos, etc.), identificándose un patrón geométrico que se refiere a corredores, índices de diversidad, perímetro, área, relación que existe entre ellos, promedio de parches, borde y fractalidad. Estas métricas del paisaje nos sirven para la cuantificación de los *patrones espaciales en Composición y Estructura*. Para el caso del primero se refiere a la variedad y abundancia relativa de los tipos de fragmentos representados en el paisaje, este componente es a menudo

sumado con otros índices. Para el segundo caso, la estructura connota el arreglo, posición, orientación o complejidad de forma de los parches en el paisaje, este describe a varios índices de estructura del paisaje (Harris y Silva, 1992).

La premisa fundamental de este enfoque es que la heterogeneidad ambiental de una extensión de terreno influye en los patrones y procesos ecológicos. Sin embargo esta tarea se enfrenta a los problemas semánticos y conceptuales derivados de una amplitud de interpretaciones de lo que es el paisaje. El uso de la palabra paisaje como término técnico se ha incrementado en la última década entre las ciencias sociales y biológicas. Sin embargo, aún cuando en todas ellas se refiere a una extensión de terreno (Baskent *et al.*, 2000), el paisaje no ha sido definido claramente ni delimitado en el espacio; especialmente, en ecología tiene distintas concepciones, ya que en algunos casos se le ha referido de manera intuitiva como un escenario (Durán *et al.*, 2002). También se plantea como un espacio de naturaleza heterogénea en donde tienen lugar distintos fenómenos naturales o se desarrollan diferentes actividades y problemáticas antrópicas, o bien como un espacio donde ocurren distintos procesos biológicos y se manifiestan y perciben patrones naturales. En dichos planteamientos no es claro el contexto espacial y los elementos que lo delimitan, por lo cual parecen ambiguos en cuanto a la naturaleza del paisaje y sus límites, que pueden ir desde cientos de metros hasta regiones de miles de hectáreas.

Considerando esta situación, se propone la siguiente definición pragmática: el paisaje es un ecosistema acotado especialmente a nivel de *mesoescala*, de naturaleza heterogénea y que presenta una estructura inherente, la cual está conformada por parches homogéneos en sus características edáficas, litológicas y topográficas, así como biológicas. Esta definición no incluye de manera explícita al factor humano, porque en ecología básica se tiene particular interés por entender los patrones y procesos ecológicos naturales, por ello comúnmente se realizan estudios en reservas ecológicas o sitios con menor influencia antrópica, como es el caso del área de estudio que es un parque nacional en el que se estudian los paisajes del mismo con su zona de influencia.

El Paisaje

El concepto de *ecosistema* implica una unidad funcional materializada en un territorio o una porción de espacio geográfico definido, la cual se caracteriza por presentar una homogeneidad en sus condiciones biofísicas y antrópicas que se identifica como la confluencia de una asociación de clima, geoformas, substratos, comunidades, biotas y usos antrópicos específicos. En los últimos años el concepto de paisaje ha sido definido por diversos autores desde una concepción ecosistémica. Forman y Godron, (1986) lo definen como “una superficie de terreno heterogénea compuesta por un conjunto de ecosistemas que se repite de forma similar en ella”. La definición de paisaje incluye tres aspectos fundamentales: la dimensión física (el paisaje es el territorio), la dimensión subjetiva y cultural (es una porción de territorio, pero sin olvidar los valores subjetivos que la población le atribuye) y finalmente, la dimensión temporal-causal (el aspecto del paisaje como resultado de la interacción entre el hombre y la naturaleza). Los modelos desarrollados en el campo de la ecología del paisaje aportan elementos conceptuales y teóricos, considerando una región como una unidad heterogénea que cumple con las características básicas de un paisaje: estructura, función y cambio (Forman y Godron, 1986) Así mismo, la ecología del paisaje proporciona herramientas de entendimiento de la dinámica de la heterogeneidad espacial, de las interacciones y los intercambios a través del paisaje y de la influencia de esa heterogeneidad sobre los procesos bióticos y abióticos, principalmente. Muy similarmente, el modelo conceptual de biodiversidad propone cuatro niveles fundamentales de organización y resume las jerarquías de estudio de cada uno de estos por tres componentes o atributos primarios: composición, estructura y función.

5.2 Composición, Estructura y Función

El análisis de los patrones espaciales y procesos ecológicos en un paisaje requiere el conocimiento de su estructura, la cual corresponde a su disposición espacial de extensiones de terreno que son ambientalmente diferentes y se denominan parches.

Un elemento básico en la estructura del paisaje es la matriz, la cual se considera como el elemento predominante, ya que comprende la forma de los parches y su extensión, su número, la dinámica interna y la conexión que mantienen entre sí, que son las características más importantes para definir

la estructura del paisaje, con base en esta última es posible reconocer en el paisaje un arreglo espacial a manera de mosaico, donde la interacción de los parches genera dinámicas ecológicas propias (Turner, 1989).

Así, la ecología del paisaje involucra el estudio de modelos del paisaje, las interacciones, entre los parches dentro de un mosaico del paisaje, y conforme estos modelos e interacciones cambian con el tiempo. Además, la ecología del paisaje involucra, aplicando estos principios, las fórmulas para resolver los problemas del mundo real. La ecología del paisaje considera el desarrollo y dinámica de heterogeneidad espacial y afecta en los procesos ecológicos y la dirección de heterogeneidad espacial. La ecología del paisaje es principalmente fundada en la idea del patrón de paisaje. La habilidad de cuantificar la estructura del paisaje es el requisito previo al estudio de la función del paisaje y su cambio. La mayoría de estos esfuerzos se ha dirigido para satisfacer las necesidades de objetivos de investigación específicos y es por ello que se ha empleado la computadora para análisis de tipo usuario-objetivos (Spurr y Barres, 1997). Este tipo de programas permiten la inclusión de métodos analíticos personalizados con extensiones fáciles a otros programas, como modelos de simulación espacial; aún falta todavía por avanzar las capacidades de los gráficos de SIGs disponibles comercialmente. La mayoría de los usuarios se limitan a programas o hardware particular incluidos dentro de un paquete del software más grande, diseñados para lograr el objetivo específico de la investigación (Bettinger y Boston, 2001).

La ecología del paisaje incluye un método muy útil para organizar el manejo de las tierras. Específicamente, Forman (1996) la ecología del paisaje se enfoca en tres características: composición. Es la identidad, distribución, riqueza, proporciones de tipos de fragmentos (hábitat), conjuntos de paisajes, patrones colectivos de la distribución de especies (riqueza, endemismos) entre otros (O'Neill *et al.*, 1988).

Estructura. Se refiere a la relación espacial entre distintos ecosistemas, es decir, la distribución de la energía, los materiales y las especies en relación con tamaño, formas, números de clases y configuraciones de los componentes del paisaje. Comprende la heterogeneidad, conectividad, enlaces espaciales, porosidad, contraste, tamaño del grano, fragmentación, configuración, yuxtaposición, distribución de frecuencias del tamaño del fragmento, proporción de perímetro y área.

Función. Comprende los procesos ecológicos y evolutivos de los ecosistemas (p. e. flujo genético, perturbaciones e interacciones) Abarca los procesos de perturbación, persistencia de fragmentos, tasas de reemplazo, tasas de erosión de procesos hidrológicos y geomorfológicos y tendencias en el uso de la tierra. Además contempla la biomasa, productividad de los recursos y tasas de ciclos de nutrientes.

Adicionalmente a estas características, el cambio juega un papel importante en la dinámica de los paisajes, ya que contempla las alteraciones en la estructura y función de los ecosistemas a través del tiempo.

5.3 Escala

La escala se refiere a las dimensiones cuya delimitación permite comparar sistemas de acuerdo a la magnitud de sus diferencias, y las escalas espaciales y temporales son las más analizadas en ecología del paisaje. Convencionalmente, los estudios ecológicos se ubican en tres dimensiones: la microescala, la mesoescala y la macro o megaescala. La *mesoescala* es la dimensión a la cual se avoca el estudio del paisaje y que en el sentido espacial corresponde a extensiones mayores a hectáreas, pero menores a miles de kilómetros cuadrados (regiones). Asimismo, esta escala se limita en el tiempo, más allá de años y hasta decenas de siglos. Se ha comentado que el paisaje posee una estructura, la cual mantiene una relación jerárquica, con otras escalas, es decir con fenómenos que ocurren a otras escalas espacio-temporales. A partir de numerosos estudios se tiene claro que la comprensión de un fenómeno ecológico es diferente cuando se aborda su análisis a distintas escalas. Por ello, actualmente la dimensión se considera como una de las nuevas fronteras de la ecología (Galicia y Zarco, 2002).

5.4 Percepción Remota

Percepción remota es la técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre.



Los elementos que existen en cualquier sistema de teledetección son i) sensor, ii) objeto observado, iii) flujo energético (Figura 1).

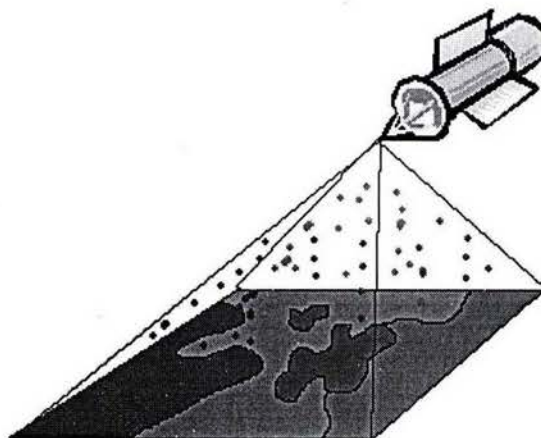


Figura 1. Elementos de un Sistema de Teledetección

La detección se puede llevar a cabo por: reflexión, emisión o reflexión-emisión (Platt, aerialsearch.com, 2004).

Limitaciones

Los sensores tienen propiedades de captar y desplegar las propiedades de color, temperatura y pendientes, además de la altura y la rugosidad; las limitaciones son las siguientes:

- **Penetración de las nubes:** A una latitud de 50°N en Europa la probabilidad de tener 2 pasadas seguidas con menos de 30% de nubes es sólo de un 5%. Los sensores de microondas son capaces de penetrar las nubes.
- **Satélites ven sólo la superficie:** Las ondas de radio no se propagan dentro del medio acuoso, la penetración de la luz es limitada. Pero lo que más interesa a los investigadores usualmente se refleja principalmente en la superficie: vegetación, orografía, suelo, cuerpos acuáticos, zonas urbanas y de cultivo (Poveda y Rojas, 2003).

5.4.1 Tipos de Satélites (Sensores)

Los sensores, de acuerdo a la región del espectro donde operan se pueden clasificar como de microondas, visibles, infrarrojos; y según el tipo de energía usada en activos y pasivos (Platt, aerialsearch.com, 2004).

La forma típica de clasificar a los sensores remotos es en pasivos y activos. **Pasivos** son aquellos que se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos y **activos** cuando son capaces de emitir su propio haz de energía, siendo éstos los más flexibles, pues no dependen tanto de las condiciones exteriores al sistema sensor tierra.

Dentro de los pasivos encontramos a los fotográficos, óptico electrónicos y de antena. En los activos el más utilizado es el radar, el cual trabaja en la región de las microondas. El LIDAR (Ligth Detection and Ranging) opera en la región del visible e IR cercano (Leonberger, 2002).

Sensores de Microondas

Los primeros experimentos realizados con éste tipo de sensores fueron realizados por los astronautas a bordo del SKYLAB en 1974. El GEOS-3 demostró la factibilidad de usar altímetros de alta resolución para monitorear el estado y nivel medio del mar. Además, en el NIMBUS 5 y 6 volaron radiómetros con escáner. Los radares de apertura sintética habían estado volando sólo en aviones. SEASAT los llevó por primera vez todos juntos (Figer, hubblesite.org, 2004).

Sensores de Color

Para entender el lazo entre el color de la tierra y la concentración de material suspendido dentro de la capa superficial, se construyeron modelos de transferencia radiactiva a partir de las características espectrales de una serie de sustancias. La mayor parte de la aproximación fue empírica. La radiancia total detectada por el sensor se puede dividir en dos componentes; i) "Radiación Emitida de la Tierra" la que es la parte de la señal que ha penetrado la superficie y es reflejada desde el interior del océano multiplicado por el coeficiente de transmisión difusa entre la superficie de la tierra y el sensor, y ii) la radiación que no ha penetrado la superficie de la tierra, pero que es reflejada desde otras fuentes al sensor. Mientras que los efectos del océano dominan la primera, los fenómenos atmosféricos dominan

la segunda generando un ruido no deseado. La tarea básica al procesar datos de color es identificar y eliminar este ruido y entonces, a partir de la radiación que sale de la Tierra generar texturas y colores (Poveda y Rojas, 2003 y Figer, hubblesite.org, 2004).

Sensores Infrarrojos

El primer conjunto de observaciones repetitivas de la superficie del mar tomadas desde satélites fue el de temperatura. El AVHRR voló primero en el TIROS-N en 1978 y ha generado una serie continua de mediciones desde esa época. Las plataformas han cambiado su nombre y ahora orbitan el planeta en Tándem. Los sensores han alternado entre 4 y 5 canales, teniendo el de 5 canales uno centrado en los 12 mm., en adición a los de 3.7 y 11 mm. (Darrell, landsat.gsfc.nasa.gov, 2004).

Tipos de Resolución en un Sistema Sensor

Resolución de un sistema sensor puede ser definida como *la habilidad de registrar información de detalle, discriminándola*. En ésta se refiere a un sistema sensor, por lo que la resolución se refiere al conjunto del equipo y no a cada una de sus partes. Por ejemplo una mejora en el sistema de lentes no necesariamente implica poder adquirir imágenes con más detalle, si es que no se mejora la cantidad de información que puede almacenar el dispositivo de archivo final.

Los términos de "información de detalle" y "discriminándola" también merecen otra mirada. Ambos dependen del propósito y escala tempo-espacial del proyecto a llevarse a cabo, e.g. el que un sensor pueda determinar la temperatura en una zona de 500 m por lado, no implica que pueda detectarla con una precisión mejor que uno que lo hace en zonas de 1 km de lado; ésto porque detalle, no sólo se refiere al detalle espacial que proporciona el sensor, sino también al número y anchura de las bandas que alberga, a su cadencia temporal y la capacidad para distinguir variaciones en la energía que detecta. En resumen, el concepto de resolución implica, al menos, cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal (Leonberger, 2002 y Figer, hubblesite.org, 2004).

Resolución Espacial

Este concepto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. En un sistema: se mide en unidades de longitud sobre el terreno y depende de la apertura focal de la cámara (resolución angular) y de su altura sobre la superficie.

En los sensores óptico - electrónicos, se prefiere utilizar el concepto de Campo Visual Instantáneo. El que se define como la sección angular, medida en radianes, observada en un momento determinado. No obstante se suele utilizar la distancia sobre el terreno que corresponde a ese ángulo. En resumen corresponde al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, que se denomina pixel.

La resolución espacial de un sensor abarca un espectro que va desde los 10x10m en el SPOT-HRV, los 120x120m del LANDSAT térmico, los 500 a 1100 m por lado del Nimbus-CZCS o NOAA-AVHRR a los satélites meteorológicos de órbita geoestacionaria (Meteosat, GOES, GMS) con Campo Visual Instantáneo de 5 o más kilómetros (Vogelman, 2002).

Resolución Espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede detectar un sensor. Un sensor será "mejor" mientras más bandas proporcione y mientras más estrechas sean éstas (Vogelman, 2002).

Resolución Radiométrica

Hace mención a la sensibilidad del sensor, esto es, a la capacidad de detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. El número máximo de niveles digitales que puede detectar un sensor óptico-electrónico es lo que recibe el nombre de resolución radiométrica. Los primeros sensores ofrecían 64 o 128 niveles digitales, actualmente ofrecen más de 1024 (Vogelman, 2002).

5.4.2 Espectro Electromagnético

Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias (Cuadro 1) o de longitudes de ondas y pueden clasificarse según su principal fuente de producción. La clasificación no tiene límites precisos.

Cuadro 1. Intervalo de Frecuencias del Espectro.

Espectro	Longitud de onda	Frecuencia	Energía
Rayos gamma	< 10 pm	>30.0 EHz	>19.9E-15 J
Rayos X	< 10 nm	>30.0 PHz	>19.9E-18 J
Ultravioleta Extremo	< 200 nm	>1.5 PHz	>993E-21 J
Ultravioleta Cercano	< 380 nm	>789 THz	>523E-21 J
Luz Visible	< 780 nm	>384 THz	>255E-21 J
Infrarrojo Cercano	< 2.5 um	>120 THz	>79.5E-21 J
Infrarrojo Medio	< 50 um	>6.00 THz	>3.98E-21 J
Infrarrojo Lejano/submilimétrico	< 1 mm	>300 GHz	>199E-24 J
Microondas	< 30 cm	>1.0 GHz	>1.99e-24 J
Ultra Alta Frecuencia Radio	<1 m	>300 MHz	>1.99e-25 J
Muy Alta Frecuencia Radio	<10 m	>30 MHz	>2.05e-26 J
Onda corta Radio	<180 m	>1.7 MHz	>1.13e-27 J
Onda Media(AM) Radio	<650 m	>650 kHz	>4.31e-28 J
Onda Larga Radio	<10 km	>30 kHz	>1.98e-29 J
Muy Baja Frecuencia Radio	>10 km	<30 kHz	<1.99e-29 J

Fuente: Leonberger, 2002

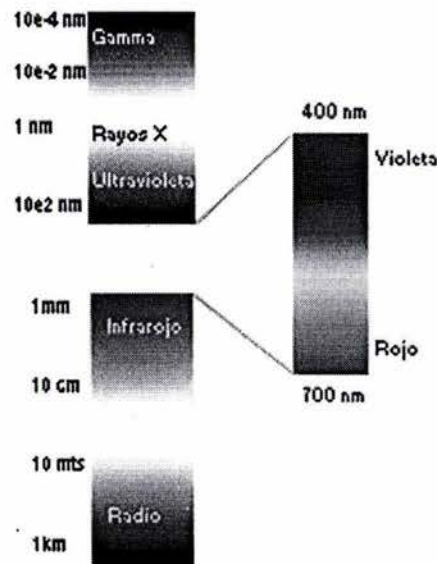


Figura 2. Diagrama de Regiones del Espectro Electromagnético (Darle, landsat.gsfc.nasa.gov, 2004).

En esta otra figura, se representa las distintas regiones del espectro en escala lineal. Vemos como la región correspondiente a las ondas de radio y a las microondas es muy pequeña comparada con el resto de las regiones. El final de la región ultravioleta estaría varios metros a la derecha del lector, y el

final de los rayos X varios kilómetros a la derecha del lector (Berkeley, ibl.gov, 2003).

Rayos Gamma

Se producen en los procesos nucleares, por ejemplo, cuando se desintegran las sustancias radioactivas. Es también un componente de la radiación cósmica y tienen especial interés en astrofísica. La enorme energía de los fotones gamma los hace especialmente útiles para destruir células cancerosas. Pero son también peligrosos para los tejidos sanos por lo que la manipulación de rayos gamma requiere de un buen blindaje de protección (Berkeley, ibl.gov, 2003).

