

7/407

 XOCHIMILCO SERVICIOS DE INFORMACIÓN
ARCHIVO HISTÓRICO

7106

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo

**Crecimiento de Coníferas y cambios en la Producción
Primaria de los Bosques de la Región de San Juan Tetla
(Puebla, México)**

TESIS

Que para obtener el grado de
Doctora en Ciencias Biológicas

PRESENTA

Nuri Martha Trigo Boix

Comité tutorial:

Codirector: Dr. Alejandro Zavala Hurtado

Codirector: Dr. Gerrit Willem Heil

Asesor: Dr. Fernando de León González

Asesor: Dr. Carlos Cortés Ruiz

México, D.F. Junio 2004

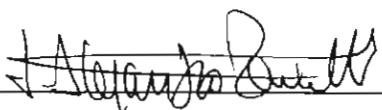
El doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de Excelencia del CONACyT y además cuenta con apoyo del mismo Consejo, con el convenio PFP-20-93.

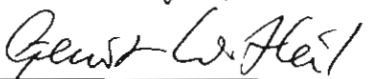
El jurado designado por las Divisiones de Ciencias Biológicas y de
la Salud de las Unidades Iztapalapa y Xochimilco aprobó la tesis
que presentó

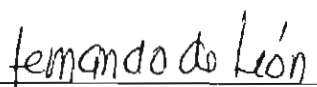
Nuri Martha Trigo Boix

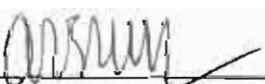
el día 15 de Junio del año de 2004

Jurado:

Codirector: Dr. Alejandro Zavala Hurtado 

Codirector: Dr. Gerrit W. Heil 

Asesor: Dr. Fernando de León González 

Asesor: Dr. Carlos Cortés Ruiz 

Sinodal: Dr. Franz Eduardo Mora Flores 

Resumen

México es uno de los países más ricos en diversidad biológica. Sin embargo, existen muchos elementos que contribuyen a la pérdida de especies vegetales de los cuales resaltan los siguientes: la conversión de áreas naturales en plantaciones de árboles exóticos, la extracción de plantas para su comercio, el crecimiento de las zonas urbanas, y la apropiación de tierras para la agricultura. En el caso de los bosques, el diseño de propuestas de restauración que reviertan el deterioro ocasionado por estos elementos requiere de información a diferentes escalas.

Este estudio se llevó cabo en un bosque templado (el Campo Experimental San Juan Tetla - CEF) localizado en la vertiente oriental del volcán Iztaccíhuatl, en el municipio de Chiautzingo, a 25 Km al suroeste de San Martín Texmelucan, Puebla. El propósito fue conocer, en primer término, la producción de coníferas y sus relaciones con factores limitantes del medio. Posteriormente, se buscó relacionar esta producción con índices derivados de dos sensores remotos (una cámara fotográfica con lente de 180 grados y una imagen de satélite).

Se obtuvieron modelos de crecimiento logístico para *Abies religiosa* ($R^2 = 0.6726$), *Pinus ayacahuite* ($R^2 = 0.7816$), *P. hartwegii* ($R^2 = 0.8323$), *P. montezumae* ($R^2 = 0.6051$), *P. patula* ($R^2 = 0.737$) y *Alnus firmifolia* ($R^2 = 0.2433$). Con excepción de *Alnus firmifolia*, los

modelos permitirán hacer predicciones sobre el crecimiento de estas especies. Asimismo, se estimaron volumen y biomasa.

A partir del análisis temporal con el índice de vegetación (NDVI), se concluye que la región del CEF y sus alrededores disminuyeron en un 20% su superficie fotosintéticamente activa, durante un periodo de 11 años (1991 al 2002). Se hace una propuesta de zonificación para dirigir los esfuerzos de restauración en los bosques del Campo Experimental Forestal y en los ejidos San Agustín Atzompa y San Juan Tetla.

Abstract

Mexico is one of the richest countries in biological diversity. However, there are many elements that contribute to the loss of plant species from which the following are outstanding: the conversion of natural areas into plantations of exotic trees; the extraction of plants for commerce; the growth of urban areas; and the reallocation of land to agriculture. In the case of forests, the design of restoration proposals that can revert the deterioration caused by these elements, requires of information at several scales.

This research was done in a temperate forest (the *Campo Experimental San Juan Tetla* - CEF) located in the eastern slopes of the Iztaccíhuatl volcano, in the municipio of Chiautzingo, 25 Km southwest of San Martín Texmelucan, Puebla. The purpose was to know, firstly, the production of the conifer trees and their relationship with the limiting factors of the environment. Afterwards, a relationship between this production with indexes derived from two remote sensors (a photographic camera with an 180 degrees lens and a satellite image) was searched for.

Logistic growth models were obtained for *Abies religiosa* ($R^2 = 0.6726$), *Pinus ayacahuite* ($R^2 = 0.7816$), *P. hartwegii* ($R^2 = 0.8323$), *P. montezumae* ($R^2 = 0.6051$), *P. patula* ($R^2 = 0.737$) and *Alnus firmifolia* ($R^2 = 0.2433$). Except for *Alnus firmifolia*, the models will

allow to make predictions on the growth of these species. Also, volume and biomass were estimated.

From the temporal analysis with the vegetation index Δ (NDVI) it is concluded that the CEF and its surroundings diminished 20% of their photosynthetically active surface during a period of 11 years (1991 to 2002). A zoning proposal is made to direct restoration efforts in the forests of the Campo Experimental Forestal and in the ejidos of San Agustín Atzompa and San Juan Tetla.

Índice

Introducción	1
Antecedentes	
Contexto regional	5
Campo experimental Forestal San Juan Tetla	6
Geología	8
Suelos	9
Hidrología	10
Relieve	11
Clima	12
Vegetación	13
Planteamiento del Problema	
Problemática forestal de México	16
Calidad de sitio	17
Índice de sitio	18
Producción primaria	24
Métodos para estimar la producción primaria	25
Índice de Vegetación	29
Objetivos	32
Hipótesis	33

Metodología

 Campo 34

 Gabinete 36

Resultados 40

 Modelos de alométricos 41

 Biomasa e índice de sitio 43

 Relación con factores ambientales 45

 Clasificación 46

 Análisis temporal 51

 Zonas críticas y zonificación para manejo 55

Discusión

 Modelos alométricos 58

 Biomasa e índice de sitio 59

 Análisis temporal 60

 Zonas críticas y zonificación para manejo 62

Conclusiones 64

Referencias bibliográficas 67

Introducción

La investigación forestal en nuestro país ha estado dirigida tradicionalmente al conocimiento de los patrones de crecimiento de los árboles como entidades de interés económico. Sin embargo, poco se ha hecho para conocer las relaciones de los árboles con su medio ni para valorar todas aquellas especies vegetales que, sin tener un valor económico específico, aportan su granito de arena al balance de los sistemas forestales. Es decir, se ha perdido de vista el bosque por ver tan de cerca algunos árboles.

El bosque es una de las formas de vida fisonómicas básicas, por medio del cual las comunidades bióticas pueden ser clasificadas. Caracterizados por la predominancia de las plantas leñosas, los bosques se encuentran muy desarrollados en lugares con superficies planas, climas húmedos y fuera de las regiones polares. Como sucede con todos los tipos de comunidades bióticas, el bosque puede definirse de diferentes formas. Una de las más simples, puede ser considerándolo directamente en función de los árboles que lo componen y que son los que le dan a la comunidad su fisonomía característica.

La biomasa es la cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico. En el caso de los árboles, la biomasa es uno de los primeros recursos energéticos utilizados por el ser humano, y todavía en la actualidad es uno de los más necesarios para una importante cantidad de población mundial.

La energía de la biomasa forestal es aquella que se produce a partir de productos vegetales y sus derivados. El concepto abarca principalmente leña y desechos forestales (aserrín, virutas).

Dentro de las comunidades boscosas, la biomasa y la producción primaria neta (PPN) se relacionan con los gradientes de radiación solar, temperatura, y disponibilidad de agua y nutrientes. También es bien conocido que la biomasa y especialmente la producción primaria de los bosques son influidas por los rasgos fisiológicos de las especies integrantes.

El estudio de estas relaciones debe hacerse de manera gradual, modificando los niveles de aproximación del árbol al bosque, a lo largo del proceso de investigación. Lo anterior consiste, en primer término, en pasar de relacionar la producción en fuste de los árboles en un sitio (expresada en Kg/m^2) con el índice obtenido con una cámara fotográfica (índice de área foliar –IAF- que representa la cantidad de follaje expresada en m^2/m^2). El siguiente nivel consiste en relacionar este IAF con un índice similar obtenido a partir de una imagen de satélite (el índice de vegetación de diferencia normalizada –NDVI- que representa la superficie fotosintéticamente activa de una imagen de satélite con valores dentro de un rango de -1 a 1).

Al establecer este tipo de relaciones, es posible evaluar la producción de grandes extensiones de bosques de coníferas a partir de imágenes de satélite con un trabajo mínimo de validación en campo. De la misma manera, se pueden hacer evaluaciones de productividad en series de tiempo que nos proporcionen datos confiables sobre temas tan críticos como las tasas de deforestación en bosques templados de nuestro país.

A este último respecto, el diagnóstico de los cambios de la vegetación apoyado con imágenes de satélite se torna una herramienta muy útil para definir un arreglo espacial adecuado del uso del suelo (ordenamiento territorial) que permita a las comunidades locales,

planificadores, tomadores de decisiones, administradores de áreas naturales protegidas y a organizaciones no gubernamentales diseñar y participar de manera efectiva en planes y programas de manejo sustentados en conocimiento científico sólido.

La investigación que aquí se reporta se llevó a cabo en Campo Experimental Forestal de San Juan Tetla (CEF) en su fase de campo; incluye los ejidos de San Juan Tetla y de San Agustín Atzompa en el análisis espacial basado en sensores remotos. El CEF está concesionado para su uso al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) pero los últimos años ha sido botín de personas oportunistas que ven en el CEF solamente el beneficio económico que representan los metros cúbicos de madera que contra todo pronóstico aún sobreviven dentro de sus límites. Muestra de lo anterior, es el hecho de que de abril 1996 al abril 2000 el CEF estuvo ocupado por un grupo de personas, en su mayoría del Ejido de San Agustín Atzompa. Durante esos años, el predio y sus instalaciones no recibieron mantenimiento de manera que, al inicio de esta investigación, en el año 2000, el CEF mostraba los estragos de cuatro años sujeto a pastoreo indiscriminado de ganado vacuno y tala clandestina. Al recuperar las instalaciones el INIFAP en abril del año 2000, la administración a cargo del M. en C. Juan Quintanar se dio a la tarea de rehabilitar las instalaciones, planificar y licitar labores de saneamiento, reconstruir los caminos e iniciar una etapa de reformulación de relaciones con los habitantes de la región.

Esta labor permitió llevar a cabo el trabajo de campo en condiciones muy favorables hasta el mes de agosto del 2003 cuando volvieron a ocupar el predio las mismas personas que habían sido desalojadas tres años antes. Las consecuencias para esta investigación no han sido críticas pero si son muy nocivas para la supervivencia de las riquezas naturales de la zona.

De los resultados obtenidos en este estudio, cabe resaltar el hecho de que la región del CEF y sus alrededores disminuyeron, de 1991 a 2002, su superficie fotosintéticamente activa (estimada a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI) en un 20%. Lo más grave es que 60% de esa pérdida se dio en el periodo de 1997 al 2002.

La conclusión de todo esto es que los conocimientos y las herramientas que nos proporciona la ciencia requieren de planeación, constancia y perspicacia para poder aplicarlos a problemas de manejo de recursos naturales. Sin embargo, nada de lo que logremos con ello tendrá sentido, en tanto no incorporemos a las personas que requieren y utilizan dichos recursos al proceso de valoración y construcción de alternativas.

Antecedentes

Contexto regional

La región de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl es muy importante desde el punto de vista fitogeográfico y botánico. Ello se debe a su ubicación entre las regiones biogeográficas Neotropical y Holártica y dentro del Eje Neovolcánico Transversal, el cual incluye las montañas más altas de México con un marcado gradiente altitudinal (Heil et al., 2003). La combinación de estos factores es propicia para el desarrollo de diversos tipos de vegetación que representan una riqueza florística importante. Rzedowski (1991), al comparar las diferentes comunidades vegetales de zonas templadas, menciona que los bosques de coníferas y encinos (altamente representados en los volcanes) son los biomas que tienen mayor número de especies. Otra comunidad que se ubica en la zona y que es muy importante por su abundancia de endemismos, es la vegetación alpina. Resultado de esta diversidad de comunidades, es que en la zona existe el 44.13% de las 2071 especies reconocidas para el Valle de México (Rzedowski y Rzedowski, 1985).

Desde el punto de vista ecológico, la zona representa una importante área de captación de agua, tanto para la cuenca del Valle de México como para la zona este del Estado de Puebla que incluye la Cuenca Alta del Balsas. La vegetación que cubre las laderas de los volcanes aumenta significativamente la capacidad de retención de agua y es fundamental para prevenir la erosión.

Desafortunadamente, el área de los volcanes se encuentra amenazada por una continua expansión de la agricultura, asentamientos urbanos, pastoreo, tala clandestina, incendios y recreación incontrolada. En solamente 10 años, la superficie afectada por cambios de uso del

suelo aumentó en un 50%. Junto con la disminución del área de bosque hay un aumento en la fragmentación de las zonas boscosas (Chávez y Trigo, 1996). Los incendios del 1998 agudizaron esta fragmentación.

De manera más específica, en la vertiente noreste del Iztaccíhuatl, dentro del Estado de Puebla, nos encontramos con la región de San Juan Tetla (Figura 1). Esta es una zona altamente poblada por pequeñas comunidades, en su mayoría de origen prehispánico con sistemas de tenencia de la tierra heredados. Este es el caso de varios poblados de los Municipios de San Salvador el Verde, Chiautzingo y San Felipe Teotlalcingo que se ubican a corta distancia de la zona boscosa del Iztaccíhuatl y que influyen de manera determinante en los cambios en el uso del suelo en dicha región.

Un denominador común de dichos poblados es la definición de los límites de propiedad por medio de cercas, hileras de árboles frutales o bien monumentos de piedra. Por otro lado, en terrenos comunales la agricultura se reduce a pequeños predios llamados *joyas*, que se encuentran entre las corrientes de lava andesítica o basáltica que se formaron del Iztaccíhuatl y que limitan el uso agrícola a aquellas partes donde se han desarrollado suelos derivados de cenizas volcánicas.

Campo experimental Forestal San Juan Tetla

Existen varias publicaciones que describen la localización y características físicas y bióticas del Campo Experimental Forestal “San Juan Tetla”. La información descrita a continuación se basó fundamentalmente en las siguientes publicaciones: May Nah, (1971);

Hernández, (1976); Boyas, (1978 y 1993); Rodríguez y Ortiz, (1982); Carrillo, (1986); Acosta et al., (1996) e INIFAP, (2001).

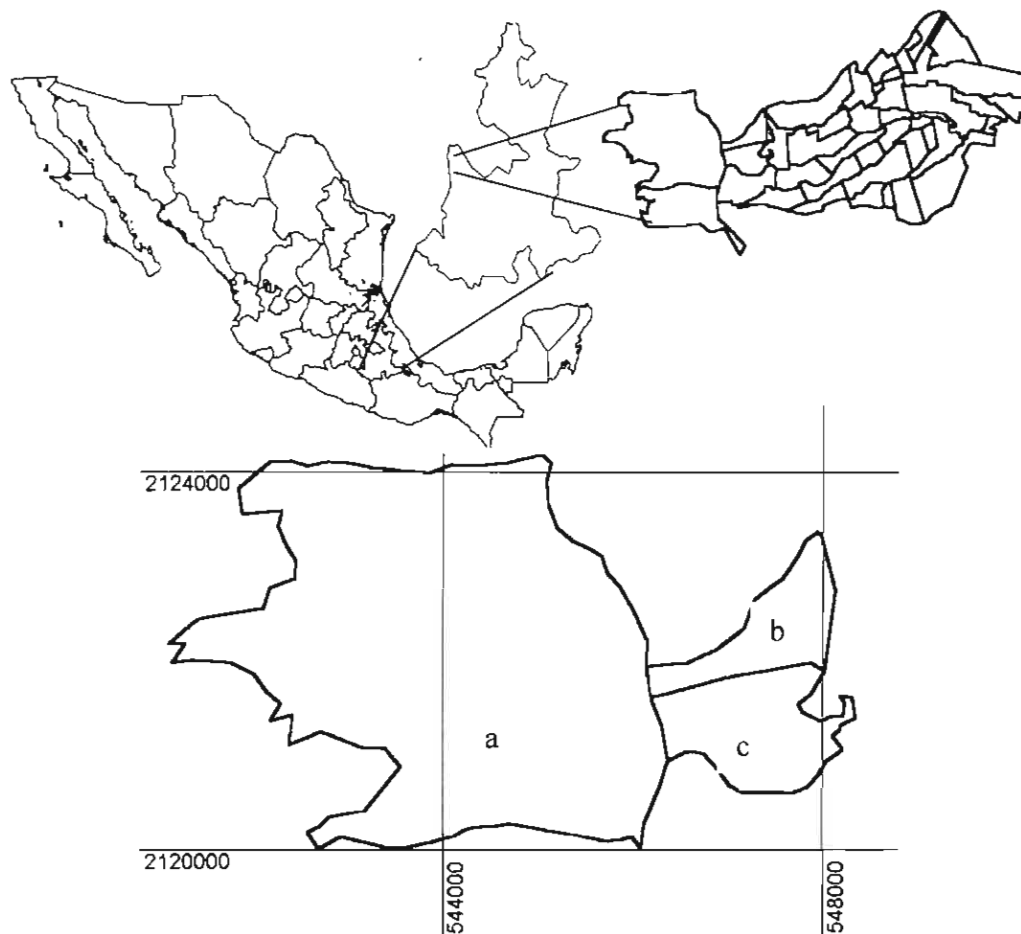


Figura 1. Localización de la región de San Juan Tetla; arriba a la izquierda, Estado de Puebla; arriba a la derecha, municipio de San Lorenzo Chiautzingo; abajo, polígono del Campo Experimental Forestal de San Juan Tetla (a) y de los ejidos de San Juan Tetla (b) y de San Agustín Atzompa (c).

El Campo Experimental Forestal “San Juan Tetla” (CEF) fue establecido en el año de 1963 en la fracción del predio ex Hacienda de San Juan Tetla, que el Sr. Guillermo Jenkins, a petición del Secretario de Agricultura y Ganadería donó al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF). El CEF se encuentra ubicado en la falda oriental del

Volcán Iztaccíhuatl, en el Municipio de Chiautzingo, Estado de Puebla a 25 Km al Suroeste de San Martín Texmelucan. A su vez, el volcán Iztaccíhuatl se localiza en la Sierra Nevada, la cual forma parte de la Cordillera Neovolcánica, que se extiende de este a oeste en la parte central de México

Las coordenadas geográficas entre las cuales se localiza corresponden a los paralelos 19° 10' 30'' oeste y 19° 13' 00'' latitud norte y los meridianos 98° 36' 10'' y 98° 32' 47'' longitud del meridiano de Greenwich. Limita al Norte con el Ejido de San Felipe Teotlalzingo y con la Hacienda Vaquero; al Sur con la Hacienda Buena-Vista, San Luis Coyotzingo, Neopopualco y San Antonio Tlaltenco; al Este con la Hacienda la Unión, San Felipe Teotlalzingo, Ejido San Juan Tetla, San Agustín Atzompa y San Antonio Tlaltenco; al Oeste con los Bosques del Parque Nacional Iztaccíhuatl. Tiene una área de 1,580 ha.

