

134  
2e1



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EVALUACION DE LA APTITUD DE UNIDADES DE PAISAJE CON FINES DE RESTAURACION: EL VOLCAN PELADO, MEXICO.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**B I O L O G O**  
P R E S E N T A :

**JOSE ANTONIO QUINTERO PEREZ**

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSE ALEJANDRO VELAZQUEZ MONTES



MEXICO, D. F.

JUNIO 1998

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR

263157



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:  
EVALUACION DE LA APTITUD DE UNIDADES DE PAISAJE CON FINES  
DE RESTAURACION: EL VOLCAN PELADO, MEXICO.

realizado por JOSE ANTONIO QUINTERO PEREZ

con número de cuenta 8859774-0 , pasante de la carrera de BIOLOGIA

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario

DR. JOSE ALEJANDRO VELAZQUEZ MONTES

Propietario

BIOL. MARDOCHEO FELIX PALMA MUÑOZ

Propietario

BIOL. JORGE ANTONIO MORENO HERNANDEZ

Suplente

GEOG. GLICINIA VALENTINA ORTIZ ZAMORA

FACULTAD DE CIENCIAS  
MEXICO

Suplente

BIOL. ADRIAN REUTER CORTES

Consejo Departamental de Biología

*Edna M. Suarez D.*

DRA. EDNA MARIA SUAREZ DIAZ

DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA

*A mis papás, Auda y José Antonio, por todo su apoyo, confianza y cariño incondicional.  
A mi hermana Auda, quien siempre a sido un ejemplo a seguir.  
A mis amigos, Mardocheo y Glicinia, por todo lo que hemos pasado juntos y por lo que nos falta.  
A la memoria de Violeta.  
A Luz María por su paciencia.*

*Agradezco al Dr. Alejandro Velázquez por su enseñanza, asesoría, apoyo y amistad que me brindo para la realización de este trabajo.*

*Mi más sincero agradecimiento a Mardo por todo su apoyo para terminar este trabajo y quien siempre me ha brindado sus conocimientos, amistad y cariño, al igual que para China quien cumplió su cometido de hacer que me titulara.*

*Agradezco a Jorge Moreno por su tiempo asesoría y comentarios para realizar este trabajo.*

*A toda la flora y fauna, tanto nacional como extranjera del Laboratorio de Biogeografía, mil gracias.*

*A toda la banda del jarocho especialmente a Adrian Reuter y Angela Costero a quien le deseo que pronto se titule, gracias.*

*Para el Rolex un gracias por la inspiración que me brindo con sus atinados comentarios.*

## **CONTENIDO**

- 1 RESUMEN.**
- 2 INTRODUCCIÓN.**
- 3 ANTECEDENTES.**
- 4 ZONA DE ESTUDIO.**
- 5 FACTORES ABIÓTICOS.**
  - 5.1 EMPLAZAMIENTO.**
  - 5.2 GEOLOGÍA Y RELIEVE.**
  - 5.3 SUELOS.**
    - 5.3.1 ANDOSOLES.**
    - 5.3.2 LITOSOLES.**
    - 5.3.3 REGOSOLES.**
  - 5.4 HIDROLOGÍA.**
  - 5.5 CLIMATOLOGÍA.**
- 6 FACTORES BIÓTICOS.**
- 7 ASPECTOS ANTRÓPICOS.**
- 8 ACTIVIDADES PECUARIAS.**
- 9 EXPLOTACIÓN FORESTAL.**
- 10 ACTIVIDADES DIVERSAS.**
- 11 SITUACIÓN DEL VOLCÁN PELADO.**
- 12 OBJETIVOS.**
- 13 MATERIAL Y METODO.**
  - 13.1 LA FOTOINTERPRETACIÓN Y LA IMAGEN DE SATÉLITE COMO BASE PARA LA EVALUACIÓN DE APTITUD.**
  - 13.2 LAS UNIDADES DE PAISAJE.**
  - 13.3 POLIGONOS DE ACCIÓN ANTRÓPICA.**
  - 13.4 ELABORACIÓN DE LA CARTA PRELIMINAR.**
  - 13.5 ASOCIACIÓN DEL MAPA PRELIMINAR DE LAS UNIDADES DE PAISAJE CON DATOS PREEXISTENTES.**
  - 13.6 CRITERIOS PARA ATRIBUIR VALORES DE APTITUD CON FINES DE RESTAURACIÓN (GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, PEDOLOGÍA Y VEGETACIÓN) DENTRO DE CADA UNIDAD DE PAISAJE.**
    - 13.6.1 GEOLOGÍA.**
    - 13.6.2 GEOMORFOLOGÍA.**
    - 13.6.3 PEDOLOGÍA.**
    - 13.6.4 VEGETACIÓN.**
    - 13.6.5 CLIMA.**
- 14 TABLA DE VALORES DE APTITUD.**
- 15 PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS PRELIMINARES.**
- 16 PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN.**
  - 16.1 CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN.**
    - 16.1.1 CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE UNA IMAGEN LANDSAT TM.**
  - 16.2 PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN.**
    - 16.2.1 TRANSFORMACIÓN Y REALCE DE LA IMAGEN.**
  - 16.3 CREACIÓN DE LA IMAGEN COMPUESTA DE COLOR COMO IMAGEN BASE.**
  - 16.4 ANÁLISIS DE LA IMAGEN BASE.**
- 17 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE LA IMAGEN EN ENVI.**
  - 17.1 PASOS PARA LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA**
- 18 RESULTADOS.**
- 19 CONCLUSIONES.**
- 20 BIBLIOGRAFÍA.**

## 1 RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una evaluación de la aptitud para la restauración de unidades de paisaje en el Volcán Pelado en el sur del Distrito Federal, México. El método de evaluación está basado en el concepto de Ecodinámica de Tricart (1977), el cual a su vez, está basado en la morfogénesis y pedogénesis que componen una unidad de paisaje, y la integración Biológica del área de estudio. Con esta metodología se analizaron las unidades de paisaje descritas por Velázquez (1988), asociándolas a la literatura y mapas temáticos para su reclasificación y elaboración de una propuesta que demuestra la aptitud que presenta el área de estudio para su restauración.

Se utilizó una imagen LANDSAT TM (compuesta por la banda cruda TM 5 como banda roja, el Índice De Vegetación Normalizado como banda verde y los componentes principales como banda azul) en la que se realizó una clasificación supervisada con las clases de interés mediante la verificación de campo y mapas temáticos, reclasificándolas y evaluando su precisión.

La información generada se integró en un Sistema de Información Geográfica, para la construcción de un mapa temático de unidades de paisaje y uno que demuestra la aptitud del área de estudio para su restauración.

## 2 INTRODUCCIÓN

El descontrolado crecimiento de la Ciudad de México ha llevado a una cada vez mayor destrucción al medio natural en el que se enmarca esta área urbana.

La alta inmigración del campo a la ciudad y el alto crecimiento demográfico, típicos de países subdesarrollados, crea un grave desequilibrio entre el hombre de la ciudad y el medio que lo rodea, ya que su necesidad de espacio lo lleva a invadir zonas naturales ricas en recursos que se ven rápidamente afectados y disminuidos, en algunos casos, hasta su total eliminación e imposible recuperación (González, 1982).

Es notable el deterioro del medio que se observa en las zonas cercanas a la Ciudad de México que no hace mucho tiempo funcionaban como ecosistemas sanos con capacidad de soportar la presencia humana sin sufrir alteraciones graves.

Las extensas zonas boscosas que rodean a la Ciudad de México han sido explotadas desde la época colonial en forma intensiva, ya sea generando energía como leña o carbón vegetal, como fuente de materia prima en la elaboración de muebles y papel o como material de construcción.

La ciudad de Tenochtitlán se caracterizó por el equilibrio que guardaba con la naturaleza que lo rodeaba y fueron los mismos aztecas quienes incluso elaboraron obras que, además de funcionales, en algunos casos mejoraban el ecosistema, como es el caso del gran albarradón mandado construir por Moctezuma I para separar el agua dulce del lago de México, al oeste, de las salobres del lago de Texcoco al este. Otros reyes aztecas se esforzaron por lograr que el daño al medio fuera mínimo como el rey Netzahualcoyotl, fundador de pequeños parques zoológicos, jardines botánicos y gran defensor de la naturaleza, quien incluso con crueles castigos obligaba a sus súbditos a respetar árboles y animales evitando su explotación excesiva (Martínez, 1972).

La necesidad de tierras fértiles donde abrir nuevos campos agrícolas llevo al habitante de la Ciudad de México a buscar suelos con características favorables para el cultivo, principalmente el maíz, la avena y el trigo, mismos que fueron detectados al sur de la Ciudad de México en las distintas serranías ahí localizadas. Así fueron desforestadas amplias zonas y convertidas en áreas agrícolas, mismas que han sido explotadas en forma intensiva por los habitantes de los diferentes poblados establecidos en la sierra.

Estas zonas generalmente corresponden a coladas de basalto originadas por los edificios volcánicos que abundan en el paisaje y que son el origen de la riqueza de los suelos que se han formado a lo largo de la historia de la Sierra Volcánica Transversal. Sin embargo, la imposibilidad de implantar cultivos en estas zonas, no impide el que sufran alteraciones debido a otro tipo de actividad económica como es la explotación forestal y el pastoreo. La fauna silvestre, recurso natural importante, se ve así mismo afectada ya que su hábitat se ve modificado en forma severa, y a ser explotado el recurso en zonas hasta antes de difícil acceso.

Pocos son los lugares cercanos a la Ciudad de México en donde el medio natural no se encuentra alterado; algunos de estos lugares han sido convertidos en zonas de recreo e incluso, algunos de ellos en parques nacionales como el "Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones", el "Parque Nacional Miguel Hidalgo La Marquesa", el "Parque Nacional del Ajusco", el "Parque Nacional Lagunas de Zempoala", el "Corredor Biológico Ajusco - Chichinautzin" dentro del cual se encuentra el área de estudio el Volcán Pelado y el "Parque Nacional El Tepozteco".

El deterioro producido por las actividades humanas rebasa los límites de las áreas protegidas (Stelma, 1995), por tal motivo es necesario generar propuestas de conservación y restauración para estas áreas. El Volcán Pelado se encuentra en el "Sur del Valle de México" que corresponde a la región 117 de CONABIO y SEMARNAP, y ha sido definida como "región prioritaria para la conservación" y de donde se desprende el interés de realizar este trabajo, ya que el área se encuentra en una región biogeográfica que presenta una gran diversidad en flora y fauna, siendo considerada también como Reserva Forestal.



Como muestra de esta diversidad, *Furcraea bedinghausii* representa un endemismo de la zona central del eje neovolcánico donde se encuentra el Volcán Pelado, y donde la vegetación esta dominada por bosques de coníferas y latifoliadas, con diferentes especies de pino, principalmente *Pinus montezumae*, *P. teocote*, *P. pseudostrabus* y *P. hartwegii*, de encino como *Quercus laurina*, *Q. crassifolia* y *Q. rugosa*. En las partes mas elevadas existen oyameles (*Abies religiosa*). Otras especies de arboles y arbustos menos abundantes son los alises (*Alnus*), los madroños (*Arbutus*) y los tepozanes (*Buddleia*). En el estrato arbustivo se presentan principalmente los géneros *Eupatorium*, *Senecio*, *Salvia*, *Salix*, *Fuchsia* y *Symphoricarpos*. Los componentes mas característicos del estrato herbáceo son gramíneas rígidas y amacolladas como *Festuca*, *Muhlenbergia* y *Calamagrostis*. Otras herbáceas presentes son *Galium*, *Geranium*, *Dahlia*, *Valeriana*, *Potentilla* y *Castilleja* (Rzedowski y Rzedowski, 1985).

En fauna tenemos especies de mamíferos endémicos del eje neovolcánico como el teporingo (*Romerolagus diazi*) y que se encuentra en peligro de extinción, la tuza (*Pappogeomys alcorni*) que esta considerada como especie rara, el murciélago (*Lasiurus cinereus*), *Reithrodontomys chrysopsis*, *Neotomodon alstoni*, y especies endémicas de la República Mexicana como *Sorex oreopolus*, *Plecotus mexicanus*, *Spermophilus adocetus* entre otros, a de más de contar con especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo como el tlalcoyote (*Taxidea taxus*) y el murciélago (*Leptonycteris nivalis*), y fauna asociada a esta región como el ratón venado (*Peromyscus maniculatus*), rata de campo (*Sigmodón allicola*), comadreja de cola larga (*Mustela frenata*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*). (Velázquez, 1993; Cervantes et al, 1994).

En aves tenemos especies en peligro de extinción como el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), el halcón cola roja (*Buteo jamaicensis*) en protección especial, el búho cornudo (*Bubo virginianus*) como especie amenazada entre otros (CIPAMEX, 1993). Los anfibios y reptiles presentan un gran endemismos, entrelos que podemos mencionar ranas como (*Rana neovolcanica*), *R. tlaloci*, serpientes de cascabel (*Crotalus polystictus*), *C. transversus*, cascabel ocico de puerco (*C. triseriatus*). (Castro-Franco y Bustos-Zagal, 1992; Lazcano-Barrero, et al, 1986).

La necesidad de rescatar esta riqueza natural nos obliga a estudiar y proponer métodos de conservación y restauración, que nos permita el poder para un posible manejo de la región. Una propuesta para conseguir esto es la utilización del modelo de Ecodinámica de Tricart (1977), donde de una manera holística se analizan los factores bióticos y abióticos en el Volcán Pelado.

### 3 ANTECEDENTES

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

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

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

En general, aspectos como la geología, geomorfología, edafología y biología son abordados independientemente. Para efectos de manejo de recursos naturales, conservación y restauración es indispensable utilizar un enfoque sinóptico holístico, como el sugerido por Tricart (1977) con su modelo de Ecodinámica.

La introducción del término Ecodinámica se debe a Tricart (1977), a partir de su modelo original de zonamiento morfo-pedogénesis de evaluación dentro de un marco ecológico económico. Tricart (1977) definió la Ecodinámica como la ciencia de la interpelación total y compleja entre los procesos bióticos y abióticos.

Resende (1995) señala que esta definición bien podría servir también para la ecología, pero apunta algunas de las más importantes diferencias. En la práctica los ecólogos han dejado al margen los aspectos abióticos. El punto de vista aportado por geógrafos y geólogos contribuye a disponer de una perspectiva más global del problema, al centrar gran parte de sus esfuerzos en la influencia de los aspectos geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos y climáticos sobre la organización de los paisajes a diferentes escalas. Sin embargo, los especialistas son conscientes de que muy pocos paisajes pueden interpretarse sólo con la ayuda de las llamadas geociencias, debido a la generalizada transformación que han sufrido por actividades humanas. Por ello con la Ecodinámica se trata de estudiar la dinámica del paisaje y su organización espacial, a partir fundamentalmente de la geografía física (incluida también la biogeografía), teniendo en cuenta que una parte muy importante de esa dinámica y de esa organización deben atribuirse a la forma en que el hombre ha utilizado el territorio (Ross, 1991).