Rayos X

Si se aceleran electrones y luego, se hacen chocar con una placa metálica, la radiación de frenado produce rayos X. Los rayos X se han utilizado en medicina desde el mismo momento en que los descubrió Röntgen debido a que los huesos absorben mucho más radiación que los tejidos blandos. Debido a la gran energía de los fotones de los rayos X son muy peligrosos para los organismos vivos (Berkeley, ibl.gov, 2003).

Radiación Ultravioleta

Los átomos y moléculas sometidos a descargas eléctricas producen este tipo de radiación. La radiación ultravioleta es el componente principal de la radiación solar. La energía de los fotones de la radiación ultravioleta es del orden de la energía de activación de muchas reacciones químicas lo que explica muchos de sus efectos.

La radiación ultravioleta y rayos X producidos por el Sol interactúa con los átomos y moléculas presentes en la alta atmósfera produciendo gran cantidad de iones y electrones libres (alrededor de 10^{11} por m^3). La región de la atmósfera situada a unos 80 Km de altura se denomina por este motivo ionosfera (US-EPA, 1994).

Luz Visible

Es una región muy estrecha pero la más importante, ya que nuestra retina es sensible a las radiaciones de estas frecuencias. A su vez, se subdivide en seis intervalos que definen los colores básicos (rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta), (Darrell, landsat.gsfc.nasa.gov, 2004).

Radiación Infrarroja

Se subdivide en tres regiones, infrarrojo lejano, medio y cercano. Los cuerpos calientes producen radiación infrarroja y tienen muchas aplicaciones en la industria, medicina, astronomía, etc., (Darrell, landsat.gsfc.nasa.gov, 2004).

Microondas

Se usan en el radar y otros sistemas de comunicación, así como en el análisis de detalles muy finos de la estructura atómica y molecular. Se generan mediante dispositivos electrónicos (Darrell, landsat.gsfc.nasa.gov, 2004).

Ondas de Radiofrecuencia

Sus frecuencias van de 0 a 10^9 Hz, se usan en los sistemas de radio y televisión y se generan mediante circuitos oscilantes (Darrell, landsat.gsfc.nasa.gov, 2004).

Las ondas de radiofrecuencia y las microondas son especialmente útiles por que en esta pequeña región del espectro las señales producidas pueden penetrar las nubes, la niebla y las paredes. Estas son las frecuencias que se usan para las comunicaciones vía satélite y entre teléfonos móviles. Organizaciones internacionales y los gobiernos elaboran normas para decidir que intervalos de frecuencias se usan para distintas actividades: entretenimiento, servicios públicos, defensa, etc., (sc.ehu.es, 2003).

5.4.3 El Satélite Landsat ETM +

El Satélite Landsat ETM + se encuentra disponible para tomar escenas o grandes áreas como ecosistemas, específicamente cada escena es de 183 X 170 Kilómetros, la escena está disponible en unidades UTM WGS-84 o en la proyección que se elija en un formato GeoTiff, las áreas a tomar son revisadas durante 16 días, la resolución espacial según la siguiente Cuadro es de 30 metros para la región visible e infrarrojo visible (1-5 y 7). La resolución de la banda pancromática (8) es de 15 metros y la infrarrojo termal (6), corresponde a 60 metros (Landsat.gsf.nasa.gov, 2004).

Características por Banda

Cuadro 2. Características espectrales por banda (Landsat.gsfc.nasa.gov, 2004).

Número de Banda	Rango Espectral (Micrones)	Resolución (m)	Características /Usos	
1	.45 a .515 – Azul	30	Composición Verdadero	Color
2	.525 a .605 – Verde	30	Composición Verdadero	Color
3	.63 a .690 – Rojo	30	Composición Verdadero	Color
4	.75 a .90 – IR Cercano	30	Salud Vegetal	
5	1.55 a 1.75 – IR Onda Corta Media	30	Humedad en Vegetación y Suelos	
6	10.40 a 12.5 - IR Termal	60	Temperatura de Superficies	
7	2.09 a 2.35 – IR Onda Corta	30	Humedad en Vegetación y Suelos Contenido Mineral de Rocas y Suelos	
8	.52 a .90 - Pancromática	15	Luz Visible	

i) Cuando la banda 6 es requerida es entregada como 2 bandas, una de alta ganancia de valores de reflectancia (6a) y otra de baja ganancia de valores de reflectancia (6b).

ii) La banda 8 es entregada por separado en un archivo de tipo GeoTiff o de otra manera que sea requerido.

Características del Satélite

Resolución: 30 metros región visible, Infrarrojo (bandas 1-5 y 7), 60 metros, Infrarrojo Termal (banda 6), 15 metros Pancromática (banda 8).

Fecha: Desde 1999 hasta ahora, revisitando cada 16 días.

Nubes: Al menos 97.5% libre de nubes.

Precisión Horizontal: 250 metros para áreas debajo relieve al nivel del mar.

Proyección: UTM, Geográficas (Latitud/Longitud) o Definido por el usuario.

Formato: GeoTiff.

Datum: WGS-84 o Definido por el Usuario.

Combinaciones: Todas las bandas o combinación definida por el usuario.
Costo: Escena \$625 Dls., por 183 kilómetros por 170 kilómetros.
Disponibilidad: En el mundo entero, Revisitando cada 16 días.
Media: CD, DVD o Disco Duro Externo (\$10 Dls., por CD y \$25 Dls., por DVD)
(Landsat.gsfc.nasa.gov, 2004).

5.4.4 Absorción y Reflectancia

La absorción y reflectancia de luz por parte de las sustancias se origina en la estructura misma de las moléculas y de los átomos. El tamaño, la forma, la flexibilidad de las moléculas, la distribución de los electrones en átomos y moléculas, es decir la estructura de la sustancia origina la especificidad en la radiación absorbida por ellas o emitida por ellas.

Absorción: la absorción de la luz ocurre cuando la luz llega a su destino, produciendo ahí un efecto físico en el sensor del satélite, este efecto va a depender tanto del satélite como de la banda

Reflectancia: Calidad óptica de un superficie, descrita en términos de cantidad de energía radiante recibida por un sensor (Leonberger, 2002).

5.5 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS en inglés, o SIG en español) son el resultado natural de la evolución de las ciencias de la computación y la electrónica. Las computadoras personales actuales pueden manejar con mayor comodidad los grandes volúmenes de datos asociados con la información geográfica. Un SIG, puede ser considerado como un híbrido entre los Sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y los productos tradicionales de bases de datos. La Figura 3 explica el porque se favorece el trabajar con los datos en su verdadero contexto espacial, proporcionando de manera cómoda la información en una interfaz con alto impacto visual y gran capacidad de síntesis informativa (Jones, 1998).

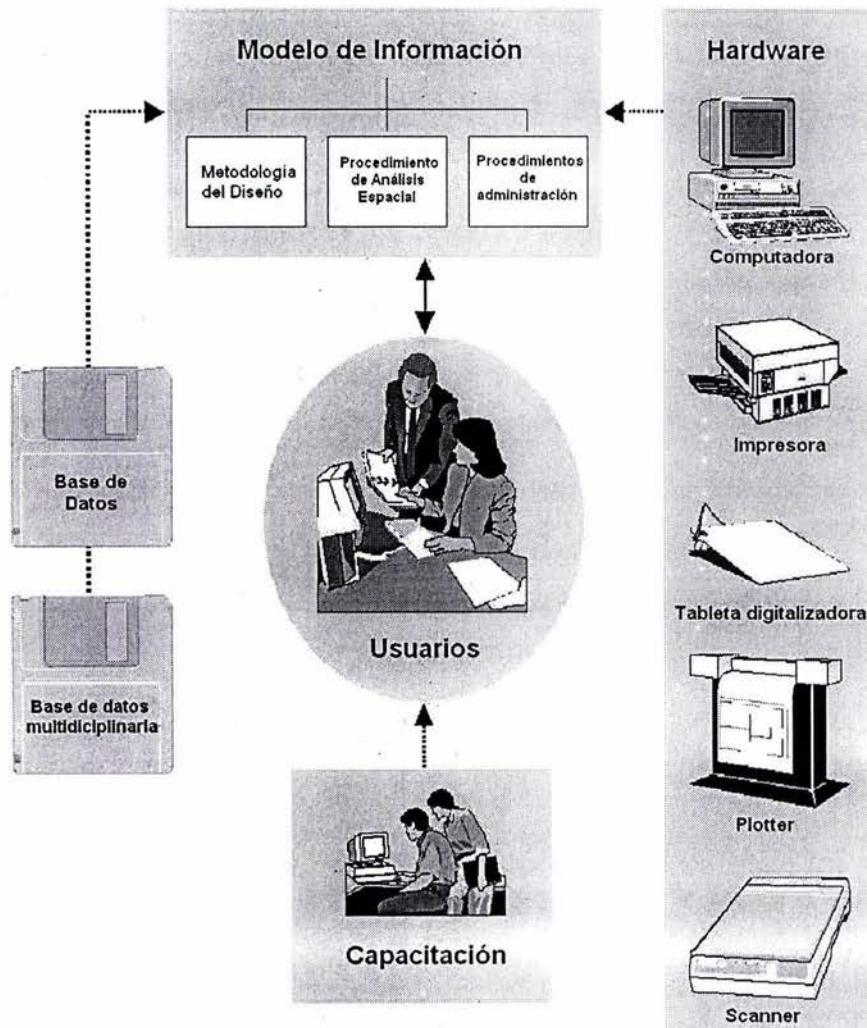


Figura 3. Modelo de un SIG.

Las aplicaciones del SIG incluyen todas aquellas en que se hace necesario manejar información que se encuentra distribuida en el espacio físico del mundo en que vivimos. (Ball, 1994). Una de las tecnologías que ha contribuido enormemente a la aparición de información geográfica en formato digital es el Sistema de Posicionamiento Global o GPS. Basado en las señales que emite una constelación de satélites que cubren al globo terráqueo. Por lo que esta tecnología ha permitido el desarrollo de los sistemas de navegación para buques y aviones que no dependen de las condiciones climáticas y a la vez son totalmente confiables y precisos (Levachkine, 2000 y Hedeso *et al.*, 2001).

El desarrollo de las ciencias espaciales también permite que por primera vez en la historia humana se cuente con fotografías del globo terráqueo. Existiendo satélites especialmente diseñados con el propósito, de transmitir periódicamente a la Tierra imágenes digitalizadas, que con ayuda del

software adecuado y según Johnston (1998) pueden interpretarse y ser utilizadas en:

- Actualización de mapas
- Supervisión del desarrollo de plagas o enfermedades vegetales en amplias áreas.
- Planificación de talas y reforestación en bosques.
- Seguimiento de derrames de petróleo en el mar o incendios forestales de grandes proporciones.
- Evaluación de dispersión de contaminantes
- Estudio de evolución de hábitat naturales con el paso del tiempo.
- Estudio de erupciones volcánicas.
-

Al hablar de los Sistemas de Información Geográfica pensamos en un sin fin de soluciones prácticas que vemos reflejadas en un producto final: un mapa. Este sistema incluye toda la infraestructura tecnológica que permite consultar y manipular la información permitiendo realizar análisis prácticos de acuerdo a los requerimientos de cada estudio. (Adinarayana *et al.*, 1994 y Lai, 1990).

5.5.1 Operaciones de un SIG

El SIG permite obtener una gran cantidad de información de distintos tipos, siendo una de sus finalidades el procesar la información para convertirla en un conjunto de datos compatibles, capaces de combinarlos y exponer los resultados sobre un mapa. (Navarro *et al.*, 1992; Ball, 1994; Bocco *et al.*, 1991).

Algunas de las operaciones estándar del SIG son las siguientes:

- Integración de mapas trazados a escalas diferentes, con proyecciones distintas.
- Cambio de escala y proyección.
- Superposición de distintos tipos de mapas de un área específica para dar lugar a un nuevo mapa.
- Creación de zonas intermedias o próximas en torno a las líneas o polígonos de un mapa.
- Ofrece respuestas a preguntas de carácter espacial o informativo, a través de una base de datos.

5.5.2 Componentes Principales de un SIG

Los sistemas de información geográfica tienen los siguientes componentes principales:

- El equipo
- Los programas informáticos
- Los recursos humanos
- La organización que hace que el sistema funcione

Los componentes del SIG desempeñan las siguientes funciones (Jones, 1998 y García, 2002):

- Digitalización e ingreso de los atributos utilizando un teclado
- Almacenamiento de datos y gestión de la base de datos
- Análisis y tratamiento de datos
- Edición de gráficos (mapas)
- Salida y presentación de datos (representación gráfica).

La introducción de datos, incluye la conversión de datos procedentes de los mapas, observaciones sobre el terreno, las imágenes procesadas obtenidas mediante satélites y fotografías aéreas en datos digitales compatibles.

El almacenamiento y gestión de la base de datos consiste en determinar la forma en que los datos han sido estructurados y el sistema de preguntas, análisis e informes de los atributos relacionados a las características sobre los mapas. El procesamiento de datos puede referirse a los aspectos espaciales y no espaciales de la información o ambos. Las operaciones típicas de elaboración automatizada de datos incluyen la superposición de diferentes mapas temáticos, la adquisición de información estadística sobre los atributos, el cambio de escala, la adaptación de los datos a las nuevas proyecciones, el cálculo de las superficies y los perímetros y preparando perspectivas tridimensionales.

5.5.3 Levantamiento Fisiográfico en SIG

El método para la realización del Levantamiento Fisiográfico, está basado en una la metodología de Webster y Beckett (1970) y consta de los siguientes pasos:

Delimitación de la zona de estudio: Nos permite organizar la búsqueda de información y adquisición de materiales por lo que es indispensable su ubicación geográfica.

Obtención de la información existente: Buscar toda la información cartográfica disponible tales como mapas: geológico, edafológico, uso de suelo, etc. No siendo necesario que toda la zona esté cubierta con este tipo de materiales, en algunos casos basta con disponer de información parcial del área de trabajo. Además, es necesario obtener material fotográfico, imágenes de satélite y fotografías aéreas.

Unificación de Escalas: La información cartográfica colectada se lleva a la misma escala de la imagen. Es conveniente mencionar que las ampliaciones o reducciones son aproximaciones. Por otra parte y específicamente en las reducciones, es de esperarse que algunos rasgos se pierdan o queden demasiado pequeños que no se hace necesario considerarlos.

Fotointerpretación y Recorridos de Campo: Con las unidades provisionales trazadas sobre las fotografías aéreas, el siguiente paso consiste en identificar la naturaleza de tales unidades y las partes que lo componen. Para ello es necesario el estudio detallado de las fotografías aéreas. En aquellas partes donde el acceso a los terrenos es imposible, se conjugan los recorridos de campo con la fotointerpretación, para establecer correlaciones que se emplean para definir aquellas partes en donde no son posibles tales recorridos. Cada una de estas nuevas áreas representa a los Sistemas Terrestres. Si se cree conveniente, se puede realizar una revisión de estos sistemas después que el trabajo de campo se ha efectuado.

Definición de Sistemas Terrestres: Los sistemas terrestres se definen sobre las facetas presentes y sus relaciones. Usualmente todo sistema terrestre contiene un conjunto de facetas con las mismas interrelaciones, aunque se acepta como normal, el encontrar una o dos facetas como erróneas para un

sistema terrestre en particular. Es de esperarse que en algunas partes de nuestro país se carezca de todo tipo de información o que la información existente no coincida con los rasgos observables sobre la imagen, en tales casos se propone una interpretación deductiva realizada sobre la imagen. Se examina la imagen basándose en los parámetros de Tono y Forma, con la restricción de que si se generan áreas muy pequeñas, se deben buscar asociaciones de tonos y formas. Estas delimitaciones constituyen a las Unidades Provisionales del método cartográfico, prosiguiendo con los demás pasos.

Cuadro 3. Área Mínima Cartografiable para Sistemas Terrestres y Facetas

Unidad	Escala	Área Mínima Cartografiable (cm)	Superficie (Ha)
Faceta	1:80,000	0.25	16.00
	1:50,000	0.25	6.25
	1:40,000	0.25	4.00
	1:10,000	0.25	0.25
Sistema Terrestre	1:1x10 ⁶	0.25	2,500
	1:5x10 ⁵	0.25	625
	1:2.5x10 ⁵	0.25	156

La Forma del Terreno se describe basándose en la pendiente general, por Ejemplo.: meseta, cantil, talud, planicie, cauce, depresión, barranca, cresta, ladera y declive (Figura 4).

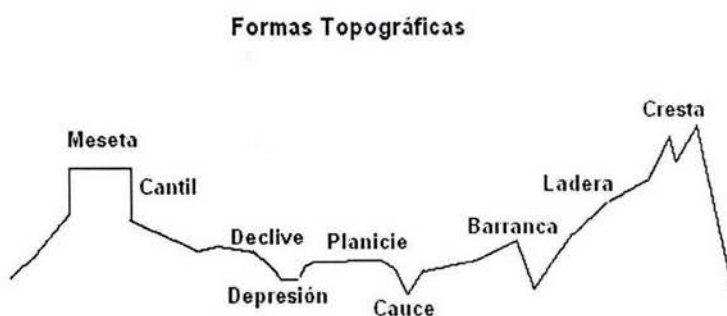


Figura 4. Formas de terreno.

5.6 Sistema de Clasificación Fisiográfico

El Levantamiento Fisiográfico, cuenta en el ámbito regional con un sistema de clasificación muy simple, ya que tiene 2 tipos de unidades: la Faceta y el Sistema Terrestre.

La Faceta: es la unidad básica de clasificación y se define como: “Una porción de la superficie terrestre, usualmente con una forma simple, sobre una misma roca o depósito superficial y con suelo y régimen de humedad que son uniformes o varían en forma simple o consistente”. Cada Faceta es lo suficientemente homogénea para ser manejada uniformemente, y son de un tamaño tal que pueden ser cartografiados sobre fotografías aéreas de escalas entre 1:10,000 a 1:80,000. En la práctica se les considera como las áreas más pequeñas que pueden distinguirse sobre fotografías aéreas a las escalas mencionadas. Con las Facetas se pueden coleccionar y organizar la información sobre los recursos terrestres de un área y aspectos sociales y económicos. Si las facetas presentan una homogeneidad, estas pueden agruparse en áreas más grandes.

Los Sistemas Terrestres: son unidades cartografiables a escalas pequeñas de 1: 250, 000 a 1: 1, 000, 000. La subdivisión de un territorio en Sistemas Terrestres produce áreas de un tamaño adecuado para la planeación regional, cada una con su propio potencial de desarrollo. Pero su principal función es la de ayudar a la identificación de las Facetas que lo integran.

5.7 Análisis Espacial

El análisis espacial se origina con el desarrollo de la geografía cuantitativa y estadística en los 50's. En un principio se basó en la aplicación de métodos estadísticos a los datos espaciales existentes (Mc Garical, 2002b).

Con el análisis espacial se amplían las posibilidades de las consultas tradicionales a la base de datos al poder analizar los datos que se basan en su localización. Por ejemplo, podemos buscar las frecuencias de un tipo específico de pendiente en un mapa de erosión de una zona de cultivo y obtener como resultado un mapa de riesgo de erosión de suelo. Este mapa de riesgo no existía en la base de datos original, pero se generó con los datos ya existentes y de un proceso de relaciones específicas. En la Cuadro 6, se

resumen las operaciones de análisis espacial que se aplican a los diferentes tipos de datos geográficos (Ball, 1994 y Kim, 1990).