Más del 90% de su superficie está cubierta por arbolado maduro de aproximadamente 80 a 90 años de edad. La zona está cubierta en su mayoría por bosque de coníferas, y sus límites altitudinales van de 2900 msnm hasta los 3600 msnm, altitud a la que colinda con el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

Geología

En el terciario se inició un periodo volcánico, formándose en el Terciario Superior los volcanes Ajusco, Iztaccíhuatl y Popocatepetl, como consecuencia de un fracturamiento llamado Fracturamiento de Humboldt, Clarión o Eje Neovolcánico y posteriormente en el Cuaternario, se produjo la extraordinaria efusión de lavas en la Sierra Chichinautzin. La historia geológica del Iztaccíhuatl se inició con la presencia de traquiandesitas expuestas en su base occidental, de una edad Oligoceno Superior – Mioceno, a partir de cuya fecha empieza a

formarse dicha montaña. Posteriormente, durante el Plioceno Medio Superior, se reanuda la actividad volcánica y surgen lavas de tipo andesita. Durante el Pleistoceno se formó la parte superior del “pecho”, tomando en cuenta la presencia de los restos de un cono escoriáceo, cuyo material es de escoria roja de andesita basáltica (tezontle) y basalto de olivino, por lo cual, se ha incluido en la serie basáltica Chichinautzin. En la formación de la peculiar silueta actual del Iztaccíhuatl, intervinieron tanto factores volcánicos como erosivos y en estos últimos, las erosiones glaciares jugaron un papel importante (Boyas, 1978).

El Iztaccíhuatl es la tercera cumbre de México con una altitud máxima de 5286 msnm. Está situado a 64 Km al suroeste de la Ciudad de México, cerca del extremo sur de la sierra Nevada. Es un volcán originado por varias etapas de erupción, alargado de norte a sur. Presenta tres cimas principales: Cabeza (5,140 msnm), Pecho (5,280 msnm) y Rodillas (5,000 msnm). No se aprecian formas precisas equivalentes a centros de erupción. En sus laderas escarpadas se llevan a cabo interesantes procesos de erosión; probablemente estuvo activo sólo hasta el Pleistoceno superior y se le atribuye una edad Cuaternaria (White, 1962).

Suelos

Los suelos del CEF se han clasificado como ando o húmicos de alofano; de textura migajón-arenosa en todos los horizontes, con valores de pH cercanos a la neutralidad dentro de los bosques de pinos; en bosques de abetos son más ácidos. Presentan un alto potencial productivo con alta capacidad de retención de agua y gran contenido de materia orgánica. Son suelos derivados de cenizas volcánicas y profundos. Varían en color de acuerdo a la profundidad de cada horizonte, encontrándose desde negros, café muy oscuro, pardo oscuro, pardo oscuro amarillento, pardo muy oscuro y pardo grisáceo muy oscuro (Carrillo, 1986).

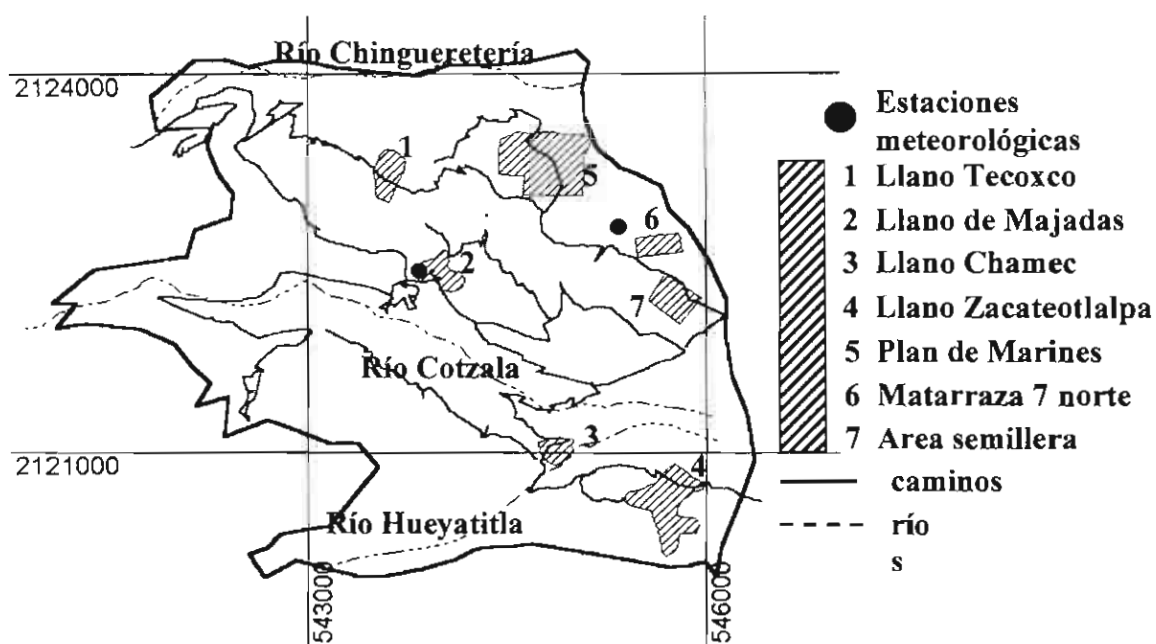


Figura 2. Cauces, llanos y otras localidades del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. El límite oeste coincide con el límite de 3600 msnm del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl.

Hidrología

El CEF está cruzado de Oeste a Este por la barranca del río Cotzala (Figura 2), que prácticamente lo divide en dos partes iguales. Hay dos arroyos de corriente permanente de cierta importancia, y un tercero en el lado Norte que sirve de límite; los tres cauces tienen en general una dirección de Oeste-Este. El arroyo del lado Norte se llama “Río de Chingueretería”; sus aguas provienen de una parte del deshielo de las nieves perpetuas y otras de los pocos manantiales en forma de arroyos que se le unen en su recorrido. El arroyo que pasa por el centro del Campo se llama “Río Cotzala” y es el de mayor importancia debido a su corriente permanente y por su mayor amplitud y magnitud. Las aguas del Cotzala provienen del deshielo de las nieves perpetuas. El tercer arroyo, llamado “Hueyatitla”, queda en el extremo Sur del Campo, y se une con el de Cotzala a una altitud de 2860 m; su dirección es

SW-NE. En épocas de lluvias el Hueyatitla crece mucho y adquiere una corriente de considerable magnitud y peligro. Las aguas de estos arroyos junto con la de los ríos Turín, Calzingo, Ottatla, San Lucas, Tlanalapa y Coyotzingo, van a dar al río Atoyac, que es un afluente del “Río Balsas”. (May Nah, 1971; Hernández, 1976).

Relieve

El terreno es muy accidentado como en toda la Sierra Nevada, con elevaciones, barrancas y cañadas profundas. El área que ocupa el CEF tiene una pendiente media de 30 a 40 %. Presenta tres barrancas de considerable profundidad que en algunas partes llegan hasta los 200 m de profundidad y con innumerables cañadas secundarias con pendientes de hasta 80% con pequeños acantilados. La orientación de estas barrancas y acantilados es en general de Este-Oeste, observándose pequeñas desviaciones, que tienen una influencia directa con la distribución de las diferentes asociaciones de coníferas. La exposición en general es Este, Noreste y Sureste, con algunas áreas hacia el Sur (Figura 2).

En el CEF se presentan varios llanos; los principales son identificados como Zacateotlalpa, Manga, Majadas, Chamec y Texcoco (Figura 2). También hay cerros de altura considerable como el Ocotepec localizado al sur oeste que alcanza los 3,840 msnm, así como barrancas primarias de gran profundidad, como las de los ríos Hueyotitla, Chingeretería y Coatzala. La zona norte del CEF puede considerarse la menos accidentada, ya que presenta algunas cañadas de poca profundidad pero accesibles a diferencia de la zona sur que presenta cañadas con profundidades que llegan de los 200 m, lo que en ocasiones las hacen inaccesibles por la presencia de acantilados.

Clima

Dentro del campo se localizan dos estaciones meteorológicas (Figura 2), una en el llano de Majadas (zona ecotonal de *Pinus hartwegii* y *Pinus montezumae*) a una altitud de 3,300 msnm la cual empezó a funcionar en el año de 1966. La otra estación se encuentra en las inmediaciones del área semillera y de la matarrasa denominada “7 norte” a una altitud de 3,085 msnm, dentro de la zona predominancia de *Pinus montezumae*.

El clima de la estación "7 norte" pertenece al tipo (Cw) de acuerdo a la clasificación de Köeppen, modificada por García presentando la formula climatológica C(w2) (w) (b') (i')g, que corresponde a un clima subhúmedo semifrío, con verano fresco largo lluvioso. La temperatura oscila entre los 5 y 7 °C y pertenece al tipo Ganges, ya que el mes más caliente se presenta antes de Junio.

La temperatura media anual es de 10.7 °C, registrándose los valores más bajos en los meses de Enero, Febrero y Diciembre y los mas altos en Abril, Mayo y Junio. La temperatura media del mes más caliente es de 12.9°C. Por otra parte, la precipitación anual promedio es de 815 mm siendo los meses más lluviosos de Junio a Septiembre, y los más secos de Noviembre a Marzo.

En la estación de Majadas, el clima corresponde al C(W2) (w)(b1)(i1)g, denominado templado subhúmedo con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos y semi-frío con verano fresco largo, (con poca variación de temperatura) tipo Ganges. La temperatura media anual es de 8.4 °C; la precipitación media anual de 1.216 mm y la humedad relativa media de 33 a 57%. Los vientos dominantes van del Suroeste al Noroeste; en promedio se presentan 110 días de heladas y nevadas esporádicas.

Vegetación

En el CEF, San Juan Tetla existen cuatro asociaciones vegetales dominadas por árboles: bosque de *Pinus montezumae*, bosque de *Pinus hartwegii*, bosque de *Abies religiosa* y bosque de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. Cada una de estas asociaciones, está constituida principalmente por una especie arbórea; sin embargo, se encuentran otras especies de árboles acompañantes.

La vegetación secundaria se encuentra en la parte más perturbada del bosque y en algunos lugares en donde los incendios han destruido el potencial de regeneración de la vegetación primaria. En esta zona se pueden encontrar especies como *Ceanothus coeruleus*, *Satureja macrostema*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Eupatorium glabratum*, *Eupatorium pazcuarensis*, *Senecio spp.* y *Silva spp.* entre otras.

A continuación se describen de manera general los tipos de vegetación dominante:

1. Bosque de *Pinus montezumae*: se localiza en laderas y planicies principalmente, con diferentes exposiciones y en pendientes de 10 a 68% de inclinación. Su límite altitudinal inferior se presenta en los 2700 msnm (fuera del límite inferior del campo), donde se encuentra mezclado con *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. ayacahuite* var. *veitchii*. Su límite altitudinal superior son los 3300 msnm donde empieza a dominar el *P. hartwegii*, con el cual frecuentemente llega a formar ecotono junto con la comunidad de *Alnus firmifolia*. En los bosques de *Pinus montezumae* los individuos más altos alcanzan hasta 30 m y llegan a formar masas puras entre los 3000 y 3300 msnm.
2. Bosque de *Pinus hartwegii*: localizado en suelos profundos o someros crece sobre las laderas de cerros y lomas con diferentes exposiciones, pero con mayor frecuencia en las expuestas al sur. Sus límites altitudinales van de 3300 a 4000 msnm donde se encuentra

limitada por la vegetación alpina pero puede encontrarse también algunos árboles pequeños y aislados hasta 4100 msnm o un poco más. Se asocian con *P. montezumae*, *Abies religiosa* y *Alnus firmifolia* y forman masas puras a partir de los 3500 m de altitud. Esta distribución tan claramente delimitada hace del *Pinus hartwegii* el único bosque de pinos que se diferencia claramente con ayuda de imágenes de satélite de los bosques de otras especies de pino como el *P. ayacahuite* y el *P. montezumae*.

3. Bosque de *Abies religiosa*: restringido a las barrancas y cañadas, con exposiciones orientadas principalmente al Norte. Se encuentra entre los 2800 a 3600 msnm. La humedad ambiental en los bosques de oyamel es la más elevada de la zona debido a que penetra poca luz. Los bosques de oyamel pueden formar masas puras y estar asociados con *P. hartwegii*, *P. montezumae* y *P. ayacahuite* var. *veitchii*.
4. Bosque de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*: está asociado con *Abies religiosa* y *P. montezumae* principalmente, llegando a mezclarse con *P. hartwegii*, *P. Teocote*, *Alnus firmifolia* y *Quercus laurina*. Rara vez llega a formar grandes masas puras. Sus límites altitudinales están entre los 2700 y los 3350 msnm. El *P. ayacahuite* se localiza en pendientes que varían desde 15 a 60% y se observa más comúnmente en exposiciones hacia el norte.
5. Zacatonal: Se encuentra en las partes más planas o y está formado por la asociación de gramíneas. La más abundantes son: *Stipa ichu*, *Muhlenbergia macroura*, *Muhlenbergia quadridentata*, *Cinna poaeformis*, *Piptochaetium fimbriatum*, *Calamagrostis tolucensis*, *Festuca amplissima*, *Agrostis tolucensis*, *Poa annua* *Brachypodium mexicanum*.

Luego de 15 años de haberse establecido el campo experimental de San Juan Tetla, la vegetación original de *Pinus montezumae* presenta poca o ninguna regeneración. Con la invasión de *Abies religiosa* y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, como consecuencia de la eliminación de incendios y pastoreo en el CEF (Rodríguez, 1996).

Planteamiento del Problema

Problemática forestal de México

La superficie forestal de México se estima en 141'745,169 ha, lo que representa 72% del territorio nacional. La superficie arbolada del país suma poco mas de 56 millones de has, de las cuales 54% corresponde a bosques y 46% a selvas. 58% de la superficie arbolada son bosques y selvas cerrados y 42% bosques y selvas de formación abierta, además de que casi 50% de la cobertura vegetal del país presenta algún tipo de degradación (SARH, 1994 citado en CONABIO, 1998)

Del total de la superficie forestal del país, aproximadamente 109'172,229 ha (77%) tienen condiciones adecuadas de vegetación y suelo para la producción sostenida de madera y productos forestales no maderables. De éstas, 20.6% requiere de algún tipo de trabajo de restauración debido a que están degradándose por erosión, incendios, plagas u otros factores y el 6% se encuentra dentro de áreas protegidas (SARH, 1994 citado en CONABIO, 1998).

El sector forestal en México es un sector poco explotado de manera legal, ya que no se cuenta con la tecnología y la mano de obra especializada para la explotación de tan importante sector. Aunado a esto el desconocimiento de la calidad de un bosque o la capacidad productiva de los terrenos forestales generan una mala aplicación de métodos de manejo maderable en bosques. En México hay extensas áreas de bosque que carecen de un manejo técnico adecuado, debido a que se usan métodos anacrónicos (INIFAP, 1997).

El manejo de los recursos forestales requiere del conocimiento de las especies que los conforman, para con ello tener bases sólidas para determinar la producción de los mismos

(Rodríguez y Ortiz, 1982). Es necesario enfocar estudios que permitan conocer los factores bióticos y abióticos que afectan la productividad de las especies, y así realizar predicciones precisas de su comportamiento al manejar la producción forestal.

Calidad de sitio

Uno de los componentes principales que contribuyen al manejo de un bosque es el conocimiento de la calidad de sitio, ya que influye directamente en el crecimiento de los rodales forestales. La calidad de un sitio es el resultado de la combinación de los factores climáticos, edáficos y biológicos que afectan la capacidad productiva de una especie en particular (Ambrosio, 1990). El clima, topografía y estructura del suelo, son los principales factores de sitio que influyen de una manera directa en el crecimiento de las especies forestales (Hart, 1996).

La calidad de sitio se ve afectada por la erosión y sedimentación del suelo. Los suelos altamente erosionados son aquellos que tienen una abundancia de sedimentos y de arena muy fina, bajas cantidades de materia orgánica y de arena gruesa, además de una estructura granular muy fina. Estos factores influyen directamente en su sistema hidrológico, provocando baja permeabilidad y la pérdida de nutrientes. Actividades como la tala de árboles, quema del ramaje, fertilización forestal y aplicación de pesticidas influyen de manera considerable en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Índice de sitio

Una forma de clasificar y calificar la calidad de sitio es mediante el índice de sitio; éste se determina para cada especie bajo el supuesto de que la altura de los árboles dominantes y codominantes del sitio expresa la máxima altura alcanzable, viéndose escasamente afectada por la densidad del rodal (Spurr y Barnes 1982).

El índice de sitio es una medición indirecta de la calidad de un sitio, que se realiza a partir de la generación de curvas de crecimiento en altura; estas curvas representan el comportamiento de esta variable durante la vida del rodal en diferentes sitios (Bojorges, 1990). Las curvas se derivan de las medidas de altura de los árboles y la edad. Una familia de curvas de índice de sitio consiste en la construcción de un sistema de curvas de crecimiento en altura, que representan dicho comportamiento; el resultado es un patrón con símbolos cualitativos o números asociados para propósitos de referencia (Bojorges, 1990).

Factores climáticos que influyen en la calidad de sitio

El clima es originado por la interacción de la radiación solar y la capa atmosférica que rodea la tierra. Del sol proviene la luz que hace posible la fotosíntesis y el calor que calienta el aire y el suelo. Los movimientos atmosféricos afectan la distribución del aire, el cual es un factor primordial que interviene en el desarrollo del árbol (Spurr y Barnes, 1982). El clima, al estar influenciado por la humedad, la precipitación, los vientos y la temperatura, genera espacios territoriales con condiciones ambientales particulares de humedad y luminosidad. Estos espacios que se generan, se presentan en tamaños diferentes y aunados con la topografía y el tipo de suelo crean variaciones a los elementos que conforman el clima. De esta manera se

pueden tener grandes unidades territoriales homogéneas, pero también fuera y dentro de ellas se pueden presentar microclimas o microambientes específicos (May, 2001).

Luz

La radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra afecta la distribución y el crecimiento de un bosque; puesto que la fotosíntesis está afectada por la cantidad y calidad de luz. A muy bajos niveles de irradiación, la fotosíntesis se produce en un grado tan bajo que no alcanza para utilizar todo el dióxido de carbono desprendido por la planta en la respiración; bajo tales condiciones el dióxido de carbono es expedido por la planta. Sin embargo, a medida que la radiación se incrementa, se detecta un aumento proporcional de la fotosíntesis. Este aumento se combina con otros factores para convertirse en limitante del crecimiento, pudiendo llegar a interrumpirlo. A irradiaciones muy altas, factores secundarios tales como la alta respiración, la deficiencia de agua que causa el cierre de los estomas y la excesiva acumulación de productos fotosintéticos en las hojas, pueden dar como resultado un descenso en los niveles de fotosíntesis (Pritchett, 1986).