La perspectiva Ecodinámica de Tricart (1977) y los conceptos de Ecogeografía (Tricart y Kiewietdejonge, 1992) aunados a trabajos de conservación y restauración representan una propuesta para el entendimiento y manejo de los recursos (Tricart, 1982) y quizás más que nunca por el creciente papel del hombre y por la enorme importancia que se concede a la dinámica geomorfológica a la hora de explicar la diversidad y la inestabilidad de los ecosistemas. La hidrología de laderas y los procesos geomórficos, controlados en gran parte por la topografía, representan los factores más importantes para explicar la heterogeneidad de los suelos, la distribución espacial de los nutrientes y, en definitiva, la potencialidad de los diferentes ambientes que pueden identificarse. La mayoría de los restantes elementos que se integran en el paisaje incluido, aunque en menor medida el uso del suelo se hallan relacionados precisamente con la dinámica discriminada del agua en las vertientes (García - Ruiz, 1990).

Los resultados hasta ahora obtenidos sugieren ser adecuados para describir, evaluar y planear más objetivamente el uso de los recursos naturales (Van Wijngaarden, 1985; Hommel, 1987).

#### 4 ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio es el Volcán Pelado, que se localiza al sur de la Ciudad de México, en la Delegación Tlalpan del Distrito Federal (Fig. 1). Está ubicado en un lugar importante desde el punto de vista biogeográfico, ya que es una área de transición entre dos regiones biogeográficas, la neártica y la neotropical. Este volcán cubre una extensión de 6237 ha (González, 1982), forma parte de la sierra Chichinautzin originada en el Pliocuaternario (Lugo, 1984). Está situado en la parte central de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico Transversal (Rzedowski, 1978), entre los  $19^{\circ} 06' 08''$  y  $19^{\circ} 09' 23''$  de latitud Norte y entre los  $99^{\circ} 10' 15''$  y  $99^{\circ} 14' 15''$  de longitud Oeste (INEGI, 1978) según la carta de Milpa Alta (E14-A49), escala 1:50,000, con un intervalo altitudinal de los 3000 a los 3650 msnm.

La topografía del área es bastante accidentada, con una amplia base de lomeríos de pendiente moderada, afloramientos de roca basáltica y numerosas cañadas (Rzedowski y Rzedowski, 1979). Los suelos de la zona corresponden a tres clases diferentes: 1) litosoles, principalmente en pendientes abruptas donde poco o ningún material del suelo se ha acumulado, 2) andosoles, en zonas planas y de poca pendiente y 3) regosoles, formado por suelos derivados de depósitos aluviales recientes. INEGI (1978) carta de suelos de Milpa Alta (E14-A49), escala 1:50,000.

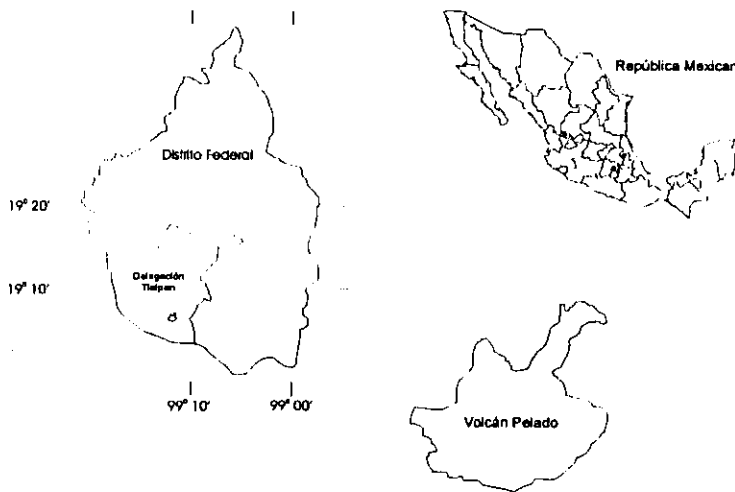


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

## 5 FACTORES ABIÓTICOS

### 5.1 EMPLAZAMIENTO

De las costas de Colima y Nayarit se extiende hacia el estado de Veracruz una de las principales unidades geológicas y geomorfológicas de la República Mexicana: el Sistema Volcánico Transversal. Es una franja de unos 900 Km, alargada de oeste a este, con amplitudes variables de 50 a 250 km. Se debe a una extraordinaria actividad volcánica que tiene lugar en el pliocuaternario. Morfológicamente, el Sistema Volcánico Transversal consiste en una serie de planicies escalonadas, desmembradas por volcanes aislados, pequeños grupos de volcanes y grandes cadenas montañosas volcánicas. (Lugo, 1984).

F. Mosser (1961), Habla del origen del pelado al referirse al origen y formación de la sierra Chichinautzin. Sus estudios lo han llevado a considerar que: "finalmente, debido a hundimientos acelerados de la zona Clarión, se desarrolló el vulcanismo del cuaternario superior mediante un sin número de focos con fenómenos extraordinarios de efusiones lávicas potentes. Esta formidable barrera volcánica con espesor local de unos 3000 m se formo probablemente en muy corto tiempo, lo que explica su gran permeabilidad y porosidad, elementos que causan su gran poder de infiltración".

En algunos trabajos (Cervantes Asociados, 1976) se hace mención del Volcán Pelado como parte de la sierra Chichinautzin junto con los volcanes Chichinautzin y Tlaloc, situándose su origen en el cuaternario. Se le consideraba por sus características litológicas como una de las zonas de mayor permeabilidad dentro del Distrito Federal.

### 5.2 GEOLOGÍA Y RELIEVE

El Volcán Pelado esta formado por un cono cinerítico que va de los 3450 a los 3620 msnm. Esto viene a ser propiamente el edificio volcánico, ya que a partir de los 3000 m, esto es, aproximadamente a la altura a la que corre la carretera federal México-Cuernavaca, el volcán esta constituido por el pie de monte que forma el derrame basáltico sobre el que se establece el bosque que lo cubre.

El área que se considera en este estudio es la que se engloba dentro de la unidad geomorfológica que delimita el derrame basáltico o pie de monte del volcán. Esta área cubre una superficie de 6,237 has, mismas que son las consideradas como el área potencial de restauración que se aborda en este trabajo.

Hacia el Oeste del cráter del Volcán Pelado, y a una distancia de 1500 m se localiza otro volcán llamado Texoxocol de la misma naturaleza geológica que el Pelado. Este pequeño cono o volcán se podría considerar como adventicio, ya que sus dimensiones son notablemente inferiores a las del Pelado.

Las pendientes que se observan en el área de estudio son importantes en cuanto a que reducen la calidad del suelo. Así, en lo que es el cono cinerítico, estas sobrepasan los 35° mientras que en el área del derrame o del pie de monte, en algunos casos sobrepasan los 30°. En promedio, las pendientes en esta zona van de los 10° a los 30°.

Existen, así mismo dentro de la zona del derrame, hondonadas y elevaciones producto de los basaltos que conforman el pie de monte o derrame mismos que le confieren un paisaje abrupto y accidentado a la zona de estudio.

### 5.3 SUELOS

Los orígenes y formas de los diversos tipos de suelos presentes en el Volcán Pelado están determinadas básicamente por la complejidad litológica dada por la composición y la edad de los materiales eruptivos y por la influencia diferencial del clima debido a los cambios altitudinales de

casi 3000 m que presenta la zona. Otros factores como la pendiente y el desagüe también se ven reflejados en los procesos edáficos y determinan cambios taxonómicos locales en los grupos de suelos.

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

Los principales tipos de suelos reportados por INEGI (1978) para la zona de estudio según la clasificación FAO son:

- a). Andosol que se encuentra en las áreas de ceniza volcánica como el cono cinerítico del Pelado y el del volcán Texxocol, así como en los pastizales que se localizan en el área de estudio.
- b). Litosol que se encuentra en el área del derrame basáltico del volcán con distintos tipos de vegetación y agrícola.
- c). Regosol que se encuentra en la base de las laderas y pendientes, donde se acumulan los materiales sueltos.

### 5.3.1 ANDOSOLES

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

Los Andosoles son suelos que se encuentran en aquellas áreas donde ha habido actividad volcánica reciente, puesto que se originan a partir de cenizas volcánicas. En condiciones naturales tienen vegetación de bosque de pino, abeto, encino, etc. Se caracterizan por tener una capa superficial de color negro o muy oscuro (aunque a veces es clara) y por ser de textura esponjosa o muy sueltos. En México se usan en agricultura con rendimientos bajos, pues retienen mucho fósforo y este no puede ser absorbido por las plantas. También se usan con pastos naturales o inducidos, principalmente pastos amacollados y con ganado ovino; el uso en el que menos se destruyen como recurso natural es el forestal mediante la explotación del bosque o la selva que generalmente se desarrolla en ellos.

### 5.3.2 LITOSOLES

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

Los Litosoles son suelos que se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm hasta la roca, tepetate o caliche duro. Se localiza en todas las sierras de México, en mayor o menor proporción, en laderas, barrancas y malpaís, así como en lomeríos y en algunos terrenos planos.

Tienen características muy variables en función del material que los forma. Pueden ser fértiles e infértiles, arenosos o arcillosos. Su susceptibilidad a erosionarse depende de la zona en donde se encuentren, de la topografía y del mismo suelo y, puede ser desde moderada hasta muy alta.

El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques y selvas su utilización es forestal; cuando presentan pastizales o matorrales se puede llevar a cabo algún pastoreo más o menos limitado y en algunos casos, se usan con rendimientos variables para la agricultura, sobre todo de frutales, café y nopal. Este empleo agrícola se halla condicionado a la presencia de suficiente agua y se ve limitado por el peligro de erosión que siempre existe.

### 5.3.3 REGOSOLES

Los Regosoles se componen de materiales no consolidados, son suelos muy poco desarrollados y profundos, derivados de depositos aluviales, es uno de las dos divisiones del grupo de los suelos azonales (formación transicional entre roca y suelo), se caracteriza por no presentar capas distintas, son claros y se parecen a la roca que les dio origen, se presentan en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación. Su susceptibilidad a la erosión es muy variable y depende del terreno en el que se encuentre.

### 5.4 HIDROLOGIA

El origen geológico del Volcán Pelado, determina el tipo de hidrología que este presenta, ya que el gran poder de infiltración, que se observa en toda el área de estudio a los basaltos que forman el volcán, no permite la formación de cauces permanentes ni la retención de aguas en hondonadas o huecos del terreno. (Cervantes Asociados, 1976).

El sistema hidrológico se puede considerar del tipo radial dirigido de las partes elevadas hacia las partes bajas. Esto se ve favorecido por las pendientes que presenta el volcán, ya que en el área ocupada por el cono cinerítico esta rebasa los 35° mientras que las áreas del derrame basáltico, las pendientes son moderadas (entre 10° y 30°).

El volcán viene a ser parte del parteaguas o línea divisoria de aguas que divide a la cuenca de México al norte, de la cuenca del Balsas al sur. Esta línea sigue los picos de los volcanes Cuautzin, Tetzocoatl, Piripitillo, Chinguiriteria, La Comalera, Chichinautzin, El Guarda, Acopiaco, Pelado, Mezontepec, Ajusco, etc., limita, como ya se dijo, a la cuenca de México por el sur.

Aunque las aguas producto de la lluvia no llegan a formar cauces permanentes, esta área adquiere importancia al convertirse en parte de la zona de recarga de los mantos acuíferos al sur de la ciudad de México gracias a la gran permeabilidad y porosidad de sus rocas que le dan un alto grado de infiltración. (Cervantes Asociados, 1976).

### 5.5 CLIMATOLOGIA

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen (modificada por E. García, 1981) y según los datos de la estación meteorológica El Guarda, el tipo de clima en el Volcán Pelado es C (W<sub>2</sub>) (W) (b) ig, es decir templado, semifrío y subhúmedo.

La temperatura se localiza dentro de la isoterma media anual de los 10 °C (entre 5 y 12 °C), con la del mes más frío entre -3 y 8 °C y la del mes más cálido no mayor de 22 °C. El mes mas cálido corresponde a mayo y junio, y el mes más frío a diciembre y enero.

El Volcán Pelado así mismo, se localiza entre las isoyetas medias anuales de los 1,200 y 1,500 mm siendo los meses de julio y agosto los más lluviosos con hasta 250 mm de precipitación pluvial y los más secos los meses de febrero y marzo con aproximadamente 10 mm de lluvia en promedio.

## 6 FACTORES BIÓTICOS

El Volcán Pelado dentro el Eje Neovolcánico Transversal y más específicamente, como parte del Valle de México, le confiere especial importancia en cuanto a sus componentes florísticos y faunísticos, pues se localiza en uno de los puntos de transición de las regiones biogeográficas neártica y neotropical (Ceballos y Galindo, 1984; Rzedowski, 1978). De acuerdo con Mittermeier (1992). México ocupa uno de los primeros lugares en megadiversidad, y no solamente se distingue por su diversidad de especies sino también por su alto índice de endemismo, es decir, de especies que solamente se encuentran dentro de los límites geopolíticos del país. Es importante subrayar que no sólo los bosques tropicales son responsables de la diversidad biológica de México. Los bosques de pino - encino son los más diversos de la tierra, con 55 especies de pinos, 85% de las cuales son endémicas de México; los encinos son los segundos más diversos con 138 especies, 70% de las cuales son endémicas de México.

Esto nos lleva a considerar la importancia que tiene el asignar las más altas prioridades a la conservación y restauración. Sin duda, estas tareas en áreas críticas de bosque templado es de vital importancia, pero es urgente comenzar a prestar más atención a los otros tipos de ecosistemas, y México, dada su gran diversidad no sólo de especies sino también de ecosistemas, debe dar prioridad a este aspecto.

Del total de 22,000 especies de vegetación calculadas por Rzedowski (1978) se tiene un total de 103 familias, 242 géneros y 879 especies en la zona sur de la Cuenca de México, de las cuales 290 especies se tienen registradas para el Volcán pelado y el Volcán Tlatoc (Silva, 1998) y 127 especies son características de las comunidades vegetales en la zona (Velázquez, 1993).

La alta riqueza mastozoológica de México es un producto de su gran heterogeneidad ambiental y topográfica y muestra de esto es que en la zona sur donde se encuentra el área de estudio se presentan 59 de las 450 especies de mamíferos reportadas para el país, de las cuales 40 especies pertenecen a la zona neártica y 19 especies a la zona neotropical, (13.11% del total). Dentro de estas especies se encuentran 5 especies endémicas del eje neovolcánico y 9 especies endémicas de la República Mexicana de las 140 especies de mamíferos endémicos del país, lo que representa el 10% y dentro de las cuales podemos mencionar al teporingo (*Romerolagus diazi*) y la tuza (*Pappogeomys alcornii*). (Cervantes et al, 1994).

Se determinó para los bosques del sur de la Cuenca de México una riqueza avifaunística de 192 especies. Esta riqueza nos indica que por lo menos el 78% de las aves terrestres del Distrito Federal se encuentran en esta región. Esta singular riqueza ornitológica adquiere mayor importancia al señalar que el 24% de las especies de aves endémicas del país se encuentran en las montañas del sur de la Cuenca de México.

De manera preliminar se han reconocido las áreas de mayor importancia avifaunística que son el Corredor Biológico Ajusco-Chichinautzin, las Reservas Forestales el Volcán Tlatoc y el Volcán Pelado, la Mesa de Tabaquillo y las Lagunas de Zempoala, el Parque Nacional Cumbres del Ajusco, en Tlalpan; el Parque Recreativo Desierto de los Leones en Cuajimalpa; la Cafada de Contreras, y el Parque Nacional Miguel Hidalgo (La Marquesa) en el Estado de México. En estos sitios es factible encontrar entre 100 y 130 especies de aves (Wilson y Ceballos-Lascurain, 1993).