Los Sistemas de Información Geográfica proveen un mayor rango de capacidades de análisis que pueden operar con topología de datos espaciales, así como con datos no espaciales y atributos.

Los métodos de modelado espacial se pueden utilizar para crear un número ilimitado de capacidades de análisis con los datos (Bocco *et al.*, 1991 y Eade y Moran, 1996)

- Correlación de varias funciones simples de análisis
- Diseño programas de simulación

En el álgebra de mapas de la modelación cartográfica, hay variables que se representan como coberturas, las cuales se procesan mediante una serie de operaciones cartográficas (reclasificación de zonas, combinación de coberturas, cálculo de distancias y direcciones). Cada una de estas operaciones acepta como entrada una o más coberturas que resultan en un mapa que a su vez se puede utilizar como acceso a otro proceso, de modo que se generan operaciones complejas que permiten construir modelos (Lewis, 1995; Hedeos *et al* 2001 y Felicísimo, 1994).

5.8 Formatos de Medición

Existen varias maneras de representar y organizar los datos en un SIG (Figura 5). La función esencial de los datos espaciales es la de subdividir la superficie de la tierra en objetos o entidades significativas que pueden ser caracterizados. Los datos se pueden representar de dos maneras: Vector y Ráster (Forman, 1996).

Tipos de visualización Espacial

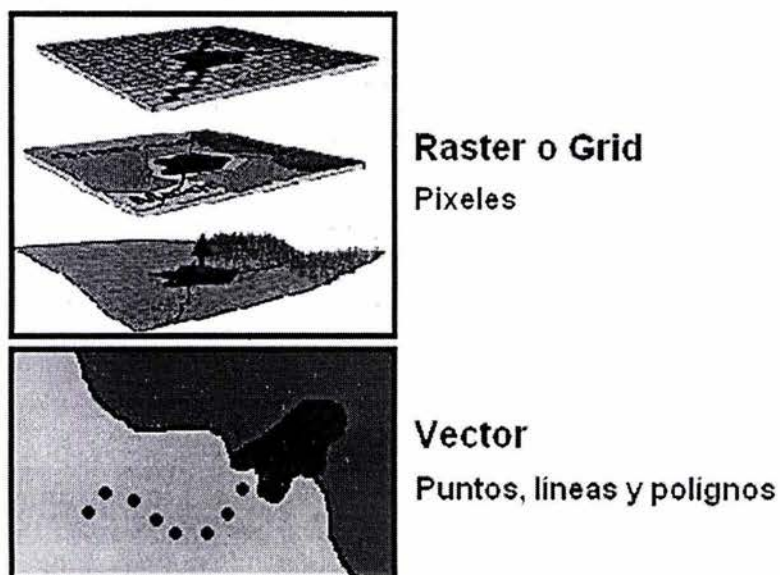


Figura 5. Modelos Ráster y Vector.

El mundo real representado como un mosaico de líneas y puntos interconectados que señalan la localización y/o límites de entidades se refiere al Modelo Vector, y el resultado de la tecnología computacional, representa el mundo sobre una estructura en malla de dimensiones variables en la que un elemento se señala por la presencia o ausencia de algún valor dentro de una celda o píxel, que es el Modelo Ráster.

Estas aproximaciones de la realidad constituyen dos maneras de representar el espacio cartográfico y se conocen como Modelos Vectoriales y Ráster (Figura 5). La mayoría de los Sistemas de Información Geográfica, tienen la capacidad de transformar a partir de un formato al otro.

Con un SIG se pueden seleccionar una o ambas estructuras (vectorial y/o ráster) para trabajar. La aplicación de cada una de estas aproximaciones se optimiza en situaciones donde la información espacial muestreada y procesada cercanamente refleja las características del modelo de datos.

Se debe tener en cuenta que tipo de operaciones analíticas son inapropiadas para su ejecución con datos vectoriales por su lentitud o complejidad, ofreciendo mayores ventajas un modelo ráster.

5.8.1 Vector

El método más común para representar datos espaciales ha sido el método vectorial. La cartografía, se ha basado en el uso de líneas o “vectores”, para representar elementos como carreteras o corrientes, y definir bordes entre diferentes entidades espaciales como tierra y agua (Figura 6). Las investigaciones de técnicas de hacer los mapas se fundamentaron en los principios de la geometría y la trigonometría que emplean vectores. En una estructura vectorial las líneas son infinitamente delgadas y no incrementan de ancho si un área es electrónicamente ampliada (Gardner, 2002 y Jones, 1998).

En una estructura vectorial, los puntos son representados por un único par de coordenadas X,Y, mientras que las entidades lineales y entidades de áreas (polígonos) están compuestos de segmentos rectos de líneas uniendo 2 pares de coordenadas (vértices) en sistemas como longitud/ latitud o Universal Transversa de Mercator. La relación espacial es importante para redes de líneas o polígonos (uniones, adyacencias, etc.) y se hacen explícitamente a través del uso de la relación de topología arco-nodo.

Los atributos de valores para puntos, líneas y polígonos son típicamente almacenados independientemente de la representación espacial de las entidades. Tales atributos son almacenados en los manejadores de base de datos (Mc Garical, 2002 y García, 2002).

Formatos Espaciales: Vector

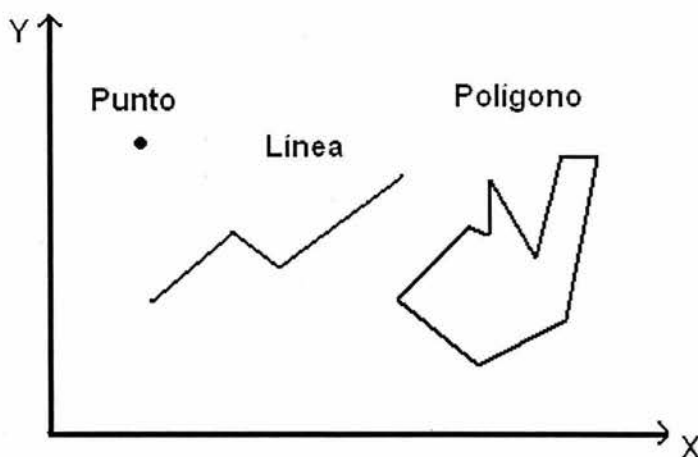


Figura 6. Modelo de Datos Espaciales tipo Vector.

5.8.2 Ráster

La estructura más simple de datos ráster representa el espacio en 2 dimensiones como un arreglo matricial de una malla de celdas (píxeles) cuadrada o rectangular. Cada celda de la malla representa un cuadrado o porción rectangular de la superficie de la Tierra. La resolución de los datos ráster es determinada por el tamaño de las celdas en el terreno, así, el ráster representa un espacio discreto donde la precisión de localización depende del tamaño de la celda de la malla. La malla más pequeña en tamaño implica un gran volumen de datos y espacio en disco. En cada celda se asume que se tiene un único valor para un determinado atributo. Un valor de celda de malla puede representar un punto de alguna medición (por Ejemplo., una elevación) o una medición de área (por Ejemplo., usos del suelo, reflexión). Los atributos para múltiples entidades geográficas pueden ser conceptualizados como múltiples capas de ráster.

Las precisiones de las coordenadas en el ráster están implícitas en el tamaño de la celda. Las consideraciones explícitas de los elementos espaciales (puntos, líneas y áreas) y sus características topológicas y geométricas no son inherentes a los datos ráster, pero pueden ser extraídos de su estructura si es que se requiere. Solo después del advenimiento de las computadoras que la estructura ráster para los datos comenzó a emerger como una atractiva alternativa para ciertos tipos de mapeo. Debido a la pequeña memoria y limitantes de la computación en los inicios de la computación, los mapas ráster eran burdos en comparación a los mapas convencionales (estructurados vectorialmente). Los mapas ráster fueron frecuentemente percibidos como inferiores, para algunas aplicaciones, aunque se les usaba en el mapeo de límites no muy precisos. Muy pronto se volvió esta deficiencia aparente en ventaja, ya que pese a que la resolución espacial del ráster era burda para algunos propósitos cartográficos, presentaba algunas poderosas ventajas en la codificación de datos y en aplicaciones que requerían un mapeo temático y análisis. Efectuándose múltiples sobreposiciones de mapas, que podían completarse en cuestión de segundos usando este método ráster (Levachkine, 2000)

Datos Espaciales: Raster

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	2	2	2	2	1	1
1	1	2	2	2	2	2	1
1	2	2	2	2	2	2	1
1	2	2	2	2	1	1	1
1	1	2	2	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Fig. 7. Modelo de Datos Espaciales tipo Ráster.

5.9 Fragmentación

Durante las últimas décadas se ha incrementado la llamada "crisis de la biodiversidad" por su acelerada pérdida en todo el mundo. La deforestación y la fragmentación de ecosistemas se han reconocido en muchos países como unas de las principales causas de pérdida de la biodiversidad y se ha alertado sobre las consecuencias que estos fenómenos pueden tener sobre el bienestar de la humanidad y la salud general del ambiente (Harris 1984 y Noss 1994). En los países en vías de desarrollo, la deforestación se debe al cambio en el uso del suelo y la consiguiente transformación de bosques o selvas en zonas agrícolas o pecuarias, como resultado de una presión demográfica sobre el uso de los recursos naturales y de un aprovechamiento inadecuado de la tierra (FAO, 1993).

Características de los Fragmentos: Tamaño, Forma, Conectividad, Origen (Figura 8).

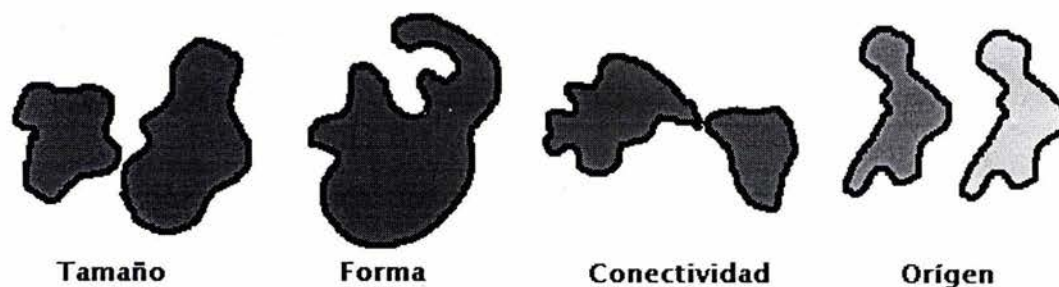


Figura 8. Propiedades de los parches

Fragmentos de perturbación. El origen del fragmento es una perturbación pequeña natural o antrópica de tipo eventual (deslizamientos, quemas ocasionales) o crónico (pastoreo, inundaciones, quemas cíclicas)

Fragmentos remanentes. Originados por una perturbación extensa que forma islas no afectadas por el disturbio. Su magnitud es más severa y se puede presentar extinción de especies.

Fragmentos de recurso ambiental. Se presentan por diferencias en las condiciones del suelo, drenaje o características litológicas. Se caracteriza por bordes abruptos o graduales con mayor movimiento de especies.

Fragmentos introducidos. Originados por actividades humanas como la introducción de especies, establecimiento de enclaves industriales y actividades antropogénicas de tipo permanente. Detienen el proceso de sucesión natural.

5.9.1 Causas de la Fragmentación

La fragmentación es un proceso que afecta de manera negativa la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. La reducción de la cubierta vegetal ocasiona problemas como modificaciones en los ciclos hídricos y cambios regionales de los regímenes de temperatura y precipitación, favoreciendo con ello el calentamiento global, la disminución en el secuestro de bióxido de carbono, así como la pérdida de hábitat o la fragmentación de ecosistemas.

La fragmentación de la vegetación tiene como consecuencia inmediata la reducción del hábitat para las especies, lo que puede ocasionar un proceso de defaunación o desaparición parcial o total de comunidades de algunos grupos como insectos, aves y mamíferos (Dirzo y García 1992). Las relaciones bióticas y abióticas de las comunidades también se pueden alterar en función del tamaño y la forma de los fragmentos, ya que al modificarse la distribución espacial de los recursos también se modifica su disponibilidad (Morris, 1992). El grado de interrelación de los fragmentos determina entonces la viabilidad de estas especies en el mediano y largo plazos, ya que si ésta no existe pueden producirse procesos de aislamiento, favorecerse procesos endogámicos o bien llegar hasta la extinción local de algunas especies.

La deforestación, por tanto, puede ocasionar la extinción local o regional de las especies, la pérdida de recursos genéticos, el aumento en la ocurrencia de plagas, la disminución en la polinización de cultivos comerciales, la alteración de los procesos de formación y mantenimiento de los suelos (erosión), evitar la recarga de los acuíferos, alterar los ciclos biogeoquímicos, entre otros

procesos de deterioro ambiental (FAO, 1993 y Trani y Giles 1999). En síntesis, la deforestación es una causa de pérdida de la diversidad biológica a nivel genético, poblacional y ecosistémico.

En México, la deforestación es un problema que se ha presentado desde tiempos precolombinos. Sin embargo, de acuerdo con estadísticas reunidas por INEGI, durante las últimas cuatro décadas este proceso se ha incrementado dramáticamente. Las estimaciones de las tasas de deforestación para el país varían entre 370 000 y 746 000 ha/año para selvas y bosques cerrado. Este rango tan amplio en los valores se debe a la heterogeneidad de la información que se utiliza para estimar las tasas de deforestación, como son diferentes definiciones y enfoques, diversas metodologías, distintos tiempos y distintas escalas geográficas de análisis. Independientemente de la variabilidad, los valores reportados son muy altos y denotan una pérdida anual considerable de los ecosistemas naturales (Chávez, 2003). México, siendo un país megadiverso, requiere conocer estos procesos de deterioro del ambiente para tratar de revertir el problema de pérdida de biodiversidad antes de que sea demasiado tarde.

5.10 Cuantificación del Paisaje

El interés creciente en cuantificar patrones del paisaje es debido a la premisa de que los procesos ecológicos están vinculados a y pueden predecirse a partir de patrones espacial a escala mas generales (Turner, *et al.*, 2001). La métrica del paisaje ha contribuido al desarrollo de índices cuantitativos que ayudan a evaluar los indicadores de la diversidad y a elaborar modelos para predecir las interacciones entre patrones del paisaje, formas de relieve, organismos y procesos del paisaje como disturbios y ciclo de nutrientes entre otros (Turner, 1989 y Turner *et al.*, 2001).

Forman (1996) resume en cuatro categorías las mediciones o índices de paisaje reportados en la literatura (Cuadro 4), mientras que Turner *et al.* (2001) los categoriza en tres: composición, configuración espacial y fractales. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, 1994) presenta a su vez un total de 23 índices como indicadores de calidad biótica y diversidad. Sin embargo, sólo 8 de ellos disponen de medición y de pruebas de campo e implementación: contagio, dimensión fractal, dominancia, cambio de hábitat, hábitat por especie en peligro, pérdida de cobertura, cantidad de bordes y distribución del tamaño del fragmento.

Cuadro 4. Índices del Paisaje
Índices del Paisaje

<i>Categoría</i>	<i>Índices</i>	<i>Descripción</i>
I. Mediciones de diversidad	<ul style="list-style-type: none"> • Riqueza relativa • Uniformidad relativa • Dominancia • Diversidad 	Las dos primeras categorías analizan la heterogeneidad de un mosaico. Estas medidas determinan los números, tipos, tamaños o formas relativas de los fragmentos o corredores en un mosaico. Son de orden informativo.
II. Mediciones de límites o bordes	<ul style="list-style-type: none"> • Número de bordes • Dimensión fractal • Fragmentos relativos • Longitud de límites / área • Densidad de límites / área 	Son medidas del tipo y predominio de límites en un paisaje. Se han empleado en estudios de hábitat silvestres, tamaño de penínsulas sobre costas rocosas y en evaluación del cambio en la forma del fragmento para un período de 50 años.
III. Medidas centradas en el fragmento	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento de un fragmento • Accesibilidad de un fragmento 	Categorías III y IV, dependen tanto de la abundancia de objetos como de su localización relativa de unos con otros.
IV. Medidas del patrón de todos los fragmentos	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersión de fragmentos. • Aislamiento de fragmentos. • Probabilidad del vecino más cercano. • Contagio • Densidad de fragmentos • Contigüidad 	

Fuente: Forman, 1996.

5.11 Elementos del Paisaje

Los elementos principales del paisaje son los fragmentos, corredores y matrices los cuales constituyen la composición del paisaje a cualquier escala (Forman & Godron, 1986 y Forman, 1995) Pueden ser de origen natural o transformados debido a la acción de hombre.

Fragmentos o áreas geográficas no lineales que difieren en apariencia de su alrededor y que guardan condiciones ambientales relativamente homogéneas. Los fragmentos varían ampliamente en tamaño, forma, origen, conectividad y bordes; estas características juegan un papel importante en la determinación del flujo de energía, organismos y factores abióticos a través del paisaje (Etter, 1991) Los fragmentos son componentes dinámicos del paisaje y su variación ocurre a escalas espaciales y temporales que dependen de la percepción de cada organismo y de los diferentes niveles de organización de las poblaciones (McGarigal & Marks, 1995).

La configuración de los fragmentos (tamaño y forma), determina la habilidad de una especie para persistir dentro de éste.

5.12 Índices del Patrón del Paisaje

5.12.1 Métricas de Clase

Según McGarigal (2002) las métricas de clase con calculadas para cada tipo de parche o clase en el paisaje, el resultado del archivo con una fila con cada clase, donde las columnas representan las métricas individuales. La primera de las dos columnas incluyen la información del encabezado dependiendo de cada clase: Número y Tipo de paisaje.

Media: iguala la suma entre todos los parches, dividido por el número de parches del mismo tipo.

$$MN = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}$$

Media por Área: la suma de todos los parches del mismo tipo, multiplicado por la abundancia proporcional del parche.

$$AM = \sum_{j=1}^n \left[x_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$$

Mediana: Representa el punto medio de la distribución de los valores de parches.

$$MD = X_{50\%}$$

Rango: es el valor del parche más grande menos el valor del mas pequeño.

$$RA = X_{\max} - X_{\min}$$

Desviación Estándar: raíz cuadrada de la suma de las desviaciones de cada parche, dividido por el número de parches del mismo tipo, que es la desviación de la media.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[x_{ij} - \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i} \right) \right]^2}{n_i}}$$

Coefficiente de Variación: la desviación estándar dividida por la media, multiplicado por 100, para convertir a porcentaje.

$$CV = \frac{SD}{MN} (100)$$

5.12.2 Métricas de Paisaje

Estas métricas de parche son calculadas para todos los parches en el paisaje; el archivo de salida contiene una columna para cada parche, donde las columnas representan medidas individuales, las primeras tres columnas incluyen identificación de parche y paisaje

Desviación Estándar de la Clase de Parche: iguala el valor de la métrica para un parche local menos la media de la métrica, dividida por la DS de la clase

$$CSD = \frac{\overline{X_{ij}} - \overline{X_i}}{S_i}$$

Porcentaje de Distribución de Clase por Parche: iguala el porcentaje de rango ordenando la distribución de todos los parches

$$CPS = \left(\frac{\text{rank}(x_{ij}) - 1}{n_i - 1} \right) (100)$$

Desviación Estándar de la Media del Paisaje: iguala el valor de la métrica para el parche de interés, menos la media de la métrica entre todos los parches divididos por la DS del paisaje.

$$LSD = \frac{\overline{X_{ij}} - \overline{X}}{s}$$

Porcentaje de distribución del Paisaje: iguala el porcentaje del rango ordenando la distribución de todos los parches en el paisaje.

$$LPS = \left(\frac{\text{rank}(x_{ij}) - 1}{N - 1} \right) (100)$$

Método de FRAGSTATS

Para el cálculo de estos índices se utilizó la extensión FRAGSTATS que es un programa desarrollado por la USDA y la Universidad de Massachusetts que se integra como extensión para el programa Arc View ® en su versión 3.2, este programa trata, clasifica y calcula muchos datos de tipo estadístico para cada parche y clase (tipo de parche) para el paisaje (Mc Garical, 2002).