Temperatura

La temperatura se puede ver alterada por la influencia directa de la cantidad de radiación solar que se recibe, por la capacidad del suelo para transferir calor y por el movimiento del aire. La temperatura del suelo tiene un efecto marcado sobre la germinación de las semillas, el crecimiento y desarrollo de las raíces y en la absorción del agua por las plántulas (May, 2001). Si la temperatura del suelo se encuentra por debajo del punto de congelación, el agua puede desplazarse en estado líquido y su obtención es relativamente fácil;

si la temperatura es demasiado alta o demasiado baja se limitará el crecimiento del árbol. Las temperaturas mínimas del suelo para la mayor parte de las especies se encuentran entre 0° y 5° C, el óptimo entre 10° y 25°C y el máximo entre 25° y 39.5° C (Hocker, 1984).

Humedad

La humedad del suelo es la cantidad de agua que puede estar disponible en cualquier época. Está relacionada directamente con la precipitación y la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración. Esta humedad se ve afectada por la localización fisiográfica. Las pendientes orientadas al sur experimentan temperaturas mayores que las orientadas al Norte. Por lo tanto, la evapotranspiración potencial de la vegetación es mayor sobre las pendientes orientadas al sur (Harold y Hocker, 1984).

La humedad es indispensable en el inicio de la germinación, ya que por medio de ésta se favorece el debilitamiento de la cubierta del embrión. Posteriormente se hidrolizan las sustancias de reserva de la semilla y se eleva su contenido de humedad, lo cual activa los mecanismos biológicos que requiere para su germinación. Las semillas de las coníferas al ser liberadas por el cono contienen alrededor del 10% de humedad; para la germinación se requiere por lo menos del 45% de humedad (May, 2001).

Factores abióticos que influyen en la calidad de sitio

pH

El pH es utilizado para expresar el grado de acidez del suelo. En los suelos forestales el pH tiene una ligera variación con los cambios estacionales alcanzando su máximo en el otoño. La mayor parte de los suelos forestales van de moderada a extremadamente ácidos, como

resultado de la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la capa de mantillo y la consiguiente lixiviación de las bases del suelo mineral superficial. Esto tiene como consecuencia que los tipos de vegetación que crecen sobre un suelo tienen la probabilidad de tener una influencia notable sobre la acidez del suelo debido a diferencias inherentes en el contenido de bases de su mantillo. Los suelos de las coníferas tienden a ser más ácidos que los suelos que contienen especies de maderas duras, puesto que las hojas de las coníferas y su mantillo tienden a tener un menor contenido de bases (Pritchett, 1986).

Los efectos directos visibles de la acidez del suelo sobre el crecimiento de los árboles son el resultado de los efectos indirectos sobre las condiciones del suelo tales como la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes.

Nutrientes

Los árboles forestales requieren los mismos elementos para su crecimiento y reproducción que otras plantas superiores, pero debido a la naturaleza conservadora de la recirculación de nutrientes, a los hábitos de arraigamiento profundo de la mayoría de los árboles, así como a la capacidad de las raíces micorrizales para extraer algunos nutrientes mínimamente disponibles en el suelo, la deficiencia de nutrientes no es común en los bosques no perturbados. El nitrógeno y el fósforo son los dos elementos menos abundantes en los suelos forestales; se han reportado deficiencias de fósforo en los bosques de coníferas. Los suelos deficientes en fósforo se fertilizan normalmente cerca de la época de su plantación para estimular el crecimiento de los árboles jóvenes (Pritchett, 1986).

Topografía

La topografía de un terreno es particularmente importante ya que influye directamente con su tipo de clima, y por ende con su tipo de vegetación. Hart (1993) señala una estrecha relación entre la altitud y la producción primaria, estableciendo que a mayor altitud la producción tiende a decrecer. La topografía condiciona al suelo en su profundidad y limita el desarrollo de su perfil, además de afectar la estructura y textura. Todo en su conjunto influye sobre el desarrollo y el grado de productividad de un bosque (Spurr y Barnes 1982).

Cuando la superficie del terreno es demasiado convexa tiende a estar expuesta a fuertes vientos, sujeta a la erosión y desgaste. Las superficies cóncavas hundidas tienden a estar protegidas de los fuertes vientos, sujetas al drenaje de aire frío. La elevación condiciona al terreno en su orientación con respecto al sol y al viento; las elevaciones mas pronunciadas así como las más suaves reciben menos insolación, y por ende otros factores como la temperatura del aire y del suelo, la precipitación y humedad también se ven afectados por la radiación solar (Spurr y Barnes 1982).

Exposición

La exposición se refiere a la orientación que las plantas tienen con relación al sol y al viento. En el hemisferio Norte las exposiciones Sur reciben una mayor intensidad de luz, los terrenos suelen presentar condiciones de menor humedad, que pueden ser adversas para el establecimiento de muchas especies. Cuando al tipo de exposición del terreno se le suma otro factor, como pendientes pronunciadas, las condiciones son diferentes en comparación con sitios en la misma exposición pero con pendientes bajas (May, 2001).

Factores bióticos que influyen en la calidad de sitio

Densidad de la vegetación

La densidad de la vegetación en el bosque es importante para el crecimiento y la supervivencia de las especies no tolerantes. Sin embargo su influencia sobre los cálculos de productividad del bosque puede ser secundaria cuando la altura del estrato dominante se toma como criterio para medir la calidad del bosque. No obstante, la densidad excesiva de vegetación limita bastante la productividad de algunas especies forestales (Pritchett, 1986).

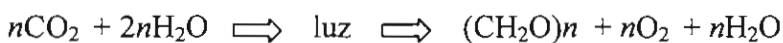
Acumulación de mantillo

El mantillo de los bosques está formado por las plantas muertas que llegan periódicamente a la superficie del suelo. La acumulación de este material tiene profundos efectos físico-químicos sobre la dinámica de los suelos forestales, ya que sirve para mantener los procesos vitales de diversos microorganismos y también interviene en el transporte de agua dentro del suelo. La acumulación anual de mantillo que se deposita sobre el piso forestal varía con la edad del rodal, la composición de especies y el clima. Se considera que la caída anual de las hojas comienza a fines del verano cuando se acumula algo de follaje durante el clima seco. En el otoño la caída de las hojas aumenta y al iniciarse el invierno la mayor parte de las especies que tienen follaje caduco se encuentran desfoliadas y han caído las agujas más antiguas de las coníferas (Hocker, 1984).

Producción primaria

En los ecosistemas terrestres se denomina productividad primaria a la habilidad de las plantas para capturar energía en forma de radiación solar y convertirla en biomasa; esta biomasa representa la energía potencial que está disponible para los heterótrofos. No obstante que las plantas necesitan de energía para satisfacer sus demandas metabólicas, no toda la energía capturada por ellas vía fotosíntesis está disponible para la comunidad heterótrofa. Por ello es necesario hacer una distinción entre la Productividad Primaria Bruta (PPB) y la Productividad Primaria Neta (PPN) (Barbour *et al.*, 1999).

La Productividad Primaria Bruta es la energía solar capturada por las plantas y convertida en energía química mediante la fotosíntesis, en dicho proceso las plantas tienen la capacidad de transformar el dióxido de carbono y el agua en carbohidratos y oxígeno, elemento que es esencial para la vida en el planeta. La fotosíntesis se expresa mediante la siguiente fórmula (Bonan, 2002):



La Productividad Primaria Neta es equivalente a la Productividad Primaria Bruta menos la Respiración. Generalmente la PPN se expresa en unidades de biomasa; estas unidades siempre se ajustan a unidades de área y tiempo. La biomasa se refiere al peso seco de las plantas. La biomasa producida por la vegetación tiene diferentes destinos; por ejemplo, puede ser aprovechada directamente por los macroconsumidores (herbívoros). Sin embargo

cuando esta biomasa es depositada en el suelo en forma de mantillo es aprovechada por los microconsumidores (detritívoros), por medio de los cuales es mineralizada y reincorporada al ciclo de los nutrientes.

Métodos para estimar la producción primaria

Dentro de los métodos directos para estimar la producción primaria en un ecosistema terrestre están las mediciones directas de los organismos vegetales como son la altura y el diámetro (Barbour *et al.*,1999). La altura manifiesta su incremento generalmente en la primavera, con una mayor intensidad las primeras semanas, después el crecimiento disminuye y en algunas especies se interrumpe. La variación en el incremento de los árboles individuales se debe a su diferente reacción al fotoperiodo y a las diferentes condiciones ambientales. El incremento del diámetro presenta una periodicidad diurna, esto es debido a que las plantas experimentan por transpiración una gran pérdida del agua que absorben del suelo, lo que da lugar a una disminución del aumento en volumen, mientras que la absorción del agua durante la noche da lugar a un crecimiento en el diámetro del árbol (Klepac, 1983).

A partir de la obtención en campo del diámetro y la altura, se pueden inferir otros parámetros como son el volumen, biomasa y área basal. Con estos datos se pueden construir modelos de crecimiento y curvas de índice de sitio.

El volumen se obtiene utilizando diversas fórmulas matemáticas, dependiendo de la figura geométrica a la cual se asemeje el tronco de la especie muestreada. Para las coníferas de los bosques templados es recomendable utilizar la fórmula del paraboloide:

$$V = \pi d^2 H / 8.$$

donde: π = constante matemática equivalente a 3.1416

d^2 = diámetro del tronco elevado al cuadrado

H = altura

La biomasa se infiere a partir del volumen del tronco, el cual se multiplica por el peso específico de la madera de la especie con la cual se esté trabajando.

Existen muchas formas de construir un modelo dependiendo del grado de complejidad y aproximación a la realidad que se desea. Los modelos de crecimiento son una herramienta útil que sirve para describir el crecimiento y la productividad de una especie dada, con ello los especialistas en manejo de recursos tienen la probabilidad de predecir la producción a futuro y explorar, en el caso de los bosques, diferentes opciones silvícolas (Amezcuza y Valderrama, 1996)

Existen muchas maneras de modelar en la naturaleza y por ello resulta difícil elaborar una clasificación definitiva de los modelos de crecimiento. Las técnicas de modelaje son diversas y versátiles y tiene aplicación en una gran cantidad de proyectos, es por ello que no tienen patrones específicos de clasificación, construcción, grado de complejidad realismo y definición (Amezcuza y Valderrama, 1996)

Los modelos logísticos describen bien las fases iniciales del crecimiento, el cual es expresado mediante una curva sigmoideal, en esta curva se observa un rápido incremento al principio de las etapas de desarrollo y después de un punto de inflexión, que corresponde al máximo en la curva de crecimiento, la curva continúa ascendiendo para disminuir lentamente

y de manera asintótica hacia un punto final, dicho modelo presenta la siguiente formula general (Brown y Rothery, 1993):

$$N(t) = \frac{K}{1 + e^{-r(t-h)}}$$

donde: K = crecimiento máximo

r = tasa intrínseca de crecimiento

t = intervalo de tiempo

h = velocidad de crecimiento relativa al tiempo medio de la fase exponencial.

Algunos valores de referencia de producción primaria

Mitsh y Ewel (1979) reportan valores de biomasa para ciprés en un rango de 3.1-38.0 Kg/m²; Rai y Proctor (1986) obtienen datos de biomasa para bosques lluviosos, mediante el calculo del peso seco de una fracción del tronco (un disco aproximado de 5 a 8 cm de grosor); estos valores oscilaron en un rango de 42 a 65 Kg/m².

Para bosques boreales, Pare y Bergeron (1995) reportan biomاسas de 17.3 y 29.4 Kg/m²; estos valores se obtuvieron a partir del peso seco del tronco, ramas y follaje de 10 individuos de diferentes tamaños. Gower et al., (1992), mediante la determinación del peso seco de una fracción del tronco, obtuvieron valores de biomasa de 0.0238 – 36.900 Kg/m² para la conífera *Pseudotsuga menziesii*.

Indice de Area foliar

El dosel es la estructura de la planta en la cual se realizan los procesos fotosintéticos. Varía en una escala espacial de milímetros a kilómetros, y en una escala temporal de

segundos a décadas (Campbell y Norman, 1989); el dosel abarca una superficie determinada denominada área foliar.

El índice de área foliar (IAF) es la cantidad de follaje por unidad de área (m^2/m^2), y es una de las variables biofísicas que se utiliza como parámetro en la construcción de modelos ecológicos, hidrológicos y climáticos. Los valores del IAF varían en función de la especie vegetal, de las condiciones de temperatura y humedad, así como de la edad del organismo.

Este índice puede ser medido a través de métodos alométricos, directos e indirectos. Los métodos alométricos se basan en una regresión lineal entre el grosor del tronco y el área foliar, el grosor es estimado mediante métodos no destructivos; la principal dificultad de este método es que se necesita calibrar para cada especie o ajustar para cada ambiente (Campbell y Norman, 1989). Los métodos directos consisten en determinar el volumen del dosel mediante metodologías destructivas; este método no es recomendable cuando se requiere trabajar con especies forestales, cuyo dosel es de un tamaño considerable.

Los métodos indirectos para calcular el índice de área foliar se basan en las características físicas y ópticas del dosel (Campbell y Norman, 1989). Dentro de estos métodos se incluye el cálculo mediante fotografías hemisféricas. Evans y Coombe (1959) desarrollaron por primera vez la teoría y metodología para usar este tipo de fotografías para las estimaciones de luz en los bosques; más tarde, Anderson (1964) modificó la técnica incluyendo la estimación de luz directa y difusa.

En 1996, Ter Steege desarrolla el programa *Winphot*, con el cual se puede estimar el índice de área foliar a partir de fotografías hemisféricas. Estas fotografías deben ser tomadas con la ayuda de una cámara reflex y un lente de *ojo de pescado* el cual posee una visión de 180°. Las fotografías son una proyección caracterizada por la relación directa entre la distancia

radial y el Cenit; el programa calcula el índice de área foliar a partir de la apertura de 5 ángulos a 7°, 23°, 38°, 53° y 68°.

Los cálculos del índice de área foliar en el *Winphot* son sensibles a los cambios en las coberturas sobre todo cuando éstas son muy densas; también cuando hay una gran cantidad de troncos y ramas en las fotografías. Una de las desventajas de utilizar este programa cuando se requieren cálculos de IAF para bosques templados, radica en que este programa está calibrado con datos de vegetación tropical.

Indices de Vegetación

Con el fin de conocer la estructura y composición de la vegetación se han desarrollado diversas técnicas a partir de medidas espectrales obtenidas por satélites, como son los índices de vegetación (Infocarto, 2003). Un índice de vegetación es un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad de la superficie terrestre a distintas longitudes de onda. Para obtener el índice se extrae de los valores de reflectancia la información relacionada con la vegetación minimizando la influencia de perturbaciones como son las relacionadas al suelo y a las condiciones atmosféricas (Gilabert, 1997). Jackson (1983) menciona que un índice de vegetación ideal es aquel particularmente sensible a la cubierta vegetal, insensible al brillo y color del suelo, y que es poco afectado por la perturbación atmosférica, los factores medioambientales y las geometrías de la iluminación y de la observación.

Los índices de vegetación se basan en que todos los organismos fotosintéticos contienen uno o más pigmentos capaces de absorber la radiación visible que iniciará las reacciones fotoquímicas y fotosintéticas. Dos bandas del espectro, la azul (430nm) y la roja

(60nm), muestran la cantidad de energía absorbida por las plantas; en contraste la banda del infrarrojo cercano (750-1100nm) actúa de forma inversa. La mayor absorción del rojo y azul, junto con la fuerte reflexión del infrarrojo cercano es la diferencia espectral de la respuesta de toda la vegetación y ha sido usada durante mucho tiempo como forma de diferenciación de las superficies con y sin vegetación (Infocarto, 2003).

Por lo tanto, los índices de vegetación consisten en combinar las bandas espectrales, cuya función es realzar la contribución de la vegetación en función de la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores como suelo, iluminación y atmósfera. (Infocarto, 2003).

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Dentro de los numerosos índices de vegetación que se han desarrollado para caracterizar los doseles de la vegetación; el más utilizado es el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI), introducido por Rouse *et al.* (1974) el cual utiliza las bandas del rojo y del infrarrojo y al estar normalizado queda comprendido entre valores de -1 y 1. Este índice se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Donde:

NIR= Banda del infrarrojo cercano

R= Banda del rojo

El NDVI es el índice más utilizado y con él se puede encontrar una buena correlación con varios parámetros de la vegetación incluyendo el área foliar, biomasa, productividad y actividad fotosintética. Sin embargo este índice tiene limitaciones con la turbiedad atmosférica y el reflejo del suelo, lo cual influye directamente en el cálculo (Huete, 1988).

Cuando se utilizan este tipo de índices derivados de imágenes de satélite para analizar cambios en el tiempo, es indispensable que las imágenes pertenezcan a la misma época el año. En el caso de los bosques templados, sobretodo para el análisis de la producción arbórea, la época de secas (diciembre a mayo) es la óptima ya que la cubierta vegetal de los estratos herbáceo y arbustivo es mínima y podemos asegurar que la mayor parte de la información del sensor proviene de la superficie fotosintéticamente activa de los árboles perenifolios.

Objetivos

El objetivo general de la investigación fué desarrollar una metodología con el apoyo de imágenes de satélite para diseñar las actividades de ordenamiento en la región de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl. El procedimiento se debía diseñar para diferentes usuarios tales como planificadores, tomadores de decisiones, administradores de áreas naturales protegidas y organizaciones no gubernamentales.

Los objetivos particulares se desglosan de la siguiente forma:

1. Caracterizar las relaciones entre los factores limitantes del medio físico y la biomasa de las especies arbóreas dominantes.
2. Caracterizar la producción y la productividad primaria de las especies arbóreas dominantes.
3. Caracterizar las zonas que presenten un estado crítico con respecto a las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de las especies arbóreas dominantes.
4. Integrar una zonificación de unidades del paisaje basadas en calidad de sitio, dominancia y productividad de las especies arbóreas dominantes.
5. Integrar una zonificación de unidades de manejo basadas en las unidades de paisaje y los componentes para la toma de decisiones derivadas del análisis del sistema socioeconómico.
6. Elaborar un manual técnico para las diferentes unidades de manejo.
7. Establecer la estrategia a seguir para socializar la propuesta de zonificación así como el contenido y procedimientos del manual.

Hipótesis

Pregunta de investigación

¿ Cuáles son los principales factores (bióticos y abióticos) que determinan la distribución natural de los bosques de coníferas en la región de San Juan Tetla, y cuál es la influencia de la presión humana en esta distribución?

Hipótesis general

- a) La distribución de las especies de coníferas en la región de San Juan Tetla está relacionada con un gradiente de factores ambientales; específicamente las características químicas del suelo, la temperatura, la precipitación y la altitud.
- b) Esta relación está siendo perturbada por los diferentes tipos de uso del suelo en la región; específicamente los incendios, el pastoreo, la tala y la reforestación.