En el sur de la Cuenca de México se encuentran aves con serios riesgos de sobrevivencia, ya que enfrentan presiones por destrucción y diversos tipos de modificación de su hábitat, como son la tala clandestina y mal planeada, el pastoreo, los incendios, la urbanización, entre otros. Así, existen 7 especies que se encuentran bajo la categoría de amenazadas, 6 son consideradas raras, 2 se encuentran bajo protección especial, y una especie, el gorrión serrano *Xenospiza baileyi* se encuentran en peligro de extinción (CIPAMEX, 1993).

De la herpetofauna (anfibios y reptiles) se tiene un total de 292 especies de anfibios y 711 de reptiles reportados en México. En el área geográfica donde se encuentra la zona de estudio se encuentran 24 especies de anfibios que representan el 8.22% del total y 56 especies de reptiles las que indican el 7.56% del total. Del total de estas especies se tienen 20 de anfibios (83.3%) y 47 de

reptiles (83.9%) que son endémicas de México. La pérdida de hábitat, las actividades agrícolas y forestales inadecuadas, las acciones de reforestación y creación de brechas cortafuego han afectado a la mayor parte de las especies de anfibios del sur del D. F., así como a muchas especies de reptiles. Otras especies son colectadas para su comercialización a pesar de estar protegidas por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente; esto sucede con las tortugas, las seis especies de víboras de cascabel, diversas especies de lagartijas y ranas. La Norma Oficial 059 es el instrumento de dicha protección, aunque no es observada de manera estricta. (Castro-Franco y Bustos-Zagal, 1992).

Como se puede observar en esta serie de datos lo que nos indica es que el lugar geográfico donde se encuentra enclavado el Volcán Pelado tiene una gran riqueza faunística y florística y representa un altísimo porcentaje de endemismos a todos los niveles, por lo que es de vital importancia su conservación y restauración.



## 7 ASPECTOS ANTRÓPICOS

Las actividades humanas realizadas en el área y en los alrededores se puede englobar en dos grandes procesos: *la expansión urbana y la explotación agropecuaria y forestal.*

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

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

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

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

Estos procesos han provocado no sólo la disminución de la superficie forestal sino también su fragmentación (Stelma, 1995). Esta formación de islas tiene considerables efectos sobre las poblaciones y hábitats tanto de especies animales como vegetales lo que ilustra el proceso de insularización que está teniendo lugar en estas áreas. Además, hay que considerar que los asentamientos urbanos se están extendiendo hacia lugares que no son los más propicios para esto, ya que están avanzando sobre barrancos y laderas. Los efectos implican enormes inversiones en las obras de infraestructura y control de erosión (Galindo y Morales, 1987).

La contaminación además de afectar la salud de los habitantes, también está deteriorando las comunidades forestales de los alrededores de la Ciudad de México. El daño se puede apreciar principalmente en las ramas, hojas de los árboles y el debilitamiento de los mismos, provocando que sean más vulnerables al ataque de plagas y enfermedades (Vásquez, 1986). Si bien se considera que el fenómeno de debilitamiento de los árboles es multifactorial, los contaminantes juegan un papel muy importante en este proceso (Klein y Perkins, 1988).

La formación de parches dentro de la cubierta forestal es muy probable que esté provocando cambios microclimáticos cuyo efecto sobre la fauna silvestre ha sido poco estudiado.

Dentro del área de estudio existe una zona rural extensa en la que se realizan un sinnúmero de actividades las cuales podemos agrupar en: *agrícolas, ganaderas forestales y urbanización.*

Aunque no se encontraron trabajos particulares sobre los tipos de producción agrícola para el área, Villegas (1979) da una muy buena idea de su situación; consiste en el cultivo de maíz (*Zea mays*) principalmente, avena (*Avena sativa*) y trigo (*Triticum aestivum*), realizado en pequeñas parcelas donde las prácticas agrícolas y los implementos usados son los tradicionales, tales como la tracción animal y el uso de arado. El cultivo de estos granos se puede encontrar a todo lo largo de la zona agrícola pero predominando cerca de las zonas urbanas o poblados. La topografía en donde se practica este tipo de agricultura va de sitios con poca pendiente a lugares escabrosos y de fuertes pendientes.

En observaciones realizadas por diversos autores en el área han mostrado que existe una tendencia a que el área agrícola se recontra hacia las superficies que originalmente eran forestales. Es decir que tanto la zona agrícola como la zona metropolitana se expanden ganando terreno a las zonas boscosas. Hay casos en que la zona agrícola, está ocupando inclusive algunos de los pequeños volcanes que se encuentran en el área. Estos volcanes no son los terrenos más aptos para la agricultura debido a la pendiente y a que durante la época de lluvias presentan una fuerte susceptibilidad a la erosión, y en muchos de los casos la formación de cárcavas. La apertura de superficies a la agricultura causa gran impacto a las áreas forestales, ya que la modificación del suelo es muy intensa, provocando que la recuperación del bosque sea muy lenta, y en un momento dado, imposible. (Ezcurrea, 1990; Velázquez et al, 1996; Palma, 1997).

## 8 ACTIVIDADES PECUARIAS

Aunque la ganadería es una actividad secundaria para los pobladores del sur de la Ciudad de México, ésta representa una fuente importante de ingresos para quienes la practican (COCODA, 1984). En la zona existen varios tipos de ganado, como bovino, ovino, caprino y equino. Sin embargo son los dos primeros los que sobresalen en cuanto a número de cabezas. La ganadería depende sustancialmente de las áreas forestales, pues la vegetación herbácea del bosque es la única fuente alimentaria para los rebaños, ya que no se les da complemento alimenticio de ningún tipo y pasan dentro de ellas de 8 meses a un año (López-Paniagua y Rodríguez, 1988; Obieta y Sarukhán, 1981).

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

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

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

## 9 EXPLOTACIÓN FORESTAL

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

a). La tala tiene dos fines: el consumo doméstico y la venta de madera. Esta última se realiza tanto de manera clandestina (bastante común), o bien a través de la expedición de un permiso forestal que otorga la Delegación Forestal de la SAGAR. La obtención de estos permisos es un procedimiento largo y conflictivo.

b). El ocoteo es el corte fraccionado de los pinos con el objeto de comercializarlos para hacer fogatas o antorchas que alumbren el camino. En la zona, ésta es una actividad clandestina que está teniendo un fuerte impacto, ya que al debilitar a los árboles, provoca que sean más susceptibles a infecciones de parásitos como el muérdago enano (*Arcethobium* spp.), y de diferentes insectos (v. gr., *Trips* sp. y *Dendroctonus adjunctus*), así como a ser derribados por el efecto de los vientos (Blanco *et. al.*, 1981).

c). La recolección de hongos silvestres. De acuerdo con el trabajo de Gispert *et. al.* (1984), los lugareños tienen un buen conocimiento de las especies comestibles, que son utilizadas tanto para consumo, como para la venta. La colecta se lleva a cabo tanto en los alrededores de la Sierra del Chichinautzin como de la Sierra Nevada. Los hongos son recolectados en ocasiones para la venta en las ciudades, actividad que se realiza por intermediarios quienes los llevan a los mercados.

d). Otra actividad de explotación forestal que fue importante en la zona, principalmente en la Sierra del Chichinautzin, es el corte de zacatón (pasto amacollado), el cual se utiliza para la fabricación de escobetas, escobas, tejados y forraje.

e). La caza es una actividad que no está permitida en la zona y que se realiza principalmente por los pobladores del área con el fin de obtener alimento, aunque no es raro encontrar a personas que se dedican a la caza comercial y deportiva.

f). Una última actividad que debe considerarse es la recreación, ya que la zona es utilizada como área de esparcimiento para los pobladores de la Ciudad de México. Esta actividad se lleva a cabo principalmente durante los fines de semana y en lugares cercanos a las carreteras.

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

## 10 ACTIVIDADES DIVERSAS

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

No se cuenta con documentación formal sobre los volúmenes de extracción de suelo. Velázquez *et. al* (1996) hizo recorridos en campo y realizó las siguientes observaciones, las que permitieron cuantificar lo siguiente: en una sola mañana (8:00 AM a 13:00 PM horas) se extrajeron veinte camiones de 12 m<sup>3</sup> cada uno, de una zona muy pequeña (casi media hectárea), lo cual sugiere que la velocidad de extracción en un día normal llega a ser de un volumen de cerca de 240 m<sup>3</sup>, lo que da una idea del impacto y de la intensidad de la misma. Esta actividad junto con la agricultura, son las que provocan una mayor modificación a las zonas de vegetación natural. El suelo extraído se vende a productores de flores y dueños de viveros, principalmente de Xochimilco, D.F.

## 11 SITUACIÓN DEL VOLCÁN PELADO

Aún cuando al Volcán Pelado se le tiene catalogado dentro de las áreas protegidas como reserva forestal, se realiza la explotación forestal obteniéndose gran volumen de madera que se destina a ser utilizada como leña o como materia prima para la construcción por las comunidades locales. Teóricamente esta explotación forestal se llevaba a cabo únicamente sobre los árboles que presentan algún tipo de plaga procurándose así eliminar los arboles plagados y evitar la contaminación a arboles sanos, aun que en realidad, algunas veces se derriban árboles sanos cercanos a los plagados.

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

La Sierra Volcánica Transversal presenta en algunas de sus elevaciones, como es el caso del Volcán Pelado, una característica única en cuanto a la fauna silvestre que contiene, ya que entre las cotas de los 2800 y 3400 msnm existen las condiciones necesarias de humedad y temperatura que permiten la existencia del teporingo o zacatuche *Romerolagus diazi*, el cual se presenta como una especie endémica en la Sierra Volcánica Transversal. Aunque el teporingo no cubre actualmente todas las áreas que le son favorables, ya que la presión humana lo ha eliminado de gran parte de ellas, sí se encuentra en el Volcán Pelado, en donde ha logrado subsistir. Dentro de los bosques del Volcán Pelado, y sobre afloramientos rocosos comunes en el paisaje, se localizan comunidades de *Furcraea bedinghausii*, la cual se presenta como una especie endémica en la Sierra Volcánica Transversal.

Estas dos especies, parte de las comunidades biológicas de la fauna y flora del Volcán Pelado, nos da una idea de la gran importancia que tiene el preservar este tipo de áreas. Aunado a lo anterior es de hacer notar el que, si bien los bosques a pesar de la explotación a que son sometidos se han conservado, la fauna ha sido disminuida en gran cantidad aunque aún conserva especies propias del bosque de coníferas que si no son de inmediato protegidas, las más susceptibles disminuirán por efecto del impacto sobre sus hábitats, para finalmente desaparecer, haciendo su aparición las oportunistas y permaneciendo solo las más resistentes al impacto de la actividad humana.

## **12 OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Elaborar una propuesta de zonificación para la restauración de acuerdo a la evaluación de aptitud, mediante el modelo de Tricart (1977) y el procesamiento de una imagen de satélite LANDSAT TM.

### **Objetivo particular:**

Identificación de unidades paisajísticas a nivel espacial utilizando sistemas de información geográfica.

### **Metas del presente trabajo:**

La meta de este trabajo es exclusivamente indicar la aptitud que presentan las diferentes unidades para ser restauradas, usando los procesos de la percepción remota, y la obtención de un mapa del potencial del área de estudio para su restauración.

### 13 MATERIAL Y METODO

Este trabajo es desarrollado a partir del concepto de Ecodinámica de Tricart (1977), basado en la relación morfogénesis/pedogénesis de potencialidad, para realizar estudios integrados en imágenes de satélite LANDSAT TM, una vez que permita una visión sinóptica y holística del paisaje, con fines de restauración (Palma, 1997).

De esta forma y de acuerdo con esta metodología, el primer paso fue la elaboración de un mapa con unidades homogéneas del paisaje, obtenido a través del análisis de los datos de una fotointerpretación (de 13 fotografías aéreas de enero de 1986 escala 1:20,000) realizada por Velázquez (1988) e interpretación de una imagen LANDSAT TM de octubre de 1991, con la composición en color de la banda azul de una bande de componentes principales, en la banda verde por el índice de vegetación y en la banda roja por el infrarrojo cercano, considerando los patrones para identificar las variaciones de los niveles digitales de cada banda, matices de color, formas del relieve y desagües. El procedimiento completo de esta metodología se desarrolla de acuerdo a Kalensky (1986) en el punto 16.

El segundo paso fue asociar la información temática preexistente (mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal y datos climatológicos) (INEGI, 1978) con los mapas preliminares de unidades homogéneas obtenidos de las imágenes. Esta asociación permitió caracterizar temáticamente las unidades de paisaje.

Posteriormente, se hace una clasificación del grado de estabilidad o aptitud para restaurar una unidad de paisaje, y en segundo lugar las relaciones entre los procesos de morfogénesis y pedogénesis. La aptitud para restaurar se expresa por la atribución de valores de estabilidad (de uno a tres; de mayor a menor estabilidad) para cada unidad de paisaje. Con este enfoque metodológico es posible elaborar cartas de aptitud para las diferentes unidades de paisaje.

#### 13.1 LA FOTOINTERPRETACIÓN Y LA IMAGEN DE SATÉLITE COMO BASE PARA LA EVALUACIÓN DE APTITUD.

Para este trabajo de integración de datos de una fotointerpretación sobre la interpretación de una imagen de satélite LANDSAT TM, las unidades ambientales se pueden dividir en dos categorías una vez que han sido procesadas: unidades de paisaje y los polígonos de acción antrópica.

Las unidades ambientales fueron definidas sobre la fotointerpretación (Velázquez 1988) a partir de la interpretación de sus elementos básicos: estructuras, formas, texturas y tonos de gris.

Los polígonos de acción antrópica corresponden a las fracciones de intervención humana en las unidades de paisaje, manifestada en forma de alteraciones en las tonalidades de gris dentro de los patrones característicos que presenta el resto de la imagen al igual que en su estructura, forma y textura.

La utilización de los datos de las unidades ambientales obtenidos por la fotointerpretación al ser proyectados sobre una imagen de satélite permite el acceso a informaciones en diferentes resoluciones (espacial, temporal y radiométrica) que la imagen puede ofrecer, al contrario de simples cruzamientos de informaciones, generados a partir de datos de diferentes escalas, épocas y metodologías de trabajo, que no siempre presentan un resultado consistente para un determinado momento. (Howard, 1991).

Según Becker y Egler (1996), las unidades de paisaje son las células elementales de información y análisis para una evaluación. Como en un ser vivo, cada célula contiene un conjunto de informaciones fundamentales para la manutención de la vida y compone un tejido que desempeña determinadas funciones en el desarrollo. Una unidad ambiental que contiene atributos ambientales, le permite diferenciarla de sus vecinas, al mismo tiempo que por vínculos dinámicos se articula a una compleja red, integrada por otras unidades ambientales.

### 13.2 LAS UNIDADES DE PAISAJE.

Las unidades de paisaje definidas a partir de la fotointerpretación una vez que son vinculadas a la imagen de satélite, son manejadas como unidades de paisaje, y son analizadas a la luz de sus características genéticas y aquellas relacionadas a su interacción con el medio ambiente, para que se pueda conocer y clasificar su capacidad de sustentación a las acciones humanas.