A nivel de clase y paisaje algunas de las métricas cuantifican la composición del paisaje, mientras otras cuantifican la configuración del paisaje. La configuración y la composición del paisaje pueden afectar procesos ecológicos independientemente e interactivamente. Así es especialmente importante entender para cada métrica qué aspecto del patrón del paisaje debe ser cuantificado, en conclusión, muchas de las métricas son parcial o completamente redundantes; en muchos de los casos, las métricas redundantes pueden ser altamente correlacionadas, por ejemplo, a nivel de

paisaje la *Densidad de Parche* y la *Media de Parche*, pueden ser perfectamente correlacionadas porque representan la misma información.

Muchos de los índices de parche tienen contrapartes a nivel de clase y paisaje. Por ejemplo muchos de los índices a nivel de clase (índice de forma), representan la misma información básica, correspondientes a los índices de parche.

Según Mc Garical (2002) cada métrica es agrupada en secciones de acuerdo al aspecto del patrón del paisaje medido, las secciones son como sigue:

- Área/ densidad/métricas de borde
- Métricas de forma
- Métricas de área
- Aislación/ métricas de proximidad
- Métricas de contraste
- Contagio/ métricas de interspersión
- Métricas de conectividad
- Métricas de Diversidad

Estas métricas además son agrupadas en métricas de Parche, Clase y Paisaje como sigue:

- Métricas a nivel de Parche
- Métricas a nivel de Clase
- Métricas a nivel de paisaje

6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La región se encuentra en un área forestal muy cercana a la zona metropolitana de la ciudad de México, donde se concentra la mayor parte de las actividades administrativas gubernamentales y que además es una de las zonas industriales más importantes de la Ciudad de México (Letona, 2001a), esta región a demás posee una zona rural en la que se llevan a cabo importantes actividades de producción agrícola y ganadera, tanto para consumo interno como para externo, en este caso, el consumo externo es principalmente de productos maderables.

El crecimiento urbano y las zonas industriales cercanas a la región, aumentan la presión de deterioro desde el borde exterior del macizo principal y la

contaminación industrial afecta la salud de los habitantes deteriorando las comunidades forestales cercanas a estas actividades. Además de la contaminación, las plagas, los incendios y el pastoreo, la extracción clandestina, el ocoteo, la extracción de pastos, suelo y la cacería, influyen en la modificación de las condiciones óptimas para el desarrollo de las comunidades vegetales y animales.

Debido a esta falta de ordenamiento es de suma importancia caracterizar de una manera ecológica y espacial las diferentes composiciones vegetales para definir geoméricamente el uso de suelo de la región; de esta manera se podrán dar recomendaciones para el uso de suelo y limitarlo en algunas zonas.

La Ecología del Paisaje aunada al uso de Sistemas de Información Geográfica son una importante herramienta para definir el uso de zonas con recambio o alteradas como es el caso de la Región, tomando en cuenta una escala de sistemas Terrestres se pueden definir áreas de importancia ecológica para el ordenamiento territorial, con resultados cuantitativos que ofrecen observaciones sobre la fragmentación o aumento de borde, de esta manera se pueden asignar valores de conservación, dependiendo de la degradación de los paisajes.

7 HIPÓTESIS

Si los patrones de uso y degradación de los paisajes están determinados por una reducción de los parches naturales, tanto en tamaño como en cantidad, entonces el perímetro del borde de los paisajes es el parámetro que determine el grado de conservación de la región.

8 OBJETIVOS

- *General:*

Estimar la geometría espacial de los paisajes de la región Tláloc-Izta-Popo para determinar su estado de conservación a nivel de mesoescala durante un año.

- **Específicos:**

- Determinar las propiedades espaciales de línea, área, diversidad, conectividad y fractalidad de los paisajes de región Izta-Popo-Zoquiapan.
- Determinar las características de la vegetación, topografía y grado de conservación de los paisajes de la región.
- Conocer la relación entre geometría de los paisajes y el estado de conservación de la región.

9 MATERIAL

2 Flexómetros

1 Clisímetro

1 Brújula

1 Piceta c/agua destilada

1 Cápsula de porcelana

1 Hoja de Caracterización por sitio de muestro

1 Pluma

1 GeoPosicionador

1 Mapa de la Zona

1 Computadora con procesador AMD Athlon a 1 Ghz, con 128 MB en RAM y DD de 30 Gigas y quemador de 52 velocidades.

1 Arc GIS 3.2

1 IDRISI 32

1 Extensión FRAGASTATS para Arc View 3.2

10 MÉTODO

10.1 Zona de Estudio

Se encuentra ubicada en el Eje Neovolcánico Transversal específicamente en la Sierra Nevada, en colindancia con el Valle de México. La ubicación política de la zona de estudio es el Estado de México, de donde se abarcan a algunas comunidades, las que se consideraron como su área de influencia, como son: Amecameca, San Pedro Nexapa, Las Delicias, Atlautla de Victoria y Ozumba de Alzate. Los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl se encuentran ubicados entre los 18°59' y 19°16'25'' latitud norte y 98°34'54'' y 98°42'08' longitud

oeste. Localizándose la zona de estudio entre las coordenadas geográficas 19°00' y 19°08' latitud norte y 98°02' y 98°09' longitud oeste (Figura 9). (Domínguez, 1981; Flores, 1987 y García, 1999).

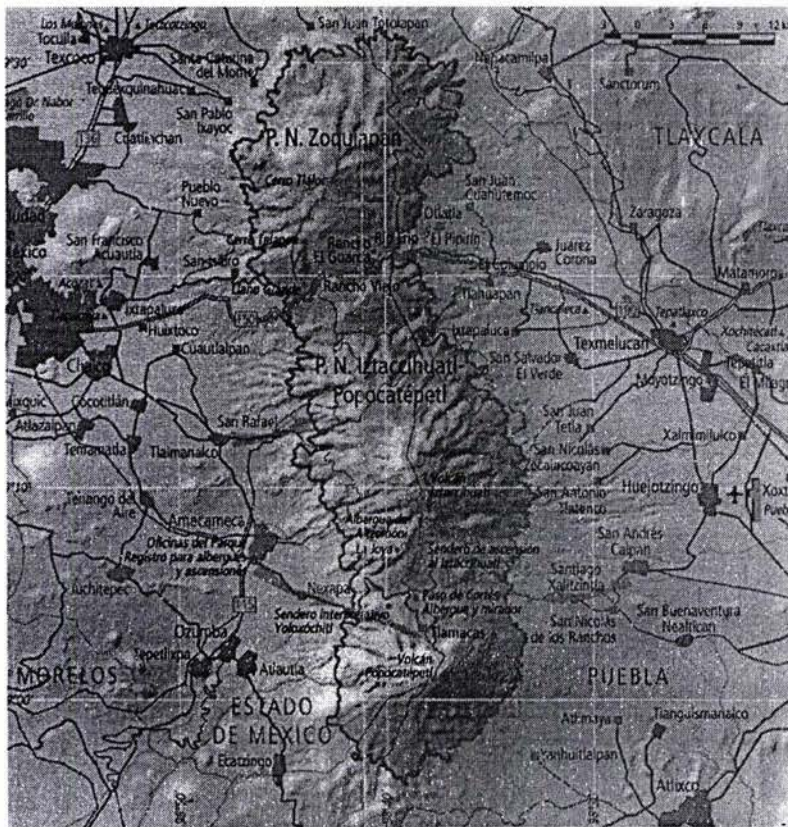


Figura 9. Región Tláloc-Izta-Popo

La mayor parte de la región está formada por el Parque Nacional al este de la ciudad de México. Se extiende por el territorio de cuatro municipios del estado de México, cinco de Puebla y uno de Morelos, con una superficie total de 25.679 hectáreas. Las cimas de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl presentan nieves perpetuas, y constituyen la segunda y la tercera mayor elevación del país, con 5.482 m y 5.386 m de altitud, respectivamente (Chávez y Trigo, 1996).

La región posee un gradiente altitudinal que tiene como límite inferior la cota de los 3600 msnm, abarcando bosques de *Pinus sp.*, *Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*, pastizales alpinos y subalpinos, en masas forestales distribuidas regularmente, con cambios en la composición de especies, y con áreas específicas de daño por cambios de uso del suelo e incendios forestales.

10.2 Vegetación

La región se encuentra en zona templado-subhúmeda del país, la que comprende los principales sistemas montañosos de México, tales como las Sierras Madre Oriental, Occidental, del sur de Chiapas, el Eje Neovolcánico Transversal, las montañas de Oaxaca y el macizo central de Chiapas. La vegetación típica de estos ecosistemas son los bosques de coníferas y encinos. De estos bosques se obtiene la mayor parte de los productos maderables del país ya que se estima que aportan el 80% (Letona, 2001b).

Estas comunidades vegetales se reportan para la Región Tlálloc-Izta-Popo según Rzedowsky (1999) y Chávez y Trigo (1996).

Bosque de Aciculifolios

Es la comunidad más ampliamente distribuida en la zona; se presentan en altitudes que van desde los 2500 a 4000 msnm, sobre suelos someros y a menudo rocosos. En general, son bosques abiertos perennifolios, donde las especies arbóreas dominantes pertenecen al género *Pinus*, que pueden alcanzar una altura de 20 a 30 m. En las partes bajas se encuentran codominando varias especies de este mismo género tales como *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, y *P. rudis*, entre otras.

El estrato arbustivo es muy escaso, aunque en ocasiones algunas especies son favorecidas por el efecto de incendios como es el caso de *Lupinus montanus*. Otras especies comunes en este estrato son: *Buddleia parviflora*, *Ribes ciliatum*, *Eupatorium spp*, *Salis paradoxa*, *Eringium spp* y *Senecio spp*.

El estrato herbáceo presenta mayor cobertura que el arbóreo y está compuesto por gramíneas amacolladas o “zacates”. Las especies más frecuentes en este estrato son. *Muhlenbergia macroura*, *M. quadridentata*, *Calamagrostis tulicensis*, *Festuca tulicensis*, *F. amplissima*, *Alchemilla procumbens*, *Arenaria spp*, *Stipa ichu*, *Lupinus spp* y *Penstemon spp*.

Entre los 2500 y 3100 m de altitud se localizan bosques de *Pinus montezumae*, en algunos sitios estos bosques son inespecíficos, pero en otros lugares este pino se encuentra asociado con otras especies como *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *Quercus rugosa*, *Q. crassipes*, *Abies religiosa*, *Alnus*

gorullensis, *Salix oxylepis*, *Arbutus glandulosa*, *Buddleia parviflora*. En estos sitios el suelo es Andosol profundo y la precipitación pluvial varía de 1100-1900 mm.

De los 2400 a los 2900 msnm, predomina el *P. pseudostrobus* en la vertiente o ladera norte, desde el oriente de Río Frío hasta la parte media y sureste de los volcanes, asociado con *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. montezumae*. Los bosques de *P. rudis* se encuentran principalmente entre los 2600-3000 m, en suelos someros y pobres, por lo que a esta comunidad se le llama pinar xerófilo. Los árboles son de talla mediana (10-20 m) y en ocasiones se presentan en combinación con algunas especies de *Quercus*, *Juniperus* o *Alnus*.

Los bosques de *P. Hartwegii* se localizan a mayor altitud, de los 2700 a más de 4000 msnm; el extremo superior marca el límite de la vegetación arbórea: 3600-3800 m en Paso de Cortés, entre los 3900-4100 en la parte oeste del Iztaccíhuatl y al noroeste del Popocatepetl de los 3800-4000. Los bosques por lo general son de 5-20 m, poco densos o francamente abiertos como en las zonas cercanas a los pastizales subalpinos. Entre las especies acompañantes se presentan principalmente compuestas: *Senecio orizabensis*, *S. procumbens*, *S. mairetianus*, *Selloa plantaginea*, *Hieracium mexicanum*; y gramíneas: *Calamagrostis tolucensis*, *Festuca orizabensis*, *F. Tolucensis*, *F. livida*, *Agrostis vinosa* y *Poa orizabensis*; y otras herbáceas importantes son: *Alchemilla pinnata*, *A. vulcanica*, *Lupinus aschenbornii*, *L. montanus*, *Pestemnon gentianioides*, *P. roseus* y *Vaciniun geminiflorum*. Este bosque es característico de los volcanes.

Bosques Mixtos

En la Sierra Nevada el bosque de Pino-Aile se presenta entre los 3350 y los 3500 msnm, restringido a las vertientes norte y este, donde los suelos dominantes son andosoles poco profundos.

Bosque de Pino-Encino

El Bosque de pino-encino se localiza principalmente entre los 2350 y 2600 msnm. Son bosques bajos con árboles de 8 a 12 m de alto, poco densos sobre suelos andosoles. Según el lugar se presentan asociaciones de *Pinus leiophylla*

y varias especies del género *Quercus* como: *Q. crassipes*, *Q. laeta*, *Q. castanea* y *Q. rugosa*. Este tipo de vegetación se encuentra muy perturbado por actividades agrícolas.

Bosque de Coníferas

Bosque perennifolio característicamente alto (20-40 m) y denso, que normalmente se desarrolla en suelos Andosoles ricos en materia orgánica, profundos, bien drenados y con humedad todo el año. Su distribución se limita al rango altitudinal que va de los 2700 a los 3500 m, en la ladera occidental y entre los 2800 y 3400 m en la oriental. Presenta cuatro estratos bien definidos: el arbóreo, el arbustivo, el herbáceo y el rasante o musinal.

El estrato arbóreo la especie dominante y con frecuencia exclusiva es el oyamel, y de manera aislada se presentan *Alnus jorullensis*, *Quercus laurina*, *Salix oxylepis*, *Garrya laurifolia*, *Pronus serotina* y *Cupressus lindleyi*. En algunas áreas de la Sierra Nevada por debajo de los 2900 m de altitud, se presenta *Cupressus lindleyi* que llega a ser codominante con *Abies religiosa*.

En condiciones naturales, los estratos arbustivos y herbáceos son escasos; sin embargo, cuando existen disturbios, éstos aumentan de manera considerable. Las especies más comunes en dichos estratos son *Senecio barba-johannis*, *S. Angulifolius*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Acaena elongata*, *Brachypodium mexicanum* y *Festuca amplissima*. Este tipo de vegetación se localiza principalmente en las laderas orientadas hacia el norte.

Bosque de Encino (*Quercus*)

Estas comunidades se presentan entre los 2250 y 3100 msnm. Los árboles por lo general son bajos (de 5-12 m), y medianamente densos, ubicados en el suelo de tipo litosol y regosol. Su zona de distribución presenta una precipitación media anual de 700 a 1200 mm. Estos bosques pueden ser perennifolios o caducifolios y las principales especies que se presentan son: *Q. rugosa*, *Q. crassipes* y *Q. laurina*.

Los estratos arbustivos y herbáceo presentan una gran cantidad de especies. Los géneros mejor representados son: *Brickellia*, *Baccharis*, *Castilleja*,

Desmodium, *Dalia*, *Eupatorium*, *Muhlenbergia*, *Penstemon*, *Salvia*, *Senecio* y *Stevia*.

Entre los 2500 y 2800 msnm se presenta el bosque de *Q. rugosa*, que puede ser puro o bien estar asociado con *Q. crassipes*, algunas especies de *Pinus* u otras como *Arbutus xalapensis*, *Cupressus lindleyi*, *Garrya laurifolia* y *Clethra mexicana*. Este bosque se localiza principalmente en algunos sitios cercanos a Amecameca y llegan a tener 25 m de altura.

Entre los 2880 y 3100 msnm se localizan bosques de *Q. laurina* con *Q. rugosa*, *Abies religiosa*, *Arbutus spp*, *Juniperus deppeana* y algunas especies de *Pinus*. Pastizal Subalpino o Zacatonal.

Los pastizales subalpinos, se caracterizan por la presencia de gramíneas amacolladas que oscilan entre los 60 y 120 cm., de alto, y se localizan en altitudes de 2700 a 4300 msnm. Frecuentemente se trata de comunidades secundarias inducidas. A pesar de que su fisonomía es muy homogénea, las especies dominantes de estas comunidades varían de acuerdo a la altitud formando cinturones definidos. Esto mismo se observa en las características del suelo y la topografía.

Los zacatonales de *Muhlenbergia macroura*, se establecen sobre laderas y valles, dentro del rango altitudinal que va de 3200 a 3500 msnm. Otro elemento frecuente en esta comunidad es *M. quadridendata*.

Por último tenemos que *Festuca amplissima* y *Stipa ichu* son las especies dominantes en los zacatonales de altitudes que van de 2500 a 3300 m, principalmente en claros de bosque de oyamel y de pino.