Hipótesis de trabajo

- a) El crecimiento y los procesos dinámicos de las poblaciones de coníferas han sido perturbados por la presión humana y como resultado el crecimiento y la estructura de las poblaciones en los bosques han sido afectadas por incendios incontrolados, pastoreo, tala y reforestación.
- b) La presión humana ejercida de manera diferenciada en los bosques de coníferas ha causado que la región se fragmente en diferentes unidades de suelo que tienen un potencial productivo diferente y por lo tanto requieren de diferentes aproximaciones para su manejo.

Metodología

Campo

El muestreo en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla se llevó a cabo desde abril del 2001 hasta marzo del 2003. Cada sitio se ubicó geográficamente con la ayuda de un geoposicionador (Garmin GPS 12CX).

Debido al difícil acceso en la zona sur alrededor del cerro de Ocotál así como en la parte norte cercana al río Chingueretería, la selección de los lugares de muestreo se dirigió hacia cubrir los bosques de coníferas: *Abies religiosa* en las cañadas de los ríos Cotzala y Hueyatitla, *Pinus hartwegii* en las partes altas del extremo poniente (arriba de los 3400 msnm) y los bosques de pinos en la parte central del CEF donde también se registraron sitios con vegetación mixta y *Alnus firmifolia*.

Tabla 1. Sitios muestreados por tipo de vegetación y de muestreo.

Tipo de vegetación	# sitios	Tipo de muestreo
<i>Abies religiosa</i>	30	Cuadrante
	6	Punto cuadrante
<i>Pinus hartwegii</i>	21	Cuadrante
	28	Punto cuadrante
Bosque de pino	13	Cuadrante
	44	Punto cuadrante
Bosque mixto	49	Punto cuadrante
<i>Alnus firmifolia</i>	13	Punto cuadrante

En 65 sitios se delimitaron cuadrantes de 20 x 20 m, cubriendo así una superficie de 400m² por sitio. Los 139 sitios restantes fueron obtenidos siguiendo el método de punto cuadrante (Gottam y Curtis, 1956) a lo largo de líneas de transecto orientadas

principalmente en dirección este-oeste siguiendo el relieve y ajustando la línea conforme la complejidad de la topografía lo requería. En la Tabla 1 se muestra el número de sitios muestreados para los diferentes tipos de vegetación y el tipo de muestreo utilizado.

El tamaño de cada punto cuadrante fue de 314.16 m^2 (Figura 3). Se registraron tanto el árbol que se encontraba más cercano al punto de intersección del cuadrante como los cuatro más cercanos al centro en un radio de 10 metros para cada uno de los cuatro cuadrantes formados por las regiones noreste, sureste, suroeste y noroeste (los árboles están representados en la Figura con el símbolo ●)

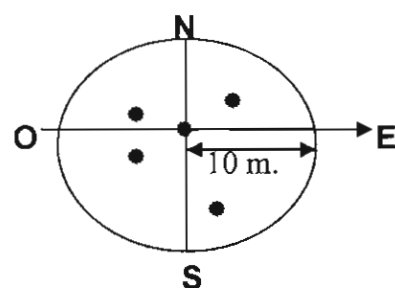


Figura 3. Punto cuadrante

Tabla 2. Clases de tamaño

clase	DAP
juveniles	menor a 15 cm
adultos	mayor a 15 cm

En cada sitio de muestreo se registraron los parámetros estructurales de los individuos: el diámetro del tronco con una cinta diamétrica y la altura con una pistola

Haga. Los individuos se separaron en clases de tamaño, con base en los criterios que se muestran en la Tabla 2. A los organismos juveniles se les midió el diámetro a la altura de la base (DAB) y la altura; a los adultos se les midió el diámetro a la altura del pecho y la altura.

Se midió la orientación de la pendiente con una brújula (Silva) y el porcentaje de la misma con una pistola Haga.

Debido a la gran extensión a cubrir, se seleccionó la comunidad de *Abies religiosa* para el análisis de factores abióticos al que se refiere el Objetivo 1 y para el cálculo del Índice de Área Foliar (IAF). Por ello, en este tipo de vegetación todos los sitios de muestreo fueron cuadrantes (30 en total) y, además de los parámetros anteriores, se midieron el pH y el porcentaje de humedad utilizando un potenciómetro (Kelway).

Asimismo en la zona de *Abies religiosa*, se colectó el mantillo de cuatro cuadrados de $30 \times 30 \text{ cm}$ dentro de cada cuadrante; se midió la profundidad y, con la ayuda de un cuchillo,

se extrajo todo el mantillo presente en dicha superficie, con la finalidad de obtener su peso seco en el laboratorio.

Se midió el porcentaje de cobertura vegetal para 3 estratos: rastrero, herbáceo y arbustivo utilizando la escala de Braun-Blanquet (Jongman, 1995) la cual propone 5 clases de coberturas (Tabla 3).

Tabla 3. Escala para estimar coberturas

Clase	Porcentaje
1	<5%
2	5-6%
3	25-50%
4	50-75%
5	>75%

En cada cuadrante de *Abies religiosa* se tomaron fotografías hemisféricas para la determinación del índice de Área Foliar (IAF) con una cámara reflex marca Nikon y un lente de ojo de pescado 180° marca Kenko utilizando película Fuji de ASA 200. Todas las fotografías se tomaron a la altura de 1.50 m con dirección al norte.

Gabinete

Los datos obtenidos en campo se integraron en una base de datos en el programa de computación Excel. Con ellos se procedió a realizar lo siguiente:

Cálculos de volumen y biomasa

Tabla 4. Peso específico

<i>Abies religiosa</i>	0.36gr/cm ³
<i>Pinus hartwegii</i>	0.40gr/cm ³
<i>Pinus ayacahuite</i>	0.42gr/cm ³
<i>Pinus montezumae</i>	0.42gr/cm ³
<i>Alnus firmifolia</i>	0.40gr/cm ³
<i>Quercus lauriana</i>	0.60gr/cm ³

Se calculó el volumen del tronco de cada uno de los individuos muestreados utilizando la fórmula del paraboloide. A partir de estos datos, se obtuvo la biomasa de los individuos multiplicando el volumen del tronco por el peso específico de la

madera de cada especie conforme a los valores que se indican en el Tabla 4 (Fuentes, 1998).

Mantillo

El mantillo extraído en campo se secó a una temperatura de 30°C. Posteriormente se pesó con la ayuda de una balanza de precisión de 5 Kg. (marca Swiss made), con el objeto de conocer el peso seco del mantillo contenido en cada sitio.

Índice de sitio

Los parámetros estructurales (diámetro y altura) de los individuos de *Abies religiosa* se ajustaron a un modelo logístico. La expresión de este modelo se aplicó por separado a los datos de cada uno de los 30 cuadrantes con la finalidad de obtener el índice de sitio para cada uno de ellos. Una vez obtenidas las 30 curvas se establecieron cuatro rangos de altura para generar una familia de curvas de calidad de sitio. Esta parte del análisis de datos se procesó en el software Sigma Plot Versión 4.01.

Con base en los 4 grupos formados, se realizó un análisis de varianza utilizando el software Statistica edición '99 para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los 4 índices de sitio y entre los sitios y las variables ambientales. El criterio de similitud se basó en la prueba Fisher.

Determinación del Índice de Área Foliar (IAF)

El IAF se determinó a partir de las fotografías hemisféricas, las cuales se procesaron en el programa de computación: Winphot 5 (Ter Steege, 1996).

Determinación del Índice de vegetación

Para la determinación del NDVI se procesaron las bandas 3 y 4 de la imagen de satélite Landsat 7 ETM, adquirida el 11-03-2002 con corrección geométrica. Utilizando el software IDRISI versión I32.22 se procedió a realizar la corrección radiométrica de manera que los valores de los números digitales fuesen valores de reflectividad. Posteriormente, se procesó la imagen para obtener los valores del NDVI utilizando una región de 9 píxeles (3x3) para cada punto muestreado.

Análisis de cambios en la vegetación

Se extrajeron los valores de NDVI de una imagen de 1991 y otra de 1997 de la misma forma que con la imagen del 2002. Estas imágenes ya habían sido corregidas radiométricamente. Se establecieron rangos de los datos extraídos para los 5 tipos de vegetación dominante de los 198 sitios con georeferencia (*Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*, *Alnus firmifolia*, bosque de pinos y bosque mixto). Haciendo un muestreo sobre la imagen del 2002 se añadieron las clases de suelo desnudo, pastos y bosque abierto. Por otro lado, debido a que la imagen de 1991 mostraba valores de NDVI más altos que los de los sitios muestreados, se añadieron dos clases de bosque denso. Posteriormente, se compararon los cambios de los valores de NDVI en el periodo de 1991 a 1997; de 1997 a 2002 y de 1991 a 2002.

Caracterización de zonas críticas y zonificación

A partir de los cambios en los valores de NDVI se hizo el análisis espacial para mostrar el grado de deterioro de la vegetación en términos de pérdida de NDVI. Las zonas críticas así establecidas se asignaron como zonas para realizar labores de reforestación. Por

otro lado, se utilizó un mapa de porcentaje de pendientes para establecer las zonas que pueden tener problemas de erosión por tener pendientes pronunciadas y pérdida de cubierta vegetal.

Resultados

Se muestrearon 204 sitios en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla (CEF) desde abril del 2001 hasta marzo del 2003. Seis de los sitios muestreados no fueron georeferidos por lo que no se utilizaron para el análisis de NDVI pero sí para el de biomasa y para generar los modelos alométricos; los 198 sitios restantes se ubican en la Figura 4.

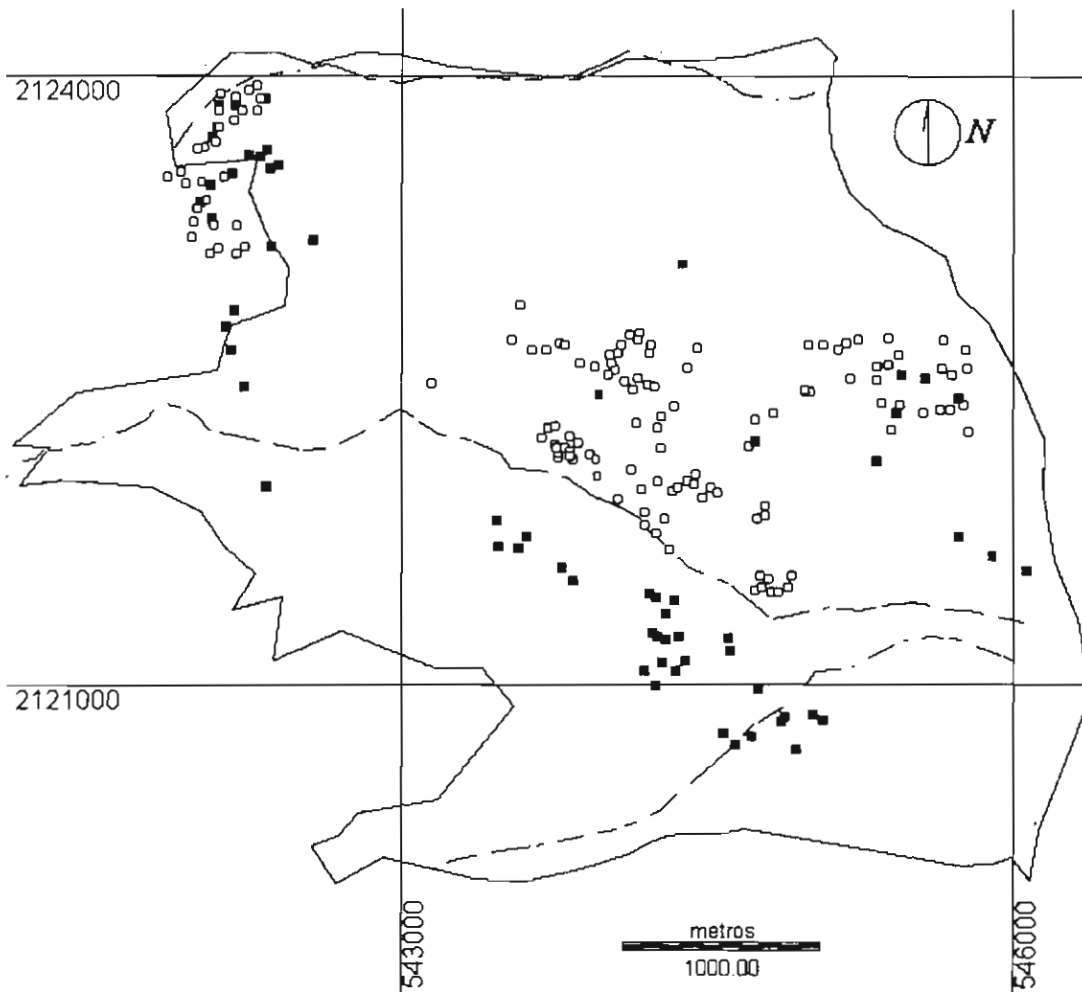


Figura 4. Localización de los puntos muestreados.
cuadrantes de 20x20 m ■ ; punto cuadrante ○

Se muestrearon 139 sitios utilizando el método de punto cuadrante cubriendo una superficie de 42.4 Km². Otros 23 Km² fueron muestrados en 65 cuadrantes dando un total de 6.84 has muestreadas lo cual representa el 0.45% de los terrenos del Campo Forestal Experimental San Juan Tetla. En el caso de las zonas de *Pinus hartwegii*, 22 sitios (45%) se localizan fuera de los límites del CEF debido a que parte de este tipo de vegetación se encuentra en zonas inaccesibles dentro del campo.

Modelos de alométricos

Los modelos alométricos generados para *Abies religiosa*, *Pinus ayacahuite*, *P. hartwegii*, *P. montezumae*, *P. patula* y *Alnus firmifolia*, se muestran en las Figuras 5 a la 10. En todos los casos el mejor ajuste correspondió a un modelo logístico y dentro de cada Figura se muestran las ecuaciones resultantes, el valor de R² obtenido y el numero de individuos que conforman la muestra.