Para el análisis de una unidad de paisaje, es necesario conocer su génesis, constitución física, forma y estadio de evolución, también como el tipo de cobertura vegetal que sobre ella se desarrolla. Esta información es estudiada por la Geología, Geomorfología, Pedología y Fitogeografía que precisan de ser integradas para obtener un retrato fiel del comportamiento de cada unidad de paisaje para su utilización. Finalmente, es necesario el auxilio de la Climatología para que se conozcan algunas características climáticas de la región donde se localiza la unidad de paisaje, con el fin de que se aventaje en su comportamiento frente a las alteraciones impuestas por su ocupación.

El análisis morfodinámico de las unidades de paisaje puede ser hecho a partir de los principios de Ecodinámica de Tricart (1977), que establecen una relación entre los procesos de morfogénesis y pedogénesis. Cuando predomina la morfogénesis prevalecen los procesos erosivos modificadores de las formas del relieve y cuando predomina la pedogénesis prevalecen los procesos formadores de suelos.

La contribución de la Geología para el análisis y definición morfodinámica de las unidades de paisaje comprenden las informaciones relativas al grado de cohesión de las rocas que las componen, estudiadas por la Mineralogía y Petrología, y las informaciones relativas a la historia de la evolución de su ambiente geológico, estudiadas por la Tectónica y por la Geología Estructural. Por el grado de cohesión de las rocas entendemos la intensidad de el ligado de los minerales o partículas que las constituyen. El grado de cohesión de las rocas y la información básica de la Geología, al ser integrada por la Ecodinámica, obtenemos que en rocas con poca cohesión prevalecen los procesos modificadores del relieve, mientras que en las rocas con mas cohesión prevalecen los procesos de formación de suelos.

En la metodología propuesta, la Geomorfología ofrece para la caracterización de la estabilidad de las unidades de paisaje, la información relativa a la Morfología que influencia de manera marcante los procesos ecodinámicos. Las informaciones morfométricas utilizadas son: la amplitud del relieve, la declividad o grado de disección de la unidad de paisaje. Esta información caracteriza la forma del relieve de la unidad de paisaje y permite que se cuantifique empíricamente la energía potencial disponible para el escurrimiento, esto es la transformación de la energía potencial en energía cinética responsable del transporte de materiales que esculpen las formas del relieve. De esa manera, podemos entender que, en unidades de paisaje que presentan valores altos de amplitud de relieve, declividad y grado de disección, prevalecen los procesos morfogenéticos, mientras que en situaciones de bajos valores para las características morfométricas prevalecen los procesos pedogenéticos. (Morisawa, 1968).

La Pedología participa en la caracterización morfodinámica de las unidades de paisaje dando el indicador básico de la posición que ocupada la unidad de paisaje dentro de la escala gradual de la Ecodinámica: la madurez de los suelos. La madurez de los suelos, producto directo del balance morfogénesis/pedogénesis, indica claramente que prevalecen los procesos erosivos de morfogénesis que generan suelos jóvenes, poco desarrollados, o si no en el otro extremo, las condiciones de estabilidad permitirán el predominio de los procesos de pedogénesis generando suelos maduros, lixiviados y bien desarrollados.

La información que proporciona la Fitogeografía es de mayor importancia, por que la cobertura vegetal representa la defensa de la unidad de paisaje contra los efectos de los procesos modificadores de las formas de relieve (erosión). La función de la cobertura vegetal da protección a la unidad de paisaje que se da de diversas maneras:



- a) evita el impacto directo de las gotas de lluvia contra el terreno que promueven el desagregado de las partículas.
- b) impide la compactación del suelo que disminuye la capacidad de absorción del agua.
- c) aumenta la capacidad de infiltración del suelo para la difusión del flujo del agua de lluvia.
- d) soporta la vida silvestre que por la presencia de estructuras biológicas como raíces de plantas, perforación de vermes y agujeros de animales, aumenta la porosidad y la permeabilidad del suelo.

Le compete a la cobertura vegetal un papel importante en el trabajo de retardar el ingreso de las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales en las corrientes de desagüe, por el aumento de la capacidad de infiltración, pues el ingreso inmediato provoca el incremento inmediato del escurrimiento (masas de agua en movimiento), con el consecuente aumento de la capacidad de erosión y transporte, por la transformación de energía potencial en energía cinética. (De Ploey 1981).

La participación de la cobertura vegetal en la caracterización morfodinámica de las unidades de paisaje, esta directamente ligada a su capacidad de protección. Así mismo los procesos morfogenéticos se relacionan con la densidad de cobertura vegetal más baja, en tanto que los procesos pedogenéticos existen en situaciones donde la cobertura vegetal más densa permite el desarrollo de la maduración del suelo.

Las informaciones climatológicas necesarias para las unidades de paisaje representan el contrapunto del papel de la defensa de la unidad de paisaje desempeñado por la cobertura vegetal. Estas informaciones, relativas a la precipitación anual y la duración del periodo de lluvias, permite la cuantificación empírica del grado de riesgo a que esta sometida una unidad de paisaje, por situaciones de precipitación concentrada, esto es, la alta precipitación anual y corta duración del periodo de lluvias, pueden ser traducidas como situaciones donde la cantidad de agua disponible para el escurrimiento es muy grande, y por lo tanto es mayor la capacidad de erosión y transporte. Estas situaciones reúnen las mayores condiciones para el desarrollo de los procesos morfogenéticos, cuyo valor principal para nuestras condiciones climáticas y el escurrimiento. De forma inversa, a baja precipitación anual distribuida en un mayor periodo de tiempo lleva a situaciones de menor riesgo para la integridad de la unidad de paisaje, pues es mayor la posibilidad de haber infiltración. En estas regiones que presentan menores cantidades de precipitación anuales y mayor duración para el periodo de lluvias, deben favorecer los procesos pedogenéticos, donde la infiltración constante promueve la lixiviación responsable del empobrecimiento y desarrollo de los suelos.

### 13.3 POLÍGONOS DE ACCIÓN ANTRÓPICA.

Como representante del área física donde se da la actividad humana que modifica las condiciones ambientales, los polígonos de acción antrópica pueden localizarse sobre una, o varias unidades de paisaje, dependiendo exclusivamente de sus dimensiones.

Esta simple constatación con respecto a los polígonos de acción antrópica demuestra la necesidad de conocer previamente las unidades de paisaje. La actuación del hombre sobre el medio ambiente sin el previo conocimiento del equilibrio dinámico existente entre los diversos componentes que permitan la "construcción" de las diferentes unidades de paisaje pueden llevar a situaciones desastrosas, desde el punto de vista ecológico y económico. Por lo tanto, antes de cualquier ocupación, deben ser conocidos los componentes fisico-bióticos (Geología, Geomorfología, Pedología, Fitogeografía y Clima) que integrados, llevarán al establecimiento de las unidades de paisaje.

Los conocimientos de los mecanismos que actúan en las unidades de paisaje permiten orientar las actividades que pueden ser desarrolladas dentro del polígono de acción antrópica, para evitar acciones irreversibles y obtener mayor productividad, con el fin de dirigir acciones correctivas dentro de aquellos polígonos donde el uso inadecuado provoca consecuencias desastrosas.

### 13.4 ELABORACIÓN DE LA CARTA PRELIMINAR.

La interpretación de los datos obtenidos por Velázquez (1988) a través de la fointerpretación de 13 fotografías aéreas pancromáticas de enero de 1986, fue estudiada y analizada para su uso desde un punto de vista morfodinámico, e integrada esta información a una imagen de satélite de octubre de 1991, proceso por el cual se obtiene una carta preliminar de unidades de paisaje que proporciona información tanto temporal como espacial.

Esta carta preliminar se traduce como la identificación de 35 unidades de paisaje diferentes que abarcan el total de la superficie del Volcán Pelado. Estas 35 unidades de paisaje fueron definidas por los rasgos físico-bióticos antes mencionados que conforman un total de ocho atributos que nos describen cada unidad de paisaje.

### 13.5 ASOCIACIÓN DEL MAPA PRELIMINAR DE LAS UNIDADES DE PAISAJE CON DATOS PREEXISTENTES.

El mapa preliminar de las unidades de paisaje fue asociado con los datos auxiliares temáticos preexistentes (tales como: mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, y de cobertura vegetal). Esta asociación permitió caracterizar temáticamente cada unidad de paisaje. A partir de su identificación, cada unidad de paisaje puede ser aislada, con la integración de los datos disponibles en el acervo bibliográfico y las informaciones contenidas en las imágenes que se vayan generando.

La integración de los datos disponibles es hecha según un modelo que establece 35 clases de aptitud para restaurar, distribuidas entre las situaciones de predominio de los procesos de pedogénesis (a las cuales se les atribuyen valores próximos a 1.0), pasando por situaciones intermedias (a las que se le atribuyen valores alrededor de 2.0) y situaciones de predominio de los procesos de morfogénesis (a las que se le atribuyen valores próximos de 3.0). Este modelo fue idealizado a partir de los conceptos de Ecodinámica de (Tricart, 1977), como se muestra en la tabla 1.

Unidad	Relación pedogénesis/morfogénesis	Valor
Estable	Prevalece la pedogénesis	1.0
Intermedio	Equilibrio entre Pedogénesis y morfogénesis	2.0
Inestable	Prevalece la morfogénesis	3.0

Tabla 1. Modificada de Tricart, 1977.

El modelo es aplicado a cada tema individualmente (Geología, Pedología, Geomorfología y Vegetación) dentro de cada una de las unidades ambientales, respetando un abordaje holístico y posteriormente reciben un valor final, resultante de la sumatoria de los valores individuales (Tabla), que representan la posición de esta unidad ambiental dentro de la escala de aptitud para restaurar. La media aritmética entre los valores individuales de los temas (Geología, Pedología, Geomorfología y Vegetación), para cada una de las unidades ambientales permite la presentación de una escala de estabilidad/aptitud para restaurar con 35 clases, las unidades más estables presentaran valores próximos al 1.0, las intermedias al rededor de 2.0, y las unidades ambientales más vulnerables estarán próximas al 3.0.

### 13.6 CRITERIOS PARA ATRIBUIR VALORES DE APTITUD CON FINES DE RESTAURACIÓN (GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, PEDOLOGÍA Y VEGETACIÓN) DENTRO DE CADA UNIDAD DE PAISAJE.

El análisis y la interpretación de los datos de cada una de las unidades de paisaje son realizadas simultáneamente a través de las imágenes de satélite y la información obtenida por la Geología, Geomorfología, Pedología y Vegetación conforme a los siguientes criterios:

### 13.6.1 GEOLOGÍA.

Los elementos considerados para la atribución de valores para las 35 unidades de paisaje del tema Geología, es tomado a partir de las informaciones bibliográficas, y son básicamente relacionadas a la historia de la evolución del medio ambiente geológico donde se encuentra la unidad de paisaje, y que permite entender el origen y la tendencia futura, y los elementos relativos al grado de cohesión de las rocas que soportan la unidad de paisaje, atribuyéndose valores próximos a que esta sometida la unidad de paisaje, valores intermedios (alrededor de 2.0) para las rocas que presentan valores intermedios en su grado de cohesión, y valores próximos a la aptitud para restaurar (3.0) para las rocas que presentan los menores valores en su grado de cohesión.

### 13.6.2 GEOMORFOLOGÍA

Para establecer los valores de estabilidad de las 35 unidades de paisaje con relación a la Geomorfología son consideradas las formas de relieve, básicamente la forma de los picos, como muestra la tabla 2 (plano, redondeado y angular).

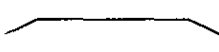

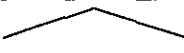
Plano	
Redondeado	
Angular	

Tabla 2. Formas del relieve

Con base en las formas de relieve, se propone que los relieves planos a suaves redondeados como las superficies pediplanas, los interfluvios tabulares y las colinas de crestas aplanadas, reciban valores de 1.0; mientras que para los relieves redondeados, disectados en colinas, se sugieren valores de estabilidad que varían de 2.0. Para los relieves fuertemente redondeados y angulados, disectados en crestas, barrancos y cañadas se proponen valores de estabilidad de 3.0.

Las formas de acumulación, como las planicies y terrazas, sujetas a inundación, son áreas de gran dinámica en las cuales los procesos de morfogénesis (procesos de formación del relieve) predominan sobre la pedogénesis (procesos de formación del suelo). Estas áreas por lo tanto, a pesar del relieve plano, son muy inestables y se les cataloga con un valor de estabilidad de 3.0. Al contrario, las áreas de terrazas fluviales, que no son afectadas por las inundaciones y por la caracterización del relieve plano, son consideradas estables y por lo tanto reciben un valor de estabilidad de 1.0.

### 13.6.3 PEDOLOGÍA.

La característica utilizada para establecer los valores de aptitud y el grado de desarrollo del suelo, a partir de datos bibliográficos asociados a la interpretación de la imagen de satélite son valores atribuidos al suelo o a la asociación de suelos. Una unidad de paisaje es estable, cuando favorece los procesos de pedogénesis, esto es, el ambiente favorece la formación y el desarrollo del suelo. En estos ambientes encontramos suelos bastante desarrollados, intemperizados y envejecidos. Es bueno recordar que el tiempo de formación de un suelo desarrollado, a pesar de ser variable, nunca es una reacción instantánea, requiriendo cientos de miles de años para ser completada. Una unidad de paisaje es inestable, cuando prevalece la formación de relieve (morfogénesis), existe un predominio de los procesos de erosión del suelo en detrimento al proceso de formación y desarrollo del suelo.

#### **Unidades de paisaje donde existen suelos estables.**

Una unidad de paisaje donde existen suelos estables se le da el valor de 1 y es representada por la clase de suelos del tipo Andosol. Los andosólicos son suelos bien desarrollados, con gran profundidad y porosidad, por lo que son considerados los suelos cuyos materiales son los más descompuestos. Son considerados suelos viejos o maduros. Debido al intenso proceso de intemperismo y *lixiviación que se desarrolla en el suelo*, hay una ausencia total de minerales fácilmente intemperizables y/o minerales de arcilla, por otro lado existe una concentración residual de óxidos (óxido de aluminio y de hierro), además de arcilla. Son suelos que poseen buenas propiedades físicas: permeabilidad al agua y al aire, mismo con alto porcentaje de arcilla; son porosos, frágiles, de baja plasticidad. La principal limitación en el uso agrícola es la baja fertilización ambiental; mismo los eutróficos contienen baja cantidad de bases y no poseen reserva de nutrientes. Aún se presentan los horizontes A, B y C bien desarrollados. Son en general suelos poco susceptibles a los procesos erosivos. Existen generalmente en topografía suaves.

#### **Unidad de paisaje donde existen suelos intermediarios.**

Una unidad de paisaje donde existen suelos intermediarios el valor es 2 y es representada por la clase de suelos de tipo Litosol. Los suelos litosólicos cuando los comparamos con los andosoles presentan profundidades menores, son suelos menos estables y menos intemperizados que los andosoles. Existen generalmente, cuando comparamos a los andosoles en topografías un poco más removidas. En los suelos litosólicos existe también un horizonte B donde existe una acumulación de arcilla; esto es durante el proceso de formación de una buena parte de la arcilla que se transloca del horizonte A, llevada por el agua que por gravedad se infiltra hasta el horizonte B, donde se acumula. En estos suelos la diferencia de textura entre los horizontes A y B (ocasionada por la acumulación de arcilla en el horizonte B) dificulta la infiltración del agua en el perfil de estos suelos lo que favorece el proceso de erosión.