Bosque Mesófilo de Montaña

Existe un área muy reducida de este tipo bosque en cañadas protegidas de la fuerte insolación y vientos, en la parte baja del Popocatepetl e Iztaccíhuatl, cerca de San Rafael y Amecameca, entre los 2500 y 2800 msnm, crece sobre suelos profundos, ricos en materia orgánica y húmedos durante casi todo el año. El bosque alcanza una altura de 10 a 25 m. Este tipo de vegetación se conserva verde todo el año, no obstante, de tener algunos elementos caducifolios. Las especies dominantes más frecuentes son: *Clethra mexicana*,

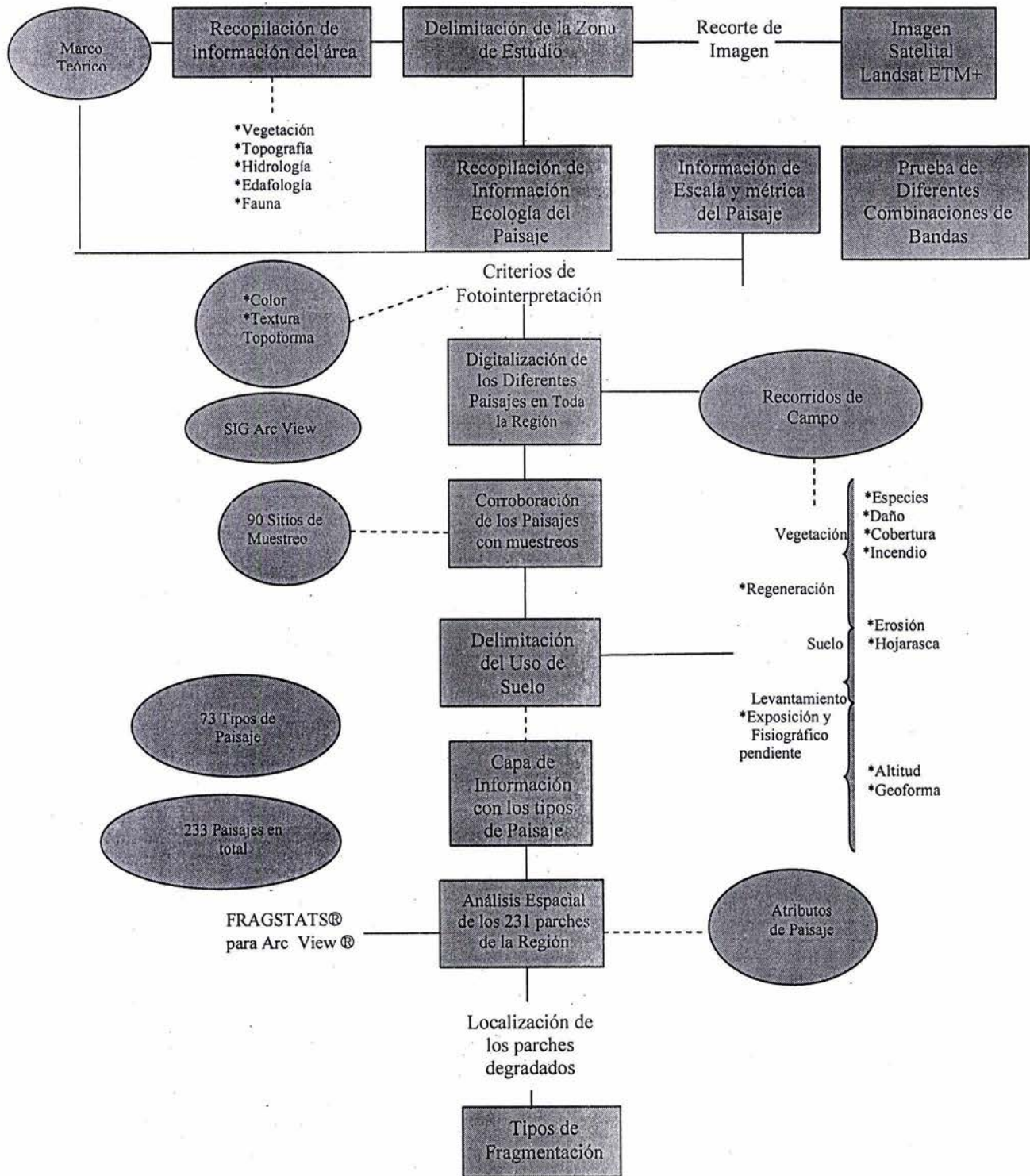
Cornus disciflora, *Meliosma dentata*, *Ilex toluicana*, *Pronus brachybotrya* y *Quercus laurina*. Pueden presentarse otras especies arbóreas, según la localidad: *Abies religiosa*, *Cupressus lindleyi*, algunas especies de *Pinus* y *Sambucus mexicana* entre otras.

En el estrato arbustivo sobresalen *Cestrum terminale*, *Archibaccharis sescenticeps*, *Eupatorium aschenbornianum*, *Lamourouxia xalapensis*, *Montanoa frutescens* y *Salvia mocinoi*. En el estrato herbáceo se presentan *Bidens ostruoioides*, *Adiantum andicola*, *Bromus dolichocarpus*, *Dryopteris parallelogramma*, entre otras. Las trepadoras y epífitas son frecuentes; entre las primeras: *Celastrus pringlei*, *Archibaccharis hirtella*, *Clematis dioica*, *Smilax moranensis* y *Valeria clematidis*; de las segundas abundan los musgos, helechos y *Tillandsia spp.*

Matorral de *Juniperus*

El matorral de *Juniperus monticola* llega a tener hasta 6 m de alto, estableciéndose principalmente sobre suelos Litosoles y Leptosoles, entre los 2450 y 2800 msnm. Entre las especies acompañantes se presentan: *Quercus microphylla*, *Gymnospema glutinosum*, *Archibaccharis serratifolia* y *Stevia tomentosa*. Esta comunidad se localiza en las laderas de los volcanes. *J. monticola* var., compacta se presenta como arbusto rastrero, por arriba del límite de la vegetación arbórea. 4000-4200 msnm, generalmente en sitios rocosos, entre pastizal alpino, también puede estar presente en las comunidades de pino y oyamel.

10.3 Diagrama de Flujo



10.4 Procedimiento

10.4.1 Imagen Satelital

Se elaboró una imagen compuesta a partir de Landsat ETM+ mediante el Sistema de información Geográfica (SIG) IDRISI 32[®] por una combinación de bandas que permitió distinguir e identificar la estructura y las distintas composiciones vegetales de la zona, para que gracias a esta combinación, la imagen tenga determinadas características que permitan definir de una mejor manera los patrones espaciales, como bordes y texturas.

10.4.2 Muestreos

En la descripción de los sitios de muestreo para la caracterización de paisajes, se requirieron datos de geomorfología, geología, clima, suelo, cubierta vegetal, uso de tierra y altitud, número de estratos, cobertura por estratos, especies forestales representativas, daño a vegetación, y patrón de retención de copa.

Para determinar el tipo de arbolado más representativo o predominante en cada sitio de muestreo se utilizó la metodología de cuadrante centrado en un punto (Figura 10) (Pérez, 1990 y Velásquez, 2001).

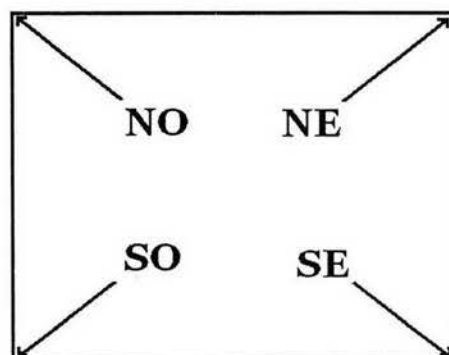


Figura 10. Tipo de Muestreo por cuadrantes.

En la determinación de las geoformas, se tomaron en cuenta las más relevantes (Figura 4), esto con la finalidad de saber su relación con las comunidades vegetales, de la misma manera, se caracterizaron los distintos micrositos, buscando conocer la relación entre tofoformas y las actividades antropogénicas desarrolladas en las facetas, y las comunidades vegetales.

Para el caso de muestreo edáfico se obtuvieron datos cualitativos y cuantitativos que permitieron conocer las condiciones actuales del suelo, ya que este parámetro puede determinar la condición de la vegetación.

Los parámetros cualitativos realizados en campo, fueron los de: determinación de la textura al tacto, número de agregados, pH, presencia de CO_3^- , color en seco y húmedo, pendiente, tipo y grado de erosión, pedregosidad y geoforma (Cuanalo de la Cerda, 1990; Olvera *et al.*, 1996 y Siebe *et al.*, 1996).

10.4.3 Fotointerpretación

Para el caso de la fotointerpretación, se delimitaron paisajes que de acuerdo con su definición fueron homogéneos conforme al suelo, la humedad, y principalmente la composición vegetal.

La pendiente se describió en términos de forma y en porcentaje, basándose en una capa de información de curvas de nivel (INEGI, 2000). La pendiente se describe por distribución altitudinal del paisaje, esto es, desde que se presenta el tipo de paisaje hasta que termina.

Una vez obtenida la imagen se fotointerpretaron unidades homogéneas de paisaje tomando como criterios de caracterización secuencias regulares de patrones de paisaje como son la coloración y la textura, tomando en cuenta la repetición regular de estas características.

Digitalización

Una vez identificadas por medio de la fotointerpretación se digitalizaron, en este caso el SIG que se utilizó es la plataforma de ambiente Windows: Arc View 3.1[®] con la última versión Arc Map[®], la digitalización deberá arrojar una serie de polígonos en los que podremos determinar y asignar los valores del levantamiento fisiográfico, la composición y estructura vegetal. Esta digitalización estará basada en una escala a nivel de Sistemas Terrestres y polígonos de menor tamaño, tomando en cuenta el Área Mínima Cartografiable (AMC) que para este caso será de $0.25 \times 0.25 \text{ cm}^2$, que desde el punto de vista de manejo ambiental es factible para el manejo de áreas forestales y forestales modificadas.

Posteriormente se verificaron en campo estas áreas delimitadas con 90 sitios de muestreo en los lugares mas representativos de los paisajes o en lugares en los que haya una discrepancia de composición vegetal, de esta manera podremos asignar para cada fragmento datos y valores de caracterización ecológica; en suelo la erosión y las características particulares como textura, pH, compactación y condiciones hídricas. Para vegetación, se tomarán en cuenta los estratos, el porcentaje de cobertura (arbórea, arbustiva y herbácea) y regeneración natural y la presencia de conos, medida en cantidad.

Una vez obtenidos los datos se ordenaron en la computadora en formato de Cuadros en el programa Excel XP® de Microsoft Windows®, estos datos fueron asignados bajo una georeferenciación a los diferentes polígonos obtenidos.

Cuando los polígonos tuvieron su asignación de datos se calcularon entonces para cada uno los parámetros espaciales por el método de FRAGSTATS extensión gratuita para el SIG Arc View® 3.2 (McGarical y Marks, 1995).

En este caso dadas las características de importancia métrica se utilizaron los parámetros espaciales como sigue en la lista:

- Número de Clases
- Índice de Diversidad de Shannon
- Índice de heterogeneidad de Shannon
- Índice de Similaridad por paisaje
- Porcentaje de área por paisaje
- Densidad de tamaño con parches vecinos
- Proporción de área en parches mayores a 5 pixeles (celdas)
- Relación Perímetro-Área por parche
- Índice Fractal por área
- Índice Fractal por área por parche
- Dimensión Fractal
- Densidad de Parches
- Número de Parches
- Tamaño de parche
- Borde interior por parche
- Borde interior por parche ajustado
- Tamaño de borde

- Índices de Similaridad
- Desviación Estándar de tamaño por parche
- Índice de Borde por paisaje
- Riqueza de Parches
- Riqueza de Parches Relativa

Posteriormente se caracterizó la condición de conservación con base en los parámetros de daño en la vegetación arbórea y el vigor basado en una Cuadro de condiciones estándar para manejo de áreas forestales y silvícolas, así como las actividades antropogénicas cuantificadas en área, asociándolos con las características espaciales de tamaño, circularidad y relación Perímetro-Área, mostrados por los parámetros espaciales ligados al estado de conservación.

11 RESULTADOS

La imagen satelital que mejores resultados de fotointerpretación dio (Figura 11) fue la de combinación de las bandas 4, 5 y 7 (Infrarrojo Cercano, Infrarrojo de Onda Corta Media, Infrarrojo de Onda Corta). A partir de ella se reconocieron 231 Paisajes que se agruparon en 78 tipos, dependiendo de su composición vegetal (Cuadro 8).

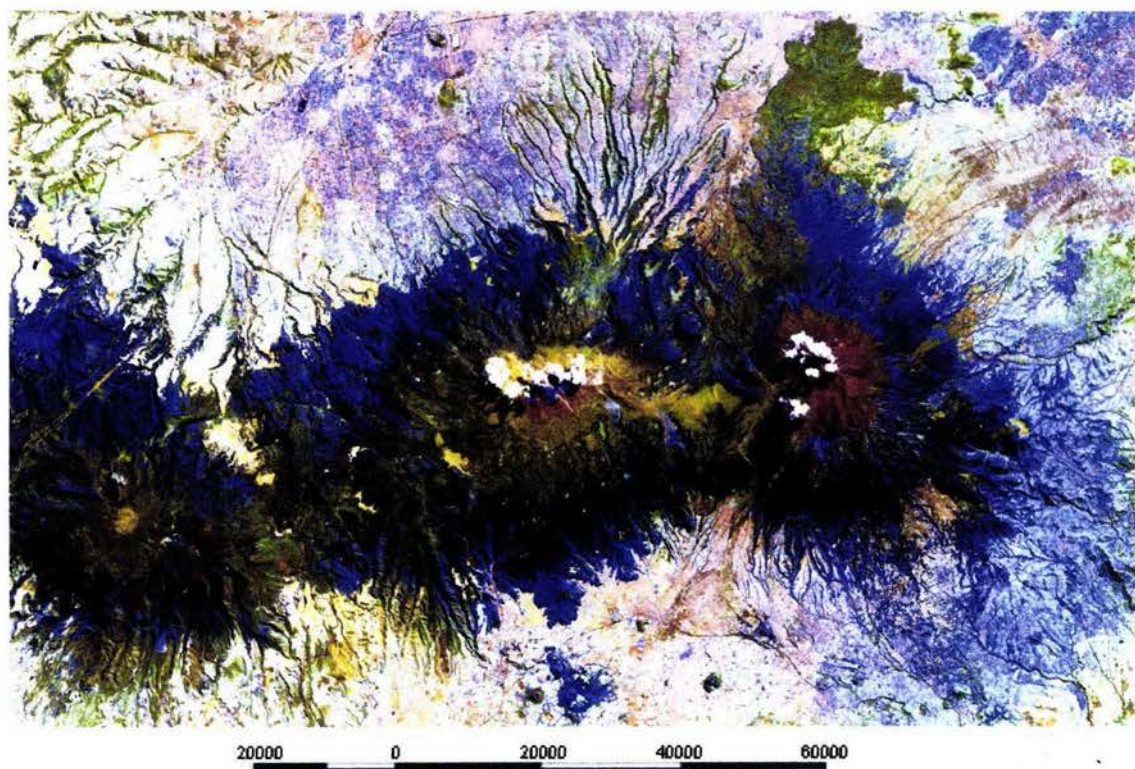


Figura 11. Escena de la Región

Los 78 tipos de Paisaje resultaron a partir de la composición y dominancia de diferentes especies forestales. Cuando aparece un solo tipo de vegetación como el caso del pastizal o del *Abies religiosa* en el que la composición de estas especies predomina en el parche por más de un 90 por ciento, es por ello que se denomina la vegetación dominante del parche desde el punto de vista del Área Mínima Cartografiable (Cuadro 5).

Cuadro 5. Tipos de composición de Paisajes presentados conforme al porcentaje de dominancia de vegetación.

Ar	Dv-AT-Pi	P spp-AT
Ar-Pa	DvE	P spp-AT-Pi
Ar-Ph-Pi	Pa-Ar	P spp-Ph-AT
Ar-Ph-P spp	Pal	P spp-Pi
Ar-Ph-P spp-Pi	Pa-P spp	P spp-Pi-AT
Ar-Ph-P spp-Pi-AT	Ph	P spp-Q spp
Ar-Pi	Ph-Ar	P spp-Q spp-Ar
Ar-P spp	Ph-Ar-Pi	P spp-Q spp-AT
Ar-P spp-Af	Ph-Pi	P spp-Q spp-Pi
Ar-P spp-Pi	Ph-Pi-AT	Q spp
Ar-Q spp	Ph-P spp	Q spp-Af
Ar-Q spp-Af	Ph-P spp-Ar	Q spp-AT
Ar-Q spp-AT	Ph-P spp-Q spp	Q spp-AT-P spp
AR-ZU	Ph-P spp-Q spp-Pi	Q spp-Dv-AT
AT	Ph-Q spp	Q spp-Pi
AT-AR	Pi	Q spp-Pi-AT
AT-AR-Q spp-P spp	Pi-Ar	Q spp-Pi-P spp
AT-Pi	Pi-Ph	Q spp-P spp
AT-P spp	Pi-P spp	Q spp-P spp-AT
AT-P spp-Ar	Pi-P spp-Q spp	Q spp-P spp-Pi
AT-P spp-Q spp	Psa	Q spp-ZU-AT
AT-P spp-ZU	P spp	Sb-AT
AT-Q spp	P spp	ZU
AT-Q spp-Pi	P spp-Ar	ZU-AR
AT-Q spp-ZU	P spp-Ar-AT	
AT-ZU	P spp-Ar-Ph-Pi	
Dv	P spp-Ar-Pi	

Clave de abreviación de Paisajes:

Af: Agroforestal

Ar: Abies religiosa

AR: Agricultura de Riego

AT: Agricultura de Temporal

Dv: Zona Desprovista de vegetación

DvE: Nieve

Pa: Pinus ayacahuite

Pal: Pastizal alpino

Ph: Pinus hartwegii

Pi: Pastizal inducido

Psa: Pastizal subalpino

P spp: Pinus sin identificar la especie

Q spp: Quercus (Encino) sin identificar la especie

Sb: Selva baja

ZU: Zona Urbana

11.1 Clases de Uso de Suelo

Cuadro 6. Agrupación de Paisajes por Clase

Clase	Clase Agregada
Residencial Rural Residencial Urbano Comercial, industrial	Zona Urbana
Agricultura de Temporal Agricultura de Riego Agroforestal Pastizal Inducido	Agricultura
Bosque de Pinus Bosque de Abies Bosque de P. hartwegii Bosque de Encino Bosque de Pino-Encino Bosque de Pinus-Abies Bosque de Abies-Pinus	Zona Forestal

11.2 Estructura de los Paisajes por Zona

Los paisajes tienen propiedades que sus partes por separado no poseen, los mismos no pueden ser descritos simplemente como la suma de elementos que los componen sino que, además, debe tenerse en cuenta la configuración que estos elementos adoptan en el espacio, es decir, su localización y yuxtaposición, (Forman y Godron, 1996), además de sus atributos espaciales de clase y parche (Anexo 1).

La configuración actual de los paisajes de la región resultaron contrastantes al compararlos entre sí, observándose una gran variación en la forma y complejidad de los parches (Anexo). Esto se debe a los disturbios y a los procesos geomorfológicos característicos de la región como en la zona central de la región representada por el volcán Iztaccíhuatl, que como se observa en la Figura 12 presenta una mayor fragmentación, además de una mayor heterogeneidad.

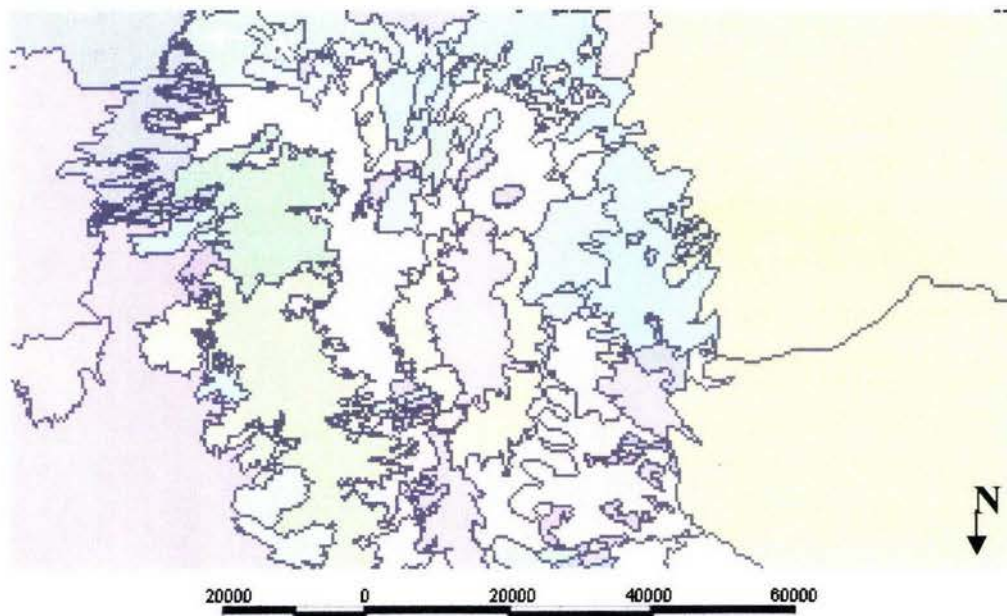


Figura 12. Zona centro de la región

Los Paisajes de la región se caracterizan por una alta heterogeneidad, con una dominancia en el mosaico actual de parches con elementos naturales, debido a que la actividad volcánica restringe el acceso a las zonas boscosas permitiendo una regeneración natural y la permanencia de los bosques en la mayor parte de esta región, éstos podrían ser considerados como la matriz del mismo. Sin embargo, también es cierto que los parches relictuales de agricultura de temporal podrían ser considerados como la fuente del paisaje futuro en caso de que las actividades antropogénicas aumentaran. En este sentido se observa que en períodos de abandono mayores a los 50 años, los bosques que fueron afectados por actividades antropogénicas vuelven a poseer una fisonomía de bosque natural (Herzog, 2001). Desde este punto de vista, Forman y Godron (1996) plantean que si un elemento está gobernando de alguna manera la dinámica de funcionamiento de un paisaje cuya expresión sería el resultado final en ausencia de disturbios antrópicos, éste elemento podría ser considerado como la matriz del mismo. Sin embargo, la matriz de un paisaje puede cambiar si las condiciones a las cuales se encuentra sometido se modifican. De acuerdo a este criterio, se pensaría que en la región Popocatepetl la matriz cambiaría de un conjunto de parches de *Pinus spp.*, en el caso de un área sometida a explotación forestal, a un paisaje altamente fragmentado debido a una alteración provocada por diferentes usos de suelo, con una heterogeneidad interna mayor o menor de acuerdo con el tiempo de abandono en que se encuentran los diferentes parches de bosque.