Figura 5.
Modelo alométrico de
Abies religiosa

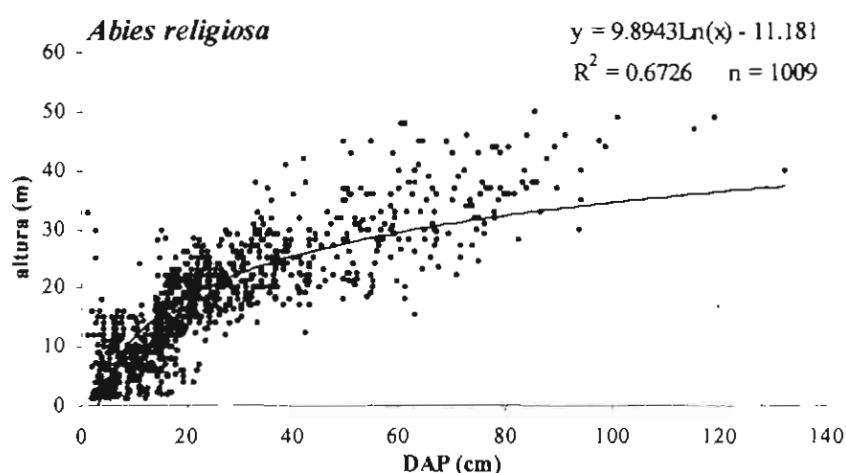


Figura 6.
Modelo alométrico de
Pinus ayacahuite

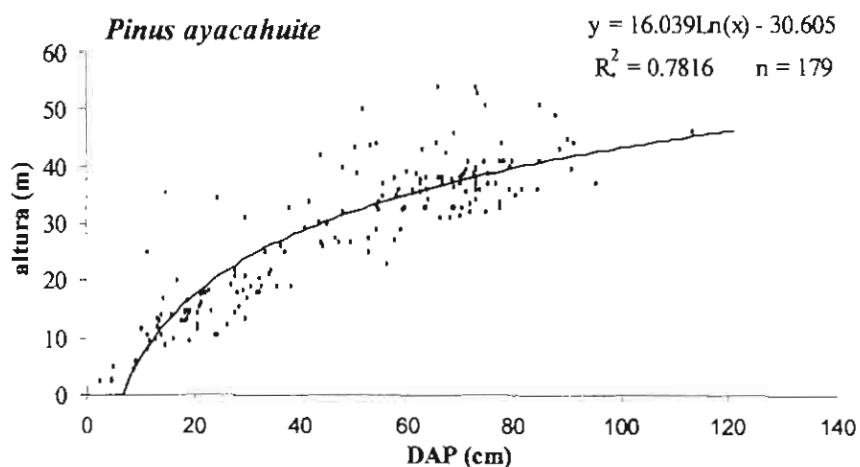


Figura 7.
Modelo alométrico de
Pinus hartwegii

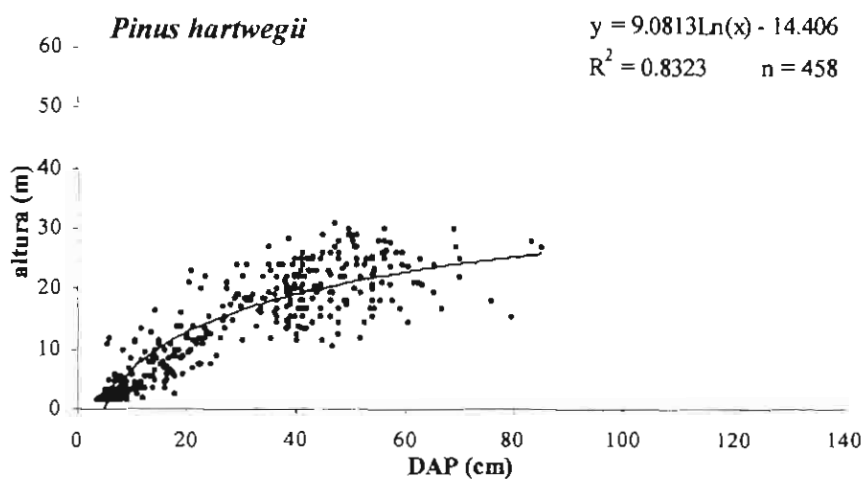


Figura 8.
Modelo alométrico de
Pinus montezumae

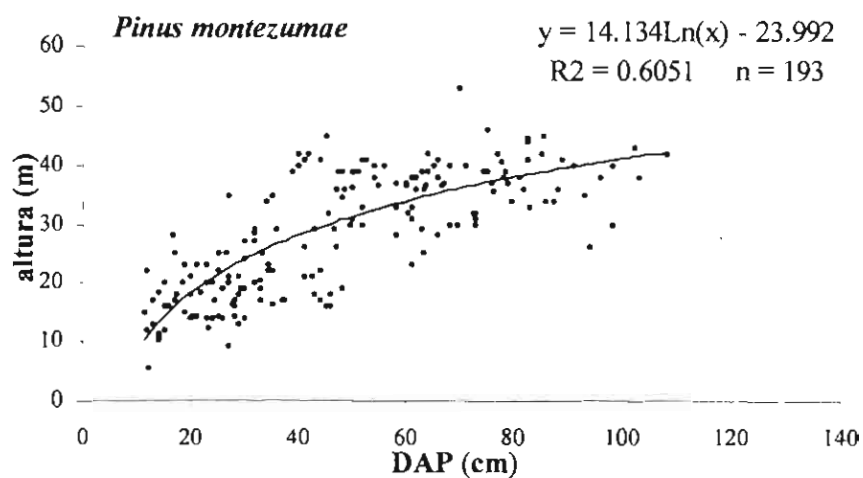


Figura 9.
Modelo alométrico de
Pinus patula

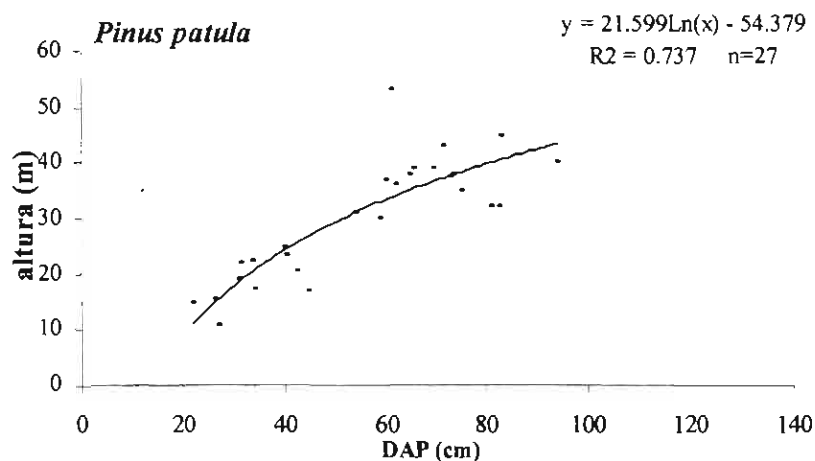
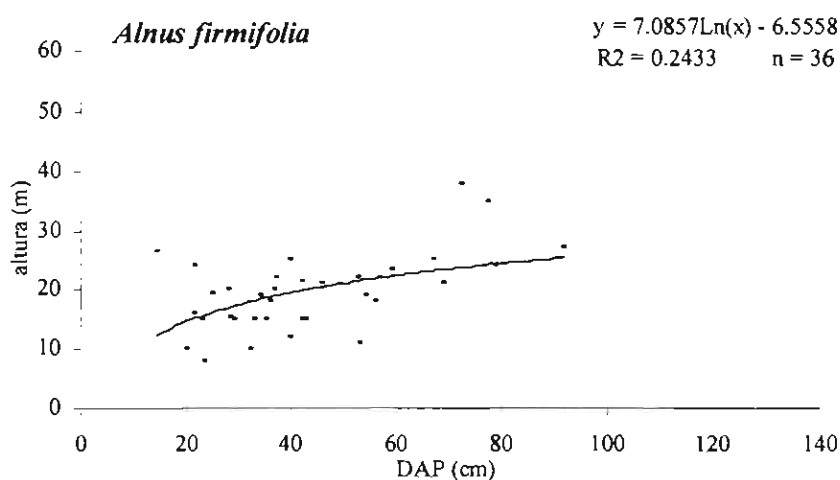


Figura 10.
Modelo alométrico de
Alnus firmifolia



Biomasa e índice de sitio

Los resultados de biomasa se agruparon para seis tipos de vegetación. En la Tabla 4 se muestra el número de sitios muestreados de cada uno y la biomasa en Kg/m^2 de cada uno de ellos.

Tabla 4. Número de sitios muestreados por cada tipo de vegetación y su biomasa promedio.

tipo de vegetación	número de sitios	biomasa Kg/m2	
		promedio	desviación
<i>Abies religiosa</i>	35	30.76	15.32
<i>Pinus hartwegii</i>	49	12.23	5.18
<i>Pinus ayacahuite</i>	33	24.91	17.98
pinos	24	36.11	21.66
mixto	43	17.87	10.85
<i>Alnus firmifolia</i>	12	11.03	8.48

Aplicando el modelo logístico a los 30 cuadrantes muestreados de *Abies religiosa* en la cañada de Cotzala, se separaron cuatro grupos con base en los valores de la altura esperada (Tabla 5). A partir de esos grupos se obtuvieron cuatro índices de sitio para la población como se muestra en la Figura 11. Estos cuatro grupos fueron utilizados posteriormente para el análisis de varianza con los parámetros ambientales como se describe en la siguiente sección.

Tabla 5. Grupos de alturas para los índices de sitio

grupo 1		grupo 2		grupo 3		grupo 4	
cuadrante	altura (m)	cuadrante	altura (m)	cuadrante	altura (m)	cuadrante	altura (m)
27	26,6621	12	30,9141	2	35,3078	30	37,335
18	26,9057	1	31,2688	29	35,9671	10	37,5603
24	26,9125	20	31,7285	9	35,9814	17	37,8719
25	27,0659	5	31,8181	7	36,1287	14	37,9979
23	28,8712	13	32,4926	28	36,1759	3	39,2541
22	29,58	26	32,6934			16	40,0351
		19	32,8058				
		4	32,9363				
		11	33,3538				
		8	33,4189				
		15	33,6674				
		21	33,8266				
		6	34,2544				

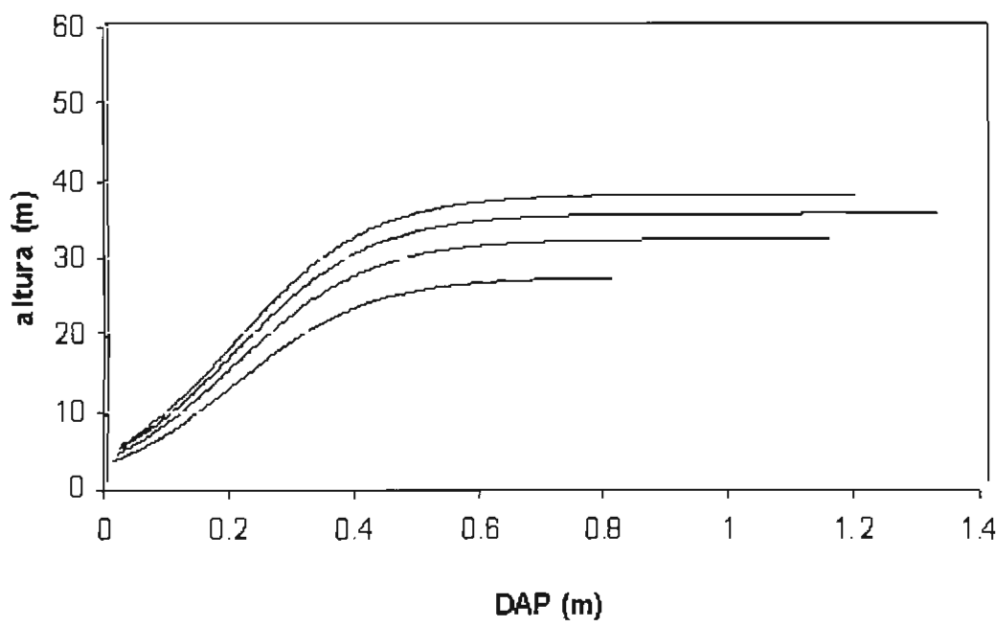


Figura 11. Indices de sitio de la población de *Abies religiosa* en la cañada de Cotzala.

Relación con factores ambientales

El registro detallado de todos los parámetros ambientales se hizo en 30 cuadrantes de 20x20 m en la zona de oyamel. En la Tabla 6 se muestran los datos de los factores físicos de cada cuadrante.

Tabla 6. Factores de sitio de cada uno de los 30 cuadrantes de *Abies religiosa*.

Sitio	pH	humedad	% de pendiente	orientación de la ladera (grados)	peso seco mantillo (Kg/m ²)	profundidad de mantillo (cm)	% rastreras	% herbáceas	% arbustos	biomasa (Kg/m ²)
1	6.65	9.75	23	232.5	0.52	6.75	18	35	3	40.93
2	6.80	6.50	31	190	1.16	7.75	60	18	3	17.86
3	6.50	16.25	29	237	0.77	7.50	60	85	3	54.32
4	6.80	6.50	58	311.25	0.66	8.75	60	85	3	46.14
5	6.70	9.75	48	230	1.44	5.88	35	60	3	6.54
6	6.50	16.25	18	265	0.61	1.88	18	35	18	42.93
7	6.75	6.50	21	275	0.91	4.38	60	18	18	59.72
8	6.70	9.75	10	300	1.02	11.25	3	18	35	47.55
9	6.80	6.50	65	120	1.38	5.08	85	3	3	26.23
10	6.70	9.75	38	50	0.69	5.35	18	85	18	57.44
11	6.70	9.75	40	30	1.25	4.38	18	18	60	31.65
12	6.65	9.75	40	60	1.28	7.13	3	3	3	32.53
13	6.60	13.00	30	10	0.84	6.13	3	3	85	31.55
14	6.65	9.75	32	50	1.41	8.50	3	18	85	44.48
15	6.75	6.50	40	105	0.75	5.00	3	3	85	46.02
16	6.85	3.25	40	20	2.16	10.13	3	3	85	64.97
17	6.95	0.00	31	85	1.44	4.93	3	18	35	73.62
18	6.45	16.25	0	0	0.51	2.88	35	35	60	20.24
19	6.65	9.75	46	314	0.63	4.70	18	35	35	32.76
20	6.70	9.75	41	113	1.00	5.63	35	18	18	12.25
21	6.45	16.25	33	330	0.81	6.63	35	35	35	42.79
22	6.90	3.25	23	180	0.66	5.93	60	35	35	32.99
23	6.55	13.00	22	82.5	1.38	7.75	35	18	3	21.64
24	6.75	6.50	12	135	1.44	9.75	18	3	3	12.05
25	6.80	6.50	27	45	1.88	9.00	18	18	3	16.91
26	6.70	9.75	20	315	1.53	8.00	85	18	3	33.20
27	6.85	3.25	23	135	1.00	4.75	35	35	3	26.85
28	6.70	9.75	27	135	1.56	7.88	35	3	3	22.69
29	6.70	9.75	27	135	1.19	7.75	35	3	3	9.95
30	6.80	6.50	27	120	1.46	8.50	3	35	3	45.81

Los valores de pH a través de los sitios de muestreo oscilaron entre 6.45 y 6.95, el porcentaje de humedad varió entre 1.6 y 17.6. El porcentaje de inclinación de la pendiente tuvo una variación entre de 0% y 65% , asimismo la orientación de la misma varió entre 0° y 330°. Al hacer un análisis de varianza, estos factores no presentaron diferencias

estadísticamente significativas a través de los sitios (pH $p=0.3985$, humedad $p=0.4216$, inclinación pendiente $p=0.0712$, orientación ladera $p=0.0743$).

El sitio 16 fue el que presentó la mayor cantidad de peso seco de mantillo (2.16 Kg./m^2) y el sitio 1 la menor con 0.52 Kg/m^2 . La mayor profundidad de mantillo se presentó en el sitio 8 (11.25 cm) y la menor en el sitio 6 (1.88 cm). En el análisis de varianza estos factores no presentaron diferencias estadísticamente significativas en los sitios muestreados (peso seco mantillo $p=0.2732$, profundidad de mantillo $p= 0.7672$).

El mayor porcentaje de cobertura del estrato rastrero se presentó en los sitios 9 y 26 y el menor porcentaje para este estrato lo presentaron los sitios 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 30. En el estrato herbáceo el mayor porcentaje lo presentaron los sitios 3, 4 y 10 y el menor lo presentaron los sitios 9, 12, 13, 15, 16, 24, 28 y 29. En el estrato arbustivo el mayor porcentaje se obtuvo en los sitios 13, 14, 15 y 16 y casi la mitad del total de sitios muestreados tuvieron porcentajes de coberturas menores al 3%. Los estratos hárbaceos y abustivos no presentaron diferencias estadísticamente significativas a lo largo de los sitios de muestreo (hébaceo $p= 0.1911$, arbustivo $p= 0.2665$). El estrato rastrero fue el único de todos los factores de sitio que sí presentó diferencias estadísticamente significativas con una $p= 0.038$.

Relaciones entre biomasa y los índices de vegetación

La posibilidad de extrapolar los valores de biomasa a los años de 1991 y 1997 mostrando así los cambios de biomasa en el tiempo, depende de hallar una buena relación entre la biomasa y el NDVI y el IAF. Sin embargo, como se muestra en las Figuras 12 y 13 esto no fue así.

Figura 12. Relación entre biomasa y NDVI

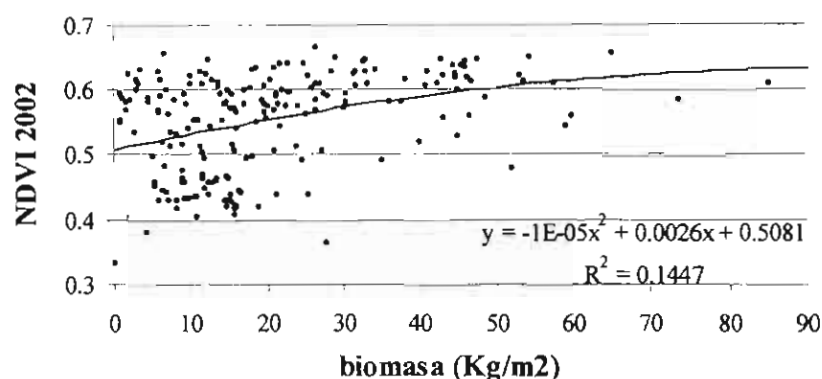
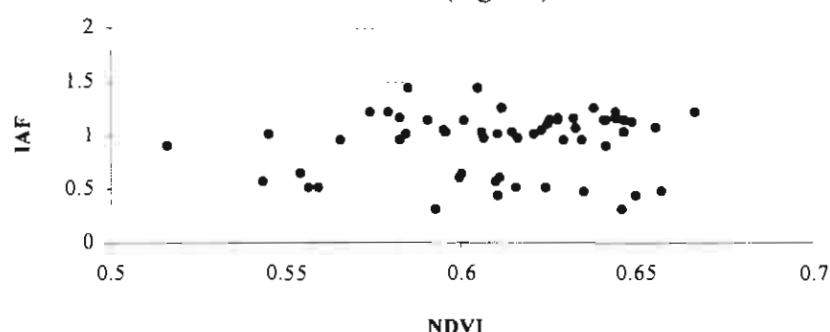


Figura 13. Relación entre NDVI e IAF



Clasificación

Con base en los promedios y rangos de valores de NDVI para los tipos de vegetación en la imagen del 2002, se establecieron 10 clases de uso de suelo como se indica en la Tabla 7. Los bosques de pinos son aquellos que contienen mezclas de *Pinus montezumae*, *P. ayacahuite* y *P. patula*.

Tabla 7. Rangos de NDVI establecidos para 10 clases de uso del suelo.

	bosque muy denso	bosque denso	<i>Abies religiosa</i>	bosque de pinos	bosque mixto	<i>Alnus firmifolia</i>	bosque abierto	<i>Pinus hartwegii</i>	pastos	suelo desnudo
desde	0.7100	0.6525	0.6133	0.5946	0.5884	0.5429	0.4746	0.4146	0.3639	0.0000
hasta	0.9999	0.7100	0.6525	0.6133	0.5946	0.5884	0.5429	0.4746	0.4146	0.3639

En el caso de la imagen de 1991, fue necesario separar la clase de bosque denso en dos subclases debido a los altos valores de NDVI en dicha imagen de modo que los mapas finales de uso de suelo contienen 10 clases y se muestran en las Figuras 14, 15 y 16.