#### **Unidad de paisaje donde existen suelos vulnerables.**

Una unidad de paisaje donde existen suelos vulnerables el valor es 3 y es representada por los suelos jóvenes y poco desarrollados de tipo Regosol, esto es, su característica es la poca evolución de los perfiles del suelo. En estos suelos el horizonte A está asentado directamente sobre el horizonte C y/o asentado directamente sobre la piedra madre (no poseen el horizonte B). Son considerados como suelos jóvenes toda vía en fase inicial de formación por que están toda vía en desarrollo a partir de los materiales de origen recientemente depositados, por que están situados en un lugar de alta declividad, en los cuales la velocidad de la erosión es igual o mayor que la velocidad de transformación de la roca en suelo.

### **13.6.4 VEGETACIÓN.**

Para el tema de vegetación, la densidad de cobertura vegetal es el parámetro a obtener, la documentación existente y la que resulte de interpretar las imágenes, será empleada para la determinación de las 35 clases de aptitud para restaurar. La densidad de cobertura vegetal de la unidad de paisaje, factor de protección de la unidad, determina si el valor se aproxima a la estabilidad (1.0), si presenta valores intermedios (alrededor de 2.0), o si se presenta baja densidad de cobertura vegetal (3.0).

#### **Cobertura vegetal que favorece la estabilidad de la unidad de paisaje.**

Para el tema de vegetación, las unidades de paisaje a las que se le atribuyen valores próximos a 1.0 pueden ser caracterizadas por la formación densa o cerrada, independientemente de la posición topográfica (aluvial, terrazas bajas, submontaña, montaña y alta montaña) y de fisonomía específica (dosel uniforme o emergente). También estas unidades ambientales puede ser caracterizadas por la formación abierta, independiente de la posición topográfica (aluvial, terrazas

bajas, submontaña, montaña y alta montaña) y de la *fisonomía específica* (dosel uniforme y emergente).

#### **Cobertura vegetal que favorece valores intermedios de la unidad de paisaje.**

Para el tema de vegetación, las unidades de paisaje a las que se le atribuyen valores próximos a 2.0 pueden ser caracterizados por las formaciones dispersas o dispuestas en parches, independientemente del relieve (laderas y/o planicies) y de la *fisonomía específica* (dosel uniforme o emergente). Estas unidades de paisaje, también puede ser caracterizada por las formaciones semidecídua y decidua, independiente de la posición topográfica (aluvial, terrazas bajas, submontaña, montaña y alta montaña) y de la *fisonomía específica* (dosel uniforme y emergente).

#### **Cobertura vegetal que favorece valores de inestabilidad.**

Para el tema de vegetación, las unidades de paisaje a las que se le atribuyen valores próximos a 3.0 presenta baja densidad de cobertura vegetal independientemente del relieve y de la *fisonomía específica*.

### **13.6.5 CLIMA.**

Una relación entre los valores extremos de precipitación y de la duración del periodo de lluvias, de la región donde se localizan las unidades de paisaje, determina los intervalos de valores que, por interpolación, se generaran los valores de aptitud para restaurar de esta región. Así mismo las unidades de paisaje localizadas en regiones con menores índices de precipitación anuales y mayor duración para el periodo de lluvias se le atribuyen valores próximos a la estabilidad (1.0), a los valores intermedios se les asocian los valores de aptitud para restaurar/estabilidad alrededor de 2.0, y a las unidades de paisaje localizadas en regiones con los mayores índices de precipitación anual y menor duración del periodo de lluvias se le atribuyen valores próximos de aptitud para restaurar (3.0).

De acuerdo con (Ross, 1991) las informaciones climáticas, sobre todo la precipitación y la temperatura, dependiendo de la extensión del área de estudio y de las características del relieve, pueden ser las mismas a lo largo de toda la extensión. Entre tanto, tratándose de áreas con gran variación altimétrica, la distribución de las lluvias y temperatura pueden ser distinta. De cualquier modo, se debe también atribuir valores de acuerdo con la intensidad de mayor a menor precipitación.

#### 14 TABLA DE VALORES DE APTITUD.

Esta tabla, se traduce como la interpretación de cada una de las características que representan a las 35 unidades de paisaje, en un valor basado en los criterios antes descritos y que en conjunto, son la representación e identificación de cada una de las 35 unidades diferentes entre si y que nos substituye la interpretación booleana de datos y variables repartidos en la literatura, mapas temáticos etc.

Estas 35 unidades de paisaje fueron definidas por sus características propias y se expresan de la siguiente manera. Tabla 3.

	EstVeg	Arb/ha	EscaPe	Desa	Litolo	Suelo	UsoSue	Humano
Uni1	2	2	1	1	2	1	3	1
Uni2	3	3	1	1	2	1	3	1
Uni3	2	3	1	1	2	2	3	3
Uni4	3	3	1	1	2	3	3	2
Uni5	1	2	1	1	2	1	3	2
Uni6	2	2	1	1	2	1	3	3
Uni7	1	2	1.5	3	2	1	2	2
Uni8	3	3	1	2	2	2	3	2
Uni9	1	2	1	1	2	1	3	1
Uni10	2	1	1	1	2	1	2	1
Uni11	3	3	1	2	2	3	3	3
Uni12	2	3	1.5	2	2	1	3	3
Uni13	1	2	1	1	2	1	3	2
Uni14	1	2	1.5	1	2	2	2	2
Uni15	2	3	1.5	2	2	3	3	2
Uni16	2	1	1	3	2	1	3	3
Uni17	2	3	1	1	1	2	3	3
Uni18	1	1	2.5	3	2	1	2	2
Uni19	2	1	1.5	2	2	2	2	3
Uni20	2	1	2	1	2	1	2	2
Uni21	1	2	1.5	1	2	1	3	2
Uni22	1	1	1.5	1	2	2	1	2
Uni23	1	2	2	1	2	1	3	2
Uni24	1	2	1	2	3	3	3	3
Uni25	3	3	3	2	1	1	1	1
Uni26	3	2	1.5	1	2	1	2	2
Uni27	1	2	1.5	1	2	2	3	2
Uni28	1	2	3	2	1	1	1	2
Uni29	2	2	3	2	1	2	1	1
Uni30	1	3	1.5	1	3	2	3	2
Uni31	2	3	2	1	2	2	1	2
Uni32	1	1	3	1	3	3	1	1
Uni33	2	1	3	1	3	3	1	1
Uni34	3	3	3	1	3	3	1	3
Uni35	3	3	1	2	3	3	1	1

Tabla 3. Tabla de valores de aptitud, donde tenemos las sig. características: EstVeg, estructura vegetal; Arb/ha, arboles por hectarea ó cobertura vegetal; EscaPe, escarpado de la pendiente; Desa, tipo de desagüe; Litolo, litología; Suelo, tipo de suelo; UsoSue, uso del suelo; Humano, Intervención antrópica.

El resultado final expresado en la tabla anterior obedece a una secuencia de pasos que comienza con la definición de las unidades de paisaje por fotointerpretación, ya que dichas unidades no se encuentran delimitadas naturalmente en el campo y por consiguiente resulta un método totalmente subjetivo.

Del mismo modo la asignación de un valor a una característica dada, aún cuando se proceda con una metodología uniforme para todos los datos existentes, resulta altamente subjetiva. Este método es referido en la literatura (Van Westen *et al*, 1993) como valor ciego, y como no se dispone de datos cuantitativos para decir si la relación entre un factor y otro que determinan una misma característica puede ser 1 ó 10 ó 100, siempre se trata de realizar esta tarea con los dígitos mas sencillos posibles, lo cual está directamente relacionado con el número de parámetros con los que se quiera trabajar (Varnes, 1984), por lo cual tiene la consecuencia de que cada persona asigne diferentes valores.

En este trabajo se utilizaron tres parámetros que fueron presentados con anterioridad, en donde definimos que es estable, intermedio e inestable y su asociación con los valores 1.0, 2.0 y 3.0. En ocasiones la misma característica puede tener un valor diferente dependiendo del número de factores que intervengan para conformarla. Una vez realizada la tarea de asignación de valores a cada característica se realiza una reclasificación, donde las características y valores son simplificados.

Como ejemplo de esto, en la tabla original de datos se tenía el tema de vegetación representado por la descripción de la vegetación, estructura vegetal, la orientación y cobertura vegetal que a su vez están divididas en cuatro de acuerdo a su intervalo altitudinal, una vez realizada la reclasificación por simple suma aritmética reducimos a dos características que se muestran en los resultados de la tabla anterior que son estructura vegetal y cobertura vegetal quienes nos agrupan toda la información de este tema, y por consiguiente, los valores resultantes de esta suma se simplifican reduciéndolos a su mínima expresión para continuar con los parámetros antes descritos.

## 15 PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS PRELIMINARES.

La sumatoria de los datos obtenidos por el modelo de Tricart (1977) en la tabla 3 se presentan en orden ascendente en la tabla 4 y su respectiva gráfica en la figura 2, donde podemos observar que se presenta una homogeneidad entre las unidades centrales de la gráfica y sólo en los extremos se aprecia una diferencia significativa.

Unidades	Sum/Un	Unidades	Sum/Un
Uni10	11	Uni6	15
Uni22	11.5	Uni25	15
Uni9	12	Uni31	15
Uni1	13	Uni33	15
Uni5	13	Uni19	15.5
Uni13	13	Uni18	16
Uni20	13	Uni17	16
Uni28	13	Uni30	16.5
Uni14	13.5	Uni3	17
Uni21	13.5	Uni35	17
Uni23	14	Uni12	17.5
Uni29	14	Uni4	18
Uni32	14	Uni8	18
Uni7	14.5	Uni24	18
Uni18	14.5	Uni15	18.5
Uni26	14.5	Uni11	20
Uni27	14.5	Uni34	20
Uni2	15		

Tabla 4. Resultados en orden ascendente por la sumatoria de los valores generados con el modelo de Tricart (1977) por unidad.

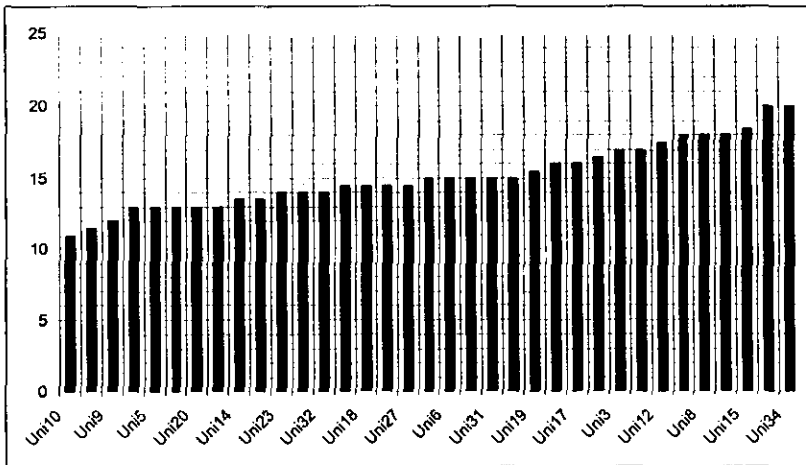


Figura 2. Gráfico de los resultados en orden ascendente por la sumatoria de los valores generados con el modelo de Tricart (1977) por unidad.



En los resultados obtenidos por el modelo de Tricart (1977) se realizó una reclasificación de estos, con la interpretación personal en la lectura de los datos de la tabla original (Velázquez, 1988) y los obtenidos por las observaciones en la salida de campo, de donde se procede a la integración de algunas unidades de paisaje por poseer particularidades semejantes.

La reclasificación es con el fin de reducir datos semejantes y evitar repeticiones en los procesos y resultados.

Como apoyo a esta reclasificación se consultó la literatura temática existente y se estudió característica por característica para cada una de las 35 unidades para tener un criterio más amplio al momento de la evaluación final por unidad.

El resultado de esta reclasificación termina con 10 unidades de paisaje nombrándolas basados en su vegetación dominante quedando de la siguiente manera. Tabla 5.

1 Pastizal	Unidades 4, 8, 11, 25, 34, 35
2 Bosque	Unidades 10, 20, 33
3 Bosque abierto	Unidades 7, 9, 13, 14, 21, 23, 24, 27, 28, 30
4 Pastizal matorral bosque abierto	Unidad 6
5 Bosque cerrado	Unidades 18, 22, 32
6 Pastizal bosque abierto	Unidades 3, 31
7 Matorral bosque abierto	Unidades 1, 12, 15, 29
8 Matorral pastizal	Unidades 5, 17, 26
9 Matorral bosque	Unidades 16, 19
10 Urbano	Unidad 2

Tabla 5. Resultado de la reclasificación de las 35 unidades de paisaje, dando como resultado diez unidades con el nombre de su vegetación dominante.

Una vez terminada la reclasificación de la tabla de valores, los resultados generaron una nueva tabla de datos, en donde conservamos las mismas ocho características, las cuales fueron sometidas nuevamente al modelo de Tricart (1977). Este proceso se realiza utilizando los mismos criterios para la atribución de valores descritos en el punto 13.6, lo cual nos proporciona una nueva tabla de valores de aptitud con nuestras 10 unidades de paisaje quedando como se muestra en la tabla 6.

	EstVeg	Arb/ha	EscaPe	Drena	Litolo	Suelo	UsoSue	Humano
1	3	3	2	2	2	3	2	2
2	2	1	2	1	2	2	2	1
3	1	2	1.5	2	2	2	2	2
4	2	2	1	1	2	1	3	3
5	1	1	2.5	2	2	2	1	2
6	2	3	1.5	1	2	1	2	3
7	2	3	1.5	2	2	2	3	2
8	2	2	1	1	2	1	3	2
9	2	1	1	2	2	1	2	3
10	3	3	1	1	2	1	3	1

Tabla 6. Tabla de valores de aptitud de las diez unidades reclasificadas, donde tenemos las sig. características: EstVeg, estructura vegetal; Arb/ha, árboles por hectárea ó cobertura vegetal; EscaPe, escarpado de la pendiente; Desa, tipo de desagüe; Litolo, litología; Suelo, tipo de suelo; UsoSue, uso del suelo; Humano, intervención antrópica.

Esta tabla es sometida a un análisis estadístico para un mejor entendimiento de sus características y obtener un mejor aprovechamiento al momento de interpretarlas.

Aún cuando la diferencia entre el valor 2.0 y el valor 3.0 por ejemplo, no es muy grande a simple vista, la cantidad de información que encierra puede ser alta y para el proceso de extracción de ella se recurre a la estadística, en donde el rango de valores que se encierran entre 2.0 y 3.0 puede ser evaluado por esta.

El análisis utilizado fue la prueba  $H$  de Kruskal-Wallis (tabla 8), a un  $\alpha = 0.05$ , la cual no demuestra diferencias estadísticamente significativas, por lo que se descarta el uso de esta herramienta para el proceso.

Level	Sample Size	Average Rank	
1	8	56.0000	
2	8	32.7500	
3	8	38.5625	
4	8	39.7500	
5	8	35.3125	
6	8	41.3125	$t$ 7.98044
7	8	49.8125	$\alpha$ 0.536119
8	8	36.2500	
9	8	36.2500	
10	8	39.0000	

Tabla 8. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis.