La zona Popocatepetl presentó mayor homogeneidad (Figura 13), debido a que la dominancia relativa esta constituida por pocos elementos en el paisaje, donde la matriz está formada por bosques de *encino* y *Pinus spp.*, con remanencias de *Abies*. Sin embargo, los parches boscosos presentan una acelerada fragmentación sobre todo aquellos que se encuentran fuera los márgenes del Parque, con la acelerada transformación del paisaje las áreas permanentemente anegadas, conjuntamente con los cursos de agua provenientes del deshielo de las partes más altas, que junto con los parches de agricultura de temporal y de riego constituyen los paisajes mas representativos de esta zona.

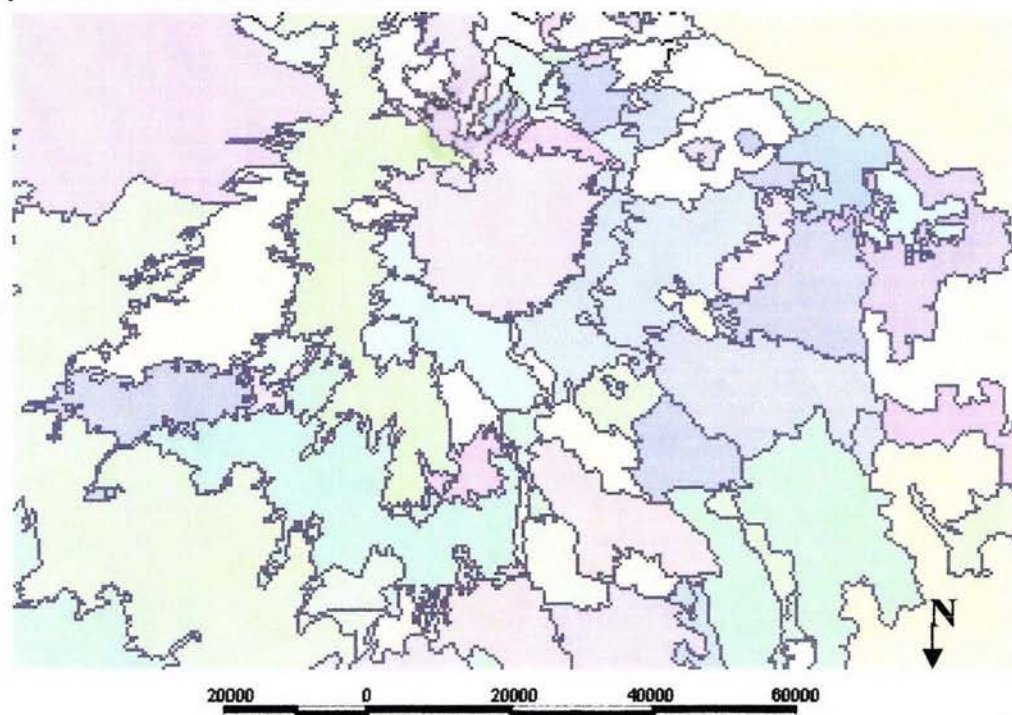


Figura 13. Zona Sur de la región

Para la región Tláloc se encontró que la matriz se compone de *Pinus spp.*, altamente fragmentado provocando así una marcada heterogeneidad entre los parches (Figura 14). Las áreas desmontadas debido a la introducción de pastizal y a la deforestación conjuntarían la matriz de este paisaje.

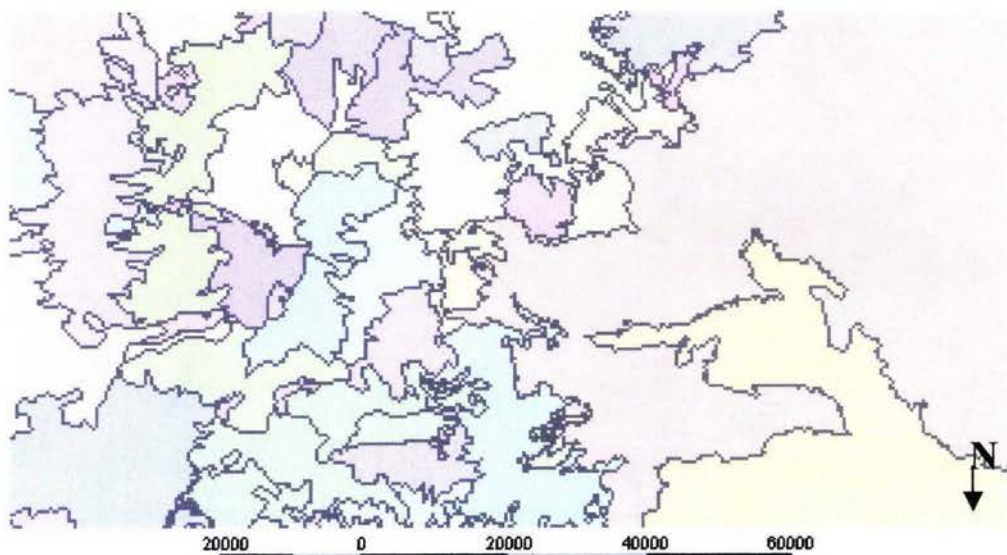


Figura 14. Zona Norte de la región (Cerro del Tláloc)

El análisis de la distribución de los Paisajes permite señalar en que región se encuentra sometida a distintos tipos de disturbio por actividades humanas como la urbana y la agropecuaria, en distintas escalas distribuidas a lo largo de la mencionada región.

11.3 Graficas de Uso de Suelo

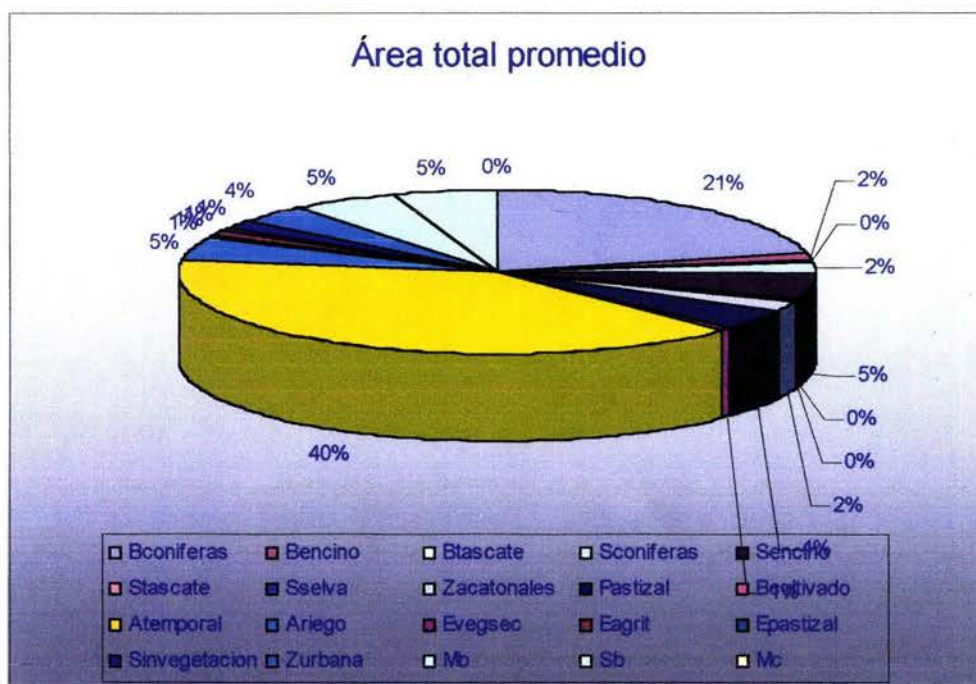


Figura 15. Área total promedio.

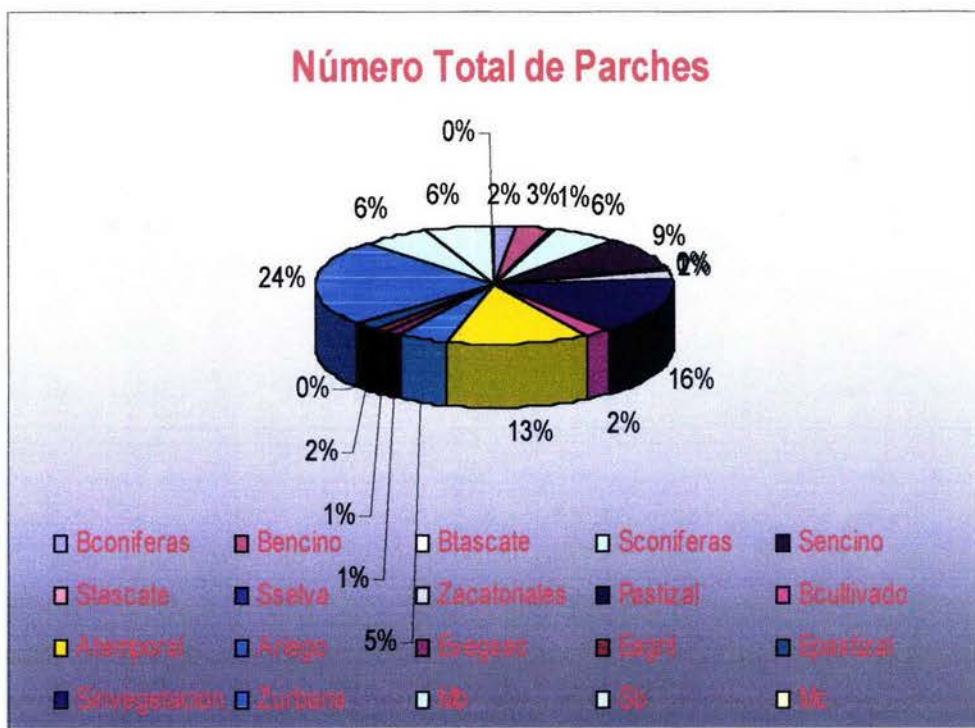


Figura 16. Número total de parches.

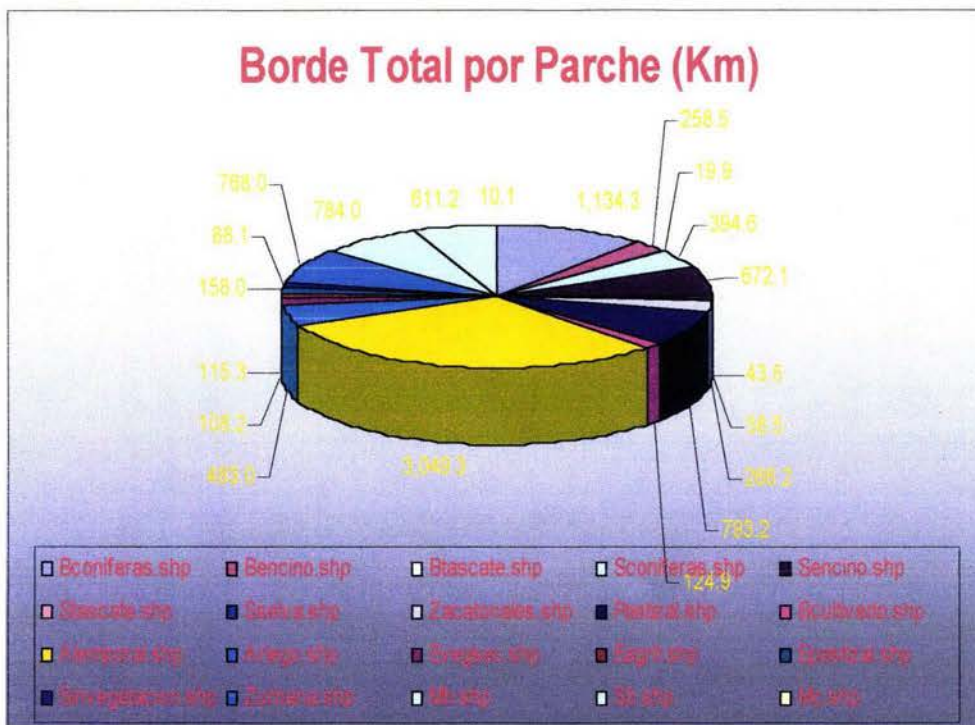


Figura 17. Borde total por parche.

Se encontró que, la mayor extensión corresponde a la agricultura de temporal con un 40%, seguido de los parches de coníferas con 21%, y otros como el bosque de encino y zona urbana de 1 y 5% respectivamente.

En cuanto al número total de parches la zona urbana representa la mayoría, en segundo lugar se encuentran los Pastizales Inducidos, que a su vez son mayores que los fragmentos de agricultura de temporal.

El borde mayor está representado por la agricultura de temporal con 3,049 kilómetros, enseguida el bosque de coníferas, después el bosque degradado y por último la zona urbana y el pastizal con 770 Km cada uno.

El borde promedio se encontró como sigue: Bosque de coníferas es mayor que la agricultura de temporal y la zona desprovista de vegetación.

12 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La diversidad de paisajes, ya sea por inducción o por asociación en diferentes composiciones y además por la riqueza del relieve se encontraron paisajes en un marcado contraste, que además varía en la homogeneidad y heterogeneidad debido a las actividades agropecuarias y de presión urbana.

La mayor modificación de los paisajes de la región fue por el recambio de las comunidades vegetacionales por la inducción de pastizal con fines ganaderos con un 30% del total del área. Otra modificación importante es la producida por la agricultura de temporal (maíz, cebada, trigo y frutales), que afectaron con un 32.5%.

Debido a las actividades humanas los paisajes han sido influidos en su mayoría, dando como resultado un juego de mosaicos de parches naturales y antrópicos, que varían en tamaño, forma, abundancia y distribución. Así la disminución de los macizos forestales se encuentra de la siguiente manera:

Cuadro 7. Porcentaje de área boscosa.

Forestal	Porcentaje
Pinus hartwegii	2.51
Quercus spp	5.80
Abies religiosa	10.1

Abundancia de los Parches

Cuadro 8. Porcentaje de abundancia por tipo de paisaje.

Forestal	Porcentaje
Pinus spp	71.46
Pinus harwegii	50.27
Abies religiosa	26.95
Pastizal inducido	64.69
Agricultura de Temporal	49.69
Zonas desprovistas de Vegetación	.3

Heterogeneidad, Dominancia y Riqueza

Cuadro 9. Diversidad de Paisajes por Región

Región	Heterogeneidad	Dominancia	Riqueza
Iztaccíhuatl	.87	.92	35.93
Tláloc	.86	1.22	29.87
Popocatépetl	.79	1.47	37.66

12.1 Características de los Paisajes por Zona

Como los patrones del paisaje se desarrollan en tiempo y espacio por complejas interacciones físicas, biológicas y sociales (Urban *et al.*, 1987). Si bien los parches presentes en un paisaje pueden responder a determinadas condiciones ambientales, también pueden ser el resultado de disturbios, tanto de origen natural como antrópico. Las respuestas de las especies a estos disturbios, tanto dentro de los parches como en las áreas circundantes, dependerán del tipo, grado de intensidad y tiempo de recurrencia de los mismos (Forman y Godron, 1996).

Al confrontar los paisajes de la región, encontramos que difieren entre sí por el tipo de degradación. En las regiones Norte y Centro (Tláloc e Iztaccíhuatl) predominan los disturbios de origen agropecuario y de explotación forestal, a diferencia de la región Sur (Popocatépetl) en la que predominan los disturbios por agricultura, ya sea de riego al Este y de tipo temporal al Oeste.

Al observar los paisajes en su totalidad, sobresale el hecho de que la fragmentación presente en el parque y su zona de influencia está francamente marcada desde el punto de vista geométrico, presentando un exagerado borde del macizo forestal principal reconocido a lo largo de la región, desde el Tláloc, hasta el Popocatepetl (Dirección Norte-Sur) Este aumento constante en el borde se debe a la presión de degradación, principalmente por la Agricultura de Temporal, seguida por la de riego en la zona Este, ya que gracias a los deshielos se favorece este tipo de agricultura. Caso contrario a la zona oeste que presenta menos deshielos, lo que obliga a estas actividades a ser de tipo temporal, en cultivos de granos y frutales.

Pero al analizar con detenimiento los fragmentos, se despliega una serie de parches de interior, representados por el pastizal inducido seguidos por la agricultura de temporal, que ejercen un efecto drástico en la fragmentación del área boscosa desde el interior del macizo principal.

Los parches presentaron una mayor conectividad en la zona centro de la región, dado que ahí está más marcada la presencia de los parches inducidos de pastizal para fines pecuarios, principalmente de ganado mostrenco o asilvestrado de tipo vacuno. Estos parches tienen una distribución de un promedio de 5 kilómetros, lo que favorece la conectividad entre un parche de origen natural y otro del mismo origen, pero puede ser de diferente dominancia de especie, lo que provoca las composiciones vegetales y por tanto la diversidad y heterogeneidad.

Este impacto por parte de los parches inducidos (ya sea de pastizal o de agricultura) provoca el aumento de borde de cada parche, que se encuentra ligado al grado de fractalidad que no es más que la tendencia a la circularidad, esta fractalidad se encuentra en mayor grado en el caso de los parches forestales, principalmente en los paisajes con composición asociada de *Pinus spp.*, y *Pinus hartwegii*, debido a la cercanía que tienen con las actividades antrópicas y que si asociamos de acuerdo con la Estrategia Mundial de la Conservación (UICN-WWF-UNEP) en la que se planteó el tamaño y la forma de los parches de hábitat como criterios de conservación, entonces observamos que el grado de degradación de estos paisajes está dado por estos atributos espaciales, que resultan en una degradación a mediana escala.

En cuanto a la Fractalidad podemos ver que las zonas de Tásate, Zona Urbana y el Bosque Secundario de Coníferas ocupan la mayor tendencia a 1, esto es una mayor circularidad, explicada que por ser de origen antrópico adoptan una forma regular. El lado opuesto está representado por el bosque de coníferas, que se comporta así por la presión de deterioro ejercida principalmente por la agricultura de temporal y el pastizal inducido que aumentan su borde conforme estas actividades crecen o aparecen de forma no ordenada.