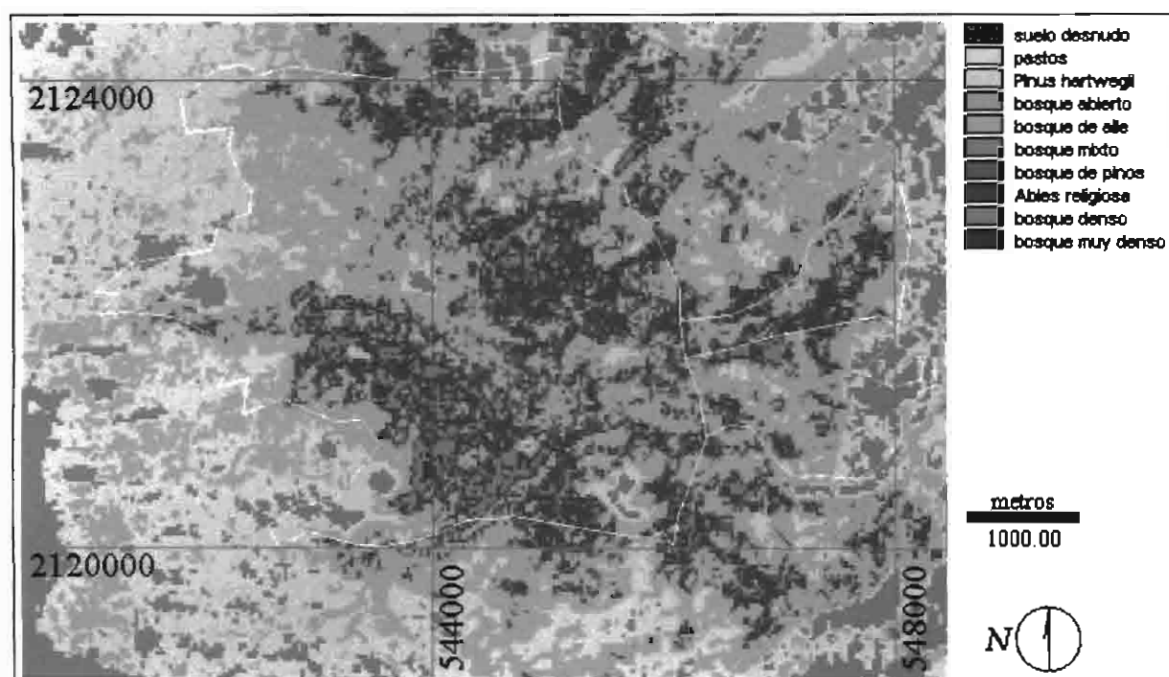


Figura 14. Vegetación en el año 2002

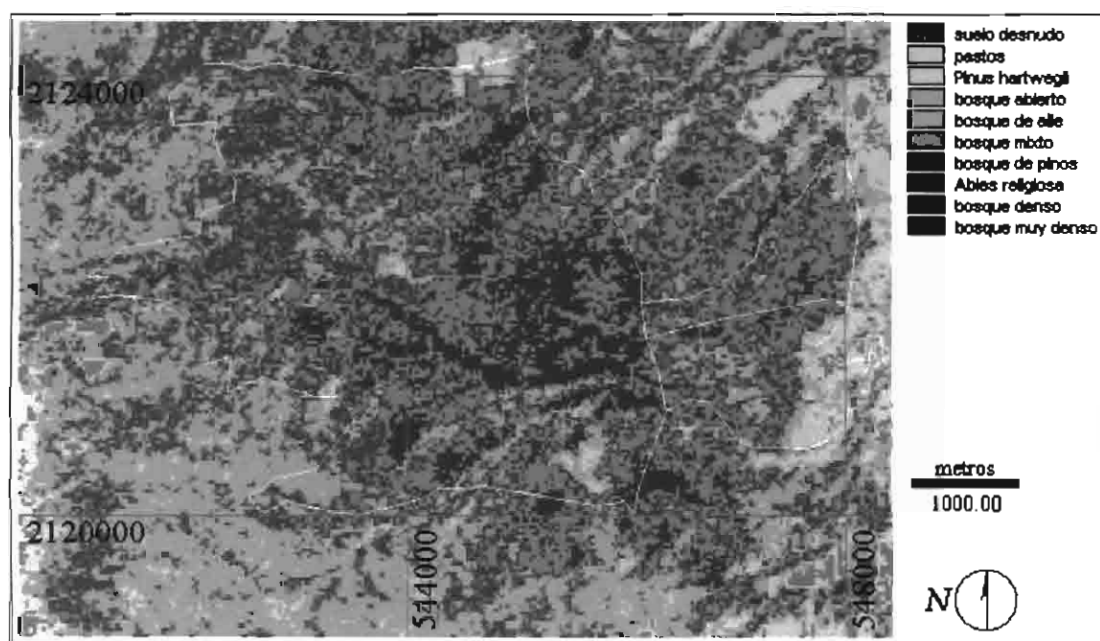


Figura 15. Vegetación en el año 1997

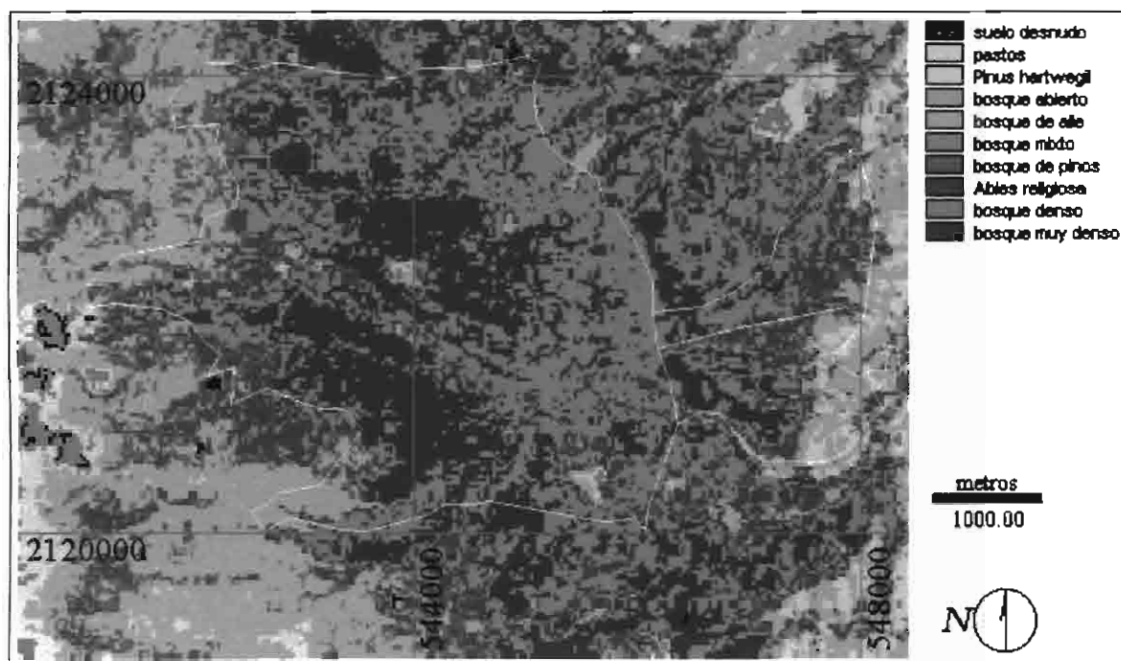


Figura 16. Vegetación en el año 1991

Análisis temporal

Respecto a su comportamiento en el tiempo, en las Figuras 17 y 18 se muestran de manera detallada los valores de NDVI para todos los sitios muestreados, agrupados por tipo de vegetación de los años 1991, 1997 y 2002.

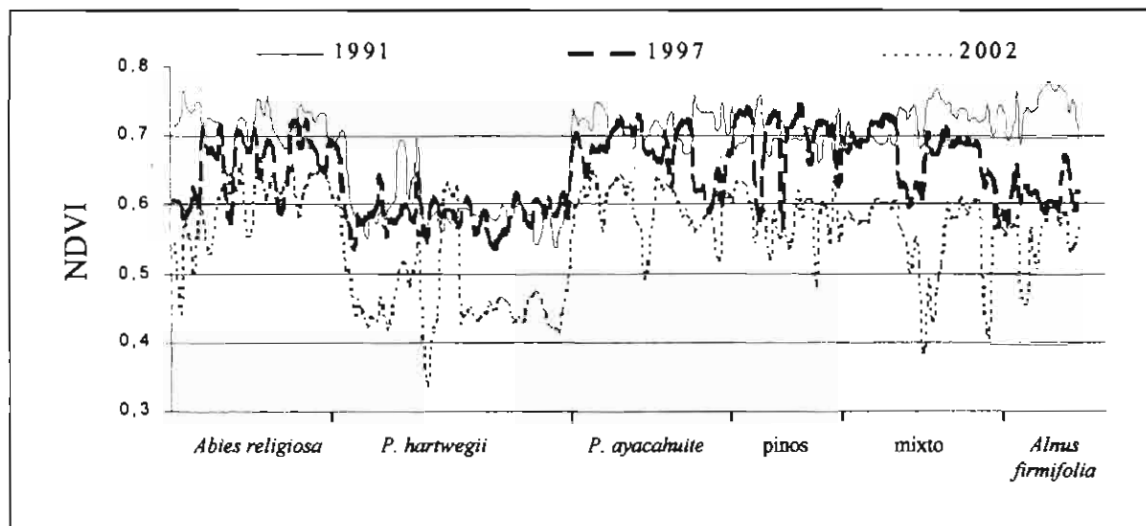
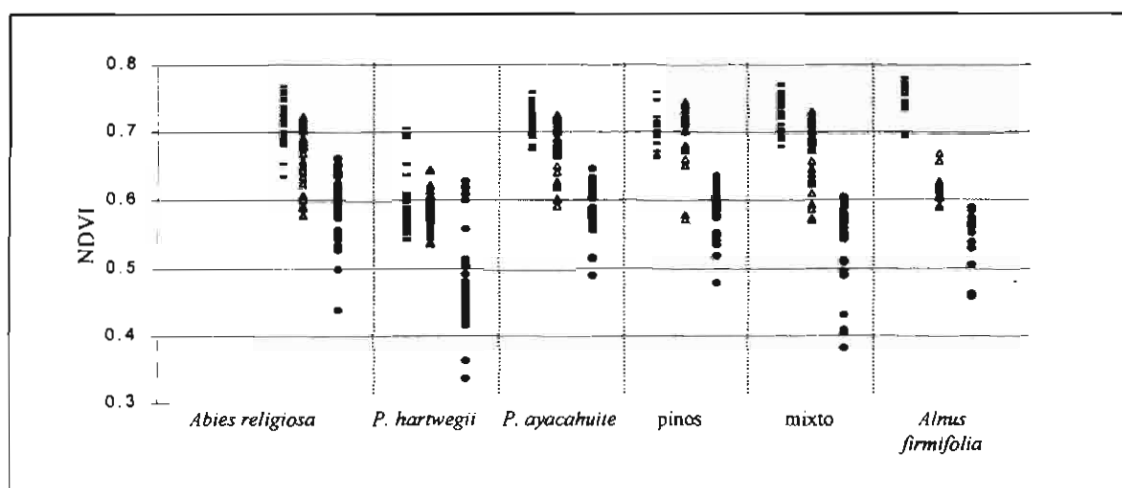


Figura 17. NDVI de 1991, 1997 y 2002 para los diferentes tipos de vegetación

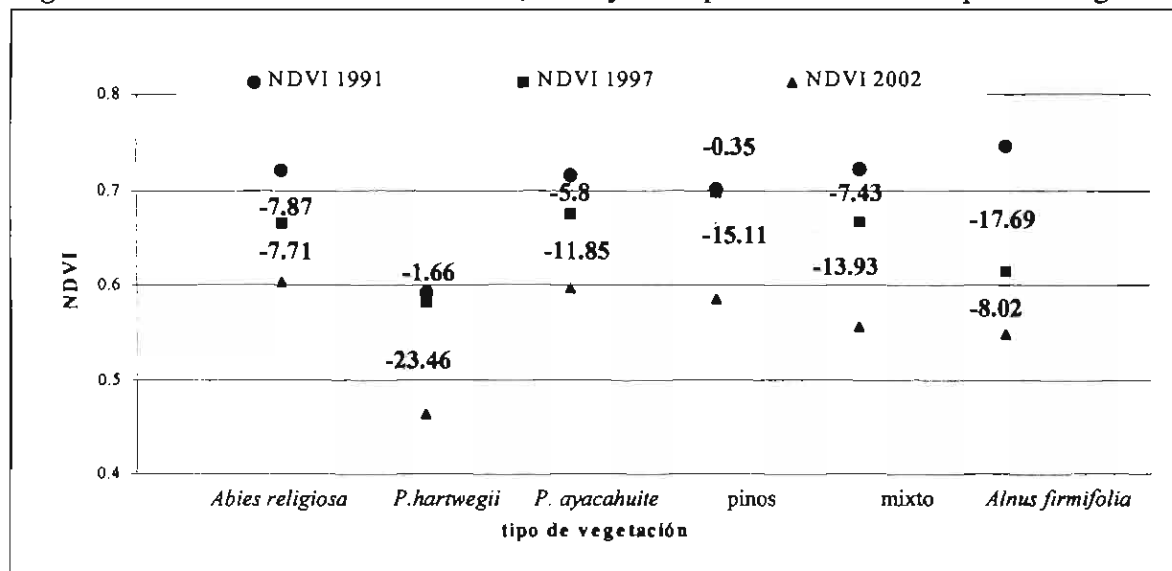
Figura 18. NDVI de 1991 (-), 1997 (Δ) y 2002 (●) para los diferentes tipos de vegetación.



2002 (●) para los diferentes tipos de vegetación.

Los valores promedio de cada tipo de vegetación en estas tres fechas se muestran en la Figura 19 donde se indica también el porcentaje de disminución en superficie fotosintéticamente activa de 1991 a 1997 y de 1997 a 2002. Las Tablas 8 y 9 muestran los valores respectivos.

Figura 19. Promedio de NDVI de 1991, 1997 y 2002 para los diferentes tipos de vegetación



y porcentaje de cambio de un periodo al otro.

Tabla 8. Valores promedio de NDVI por tipo de vegetación en 1991, 1997 y 2002.

tipo de vegetación	ndvi 1991		ndvi 1997		ndvi 2002	
	promedio	desviación	promedio	desviación	promedio	desviación
<i>Abies religiosa</i>	0.7198	0.0244	0.6649	0.0433	0.6035	0.0511
<i>Pinus hartwegii</i>	0.5918	0.0338	0.5828	0.0219	0.4629	0.0588
<i>Pinus ayacahuite</i>	0.7161	0.0218	0.6746	0.0391	0.5960	0.0380
pinos	0.7007	0.0226	0.6983	0.0458	0.5862	0.0399
mixto	0.7220	0.0261	0.6670	0.0440	0.5555	0.0605
<i>Alnus firmifolia</i>	0.7471	0.0267	0.6150	0.0233	0.5481	0.0441

Tabla 9. Porcentaje de disminución en superficie fotosintéticamente activa (NDVI).

Tipo de vegetación	% de cambio		
	1991a 1997	1997 a 2002	1991 a 2002
<i>Abies religiosa</i>	7.62	9.24	16.16
<i>Pinus hartwegii</i>	1.52	20.58	21.78
<i>Pinus ayacahuite</i>	5.80	11.65	16.78
pinos	0.35	16.05	16.34
mixto	7.62	16.71	23.06
<i>Alnus firmifolia</i>	17.69	10.87	26.64

Las Figuras 20 y 21 muestran el porcentaje de cambios en NDVI durante el periodo 1991 a 1997 y 1997 a 2002. La Figura 22 muestra el porcentaje de cambios del periodo total de 11 años (1991 a 2002).

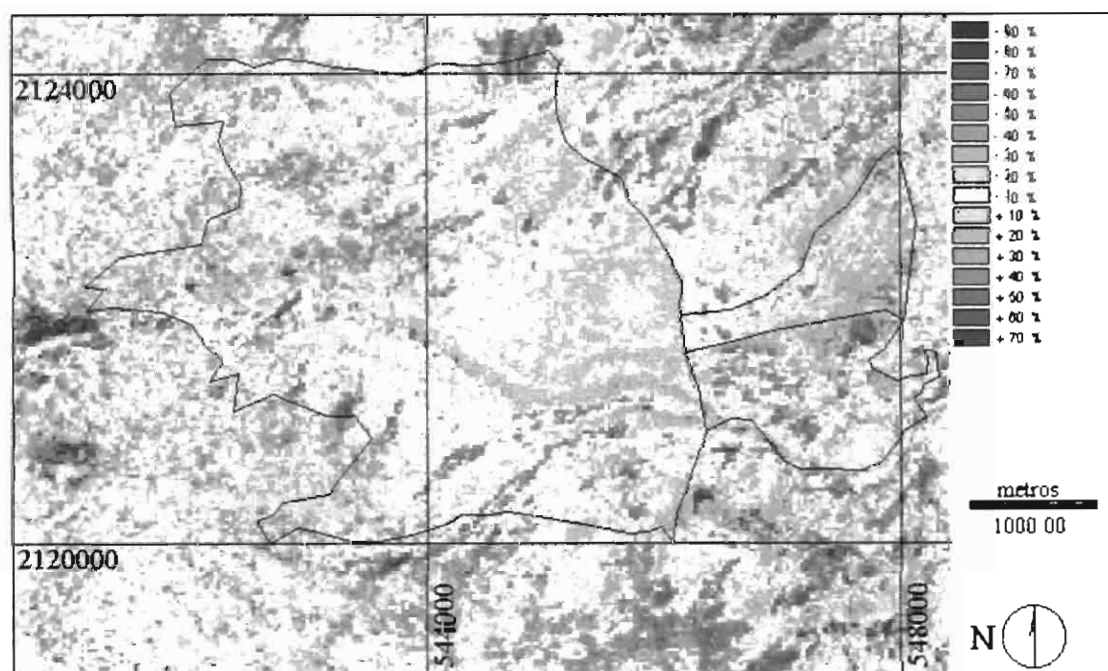


Figura 20. Porcentaje de cambio en el NDVI de 1991 a 1997

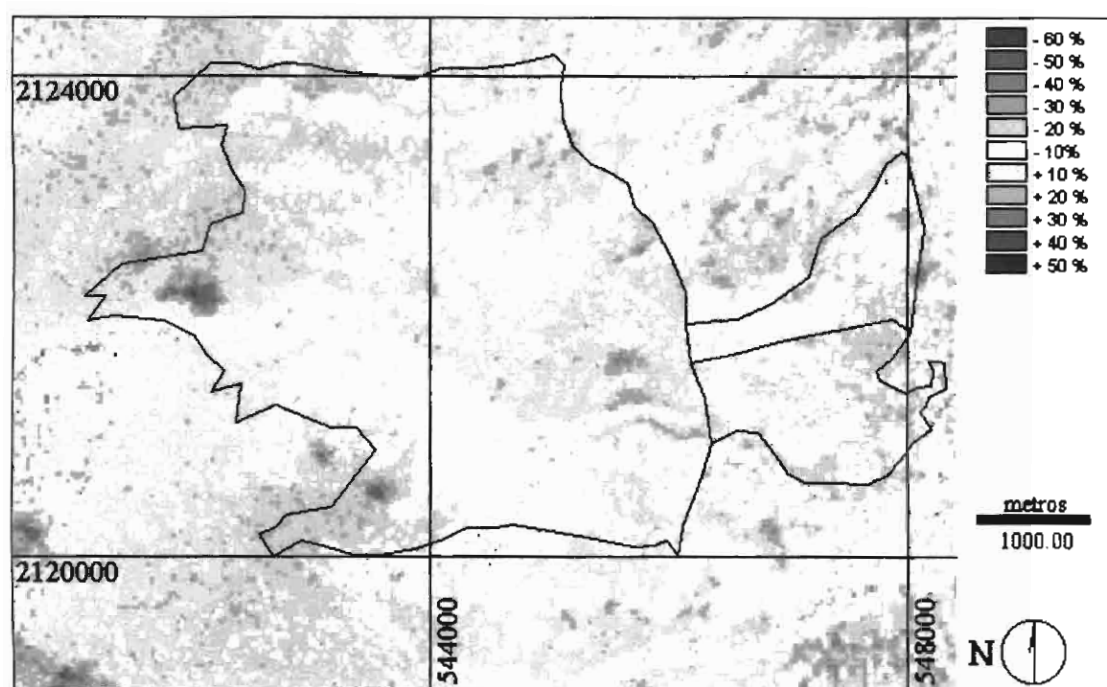


Figura 21. Porcentaje de cambio en el NDVI de1997 a 2002

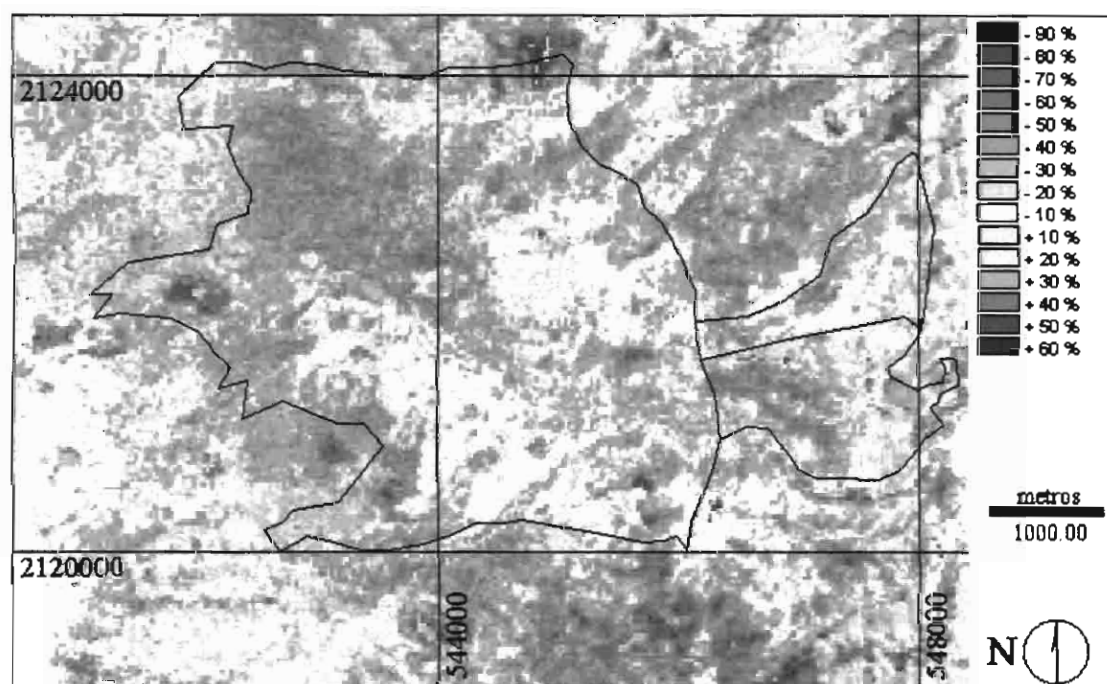


Figura 22. Porcentaje de cambio en el NDVI de1991 a 2002

Zonas críticas y zonificación para manejo

Con base en los resultados del análisis espacio-temporal del NDVI que se muestra en las Figuras 20, 21 y 22, se delimitaron las zonas en las que hay mayor disminución de la vegetación. En combinación con el mapa de pendientes se obtuvo el mapa que se muestra en la Figura 23 donde se señalan como zonas críticas aquellas en las que los valores de NDVI de 1991 al 2002 disminuyeron un 50% o más.