Todos estos datos fueron interpretados en el procesamiento de una imagen de satélite (punto 13) correspondiente a la zona de estudio, en la cual se representan las 10 unidades de paisaje antes descritas de una manera gráfica y que facilita su análisis.

## 16 PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

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

- 1 Selección y revisión de los datos de entrada (información previa);
- 2 Decidir el nivel de clasificación y tipo de clases deseadas;
- 3 Corrección radiométrica y geométrica de la imagen digital;
- 4 Realce de la imagen y/o clasificación no supervisada ("clustering");
- 5 Colecta de datos reales en campo;
- 6 Clasificación supervisada;
- 7 Reclassificación y filtrado de clases;
- 8 Análisis de precisión;
- 9 Planimetría de clases;

### 16.1 CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN

La imagen digital que se utilizó fue una **LANDSAT TM** con las coordenadas WGS 026/047 con fecha de 15 de octubre de 1991, orientada al mapa, con la proyección Universal Transversa de Mercator (U.T.M.), correspondiente a la zona 14 y el Esferoide de Clarke de 1866; con un tamaño de pixel de 25m.

#### 16.1.1 CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE UNA IMAGEN LANDSAT TM

Los sensores de **LANDSAT TM** registran en las partes visibles e infrarrojo cercano del espectro electromagnético, en el infrarrojo medio y en el infrarrojo lejano (térmica) como se muestra en la tabla 9.

Bandas	LANDSAT TM	Observaciones
TM 1	0.45-0.52	Penetra agua
TM 2	0.52-0.60	Pico de reflectancia de vegetación ca. 0.54
TM 3	0.63-0.69	Máxima absorción de clorofila ca. 0.66
		Empieza el infrarrojo cercano
TM 4	0.76-0.90	Infrarrojo cercano. Contrasta la vegetación viva y muerta; sensible a la humedad superficial del suelo
TM 5	1.55-1.75	Ventana atmosférica del infrarrojo medio. Sensible a la humedad de los cultivos y suelos y separa las diferencias de densidad
TM 6	2.08-2.23	Ventana del infrarrojo medio - útil en geología
TM 7	10.4-12.50	Ventana del infrarrojo lejano - sensible a los fenómenos térmicos

Tabla 9. Características espectrales del satélite LANDSAT TM (en micrómetros). (Howard, 1991).

Los datos burdos del **LANDSAT TM**, son grabados, transmitidos y procesados en una escala de grises en un intervalo de 255 valores de pixel en cada uno de sus canales (Howard, 1991).

### 16.2 PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

El tratamiento de la imagen se realizó con el programa de procesamiento de imágenes ENVI v. 2.7a (The Environment for Visualizing Images), bajo el lenguaje de programación IDL v. 5.0.2 en una estación de trabajo de Silicon Graphics, modelo Indigo 2, con 64 MB de memoria RAM y 8 GB, en disco duro. Trabajando bajo la versión 5.2 del sistema operativo IRIX.

Se realizó un recorte de la imagen con las siguientes coordenadas U.T.M. correspondientes a la zona 14 que corresponde a la zona de estudio y solamente de las primeras cinco bandas. Tabla 10. Figura 5.

Esquina superior izquierda X= 470,801 ó 99° 16' 37"	Esquina superior izquierda Y= 2'124,848 ó 19° 13' 03"
Esquina inferior derecha X= 484 278 ó 99° 08' 58"	Esquina inferior derecha Y= 2'111,328 ó 19° 05' 45"

Tabla 10. Coordenadas geográficas del recorte de la imagen LANDSAT TM.

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

### 16.2.1 TRANSFORMACIÓN Y REALCE DE LA IMAGEN

De este recorte de la imagen se realizó la transformación de la imagen, este proceso se realiza para crear bandas artificiales a partir de combinaciones de las originales, con el objeto de mejorar la separación de aspectos temáticos dentro de la imagen. Son transformaciones enfocadas hacia la clasificación temática, sea esta visual y/o digital (Palma, 1997).

#### Proceso realce

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

#### Análisis de componentes principales

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

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

El análisis de componentes principales permite sintetizar las bandas originales, creando nuevas bandas (componentes principales de la imagen) que recojan la mayor parte de la información (Hashimoto *et. al.*, 1993, Howard, 1991, Palma, 1997).

#### Índice de vegetación normalizado

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

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

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

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

### 16.3 CREACIÓN DE LA IMAGEN COMPUESTA DE COLOR COMO IMAGEN BASE.

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

1. En el canal rojo se utilizó la banda cruda TM5 infrarrojo medio, sensible a la humedad de los cultivos y suelos, y separa las diferencias de densidad,
2. En el canal verde se utilizó la banda del índice de vegetación, para que al momento de desplegarla, por las características de la misma, el color de la vegetación fuera en verde y
3. En el canal azul se utilizó la banda de componentes principales, para complementar las dos anteriores y poder completar el espectro visible y crear una imagen lo más conveniente para los fines de la interpretación.

### 16.4 ANÁLISIS DE LA IMAGEN BASE

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

1. Los datos seleccionados para analizar la imagen fueron con base a los datos de la clasificación de Velázquez (1988) e información real de campo. Realizar una salida de campo para obtención y verificación de los datos con la imagen.
2. Realizar una clasificación no supervisada; una clasificación supervisada con los datos de Velázquez (1988); y finalmente una reclasificación y recodificación de la imagen con el menor número de clases posibles, para que con esa imagen se delimiten las unidades de paisaje presentes en el área de estudio.
3. La imagen con la que se trabajó estaba corregida de origen; a la imagen no se le hizo ninguna corrección radiométrica ni geométrica; no obstante para tener la seguridad de que la imagen estaba bien corregida, se verificó con la carta topográfica de INEGI (1978) de Milpa Alta (E14-A49), escala 1:50,000. Figura 5.
4. El realce de la imagen ya fue descrita en el punto 16.2.1 y se hizo una clasificación no supervisada con doce clases utilizando el algoritmo de agrupación del vecino más cercano (clustering) por el método de ISODATA (The Iterative Self Organizing Data Technique) según Richards, (1986).
5. Se realizó una salida al campo para verificación de datos en abril de 1998. En esta salida se realizó la verificación de los puntos de confusión, que principalmente fue con los cultivos, pastizales y algo de bosque mixto, con el problema del tiempo transcurrido entre la toma de las fotografías aéreas (enero, 1986), la imagen del satélite (octubre, 1991), y la salida al campo (abril, 1998).
6. El patrón básico para reconocer un problema aplicado al análisis digital es primeramente definir las clases espectrales de interés dentro de un área cubierta por la escena de la imagen satelitaria (tipos de bosques, cultivos, erosión, urbanización, etc.), y así construir una regla de decisión la cual hace que cada "pixel" de la escena sea puesto en una clase previamente identificada, y decir que tipo de característica u objeto terrestre representa este "pixel", a esto se le llama clasificación supervisada (ver punto 17.1). Escoger un grupo vectorial lo más idóneo para describir los objetos de interés, lo que viene siendo el mayor problema del analista, y el proceso es conocido como selección de características. (Howard, 1991). En base a esto se seleccionaron las áreas de interés para efectuar la clasificación supervisada, con base a los datos de Velázquez (1988) y datos de campo. Los puntos para la selección de estas áreas se registraron con el uso de GPS al centro de las parcelas, para su posterior ubicación en la imagen. Tabla 11.

7. A continuación se realizó una reclasificación y filtrado de la imagen para obtener el número de clases agrupando las características que resultaron similares o iguales, quedando seis clases que nos resumen toda la información sin perder sus características. Figura 7; Tabla 14.

8. Posteriormente se hizo una evaluación de la precisión de la clasificación utilizando una desviación estándar (ENVI, 1997), ver tabla 12; comparando los datos de Velázquez (1988), los recorridos de la salida de campo de abril de 1998 y la imagen de satélite LANDSAT TM. La representación gráfica de la clasificación se ejemplifica con dos unidades o clases que muestran gran diferencia en sus espectros, figuras 3 y 4 del punto 17.1.

9. El análisis digital se usa para proveer una clasificación de la imagen informativa, para mejorar la precisión geográfica, para resaltar la imagen para uso en el campo, para actualizar mapas y proveer información en capas, como entradas para los sistemas de información geográfica (Howard, 1991). Posteriormente se realiza un remuestreo de la imagen pasando la resolución del "pixel" de 25m a 90m para poder utilizar la imagen en el programa de ILWIS v 2.1 en una computadora PC Pentium. Este remuestreo se realiza por la limitante de la capacidad de la computadora y así poder utilizar esta imagen como base para hacer un análisis visual interactivo de las áreas que delimitan las unidades de paisaje que se consideran para el presente trabajo.

En esta parte del trabajo se realizó una vectorización de las zonas de interés, una poligonización y evaluación de dichas áreas. Esta información se restituyó al mapa base en forma de capas, se analizó y se elaboraron los mapas correspondientes a cada categoría asignada a los polígonos y finalmente se evaluó toda la información vertida e integrada sobre el mapa base, para obtener el mapa temático final de unidades de paisaje. Mapa 1; Tabla 15.

Bajo el mismo procedimiento y con el mapa temático final de unidades de paisaje se genera el mapa de aptitud de restauración que nos proporciona el sistema de información geográfica del ILWIS v 2.1. Mapa 2; Tabla 16.

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

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

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

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

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

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

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

## 17 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE LA IMAGEN EN ENVI

Cuando existen regiones de la imagen en que el usuario dispone de información que permita la identificación de una clase de interés, el entrenamiento (reconocimiento de respuesta espectral de las clases) se dice que es supervisado. Para un entrenamiento supervisado el usuario debe identificar en una imagen un área representativa de cada clase. Es importante que el área de entrenamiento sea una muestra homogénea de la clase representativa, y al mismo tiempo debe incluirse toda la variedad de los niveles digitales. Se recomienda que el usuario adquiera más de una área de entrenamiento, utilizando el mayor número de información posible, como trabajo de campo, mapas, etc. Para la obtención de clases estadísticamente confiables son necesarios de 10 a 100 "pixels" de entrenamiento por clase. El número de "pixels" de entrenamiento necesario para la precisión del reconocimiento de una clase aumenta al aumentar la variabilidad entre las clases.

La información espectral de una escena puede ser representada por una imagen espectral, ya que cada "pixel" tiene coordenadas espaciales X y Y, y una espectral L, que representa la radiancia del objeto de estudio en todas las bandas espectrales, o sea que para una imagen de K bandas, existen K niveles de gris asociados a cada "pixel", siendo uno para cada banda espectral. El conjunto de características espectrales de un "pixel" es denotado por el término de atributos espectrales.

Los datos seleccionados para analizar la imagen se forman con base a los datos de la reclasificación (punto 15) de los datos de Velázquez (1988) y datos de campo. Se realizó una salida de campo el 11 de abril de 1998 para obtener la verificación de los datos con la imagen. A esta reclasificación se le agregó la unidad o clase de cultivo por no estar presente como tal en la clasificación de Velázquez (1988, sin publicar) y fueron datos que se recopilaron en la salida de campo y de manera temática.

### 17.1 PASOS PARA LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA:

a). Se realizó con el software ENVI, fue utilizado con el clasificador de máxima verosimilitud, este clasificador utiliza una regla de clasificación simple para organizar datos. Los límites de decisión generan la estadística para cada clase en cada banda revisando la distribución normal y calculando la probabilidad de darle a cada "pixel" la clase que le pertenece. Cada "pixel" es asignado a la clase que presenta la mayor probabilidad. (ENVI, 1997). Figura 6; Tabla 13.

Si el valor del "pixel" cae encima del límite inferior y debajo del límite superior para todas las bandas siendo clasificadas, el "pixel" es asignado a esa clase. Si el valor del "pixel" cae en varias clases entonces ENVI asigna el "pixel" a la última clase comparada (ENVI, 1997).

b). La generación de regiones de interés (ROI's) para la clasificación (clases), con base en el trabajo de campo, se realizó con la verificación de los puntos de confusión de la imagen original, principalmente: cultivos, pastisales y algunos sitios cerrados, reconocimiento del área de los puntos de control de clases obtenidas con GPS. Tabla 11.

MODEL: GARMIN MOD 40; SOFTWARE: PCX5 2.08; DATUM: WGS 026/047; COORDINATE SYSTEM: LAT/LON

II	IDNT	LATITUDE	LONGITUDE	DATE	TIME
W	017	N1908.08890	W9910.22582	11-APR-98	10:33
W	018	N1908.44004	W9910.51425	11-APR-98	10:53
W	019	N1908.19031	W9912.06880	11-APR-98	11:04
W	020	N1907.14571	W9912.46854	11-APR-98	11:18
W	021	N1908.06500	W9913.26962	11-APR-98	11:27
W	022	N1907.45984	W9913.42344	11-APR-98	11:35
W	023	N1907.52405	W9915.50975	11-APR-98	12:29
W	024	N1908.59825	W9914.58705	11-APR-98	13:04
W	025	N1909.48984	W9913.28642	11-APR-98	14:24
W	026	N1910.09430	W9914.13351	11-APR-98	14:52
W	027	N1910.39443	W9914.14171	11-APR-98	15:14
W	028	N1910.43204	W991257135	11-APR-98	15:40

Tabla 11. Coordenadas de los puntos de verificación en la salida al campo.



c). Cada clase fue revisada y se trató de obtener la muestra más homogénea, con base en los niveles digitales de las bandas con el tratamiento de componentes principales e índice de vegetación normalizado, ya que lo que se pretende separar son las clases de vegetación natural con respecto a las regiones antropizadas y así obtener la cobertura de las áreas que pueden ser restauradas. Tabla 12.

Band	Mín	Max	Mean	Stdev
(40 points)	Bosque			
1	49	55	53,4250	14,480
2	21	25	23,6750	0,6938
3	19	25	23,3250	11,183
(80 points)	Bosque Abierto			
1	46	49	48,0375	0,7538
2	18	21	19,2000	0,5603
3	16	19	17,2000	0,8773
(24 points)	Bosque Cerrado			
1	49	53	51,1250	11,539
2	21	24	22,9167	0,5836
3	19	21	20,3333	0,7020
(30 points)	Cultivo			
1	50	53	51,0000	0,8710
2	20	23	21,4667	0,7761
3	17	21	18,9333	0,9072
(54 points)	Matorral Bosque			
1	45	51	47,9074	0,9570
2	18	20	19,4074	0,5993
3	16	19	17,0741	0,6688
(40 points)	Matorral Bosque Abierto			
1	49	53	51,4250	0,9578
2	20	23	21,9750	0,6597
3	18	21	19,6500	0,7355
(39 points)	Matorral Pastizal			
1	47	50	48,4359	0,6804
2	18	20	19,4872	0,5559
3	16	19	17,3846	0,6734
(83 points)	Pastizal			
1	54	64	56,4096	18,148
2	24	32	25,9518	13,960
3	23	35	26,2169	21,416
(58 points)	Pastizal Bosque Abierto			
1	48	52	50,2241	0,7957
2	20	22	20,8621	0,6338
3	16	20	18,8448	0,7446
(31 points)	Pastizal Matorral Bosque Abierto			
1	52	56	54,2903	10,706
2	24	27	25,6129	0,9193
3	23	28	25,4194	12,322
(105 points)	Urbano			
1	55	123	64,4857	83,920
2	25	54	29,6000	40,062
3	23	64	32,3143	56,896

Tabla 12. Análisis de precisión de las once unidades de paisaje o clases donde se muestran las bandas roja (1), verde (2), azul (3); el espectro mínimo y máximo (Min y Max) que se presenta por cada banda; la media (Mean) del espectro promedio por banda y el espectro de desviación estándar (Stdev) por banda.