12.2 Fragmentos Interiores

Al observar todo el macizo forestal, nos daría la impresión de un estado de salud bueno, ya que el macizo se encuentra continuo a lo largo de la región y no se separa por grandes áreas (Figura 18).

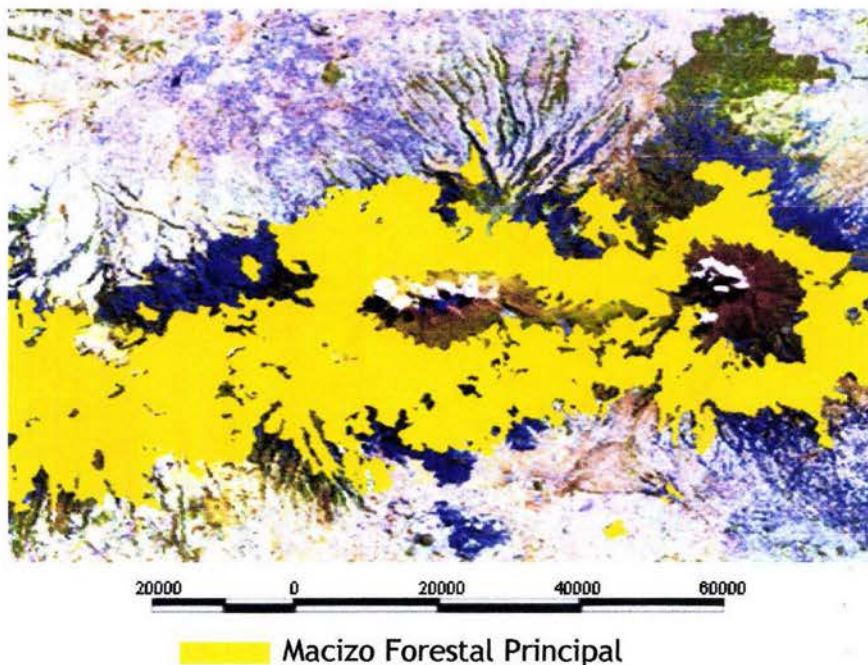


Figura 18. Macizo Forestal Continuo.

Sin embargo, encontramos que el perímetro de borde es muy elevado, conforme su área se incrementa, además de que se encontraron 109 fragmentos interiores inducidos, principalmente de pastizal de uso ganadero y agricultura de temporal, que degradan desde el interior hacia fuera, ejerciendo una presión de deterioro con más impacto que la fragmentación intensiva. (Figura 19).

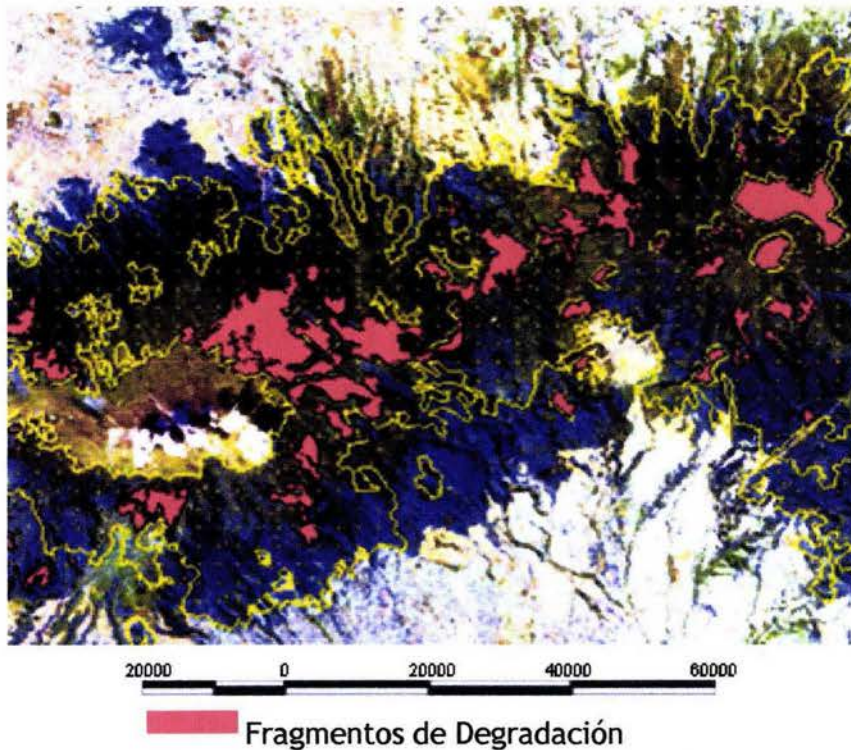


Figura 19. Fragmentos interiores de degradación.

Así, se observa que la geometría de los fragmentos interiores es de importancia, desde un punto de vista espacial y geométrico, de esta manera los fragmentos se presentan con un área total de 6,897.8 ha con un tamaño promedio de 63 ha, mediana de 7.2 ha y una desviación estándar de 166.9. El Borde Total corresponde a 464.7 Kilómetros.

13 CONCLUSIONES

Se encuentra que los distintos tipos de degradación a los que están sometidos los distintos paisajes determinan el estado de conservación de los mismos, entonces se puede concluir que la degradación mas importante esta dada por dos tipos de paisajes, ambos inducidos, en primer lugar el pastizal inducido, ya que por el número total de parches es considerable con respecto a los demás tipos de configuración en el mosaico, además del tamaño que registra áreas pequeñas, que aunque poseen una fractalidad con tendencia al 1, su distribución es homogénea a lo largo de la región.

El segundo lugar lo ocupa la agricultura de temporal, con importancia de distribución en los parches más grandes, fragmentando al igual que los de pastizal inducido, las masas forestales desde el interior, ejerciendo un

impacto hacia fuera, teniendo mayor importancia ecológica puesto que la fragmentación es de tipo extensiva, que hace más difícil el reordenamiento y restauración del área por el aspecto de acceso a la zona, que implica mayores costos y diseño de caminos para los métodos que se apliquen en una restauración. El perímetro mayor del macizo forestal daría la impresión de un estado de conservación saludable de la región, sin embargo, el alto número de fragmentos de pastizal inducido y agricultura de temporal dispersos por todo el parque muestran un comportamiento de fragmentación que difiere del típico mencionado por bibliografía en la mayoría de los trabajos, que se muestra en la Figura 20.

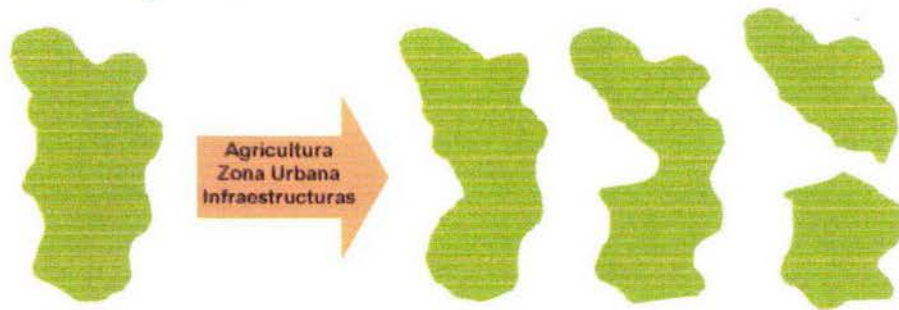


Figura 20. Modelo de Fragmentación Intensiva

Sin embargo el tipo de fragmentación que se encuentra se comporta de manera diferente a la mencionada en otros trabajos como el de Dirzo y García en 1992, el de Giles y Trani en el 2002 o el de Gkaravelle y Good en el 2001, en los que se manifiesta una estrangulación forestal desde el borde, sino que esta porción contiene inclusiones de pastizal inducido y agricultura de temporal que ejercen una degradación desde el interior hacia fuera, provocando la formación de anillos de vegetación mas propensos a desaparecer o a ser invadidos por otras composiciones o especies inducidas (Figura 21).

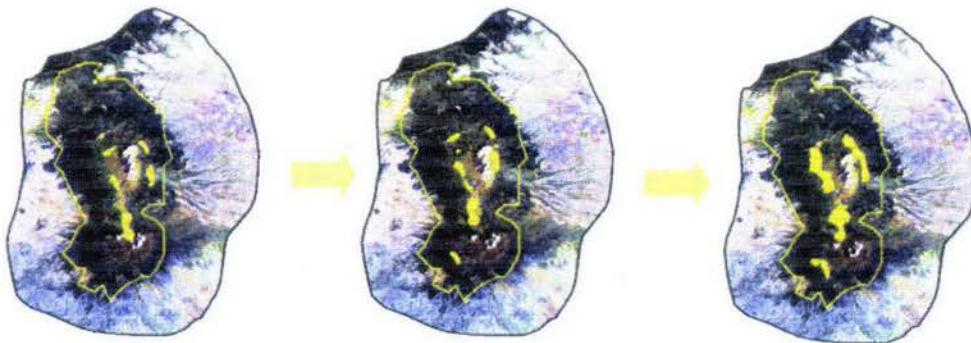


Figura 21. Modelo de Fragmentación Extensiva

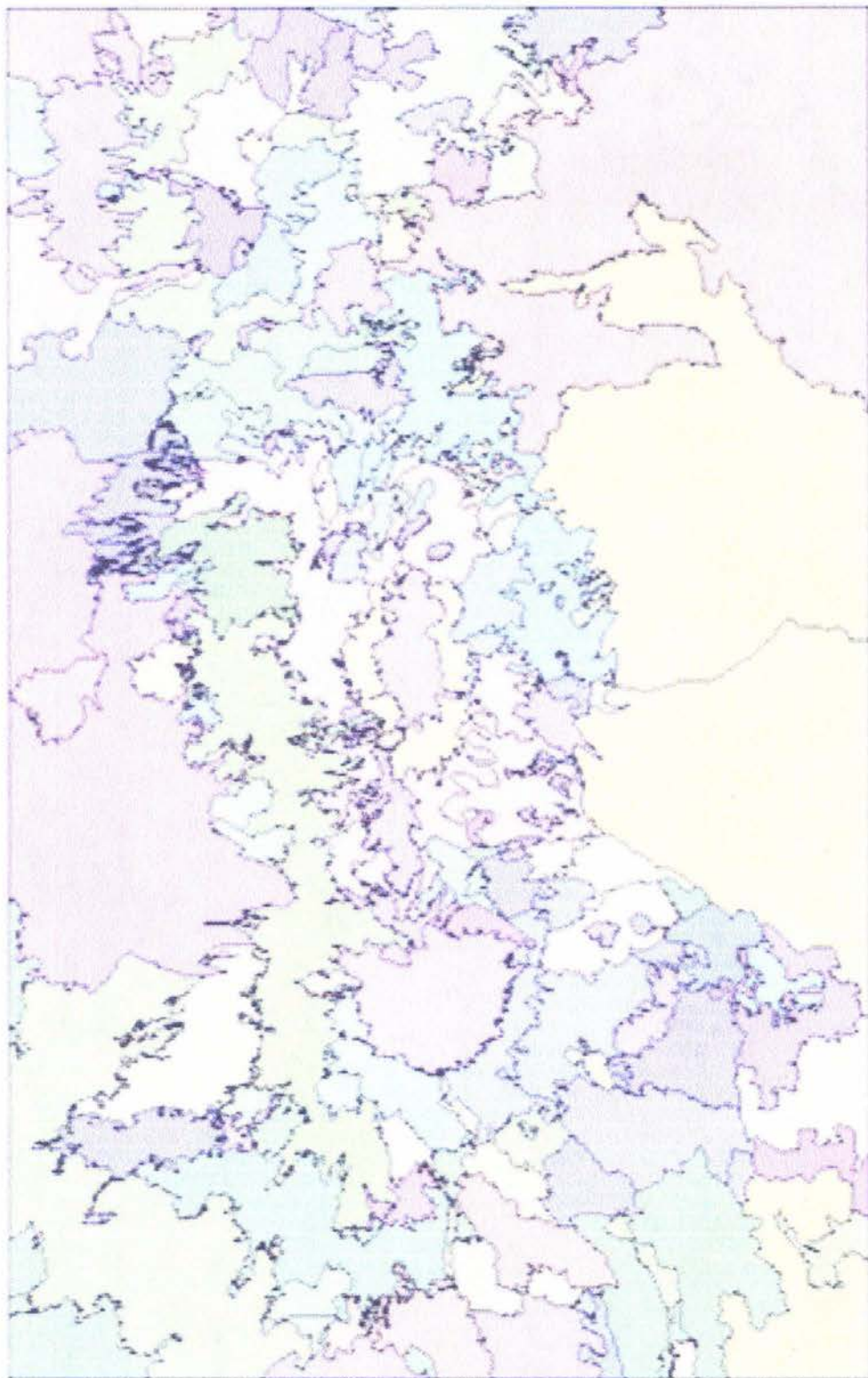
14 ANEXO

Índices De Clase

VEGETACION	CA	MPS	MPFD	PSSD	PERCLAND	PSCV	AWMSI	DLFD	AWMPFD
Ar	1910.98882	477.74720	1.27944	412.31473	0.10804	86.30396	3.18278	1.62607	1.30379
Ar-Pa	47707.51933	9541.50387	1.28104	1041.63066	2.69734	10.91684	3.81914	1.54701	1.28250
Ar-Ph-Pi	17000.08817	17000.08817	1.34752		0.96116		7.59520	0.00000	1.34752
Ar-Ph-Pspp	4592.51617	2296.25808	1.27925	143.01960	0.25965	6.22838	3.00376	2.32242	1.27890
Ar-Ph-Pspp-Pi	2923.00054	2923.00054	1.29493		0.16526		3.55912	0.00000	1.29493
Ar-Ph-Pspp-Pi-AT	4219.90307	4219.90307	1.32171		0.23858		4.75287	0.00000	1.32171
Ar-Pi	37294.70241	7458.94048	1.29839	7266.03498	2.10861	97.41376	5.63822	1.57511	1.31541
Ar-Pspp	4968.05766	4968.05766	1.27489		0.28088		3.22252	0.00000	1.27489
Ar-Pspp-Af	6087.27814	6087.27814	1.33286		0.34416		5.57143	0.00000	1.33286
Ar-Pspp-Pi	380.22739	380.22739	1.23157		0.02149		1.63034	0.00000	1.23157
Ar-Qspp	17449.12331	8724.56165	1.31431	5312.49889	0.98655	60.89130	6.37288	2.41400	1.33128
Ar-Qspp-Af	33658.74628	33658.74628	1.32931		1.90303		7.15198	0.00000	1.32931
Ar-Qspp-AT	4968.05766	4968.05766	1.27489		0.28088		3.22252	0.00000	1.27489
AR-ZU	49301.98432	16433.99477	1.21177	10229.39115	2.78749	62.24531	2.04180	1.71069	1.20532
AT	80423.03272	4021.15164	1.37111	4859.04469	4.54704	120.83714	4.58704	1.37293	1.29555
AT-AR	554.16043	184.72014	1.59181	233.87915	0.03133	126.61269	2.25550	2.04353	1.27469
AT-AR-Qspp-Pspp	909.80231	909.80231	1.21103		0.05143		1.52988	0.00000	1.21103
AT-Pi	3766.85076	1883.42538	1.21032	2291.21398	0.21297	121.65144	1.78836	2.18746	1.21435
AT-Pspp	3099.53118	619.90624	1.25198	335.70745	0.17524	54.15455	2.20130	1.50105	1.25596
AT-Pspp-Ar	1061.51843	1061.51843	1.24751		0.06001		2.08878	0.00000	1.24751
AT-Pspp-Qspp	4989.27372	1663.09124	1.25720	350.35625	0.28208	21.06657	2.81100	1.76657	1.26536
AT-Pspp-ZU	4585.39156	4585.39156	1.22987		0.25925		2.14267	0.00000	1.22987
AT-Qspp	10193.78654	5096.89327	1.31263	6944.41366	0.57634	136.24797	4.00790	2.40602	1.28940
AT-Qspp-Pi	2454.43905	2454.43905	1.23321		0.13877		2.05166	0.00000	1.23321
AT-Qspp-ZU	37480.78366	9370.19591	1.23885	14660.08133	2.11913	156.45438	3.21026	1.57924	1.25192
AT-ZU	23255.02015	7751.67338	1.23775	8109.98236	1.31482	104.62234	2.85401	1.74758	1.24700
Dv	6624.49636	3312.24818	1.25167	1918.37562	0.37454	57.91763	2.46230	2.27195	1.24913
Dv-AT-Pi	2827.64041	2827.64041	1.26462		0.15987		2.73090	0.00000	1.26462
DvE	6961.85582	3480.92791	1.28352	1722.37395	0.39361	49.48031	3.48181	2.33773	1.28721
Pa-Ar	10007.33526	10007.33526	1.28852		0.56580		4.02280	0.00000	1.28852
Pal	248.22497	248.22497	1.26666		0.01403		2.00926	0.00000	1.26666
Pa-Pspp	3181.07449	1590.53724	1.28014	1955.87699	0.17985	122.96958	4.94286	2.34345	1.33085
Ph	107969.40277	17994.90046	1.28540	17203.25237	6.10449	95.60071	6.82735	1.50536	1.32326
Ph-Ar	33658.74628	33658.74628	1.32931		1.90303		7.15198	0.00000	1.32931
Ph-Ar-Pi	33658.74628	33658.74628	1.32931		1.90303		7.15198	0.00000	1.32931
Ph-Pi	112886.88921	11288.68892	1.41168	15503.66835	6.38252	137.33807	6.81798	1.45932	1.32619
Ph-Pi-AT	33658.74628	33658.74628	1.32931		1.90303		7.15198	0.00000	1.32931
Ph-Pspp	2407.63608	1203.81804	1.22543	62.50058	0.13612	5.19186	1.77055	2.20547	1.22524
Ph-Pspp-Ar	3825.24138	956.31034	2.05288	645.36707	0.21627	67.48511	2.07638	1.86579	1.24263
Ph-Pspp-Qspp	753.67163	753.67163	1.26908		0.04261		2.37492	0.00000	1.26908
Ph-Pspp-Qspp-Pi	5297.61082	2648.80541	1.30183	820.17018	0.29952	30.96378	3.70289	2.36948	1.30089
Ph-Qspp	4704.08085	2352.04042	1.24089	3158.43547	0.26596	134.28491	2.13005	2.25409	1.23043
Pi	267432.52133	13371.62607	1.28151	15314.92144	15.12038	114.53297	6.57858	1.33949	1.31923
Pi-Ar	70.14220	35.07110	3.06764	49.59520	0.00396	141.41328	2.05455	3.60466	1.29494
Pi-Ph	33658.74628	33658.74628	1.32931		1.90303		7.15198	0.00000	1.32931
Pi-Pspp	4968.05766	4968.05766	1.27489		0.28088		3.22252	0.00000	1.27489
Pi-Pspp-Qspp	1112.45783	1112.45783	1.27571		0.06289		2.64097	0.00000	1.27571
Psa	1826.35725	913.17863	1.30555	369.04143	0.10326	40.41284	3.21146	2.36099	1.30283
Pspp	89805.34275	9978.37142	1.64199	13630.95841	5.07751	136.60504	6.05079	1.49758	1.31124















































