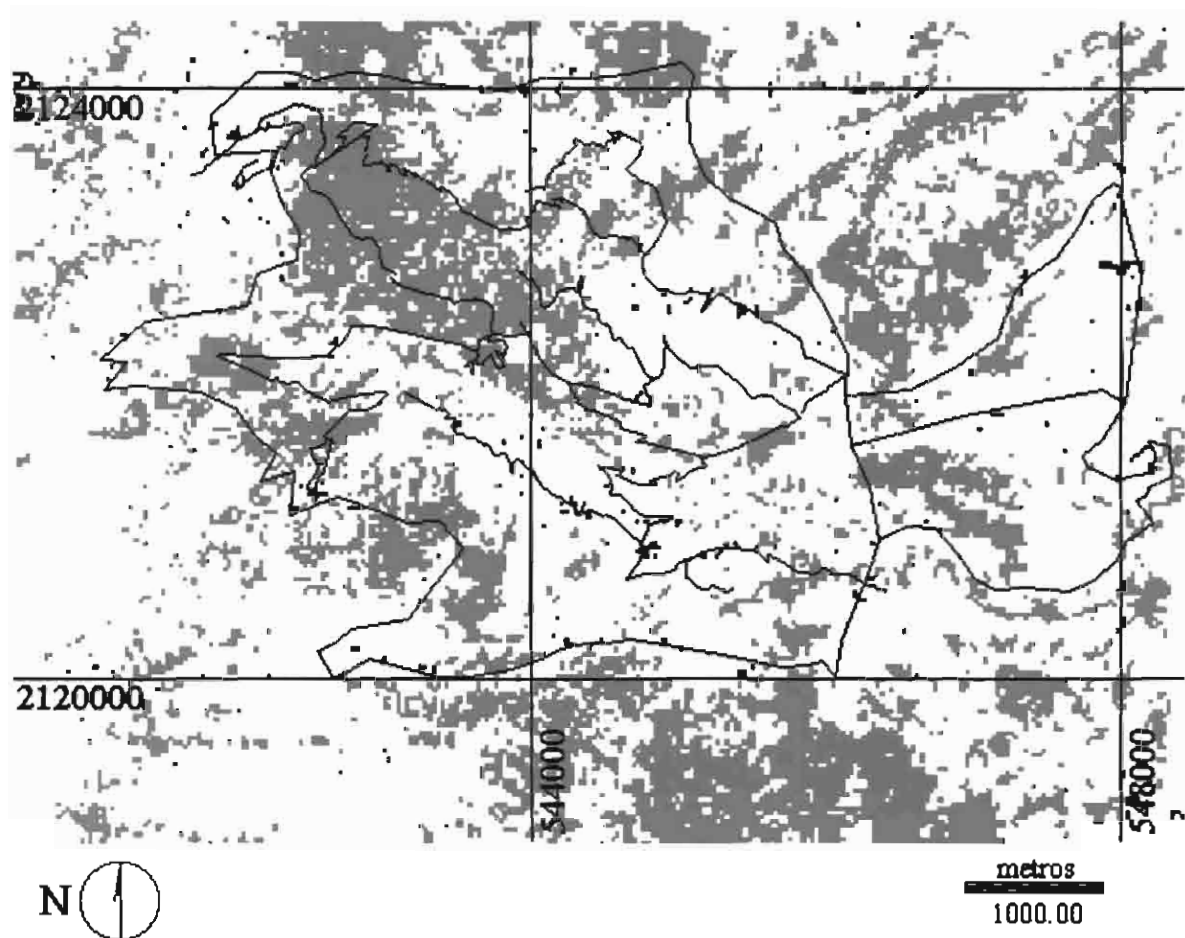
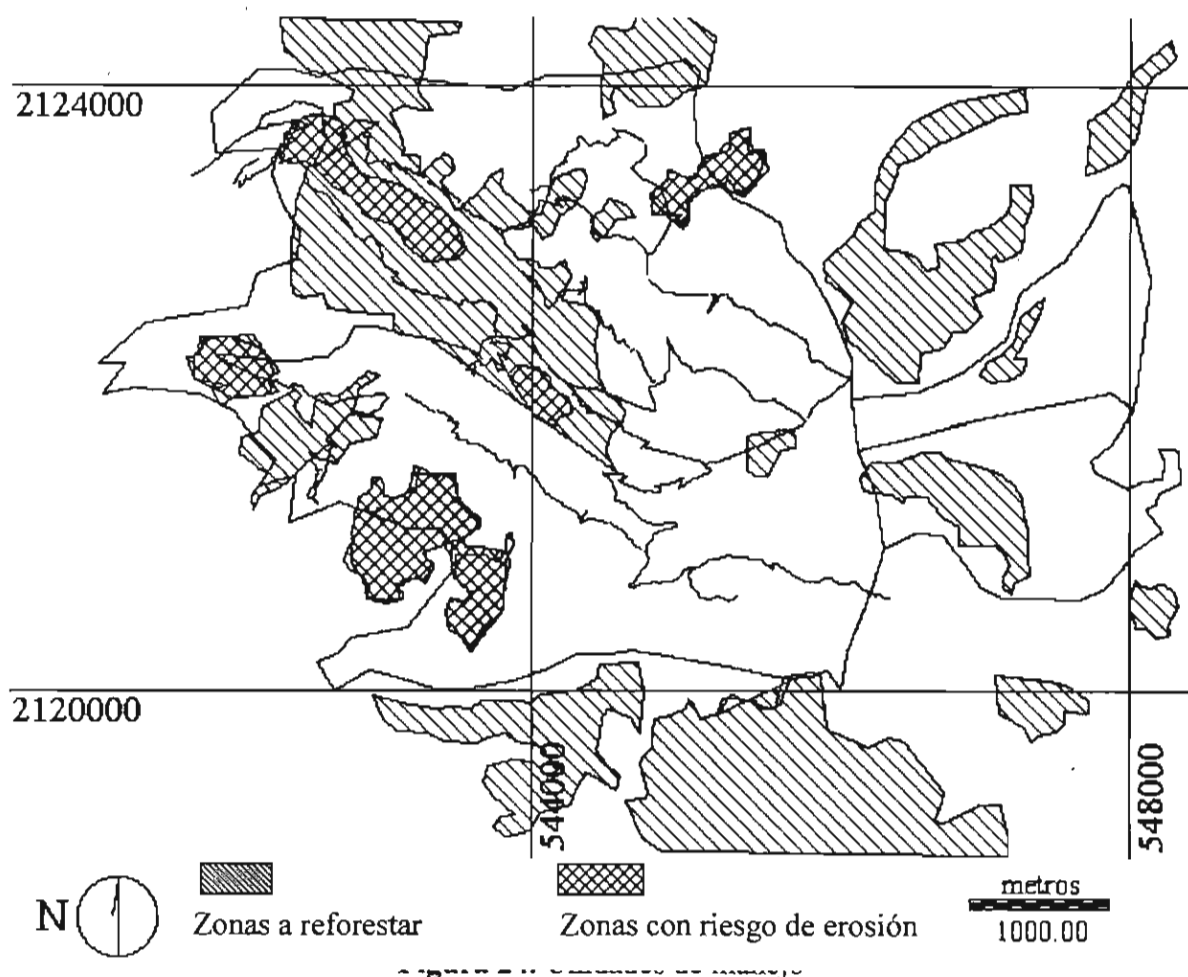


Figura 23. Zonas críticas

La zonificación basada en calidad de sitio no pudo ser realizada debido a que no se pudo establecer una correlación positiva entre las variables de sitio y la producción de las especies arbóreas dominantes, como se explica en los resultados del Objetivo 2. Sin embargo se generó una zonificación por tipos de vegetación (Figuras 14, 15 y 16).

Combinando las unidades de paisaje con las zonas críticas se generó una propuesta de unidades de manejo (Figura 24) que serán proporcionadas a las comunidades de la región.



Previo a la elaboración de manuales técnicos es necesario conocer de primera mano las circunstancias y condiciones en las que los bosques son utilizados. En el transcurso de la investigación se pudo observar el manejo de la zona boscosa con los siguientes resultados:

1. Existe un descontrolado e indiscriminado pastoreo de ganado vacuno proveniente principalmente del norte y sur de la zona pero también del ejido de San Agustín Atzompa.
2. Las actividades de saneamiento alteran de manera considerable el relieve al abrir una cantidad innecesaria de brechas. También destruyen de manera indiscriminada el sotobosque y reducen su potencial de regeneración. Por otro lado, los restos de la tala dejados en los sitios se convierten en una peligrosa reserva de combustible. Finalmente, las brechas modifican localmente la hidrología y la estructura de la cubierta vegetal.
3. No se observó ningún trabajo de reforestación en la zona durante el desarrollo de esta investigación pero se conocen las técnicas utilizadas por unas pláticas sostenidas con la Brigada de Forestal del ejido de San Juan Tetla. Al igual que en el caso del saneamiento, la forma en que se reforesta elimina completamente la cubierta del sotobosque.
4. Existe una gran cantidad de tala clandestina no solamente reciente; hay grandes cantidades de trozos de madera de árboles talados que nunca fueron retirados del lugar.

Discusión

Modelos alométricos

Las relaciones entre la altura y el diámetro a la altura del pecho representan buenos ajustes para un modelo logístico. Se resumen en la Tabla 11 las ecuaciones, los valores de R^2 para cada especie y el tamaño de la muestra. El modelo para *Alnus firmifolia* debe tomarse con reservas ya que los modelos alométricos para latifoliadas se obtienen con datos del grosor y largo de las ramas además de los del fuste que fueron los únicos que se utilizaron aquí. Los modelos de las coníferas nos

Tabla 11. Modelos de alométricos

muestran que el crecimiento de *Pinus patula* es el más rápido y que *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa* muestran el crecimiento más lento.

especie	ecuación	R^2	n
Abies religiosa	$y = 9.8943\ln(x) - 11.181$	0.6726	1009
Pinus ayacahuite	$y = 16.039\ln(x) - 30.605$	0.7816	179
Pinus hartwegii	$y = 9.0813\ln(x) - 14.406$	0.8323	458
Pinus montezumae	$y = 14.134\ln(x) - 23.992$	0.6051	193
Pinus patula	$y = 21.599\ln(x) - 54.379$	0.7370	27
Alnus firmifolia	$y = 7.0857\ln(x) - 6.5558$	0.2433	36

Por otro lado, a partir de las gráficas de los modelos alométricos se puede inferir que la estructura de tamaños de las poblaciones de coníferas muestran una baja regeneración de *Pinus ayacahuite*, *P. montezumae* y *P. patula* (Figuras 6, 8 y 9 respectivamente). Si bien es recomendable realizar estudios detallados de tasas de germinación, sobrevivencia y crecimiento, es muy probable que la baja cantidad de individuos jóvenes de estas especies sea consecuencia del pastoreo indiscriminado.

Biomasa e índice de sitio

Tabla 12. Valores de biomasa

tipo de vegetación	biomasa Kg/m ²	fuelle
ciprés	3.1-38.80	Mitsh y Ewel (1979)
bosques lluviosos	42 – 65	Rai y Proctor (1986)
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.0238 – 36.9	Gower et al., (1992)
bosques mixtos de New Hampshire	38.9	Botkin (1993)
bosques boreales	17.3 - 29.4	Pare y Bergeron (1995)
bosque tropical seco en Yucatán	22.5	Cairns et al. (2003)
<i>Abies religiosa</i>	2.17 – 20.81	este trabajo
<i>Pinus hartwegii</i>	0.4 – 9.6	este trabajo
<i>Pinus ayacahuite</i>	1.06 – 34.45	este trabajo
pinos	0.61 – 36.68	este trabajo
mixto	1.31 – 44.55	este trabajo
<i>Alnus firmifolia</i>	0.73 – 29.47	este trabajo

En la Tabla 12 se comparan los resultados de biomasa por especie obtenidos en este trabajo con otros estudios. Todos los datos son consistentes con esta comparación aunque los valores de *Pinus hartwegii* aparentemente son muy bajos; esto se debe a la baja densidad que tiene este tipo de bosque en el límite del Campo Experimental Forestal de San Juan Tetla. Por otro lado, tiene sentido que la mayor cantidad de biomasa se encuentre en los bosques mixtos pues en este tipo de vegetación las coníferas ocupan un espacio alto en la estructura de la comunidad y el aile crece muy bien a la sombra de los pinos aumentando la superficie cubierta por los dos tipos de árboles.

Respecto a la altura de los individuos por especie, el individuo más alto fue de *Pinus ayacahuite* (68 m); *Pinus montezumae* y *Pinus patula* registraron alturas de hasta 53 m y *Abies religiosa* de 50 metros. Las otras dos especies, *Alnus firmifolia* y *Pinus hartwegii* tuvieron sus individuos más altos de 38 y 31 m respectivamente. Sin embargo, cuando

analizamos la frecuencia de individuos para las clases de tamaño más altas, vemos que quedan ya muy pocos individuos en ellas. Es necesario profundizar en estudios demográficos de estas especies que incluyan también datos sobre la edad de los árboles.

Si bien no se pudo establecer en este trabajo la relación entre los factores abióticos y la producción de *Abies religiosa*, es indiscutible que ésta existe. En este caso, la escala a la cual se trató de establecer esta relación no fue la adecuada. Se recomienda retomar este tipo de estudios en regiones más amplias y para todas las especies de coníferas que contengan variaciones ambientales más amplias que las que se registraron en la cañada Cotzala para *Abies religiosa*.

Análisis temporal

Los valores de NDVI mostraron un contraste importante entre *Abies religiosa*, *Pinus hartwegii* y las otras coníferas. Esto es posible por la consistencia de los datos en cada tipo de vegetación. Los valores son relativamente altos aún para el año 2002 (de 0.4629 para *Pinus hartwegii* a 0.6035 para *Abies religiosa*; Tabla 8) pero la forma en que se han reducido en los últimos 11 años son una señal de alarma para la permanencia de estos bosques (por ejemplo, de 0.7220 en 1991 a 0.5555 para en 2002 bosque mixto; Tabla 8). Con relación a otros estudios, Senay y Elliott (2000) reportan valores de NDVI de 0.23 a 0.41 en bosques de Oklahoma y Joshi et al., (2001), estudiando bosques de coníferas en la India, reportan valores de NDVI de 0.2 a 0.4.

Si bien la relación entre NDVI y biomasa no mostró una buena correlación, en la Figura 12 se observa la tendencia que esperaríamos encontrar en la que el NDVI aumenta en relación con la biomasa.

Respecto al índice de área foliar, en la Tabla 13 se observa que los valores obtenidos para *Abies religiosa* son muy bajos si se comparan con los de la literatura y esto confirma el

Tabla 13. Valores de IAF

Autores	especie	IAF
Whittaker y Niering, 1975	<i>Abies concolor</i>	6.7-7.3
Snell y Brown 1978	<i>Abies grandis</i>	5.3
Waring et al. 1982	<i>Picea engelmanni</i>	4.1
Gholz, 1982	coníferas	3.9 - 9.9
Knight et al., 1985	coníferas	5.1- 6.3
Mc Leod y Running, 1988	coníferas	5.2-8.4
Hungerford, 1987	<i>Pinus contorta</i>	4
Running et al., 1989	coníferas	4 – 15
Bréda, 2003	coníferas	3.5-7.5
Este trabajo	<i>Abies religiosa</i>	0.31 – 1.44

hecho de que los resultados no son confiables. La causa de esto es que la luz en el momento de la toma de las fotografías era sumamente variable, teniendo en ocasiones cielos despejados y azules y en otros, blancos y con mucho reflejo por la alta nubosidad. Esto muestra que el programa WINPHOT debe ser calibrado utilizando un sensor de PAR (radiación fotosintéticamente activa) bajo el dosel al mismo tiempo que se toman las fotografías. Otro aspecto a considerar es el que no se haya podido cubrir toda la variedad de tipos de vegetación lo que seguramente habría aportado resultados en un rango más amplio de valores. A este respecto se recomienda realizar un muestreo extenso para calibrar el programa Winphot y, posteriormente, diseñar un registro que prevea, en la medida de lo posible, las condiciones atmosféricas adecuadas para la toma de las fotografías hemisféricas.

La Tabla 14 muestra el porcentaje de pérdida de superficie fotosintéticamente activa de 1991 al 2002. A la derecha, se indica el porcentaje sobre ese total de pérdida, que corresponde al periodo 1997 – 2002. Para la elaboración de la tabla se agruparon las tres

clases de pinos (*P. hartwegii*, *P. ayacahuite* y *P. montezumae*) en una sola. Es preocupante notar que el periodo de mayor disminución coincide con los años en los que el CEF estuvo ocupado. Los cálculos corresponden a una región de poco más de 30 km² con el CEF al centro. Tanto la información de la Tabla 10 como la síntesis de la Tabla 14 requieren de especial atención por parte de las

autoridades locales, estatales y federales responsables de la preservación de nuestros bosques.

Tabla 14. Porcentajes de pérdida de la cobertura vegetal

Tipo de vegetación	% en 11 años (de 1991 a 2002)	% de esa pérdida en los últimos 5 años
<i>Abies religiosa</i>	14.98	51.49
pinos	19.03	88.31
mixto	20.32	68.54
<i>Alnus firmifolia</i>	24.29	33.04

Zonas críticas y zonificación para manejo

En la Figura 24 se muestra la distribución espacial de dos tipos de zonas de manejo; aquellas en las que se debe reforestar y aquellas en las que además de lo anterior, se requieren trabajos de conservación de suelo. El manual técnico basado en esta zonificación (anexo), aborda estas propuestas.

La estrategia a seguir para socializar estos resultados y propuestas es la siguiente:

Se entregará copia de la Tesis y del Manual a:

- M.en C. Juan Quintanar, administrador de los CEF de San Juan Tetla y San Martinito, dependientes del INIFAP
- Presidentes municipales de San Lorenzo Chiautzingo y San Felipe Teotlalcingo
- Comisariados Ejidales de San Agustín Atzompa y San Juan Tetla

Se entregará copia del Manual a las secundarias y bachilleratos de San Lorenzo Chiautzingo y a los de la cabecera de San Felipe Teotlalcingo.