El número de puntos indica el número de píxeles que se tomó para cada clasificación.

Las figuras siguientes son un ejemplo de los gráficos generados a partir de las estadísticas de las muestras para la clasificación (no se presentan todos los gráficos). En el caso de la unidad ó clase Urbana (figura 3) se presenta una gran variabilidad en la respuesta espectral debido a los diferentes tipos de materiales para construcción (cemento, pavimento, cartón, lamina, etc.)

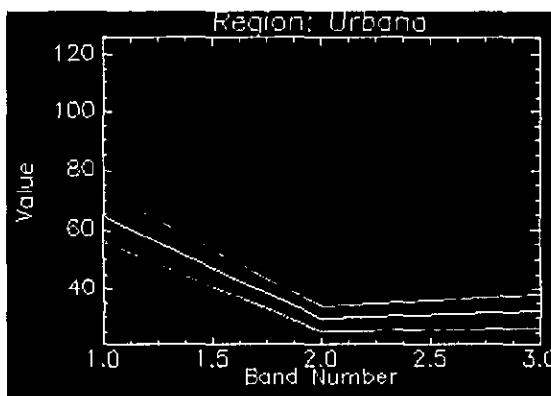


Figura 3. Unidad ó clase Urbana, que presenta una gran desviación debido a la respuesta espectral, Heterogénea de las características que la componen.

Los valores 1.0, 2.0 y 3.0 en el eje X representan las bandas rojo, verde y azul respectivamente.

Los valores del intervalo de cero a 120 en el eje Y representan la respuesta espectral.

En la figura 4 se muestra la unidad ó clase de Matorral Bosque Abierto donde se puede observar que la muestra es más homogénea y con poca variabilidad, debido a que la cobertura vegetal y la textura son igualmente homogéneas y la respuesta espectral es menos variable.

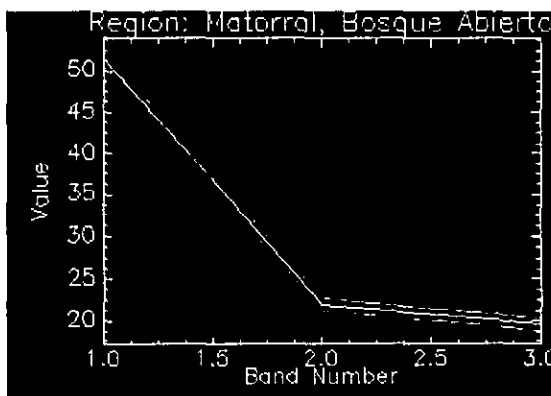


Figura 4. Unidad ó clase Matorral Bosque Abierto, que presenta muy poca desviación debido a la respuesta espectral homogénea de las características que la componen.

Los valores 1.0, 2.0 y 3.0 en el eje X representan las bandas rojo, verde y azul respectivamente

Los valores del intervalo de cero a 120 en el eje Y representan la respuesta espectral.

En las figuras 3 y 4 la línea gris desplegada representa la media del espectro promedio por cada banda, la banda 1 representada por la banda roja (TM5 banda cruda del infrarrojo medio), la banda 2 por la banda verde (índice de vegetación normalizado), y la banda 3 por la banda azul (principales componentes, TM 1, TM 2, TM 3) de la imagen LANDSAT TM asociada. La línea verde es el espectro de desviación estándar de cada banda. Esta línea es graficada a  $\pm 1$  desviación estándar. La línea roja es el espectro mínimo y máximo para cada banda y es graficada por encima y por abajo del espectro de desviación estándar.

Los resultados de la clasificación digital son representados por medio de las clases espectrales (áreas que poseen características espectrales semejantes), una vez que un objeto difícilmente es caracterizado por una única respuesta espectral. Es construido por un mapa de píxeles clasificados, representados por símbolos gráficos en colores, o sea, el proceso de clasificación digital transforma un gran número de niveles de gris en cada una de las bandas espectrales en un pequeño número de clases en una única imagen.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

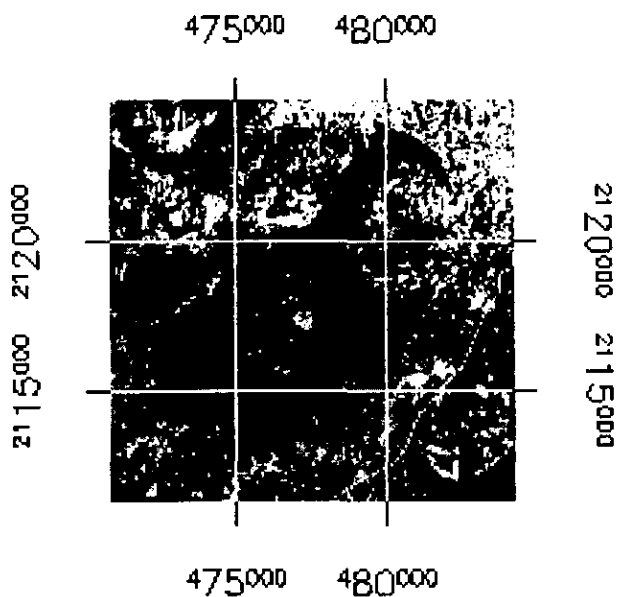


Figura 5. Recorte de la imagen original con sus primeras cinco bandas crudas, mostrando coordenadas U.T.M. de acuerdo a la corrección de origen y verificado con la carta topográfica de INEGI (1978).

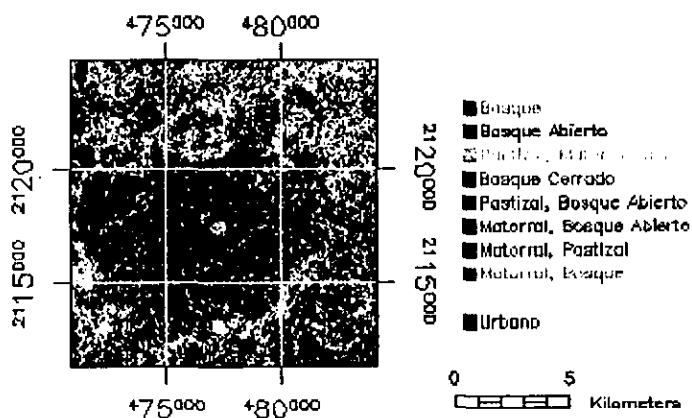


Figura 6. Clasificación supervisada por el método de máxima verosimilitud.

DN	Npts	Mean	Stdev	Pet	Acc Pet
		4.9591	3.0878		
1	3556	3556	15.8044%	15.8044%	
2	3665	7221	16.2889%	32.0933%	
3	1350	8571	6.0000%	38.0933%	
4	1723	10294	7.6578%	45.7511%	
5	2663	12957	11.8356%	57.5867%	
6	2727	15684	12.1200%	69.7067%	
7	1868	17552	8.3022%	78.0089%	
8	1474	19026	6.5511%	84.5600%	
9	1057	20083	4.6978%	89.2578%	
10	894	20977	3.9733%	93.2311%	
11	1523	22500	6.7689%	100.0000%	

Tabla 13. Resultado del análisis de la clasificación supervisada por el método de máxima verosimilitud.

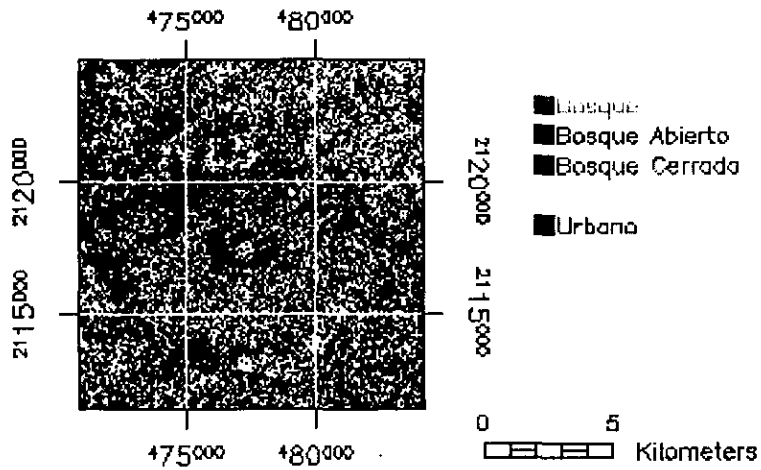
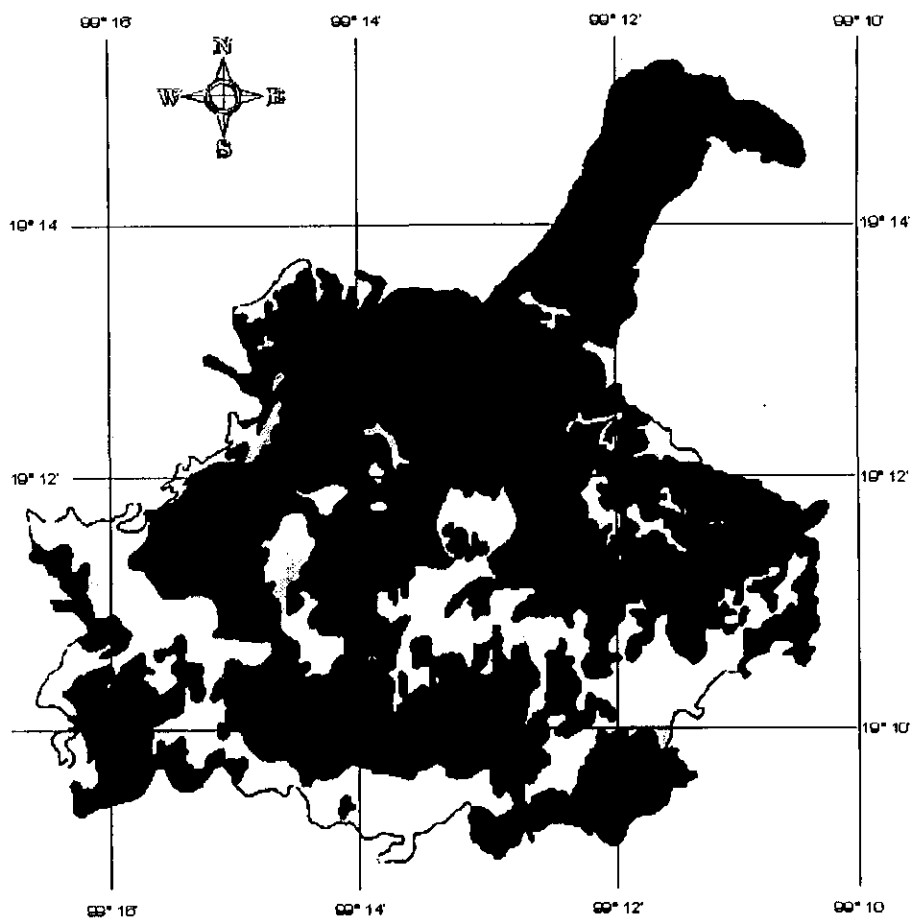


Figura 7. Rectificación y filtrado de lases.

DN	Npts	Mean		Stdev	
		Total	Pct	Total	Pct
		2.7439		1.3875	
1	5030	5030	22.3556%	5030	22.3556%
2	4722	9752	20.9867%	433422%	43.3422%
3	7668	17420	34.0800%	774222%	77.4222%
4	2663	20083	11.8356%	89.2578%	89.2578%
5	894	20977	3.9733%	93.2311%	93.2311%
6	1523	22500	6.7689%	100.0000%	100.0000%

Tabla 14. Resultado del análisis de la reclasificación y filtrado de clases.

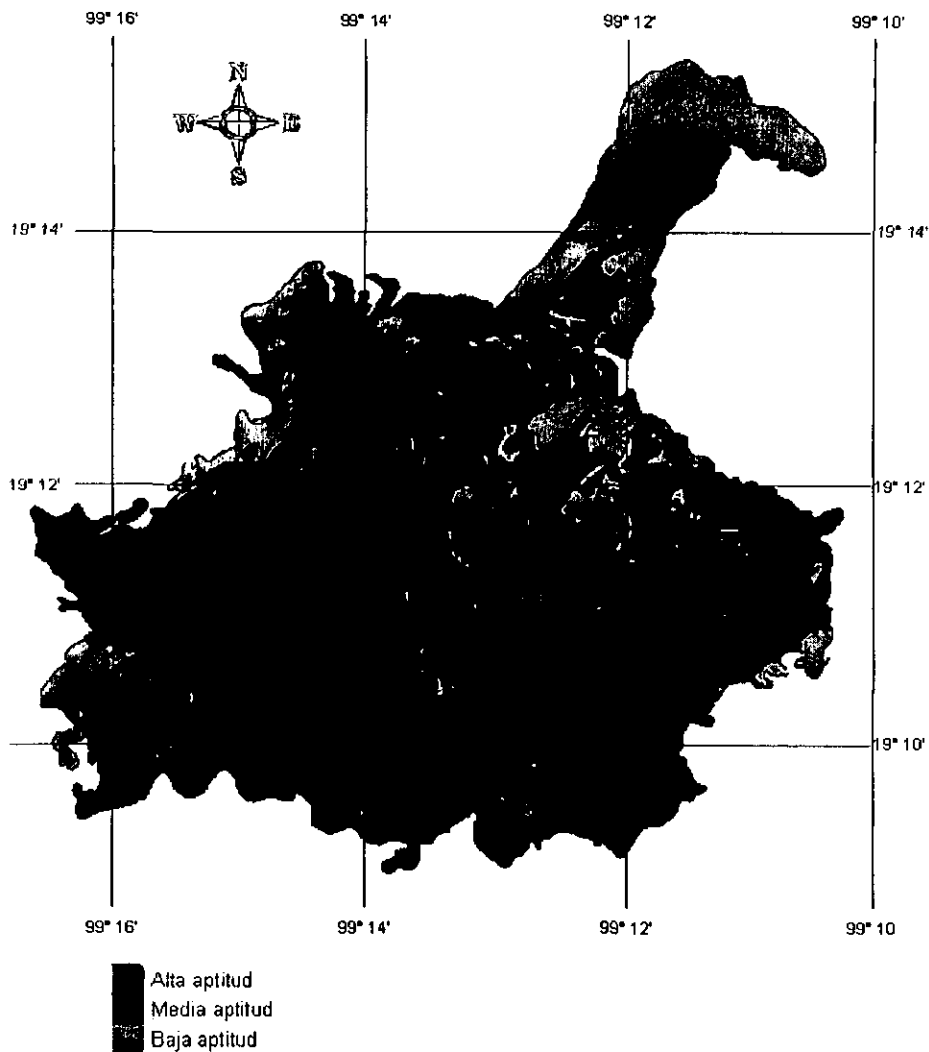


- Pastizal
- Bosque
- Bosque abierto
- Bosque cerrado
- Urbano

Mapa 1. Resultado de la reclasificación y filtrado de clases o unidades de paisaje

	Ha	Total Ha	%	Total %
Pastizal	1,683	1,683	27%	27%
Bosque	1,372	3,055	22%	49%
Bosque abierto	2,307	5,362	37%	86%
Bosque cerrado	748	6,110	12%	98%
Urbano	124	6,234	2%	2%

Tabla 15. Área en hectáreas y porcentaje de cobertura para cada unidad de paisaje.