Psp-	7678.17829	7678.17829	1.25113		0.43411		2.75737	0.00000	1.25113
Psp-Ar	127741.26249	14193.47361	1.30687	15050.18646	7.22237	106.03596	6.44697	1.44417	1.32015
Psp-Ar-AT	1604.23536	802.11768	1.26128	514.92421	0.09070	64.19559	2.56767	2.27419	1.27238
Psp-Ar-Ph-Pi	3737.98380	3737.98380	1.24698		0.21134		2.42971	0.00000	1.24698
Psp-Ar-Pi	2271.60505	567.90126	1.91248	722.96314	0.12843	127.30437	1.58365	1.82644	1.21217
Psp-AT	48936.24106	6990.89158	1.28013	5897.45356	2.76681	84.35911	4.02866	1.45748	1.28715
Psp-AT-Pi	14592.72683	7296.36341	1.25920	3833.89316	0.82505	52.54526	3.43202	2.30006	1.27009
Psp-Ph-AT	4585.39156	4585.39156	1.22987		0.25925		2.14267	0.00000	1.22987
Psp-Pi	161416.07220	14674.18838	1.28423	15240.99445	9.12631	103.86260	6.48631	1.39425	1.31907
Psp-Pi-AT	2515.65204	1257.82602	1.23395	1001.54649	0.14223	79.62520	1.98303	2.22425	1.23568
Psp-Qspp	3737.98380	3737.98380	1.24698		0.21134		2.42971	0.00000	1.24698
Psp-Qspp-Ar	7678.17829	7678.17829	1.25113		0.43411		2.75737	0.00000	1.25113
Psp-Qspp-AT	16605.92476	4151.48119	1.26680	4074.61526	0.93888	98.14847	2.73429	1.61063	1.25273
Psp-Qspp-Pi	41982.12164	13994.04055	1.26872	17035.40471	2.37363	121.73328	6.18439	1.80119	1.31112
Qspp	13005.13517	4335.04506	1.30160	5069.97814	0.73529	116.95330	3.97755	1.83926	1.29289
Qspp-Af	852.21562	852.21562	1.32361		0.04818		3.73084	0.00000	1.32361
Qspp-AT	8063.76854	1343.96142	1.56385	1488.65008	0.45591	110.76583	2.58132	1.67962	1.25525
Qspp-AT-Pspp	739.71415	739.71415	1.25193		0.04182		2.06857	0.00000	1.25193
Qspp-Dv-AT	982.24277	982.24277	1.21056		0.05553		1.53651	0.00000	1.21056
Qspp-Pi	34737.26174	17368.63087	1.28679	23037.70215	1.96401	132.63971	6.99323	2.38797	1.32667
Qspp-Pi-AT	1220.74776	1220.74776	1.22142		0.06901		1.71772	0.00000	1.22142
Qspp-Pi-Pspp	1295.30414	1295.30414	1.23730		0.07323		1.96916	0.00000	1.23730
Qspp-Pspp	33658.74628	33658.74628	1.32931		1.90303		7.15198	0.00000	1.32931
Qspp-Pspp-AT	3174.78569	1058.26190	1.27282	1204.68718	0.17949	113.83640	2.71093	1.78738	1.27138
Qspp-Pspp-Pi	47131.38925	7855.23154	1.33066	13171.81531	2.66476	167.68208	6.32901	1.55009	1.32124
Qspp-ZU-AT	1198.54193	1198.54193	1.25202		0.06776		2.19971	0.00000	1.25202
Sb-AT	230.57585	230.57585	1.23782		0.01303		1.61060	0.00000	1.23782
ZU	1290.73373	645.36687	1.26573	212.53831	0.07297	32.93295	2.25826	2.27623	1.26490
ZU-AR	3243.50122	1621.75061	1.24010	1738.26047	0.18338	107.18420	2.09466	2.24031	1.23684

Escena de los Paisajes



0 300 600 1,200 1,800 2,400 Kilometers

Simbología de los Paisajes

	zu_ari		pspp_ar_at		at_qspp_zu
	zu		pspp_ar		at_qspp_pi
	sb_at		pspp		at_qspp
	qspp_zu_at		psp_qspp_pi		at_pspp_zu
	qspp_pspp_pi_at		psa		at_pspp_qspp
	qspp_pspp_pi		pi_pspp_qspp		at_pspp_ar
	qspp_pspp_at		pi_pspp		at_pspp
	qspp_pspp		pi_ph		at_pi
	qspp_pi_pspp		pi_ar		at_ari_qspp_pspp
	qspp_pi_at		pi		at
	qspp_pi		ph_qspp		at_ari
	qspp_dv_at		ph_pspp_qspp_pi		ari
	qspp_at_pspp		ph_pspp_qspp		ar_zu
	qspp_at		ph_pspp_ar		ar_qspp_at
	qspp_af		ph_pspp		ar_qspp
	qspp		ph_pi_at		ar_pspp_pi
	pspp_qspp_at		ph_pi		ar_pspp_af
	pspp_qspp_ar		ph_ar		ar_pspp_2
	pspp_qspp		ph		ar_pspp
	pspp_pi_at		pal		ar_pi
	pspp_pi		pa_pspp		ar_ph_pspp_pi_at
	pspp_ph_at		pa_ar		ar_ph_pspp_pi
	pspp_at_pi		dve		ar_ph_pspp
	pspp_at		dv_at_pi		ar_ph_pi
	pspp_ar_pi		dv		ar_pa
	pspp_ar_ph_pi		at_zu		ar

15 LITERATURA CITADA

1. Adinarayana, J.; Flach, J. D.; Collins, W. G. (1994). *Mapping Land Use Patterns In A River Catchment Using Geographical Information Systems*. Journal of Environmental Management. No. 42, pp. 55-61.
2. Ball, G. L. (1994). *Ecosystem modeling with GIS*. Environmental Management. Vol. 18, No. 3, pp. 345-349.
3. Baskent, Z. E., Glen A. J. y A. M. M. Nurullah. (2000). *Designing Forest Landscape Management*. The Forestry Chronicle. Sep-Oct. Vol. 76, No. 5, pp. 739-742.
4. Bettinger, P. y Boston K. (2001). *A Conceptual Model for Describing Decision Makings Situations in Integrated Natural Resource Planning and Modeling Projects*. In Environmental Management Vol. 28, No. 1, pp. 1-7.
5. Bocco, V., G.; Palacio P., J. L. y Valenzuela, C. R. (1991). *Integración De La Percepción Remota Y Los Sistemas De Información Geográfica*. Ciencia y Desarrollo. Vol. XVII No. 97, pp. 79-88.
6. Chávez, María T. (2003). *Conservar los Bosques del Izta-Popo: Un Reto para Asegurar el Futuro*. Pronatura: Por la Gente por la Tierra, Oct-Nov. No. 2, pp. 18-27.
7. Chávez, C. J. M. y Trigo B. N. (1996). *Programa de Manejo para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl*. Colección Ecología y Planeación-UAM.
8. Cuanalo de la Cerda, H. (1990). *Manual Para La Descripción De Perfiles De Suelo En El Campo*. 3ª Ed. Colegio de Postgraduados (Centro de Edafología) Chapingo, México.
9. Dirzo, R. y García M. C. (1992). *Rates Of Deforestation In Los Tuxtlas, A Neotropical Area In Southeast Mexico*. Conservation Biology Vol. 6No.1 pp. 84-90.
10. Domínguez, Cárdenas, R. (1981). *Aplicación Del Levantamiento Fisiográfico Para La Determinación Del Uso Múltiple De Tierras Forestales En Un Área De La Unidad Industrial De Explotación Forestal San Rafael, Estado De México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados (Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Centro de Genética). Chapingo, Estado de México.
11. Durán, E., L. Galicia y Sarmiento, G. E. Pérez y L. Zambrano L. (2002). *El Paisaje en Ecología*. En Ciencias No. 67. Julio-Septiembre, UNAM. pp. 44-50.

12. Eade, J. D. O.; Moran, D. (1996). *Spatial Economic Valuation: Benefits Transfer Using Geographical Information Systems*. Journal of Environmental Management. No. 48, pp. 97-110.
13. Ediciones docentes del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", UNAM. Facultad de Ciencias, Departamento de Biología.
14. FAO, Forest Resource Assessment. (1993). En: http://www.customw.com/ecoweb/notas/notas/970829_2.html. 25/10/03
15. FAO. (1986). *Evaluación De Tierras Con Fines Forestales*. Estudio FAO Montes. No. 48. Roma, Italia.
16. Felicísimo, A. M. (1994) Modelos Digitales del Terreno. (PDF) <http://www.etsimo.uniovi.es/> 25/12/02
17. Forman, R.T.T. and Godron, M. (1996). *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons.
18. Galicia y Sarmiento L. Y Zarco A. A. E. (2002). *El Concepto de Escala y la Teoría de las Jerarquías en Ecología*. En Ciencias No. 67. Julio-Septiembre, UNAM. pp. 34-40.
19. García O., G. La percepción remota como medio para la actualización de datos en un SIG. <http://www.itm.mx/Espanol/Notas/11/art1.html> 26/10/02
20. García O., G. Los sistemas de información geográfica y el transporte. <http://www.imt.mx/Espanol/Notas/26/art2.html> 24/10/02
21. García, O., G. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica (SIG) al transporte carretero. <http://www.imt.mx/Espanol/Notas/6/art4.html>. 15/14/03
22. Gardner, Robert H. (2002). *Landscape Ecological Analysis: Issues and Applications*. Springer, New York. Pp. 175-186, 280-292.
23. Gergel, Sarah E. y Turner M. G. (2002). *Learning Landscape Ecology*. Springer, New York. pp. 17-25, 62, 65, 107-119.
24. Giles, R. y K. Trani. (2002). *Key Elements of Landscape Pattern Measures*. Environmental Management Vol. 23 No. 4, pp. 477-481.
25. Gkaravelle, J. H. y J. E. G. Good. (2001). *Fragmented Native Woodlands in Snowdonia (UK): assessment and amelioration*. Forestry No. 89, Vol.12, pp. 71-81.
26. Harris, L. (1984). *The Fragmented Forest: Island Biogeography Theory and the Preservation of Biotic Diversity*. University of Chicago, Chicago.

27. Harris, L. D. and Silva Lopez G. (1992). *Forest Fragmentation and the Conservation of Biological Diversity* en Fiedler Peggy L. And Subodh K. Jain, Editors. Conservation Biology. Champan and Hall New York and London.
28. Hedeos, F., J. M.; Mauri, P. Y Merino; A. (2001) Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en los estudios geomorfológicos y medioambientales. <http://www.arrakis.es/apedromm/articulo1.htm>. 12/12/02
29. Herzog, Felix, Lausch A., Müller E., Thulke H., Steinhart V. y Leheman H. (2001). *Landscape for Assessment of Landscape Destruction and Rehabilitation*. Environmental Management. Vol. 27, No. 1, pp. 91-107.
30. Holling, C. S. (1992). *Cross Scale Morphology Geometry and Dynamics of Ecosystems*. En Ecological Monographs No. 62. pp. 447-502.
31. IUCN y WWF. (1999). *Evaluation of forest Quality Towards a Landscape Scale Assessment*. April. Bristol.
32. Johnston, C. A. (1998). *Geographic Information Systems In Ecology*. Editorial Blackwell Science Ltd. USA.
33. Johnston, Carol A. (2001). *Geographic Informations Systems in Ecology*. Ed. Blackwell, pp. 18-32, 49-68, 63-112.
34. Jones, C.B. (1998). *Geographical Information Systems and Computer Cartography*. Longman. Singapore, pp. 61-89.
35. Kim, L. A. (1990). An Analysis Of Anthropogenic Deforestation Using Logistic Regression And GIS. Journal of Environmental Management. No. 31, pp. 247-259.
36. Lai, P. (1990). *Feasibility Of Geographic Information Systems Approach For Natural Resource Management*. Environmental Management. Vol. 14, No. 1, pp. 73-80.
37. Leonberger, J. N. (2002). *Revealing The Small Range Of Radio-Microwave Frequencies*. Physics Education. Vol. 37, Septiembre, pp. 425-427
38. Letona, I. F. (2001a). *Plan de Desarrollo Regional y de Ordenamiento Territorial Sustentable del Área Izta-Popo, Propuesta*. Instituto Universitario de Urbanística A.C., Puebla, Puebla.
39. Letona, I. F. (2001b). *Avance de Datos de la Comunidades Localizadas en la zona de Riesgo del volcán Popocatepetl.* . Instituto Universitario de Urbanística A.C., Puebla, Puebla.

40. Levachkine, S. (2002). *Digitalización Automatizada De Mapas Raster*. Revista digital universitaria. Vol. 1.
41. Lewis, D. M. (1995). *Importance Of GIS To Community-Based Management Of Wildlife: Lessons From Zambia*. Ecological applications. Vol. 5, No. 4, pp. 861-871.
42. Li, Xia y Gar-On A. Y. (2001). *Zoning Land for Agricultural Protection by the Integration of Remote Sensing, GIS and Cellular Automata*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 67, No. 4, pp. 471-477.
43. Martínez, Vega, J., Martín Isabel M. P. y Romero Calcerrada, R. (2003) *Valoración del Paisaje en la zona de especial protección de aves carrizales y sotos de Aranjuez (Comunidad de Madrid)*, GeoFocus. No. 3, pp. 1-21.
44. Mc Garical, K. (2002b). *Landscape Ecology, Lab. 2: Indices of Landscape Pattern*. www.patches.lab.com/ 09/09/99
45. McGarigal, K., S. A. Cushman, M. C. Neel, y E. Ene. (2002). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
46. Morris, Douglas W. (1992). *Scales and Costs of Habitat Selection in Heterogeneous Landscapes*. Evolutionary Ecology No. 6, pp. 412-432.
47. Navarro, P, M. C.; Legorreta P., G. (1992). *Sistemas de información geográfica: Teoría introductoria y ejercicios con Auto CAD e IDRISI*. Número II.
48. Noss, R.F (1994). *Some Principles Of Conservation Biology, As They Apply To Environmental Law*. Chicago-Kent Law Review Vol. 69 No.4, pp. 893.
49. O'Neill, R.V., Krumme J.R, Gardner R.H., Sugihara G., Jackson B., D.L. De Angelist, B.T. Milne, M.G. Turner, B. Zygmunt, S.W. Christensen, V.H. Dale and R.L. Graham (1988). *Measuring forest landscape patterns, Quantifying Landscape Patterns: Metrics for Quantifying Spatial Patterns in Composition and Structure* . Landscape Ecology Vol. 1, No. 3, pp. 153-162 .
50. Olvera, Vargas, M.; Moreno Gómez, S. Y Figueroa Rangel, B. (1996). *Sitios Permanentes Para La Investigación Silvícola: Manual Para Su Establecimiento*. Universidad de Guadalajara, México.
51. Pérez, Hernández, M. A.(1990). *Prácticas De Laboratorio Integral De Biología III: Módulo De Ecología*. UNAM-FES Zaragoza. México.

52. Poveda, Matallana I. C. y Rojas P. Camilo A. (2003). *Introducción a los Sistemas De Información Geográfica: Definición de las Necesidades de Usuario*. Diplomado en Sistemas de Información Geográfica, FES - Zaragoza, UNAM.
53. Ripple W. J. (1999). *Measuring Forest Landscape Patterns in the Cascade Range of Oregon USA*. Biological Conservation No. 57, pp. 73-98.
54. Rudas, G. D., Armenteras, S. Sua y N. Rodríguez. (2001). *Indicadores de Seguimiento de la Política de la Biodiversidad de la Amazonia Colombiana*. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Unidad de Sistemas de Información Geográfica, Bogotá, Colombia.
55. Sailhac, P. y Seyler F. (1998). *Texture Characterization of ERS-1 Images by Regional Multifractal Analysis*. In Lévy Vehél J. Luttan E. and Tricot C. *Fractals in Engineering: From Theory to Industrial Applications*. Springer. Great Britain.
56. Servicio del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (SDRN), (2002). Dirección de Investigación, Extensión y Capacitación de la FAO. *Sistema De Información Geográfica En El Desarrollo Sostenible*.
57. Siebe, C.; Jahn, R y Stahr, K. (1996). *Manual Para La Descripción Y Evaluación Ecológica De Suelos En Campo*.
58. Sistemas de información geográfica (SIG). <http://cali.cetcol.net.co/resnatur/sig.html>. 16/12/03
59. Spurr, S. T. y Barres Buton V. (1997). *Forest Ecology. 3rd edition*. John Wiley and Sons. New York USA, pp. 1-11, 421-450.
60. Theobald, D. M. and N.T. Hobbs (1999). *Calculating Landscape Fragmentation Using a Gradient-based Approach*. En ESRI User Conference, San Diego, CA.
61. Trani, M.K. y R.H. Giles (1999). *An Analysis Of Deforestation: Metrics Used To Describe Pattern Change*. Forest Ecology and Management No. 114, pp. 459-470.
62. Turner, M. G. (1989). *Landscape Ecology: The effect of Pattern on Process*. *Annual Review of Ecology and Systematics*. No. 20, pp. 171-198.
63. Turner, M. G., R. H. Gardner, and R. V. O'Neill. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer, New York.

64. Turner, M.G.; O'Neill, R.V.; Gardner, R.H.; Milne, B.T. (1989). *Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern*. Landscape Ecology. No. 3, pp. 153-162.
65. United States Environmental Protection Agency, US-EPA (1994). *Landscape Monitoring and Assessment Research Plan*, EPA 620/R-94/009. Washington.
66. Urban, D.L.; O'Neill, R.V.; Shugart, Jr., H.H. (1987). *Landscape Ecology: A Hierarchical Perspective Can Help Scientist Understand Spatial Patterns*. BioScience. 37: 119-127.
67. Velásquez, A., Romero F. J., Cordero H. R. y Heil G. W. (2001). *Effects of Landscape Changes on Mammalian Assemblages at Izta-Popo Volcanoes, México*. Biodiversity and Conservation, No. 10, pp. 1059-1075.
68. Villagran, P. E. G. (2003). *Planeación ecoturística en la Delegación Nexapa y su Área de Influencia en el Parque Nacional Izta-Popo, Estado de México*. Tesis de Licenciatura, FES-Zaragoza, UNAM, pp. 21-27, 53 y 55.
69. Vogelmann, J. E. (2002). *Assessment of Forest Fragmentation in Southern New England using Remote Sensing and Geographic Information Systems Technology*. Conservation Biology, Vol. 9 No. 2, pp. 439-449.
70. White, D., Minotti P. G., Barczak M. J., Sifneos J. C., Freemark K. E., Santelman M. V., Stelnitz C. F., Kiester A. R. Y Preston E. M. (1997). *Assessing Risks to Biodiversity From Future Landscape Change*. Conservation Biology, Vol. 11, issue 2, April. 349-360.
71. Figer, Don F.
www.hubblesite.org/sci.d.tech/nuts_.and._bolts/spec101.shtml
 04/10/03
72. Williams Darrell. www.landsat.gsfc.nasa.gov/ 26/01/04
73. Berkeley University
www.lbl.gov/MicroWorlds/ALSTool/EMSpec/EMSpec2.html 04/10/03
74. SEP, www.pronap.ilce.edu.mx/examenes/Recomen/Temas/c07est.htm
 25/11/03
75. Franco, G
A.www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/negro/espectro/espectro.htm
 04/10/03
76. Platt Ray, aerialsearch.com, 10/02/04