Mapa 2. Aptitud para la restauración que presenta el área de estudio, resultado de la integración de la clasificación supervisada de 11 clases generada mediante un sistema de información geográfica.

	Ha	Total Ha	%	Total %
Alta aptitud	2,744	2,744	44%	44%
Media aptitud	2,058	4,802	33%	77%
Baja aptitud	1,434	6,236	23%	100%

Tabla 16. Área en hectáreas y porcentaje de cobertura para la aptitud que presenta el Volcán Pelado para su restauración.



## 19 CONCLUSIONES

El conocimiento biológico de un área no es suficiente *per se*, para generar propuestas concretas de manejo, conservación y restauración de los recursos naturales ya que una unidad de paisaje no esta formada por flora y fauna únicamente, también intervienen procesos físicos y químicos que en todo momento están modelando el área.

Se presenta una contradicción en cuanto a justificar al Pelado como Reserva Forestal y la situación de explotación que actualmente se presenta en él, sin embargo no debemos olvidar las características y necesidades de los países subdesarrollados como el nuestro, en donde el campesino se ve obligado a integrar su economía a través de diferentes actividades que le permiten mejorar su nivel de vida, traduciéndose esto en la explotación de los bosques que se encuentran a su alcance, aunque estos, dada la calidad de la flora y fauna que integran sus comunidades bióticas, reúnen las características necesarias para poder ser considerados como Parque Nacional.

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

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

En este último siglo las diferentes actividades humanas se han convertido en un factor determinante en la distribución y abundancia de las especies. Los casos más evidentes y documentados son los de bosques tropicales en donde un gran porcentaje de su área ha sido deforestada lo que ha provocado la pérdida de una gran cantidad de especies tanto vegetales como animales. Por tal razón el análisis de la condición actual del Volcán Pelado en su flora y fauna, no podría ser completo si no se toman en cuenta las actividades humanas y el impacto que éstas producen en el hábitat, es particularmente importante para cualquier especie, ya que el área de estudio es una zona forestal que se encuentra dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En esta ciudad se concentran la mayor parte de las actividades administrativas, gubernamentales y una de las zonas industriales más importantes del País. Además posee una considerable zona rural donde se llevan a cabo un gran número de actividades productivas.

La percepción remota contribuye a detectar y resolver problemas a diferentes escalas, y en un tiempo relativamente corto, este tiempo de análisis depende mucho del conocimiento previo por parte del analista, ya sea del área de estudio como de la infraestructura del proyecto. Este conocimiento es vital al momento de tomar decisiones sobre los objetivos del proyecto en cuestión.

La revolución actual provocada por la tecnología del SIG, está en el cambio de nuestra percepción de los mapas y como usarlos, no es sólo el hacer mapas y el manejo de bases de datos, sino que es un campo enteramente nuevo, con nuevos conceptos en la estructura de los mapas, en su contenido y en su uso.

Se puede realizar un análisis ambiental, que permita definir las unidades ambientales óptimamente, para esto es necesario trabajo de campo intenso, que este planificado con base a un análisis preliminar y que sirva para verificar este análisis.

Se detectó que las áreas con aptitud de restauración son las zonas con vocación de recuperación, no son las más alteradas y que tienen cierta calidad para poderse restaurar.

Este trabajo es la base para una regionalización y con un estudio socio - económico nos podría llevar a un ordenamiento territorial y realizar un plan de manejo integral.

Los alcances de este tipo de tecnología (en el presente trabajo) deberían ser calibrados con datos actualizados en campo e imágenes programadas, ya que la velocidad del cambio en el uso del suelo en este tipo de zonas tan conflictivas es rápido. Cabe aclarar que la información utilizada para el presente trabajo es de diferentes fuentes, que tienen problemas de referencia, de calidad, credibilidad y temporalidad.

Este modelo de Ecodinámica tiene que ser valorado en campo para su absoluta credibilidad.

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

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

## 20 BIBLIOGRAFÍA

- Aranda, J. M. 1978. La comunidad "El Capullín" como parte del problema de conservación de la Sierra del Ajusco. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 116 pp.
- August, P. 1993. GIS in mammalogy: building a database. Pp 11-26, in GIS applications in mammalogy (S. B. McLaren and J. K. Braun, eds.) Special Publication of the Oklahoma Museum of Natural History, Norman, Oklahoma, 41 pp.
- Becker, B. K. Y Egler, C. A. G. 1996. Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal. Rio de Janeiro/Brasília, (SAE-MMA), Brasil.
- Benites, G. 1987. Efectos del fuego en la vegetación herbácea de un bosque de *Pinus hartwegii* Lind. de la Sierra del Ajusco. En: E. H. Rapoport y I.R. López-Moreno, (Eds.). Aportes a la Ecología urbana de la Ciudad de México. 111-152 pp.
- Berry, J. K. 1993. The application of GIS to mammalogy: basic concepts. Pp. 4-10, in GIS applications in mammalogy (S. B. McLaren and J. K. Braun, eds.) Special Publication of the Oklahoma Museum of Natural History, Norman, Oklahoma, 41 pp.
- Blanco, S., G. Ceballos, C. Galindo, M. Maas, R. Patrón, A. Pescador, y A. Suárez. 1981. Ecología de la Estación Experimental Zoquiapan. Cuadernos Universitarios. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 114 pp.
- Breininger, D. R., M. J. Procancha, and R. B. Smith. 1991 Mapping Florida scrub jay habitat for purposes of land-use management. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 57:1467-1474.
- Castro-Franco, R., y M.G. Bustos-Zagal 1992. Herpetofauna de la Reserva Ajusco-Chichinautzin, Morelos, México. Ciencia y Tecnología, 2(2): 67-70.
- Ceballos, G. y C. Galindo. 1984. Mamíferos silvestres de la Cuenca de México. Limusa. México D.F. 300 pp.
- Cervantes Asociados, S. A. 1976. El Medio Natural, Distrito Federal. Dirección General de Planificación, Departamento del Distrito Federal.
- Cervantes, F., A. Castro-Campillo y J. Ramírez-Púlido. 1994. Mamíferos terrestres nativos de México. Anales del Instituto de Biología. UNAM, 65 (1): 177-190.
- CIPAMEX, 1993. Propuesta de lista de las especies y subespecies de aves silvestres y acuáticas, raras, amenazadas, en peligro de extinción y las sujetas a protección especial para incluirse en la Norma Oficial Mexicana.
- COCODA. 1984. Plan Rector de Uso del Suelo y Desarrollo Agroforestal. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario del Distrito Federal. Documento de Circulación Interna. Departamento del Distrito Federal. México.
- De Ploey, J. 1981. The ambivalent effects of some factors of erosion. Louvain, Mém. Inst. Geol. Univ. Louvain. T. XXXI, pp 171-181.
- Ezcurra, E. 1990. De las Chinampas a la Megalópolis. El Medio Ambiente de la Cuenca de México. La ciencia desde México # 91,F.C.E., México
- ENVI User's Guide. 1977. The Environment for Visualizing Images, version 2.7\*. Research Systems, Inc., Colorado, U.S.A.
- Galindo, G. Y J. Morales. 1987. "El relieve y los asentamientos humanos en la ciudad de México", Ciencia y Desarrollo 76 67-80
- García Ruiz, J.M.1990 La montaña: una perspectiva geocológica In: García Ruiz, J.M. (Edr.). Geocología de las áreas de montaña. Geofoma Ediciones, Logroño España. 338 pp.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. 2ª Edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 246 pp.
- Gispert, M., O. Nava, y J. Cifuentes. 1984. Estudio comparativo del saber tradicional de los hongos en dos comunidades de la Sierra del Ajusco. Boletín de la Soc. Mex. Mic. 19:253-273.
- Gómez Pompa, 1994. Gómez Pompa, 1994 Informe de Foros de Evaluación de Áreas Protegidas, no publicado.
- Gonzales-G. J. G. 1982. El Volcán "El Pelado" como Reserva Natural. Tesis Profesional, Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM, México.
- Hashimoto T., Takagi, M, Kajiwara K, y Fujino Ch.(Eds). 1993. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing. Nihon Printing Co. Chiyodaku, Tokio, Japan. 284 pp.
- Hommel, P. 1987. Landscape ecology of Ujung Kulon (West Java), Indonesia. University of Wageningen. The Netherlands. 206 pp.

- Howard, John A. 1991. *Remote Sensing of Forest Resources. Theory and application*. Chapman & Hall, London.
- INEGI, 1978. *Cartas topográficas y edafológicas Amecameca, Milpa Alta, Cd. de México y Chalco*. Escala 1:50 000.
- Johnson, L. B. 1990. Analyzing spatial and temporal phenomena using geographic information systems. *Landscape Ecology*, 4:31- 43.
- Johnson, L. B., G. E. Host, J. K. Jordan, and L. L. Rogers. 1991 Use of GIS for landscape design in natural resource management: assessment and management for the female black bear. Pp. 507-517, in *Proceedings of GIS/LIS '91*, Atlanta, Georgia, 999 pp.
- Kalensky, Z. D. 1986 Forest mapping based on computer analysis of remote sensing data. Report of the 10<sup>th</sup> UN/FAO International Training Course: Applications of Remote Sensing to Monitoring Forest Lands., RSC Series 40, 73-80.
- Klein, R.M. y T.D. Perkins. 1988. "Primary and secondary causes and consequences of contemporary forest decline". *The Botanical Review*, vol54(1): 1-43.
- Lazcano-Barrero, M.A., Flores-Villela, O., Benabib-Nisembaum, M., Hernández-Gómez, J.A., Chávez-Peón, M.P. y A. Cabrera-Aldave 1986. Estudio y Conservación de los anfibios y reptiles de México. Una propuesta. Cuadernos de Divulgación, INIREB. No. 25. 53 p.
- López-Paniagua, J. y T. Rodríguez. 1988. Las especies forrajeras y el proceso ganadero en la zona boscosa del Distrito Federal. 11<sup>a</sup> Conferencia Anual de Etnobiología, Marzo 9-13, 1988. Sociedad de Etnobiología. México D.F.
- Lugo Hubp. J. 1984. Geomorfología del Sur de la Cuenca de México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Varía T. 1. Núm. 8. México, Distrito Federal. 95 pp.
- Lugo, A. 1988. Estimating reductions in the diversity of tropical forest species. En: E.O. Wilson (Ed.). *Biodiversity* Cap. 6. 58-70 pp.
- Martínez, José Luis. 1972. *Nezahualcoyotl, vida y obra*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Miehlich G. (1980). Los suelos de la Sierra Nevada de México. Suplemento Comunicaciones VII. Fundación Alemana para la Investigación Científica. 205 p.
- Mooser, F. 1981. Informe Sobre la Geología de la Cuenca del Valle de México y Zonas Colindantes. Secretaria de Recursos Hidráulicos, Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.
- Mooser, F. 1975. Historia Geológica de la Cuenca de México. In Memoria. Obra del Sistema de Drenaje Profundo. D.D.F. México. p. 9-30
- Morisawa, M. 1968. *Streams: their Dynamics and Morphology*. New York, McGraw-Hill Book. 175 pp.
- Mittermeier, R.A. y C.G. Mittermeier. 1992. "La importancia de la diversidad biológica de México". En: José Sarukhán y Rodolfo Dirzo (comps.). *México ante los retos de la biodiversidad*. 343 pp.
- Obieta, M. C. y J. Sarukhán. 1981. Estructura y composición de la vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii*. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 41:75-125.
- Palma Muñoz, M. F., 1997. Delimitación de Unidades Ambientales en el Sur del Valle de México, con ayuda de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Resende, M. 1995. *Pedologia: Base para Distinção de Ambientes*. Viçosa, NEPUT. Brasil.
- Richards, J.A. 1986. *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*, Springer Verlag, Berlin.
- Ross, J. L. S. 1991. Geomorfología ambiente e planejamento. Contexto, São Paulo, Brasil.
- Rzedowski, Jerzy. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México. 432 pp.
- Rzedowski J. y G. C. de Rzedowski, 1979. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. CECSA, México. Vol. 1.
- Rzedowski J. y G. C. de Rzedowski, 1985. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas - Inst. de Ecología, México. Vol. 2.
- Silva Perez L. C., 1988. Los Bosques de Coníferas del Sur del la Cuenca de México: Fitosociología, Diversidad y Uso Tradicional. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UAEM, Edo. de México.
- Stelma, Kor B., 1995 Appraising hábitat fragmentation. An analysis of rural áreas and nature reserves south of Mexico City. Velp, The Netherlands.
- Tricart, J. 1977. *Ecodinámica, Recursos Naturais e Meio Ambiente*, IBGE-SUPREN, Rio de Janeiro, Brasil. 91 pp.
- Tricart, J. 1982. *Paisagem e Ecologia. Inter-Fácies, escritos e documentos*. São José do Rio Preto. IBILCE-UNESP No. 78. 55p.

- Tricart, J., Kiewietdejonge, C., 1992. *Ecogeography and Rural Management*. Essex, UK. Longman Scientific & Technical.
- Van Westn, C. J., Van Duren, I., Kruse, H.M.G. and Terlien, M.T.J., 1993. *GISSIZ: training package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation*. ITC-Publication Number 15, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Van Wijngaarden, W. 1985. *Elephants-Trees-Grass-Grazers. Relationships between climate, soil, vegetation and large herbivores in a semi-arid savanna ecosystem (Tsavo, Kenia)*. Phd. Thesis, Wageningen. ITC Publication Number 4.
- Varnes, D.J., 1984. *Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice*. Commission on landslides of IAEG, UNESCO.
- Vásquez, Z. 1986. "Daños a la vegetación", *Información Científica y Tecnológica*, 70: 28-31.
- Velázquez, A. 1988. *Landscape Ecological Map of Volcano Pelado Mexico*. Laboratorio de Biogeografía, Depto. de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, México. Sin Publicar.
- Velázquez, A. 1993. *Landscape Vegetation Ecology of Tlaloc and Pelado Volcanoes* ITC. Enschede, The Netherlands
- Velázquez, A., F. J. Romero y J. López-Paniagua eds. (1996) *Ecología y Conservación del Zacatuche (Romerolagus diazi) y su hábitat*. Pp 102-132. Fondo de Cultura Económica, México,
- Villegas, M. 1979. *Malezas de la Cuenca de México*. Instituto de Ecología. Museo de Historia Natural de la Ciudad de México. México. 137 pp.
- Werner G. 1978. *Los suelos de la Cuenca Alta de Puebla-Tlaxcala y sus alrededores*. Suplemento Comunicaciones VI. Fundación Alemana para la Investigación Científica. 95 p.
- Wilson, R. y H. Ceballos-Lascurain. 1993. *The birds of México City: an annotated checklist and bird-finding guide to the Federal District*. Segunda Edición. BBC Printing & Graphics LTD, Ontario, Canadá. 86 p.