Al momento de la entrega en cada uno de estos sitios se solicitará que se programe una reunión para explicar las características del trabajo que se realizó y lo que se propone en el Manual. Se procurará coordinar esfuerzos para que las reuniones incluyan a varios sectores al mismo tiempo propiciando una interacción entre ellos. Esto facilitará establecer una base común de entendimiento y consenso sobre la valoración del problema.

Conclusiones

- 1) Para establecer de manera estadísticamente significativa las relaciones entre los factores limitantes del medio físico y la biomasa del *Abies religiosa*, se recomienda ampliar la zona de estudio de manera que se cubra un rango más amplio de los factores abióticos
- 2) Los modelos alométricos son buenos para todas las especies de coníferas y serán una referencia futura para estimaciones utilizando solamente valores de DAP.
8. Como se muestra en la Tabla 12, las estimaciones de biomasa son comparables con otras reportadas en la literatura y, junto con los modelos alométricos, permitirán hacer predicciones sobre la madera extraída en el área. De esta manera, la producción primaria quedará positivamente caracterizada para las especies arbóreas dominantes.
- 3) Las razones por las cuales no fue posible cambiar de biomasa a IAF a NDVI son dos:
 - Los datos de las fotografías hemisféricas requieren de calibración con un sensor de luz por debajo del dosel al mismo tiempo que se toma la fotografía. También se requiere de un diseño especial de muestreo en campo para tomar todas las fotografías bajo las mismas condiciones climatológicas.
 - Por ser datos de madera, el volumen y la biomasa deben ser correlacionados con algún estimador de cubierta de hojas: las medidas alométricas del dosel habrían proporcionado este parámetro como alternativa a los valores de IAF de las fotografías hemisféricas.

- 4) A pesar de los problemas anteriores, las tendencias de NDVI a lo largo de los años son muy claras y el hecho de que los tipos de vegetación se separan claramente muestran que la base de datos es sólida.
- 5) La caracterización de las zonas críticas y la propuesta de zonificación son una base sólida para sustentar la toma de decisiones por parte de los sectores involucrados en el uso y manejo de los bosques de la región.
- 6) Debido a la extensión y complejidad del trabajo realizado, el análisis del sistema socioeconómico no fue realizado como se formuló originalmente en el objetivo número 5. Sin embargo, los resultados obtenidos sí son suficientes para confirmar las dos hipótesis de trabajo.
- 5) Los resultados confirman que *el crecimiento y los procesos dinámicos de las poblaciones de coníferas han sido perturbados por la presión humana y como resultado el crecimiento y la estructura de las poblaciones en los bosques han sido afectadas por incendios incontrolados, pastoreo, tala y reforestación* como se formuló en la primer hipótesis de trabajo.
- 6) También es correcta la afirmación de la segunda hipótesis de trabajo en el sentido de que *la presión humana ejercida de manera diferenciada en los bosques de coníferas ha causado que la región se fragmente en diferentes unidades de suelo que tienen un*

potencial productivo diferente y por lo tanto requieren de diferentes aproximaciones para su manejo.

Los resultados de este trabajo junto con un Manual Técnico para la restauración de los bosques serán entregados a las Presidencias Municipales de San Lorenzo Chuautzingo y San Felipe Teotlalcingo así como a los Comisarios Ejidales de San Juan Tetla y San Agustín Atzompa siguiendo la estrategia que se describe al final de la Discusión.

Referencias bibliográficas

Acosta M., M., Flores A., E., Musalem S., M.A. y Vera C., G. 1996. *Plan de Manejo del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla*. SAGAR, INIFAP, México.

Allen, T.F.H., and Starr, T.B. 1982. *Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity*. University of Chicago Press, Chicago.

Amescua, C. y Valderrama, L. 1996. *Productividad de Suelos con Abies religiosa (H.B.K.) Schltdl et Cham en el Parque Nacional "El Chico Hidalgo"*. Tesis Licenciatura pp: 103 Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo, México.

Anaya-Lang, A.L., Hernández-Sánchez, R. y Madrigal-Sánchez, X. 1980. *La Vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental del Iztaccíhuatl (México)*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F. *Boletín Técnico* No. 65.

Anderson, A. C. 1964. Light relations of terrestrial plant communities and their measurement. *Biol. Rev.* 39; 425-486.

Barbour, M., Burk J., Pitts W., Gilliam F., y Schwartz M. 1999. *Terrestrial Plant Ecology*. Benjamin Cummings Series in the Life Science. Benjamin Cummings, Addison Wesley Longman, Inc., Menlo Park, CA. USA., 3rd edición.

Barclay, H. y Goodman, D. 2000. Conversion of total to projected leaf area index in conifers.

Canadian Journal of Botany 78: 447-454

Beaudet, M., Messier, C., and Canham, C. 2002. Predictions of understorey light conditions in northern hardwood forest following parameterization, sensitivity analysis, and test of the SORTIE light model. *Forest Ecology and Management* 165 :235-248.

Benítez, G., 1986. *Arboles y Flores del Ajusco*. Instituto de Ecología. Museo de Historia Natural de la Ciudad de México.

Binkley D., Olsson U., Rochelle R., Stohlgren T., and Nikolov N. 2003. Structure, production and resource use in some old-growth spruce/fir forest in the Front Range of the Rocky Mountains, USA. *Forest Ecology and Management* 172: 271- 279.

Birky A.2001. NDVI and a simple model of deciduous forest seasonal dynamics. *Ecological Modelling* 143: 43–58.

Bojorges S. 1990. *Índice de Sitio para Oyamel (Abies religiosa (H.B.K.) Schltdl et Cham) en Zoquiapan México*. Tesis Licenciatura p:1-32 Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Suelos; Chapingo. México.

Bonan, G. 2002. *Ecological Climatology*. Concepts and applications. Cambridge.

Bormann, F.H. y Berlyn G.. 1983. *Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales*, Ed. CECSA, México.

Botkin, D.B., 1993. *Forest Dynamics. An Ecological Model*. Oxford University Press, New York.

Boyas D., J.C. 1978. *Contribución al Conocimiento de la Flora Fanerogámica del Campo Experimental Forestal "San Juan Tetla"*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

Boyas D., J.C. 1993. Flora Fanerogámica del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla INIFAP. División Forestal. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales *Boletín Técnico* No. 114, México.

Bréda N. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany* 54(392): 2403-2417.

Cairns, M.A., I. Olmsted, J. Granados, and J. Arguez. 2003. Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *For. Ecol. & Mgt.* 186:125-132. WED-03-038.

Campbell, G. S. and Norman, J. M. 1989. The description and measurement of plant canopy structure. In: Russell, G., Marshall, B. and Jarvis, P (eds.). *Plant Canopies: Their Growth, Form, and Function*. pp. 1-19. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Carrillo A. 1986. *Epoca y Sistema de Plantación, Edad de la Planta y Preparación del Terreno en la Regeneración Artificial de Pinus Montezumae Lamb. en el Campo Experimental Forestal, San Juan Teila*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos México.

Castañares, L. 1994. *Los Bosques de México*. Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre. Primera Edición. Tijuana, México.

Causton, D. R. 1994. Plant growth analysis: a note on the variability of unit leaf rate (Net Assimilation Rate) within a sample. *Ann. Bot.* 74: 513-527.

Challenger, A., 1998. *Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México, Pasado, Presente y Futuro*. Comisión para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Instituto de Biología UNAM, Agrupación Sierra Madre S.C. México.

Chávez, J.M. y Trigo, N. (coords.). 1996. *Programa de Manejo del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl*. Colección Ecología y Planeación, Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco. p 272.

Chen, M.J. and Cihlar, J. 1996. Retrieving leaf area index of boreal conifer forest using Landsat TM images. *Remote Sensing of Environment* 55:153-162.

Cottam, G., y J.T. Curtis, 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*, Vol. 37, 451-460.

Cox, G. W. 1996. Laboratory Manual of General Ecology. Wm. C Brown Publishers, USA; 7th edition.

Cruz-Leyva I.A. 2000. *Elaboración de un Modelo Matemático para la Estimación de Volumen y la Biomasa de Pinus hartwegii Lindl. Utilizando SIG en la Estación Forestal Zoquiapan, Edo. de México.* Informe de Servicio Social. Licenciatura en Biología Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco

Curran, P.J., Dungan, J.L. and Gholz, H.L. 1992. Seasonal LAI in slash pine estimated with Landsat TM. *Remote Sensing of Environment*. 39:3-13.

Endler, J. A. 1993. The color of light in forest and its implications. *Ecol. Monogr.* 63:1-27.

Evans, G. C. 1966. Model and measurement in the study of woodland light climates. In: Bainsbridge R., Evans, G..C. and Rackham, O. (eds). *Light as an Ecological Factor*. Blackwell. Oxford.

Evans G.C. and Coombe, D.E. 1959. Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. *J. Ecol* 47: 103-113.

Farjon, A. Perez, J.A., and Styles, B.T., 1997. *A Field Guide to the Pines of Mexico and Central America*. The Royal Botanical Gardens, Kew. Oxford.

Flores, O. y P. Gerez. 1994. *Biodiversidad y Conservación en México: Vertebrados, Vegetación y Uso del Suelo*. Conabio/UNAM, México.

Fowler, J. and Cohen, L. 1992. *Practical Statistics for Field Biology*. Wiley & Sons. Chichester.

Franklin, S.E., Lavigne, M.B., Deuling, M.J., Wulder, M.A. and Hunt Jr., R.E., 1997. Estimation of forest Leaf Area Index using remote sensing and GIS data for modeling net primary production. *International Journal of Remote Sensing* 18(16):3459-3471.

Fuentes, L. 1975. El paisaje en el pie de monte poblano de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl. *Boletín del Instituto de Geografía*. Volumen VI, pp 97-116.

Fuentes, S. M. 1998. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas, de importancia en la construcción. *Revista Chapingo*. Serie Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. 4:1:221-229.

Garcidueñas M., A.R., Keyes, M.R., Zarate de Lara, G.P. y Martinez M., M.R. 1988. Estimación de Biomasa para árboles de *Pinus montezumae*. *Agrociencia*, no.72 pp. 27-40. México.

Gholz, H.L. 1982. Enviromental limits on aboveground net primary, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. *Ecology* 63:469-481.

Gilabert, M., González-Piqueiras, J., y García-Haro, J. 1997. Acerca de los Índices de Vegetación. *Revista de Teledetección* 8:1-10.

Gower, S., Vogt, K. and C. Grier. 1992. Carbon Dynamics of Rocky Mountain Douglas-Fir: Influence of Water and Nutrient Availability. *Ecological Monographs*. 62 (1):43-65.

Heil, G.W., Bobbink, R. and Trigo, N., (eds.) 2003. Ecology and Man in Mexico's Central Volcanoes Area. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.

Hernández, R. S. 1976. Campo Experimental Forestal "San Juan Tetla", Puebla. *Ciencia Forestal*. Revista del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Septiembre – octubre. México, D.F. 1:76. pp 50-60.

Infocarto, 2003. Indices de Vegetación NDVI. www.infocarto.es/ndvi.htm

INIFAP, 2001, *Folleto Informativo* No 2, Mayo, Instituto Nacional de Investigaciones forestales, agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Región Centro, Campo Experimental San Martinito, San Juan Tetla.

Jardel, P. E. 1982. Una revisión crítica del modelo mexicano de ordenación de bosques, desde el punto de vista de ecología de poblaciones. *Ciencia Forestal*, No. 16. INIFAP.

Jenkins, J. C., Birdsey, R., and Pan, Y. 2001. Biomass and estimation for the mid-atlantic region (USA) using plot-level forest inventory data. *Ecological Applications*. 11(4):1174-1193.

Jensen, J.R. 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, New Jersey.

Jongman, R.H., C.J.F. ter Braak and O.F.R. van Tongeren. 1987. *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Pudoc Wageningen.

Klepac, D. 1983. *Crecimiento e Incremento de Arboles y Masas Forestales*. Editorial Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1987. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and Sons.

Madrigal, S., X. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham.) en el Valle de México, *Boletín Técnico* No. 18. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F.

Manzanilla, H. 1974. *Investigaciones Epidoméricas y Silvícolas en Bosques Mexicanos de Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAG Distrito Federal, México.

Manzanilla, H. 1985. Breve análisis sobre el manejo de bosques y las necesidades de desarrollo tecnológico en México. *Ciencia Forestal*. No. 58, Vol. 10.

Martínez, M., 1953. *Las Pináceas del Estado de México*. Trabajos de la Comisión Botánica explorada del Estado de México. Toluca.

Martínez, M., 1963. *Las Pináceas Mexicanas*. Tercera edición. UNAM. Distrito Federal, Mexico.

Matteucci, S. y Colma, A. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*, Serie Biología, Monografía 22. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C.

May Ek, N. G. 2001. *Dinámica de la Regeneración de Abies religiosa (HBK.) Schl. Et. Cham. y Pinus hartwegii Lindl., en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México.*

Tesis profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, México.

May Nah, A. 1971. *Estudio Fitoecológico del Campo Experimental San Juan Tetla, Estado de Puebla, México.* Tesis, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México, D. F.

Meentemeyer, V. 1989. Geographical perspectives of space, time and scale. *Landscape Ecology* Vol.3, nos. 3/4 pp. 163-173.

Meentemeyer, V. and E.O. Box. 1987. Scale effects in landscape studies. In: Turner, M.G. (Ed.) *Landscape Heterogeneity and Disturbance*. Ecological Studies 64. Springer-Verlag, New York. pp. 15-34.

Mitsch, W., and K., Ewel. 1979. Comparative biomass and growth of Cypress in Florida Wetlands. *American Midland Naturalist*. 101 (2): 417-426.

Montoya, J. A. 1998. *Comportamiento de la Distribución de Biomasa en Brinzales de Abies religiosa (HBK.) Schl. et Cham en Declinación.* Tesis profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Mueller-Dumbois, D. and H. Ellenberg., 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons. 547 pp.

Nieto de P., P.C. 1995. Estudio sinecológico del bosque de oyamel de la Cañada de Contreras, Distrito Federal. *Revista Ciencia Forestal en México*. Vol. 20(77: 3-34).

Pantoja, Z. M. 2003. *Ordenamiento Ecológico Territorial en el Municipio de Chiautzingo, Estado de Puebla*. Reporte de Servicio Social. Laboratorio de Ecología Aplicada. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

Pare, D. and Bergeron, Y. 1995. Above- Ground Biomass Accumulation along a 230-Year Chronosquence in the Southern Portion of the Canadian Boreal Forest. *Journal of Ecology* 83(6):1001-1007.

Perry, P Jr. J., 1991. *The Pines of México and Central America*. Timber Press, Inc. U.S.A.

Pritchett, W. 1986. *Suelos Forestales, Propiedades, Conservación y Mejoramiento*. Ed. Limusa, México.

Rodríguez, C. y Ortiz, C. 1982. Levantamiento de suelos del Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. *Ciencia Forestal*. Vol.7 (40) :1-42.

Rodríguez-Franco, C. y Moreno-Sánchez, R. 1982. Elaboración de tablas de volúmenes a través de análisis troncales para *Pinus montezumae* Lamb, en el CEF San Juan Tetla. *Boletín Técnico* No. 90. INIFAP.

Running, S., Nemani, R., Peterson, D., Band, L., Potts, D., Pierce, L. and Spanner, M..1989. Mapping regional forest evotranspiration and photosynthesis by coupling satellite data with ecosystem simulation. *Ecology* 70 (4):1090-1101.

Running, S. and Waring, W. 1998. *Ecosystem Analysis at Multiple Scales*. Academic Press.

Russell, G., Marshall, B., Jarvis, P. 1989. *Plant Canopies: Their Growth, Form and Function*. Cambrigde. New York.

Rzedowski, J. 1991. El endemismo de la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana*. 15:47-64.

Rzedowski, J. y de Rzedowski, G.C. (eds.) 1985. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Vol II; Ed. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN e Instituto de Ecología A.C., México.

Rzedowski, J. 1998. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F.

Sánchez, O. 1984. *La Flora del Valle de México*. Primera Reimpresión. México.

SEMARNAP. 2001. Especies con usos no maderables en Bosques de Encinos, Pino y Pino-Encino. <http://beta.semarnap.gob.mx/pfnm/AbiesReligiosa.html>

Spurr y Barnes. 1982. *Ecología Forestal*, AGT editores, México.

Susano H., R. 1995. Efectos del pastoreo de ovinos y bovinos en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl. *Boletín Técnico* No. 117. INIFAP. México

Théry, M. 2001. Forest light and its influence on habitat selection. *Plant ecology* 153: 251–261.

Toledo, V. M., 1988. La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo*, (8):17-30

University of Sheffield. 2001. Vegetation Index. www.shef.ac.uk

Waring, R.H. and Schlesinger, W. 1985. *Forest Ecosystems Concepts and Management* Academic Press Harcourt, California, USA

White, S.E. 1962. El Iztaccíhuatl. Acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno Superior. INAH, México, *Serie Investigaciones* 6(74)62.

Whittaker, R. H. and Niering, W.A. 1975. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. V. Biomass, production and diversity along the elevation gradient . *Ecology* 57: 771-790.

Williams, C., LePage, B., Vann, R., Tange, T., Ikeda, H., Ando, M., Kusakabe, T., Tsuzuki, H. and Sweda, T. 2003. Structure, allometry, and biomass of plantation *Metasequoia glyptostroboides* in Japan. *Forest Ecology and Management* 180: 287-301.

Zhou, G., Wang, Y., Jiang, Y., y Yang, Z. 2002. Estimating biomass and net primary production from forest inventory data: a case study of China Larix forest. *Forest Ecology and Management*. 163: 149-157.

ANEXO

Manual para la Restauración
de los Bosques de la Región Noreste
del Volcán Iztaccíhuatl

Índice

Presentación	1
Ecología de bosques	
Valor de los bosques	5
Estructura y funcionamiento de bosques templados	5
Restauración y manejo de los bosques	6
Técnicas de manejo	
Reforestación	8
Retención de suelos	9
Descripción de los tipos de vegetación	
Bosques de oyamel	12
Bosques de pinos	13
Bosques ds aile	14
Bosques mixtos	14

Presentación

México es uno de los países más ricos en biodiversidad. Sin embargo, existen muchos elementos que contribuyen a la pérdida de especies vegetales de los cuales resaltan los siguientes: la conversión de áreas naturales en plantaciones de árboles exóticos; la extracción de plantas para su comercio; el crecimiento de las zonas urbanas; y la apropiación de tierras para la agricultura. En el caso de los bosques, se requieren propuestas de restauración que reviertan el deterioro ocasionado por estos elementos.

Para elaborar una propuesta de restauración se requiere del conocimiento de la producción de las especies forestales y de los factores bióticos y abióticos que la afectan. Un diagnóstico de esta naturaleza sobre el estado que guardan los bosques actualmente, debe ser complementado con una revisión histórica que muestre las tendencias y señale, especialmente, aquellas que evidencian un deterioro.

Durante tres años (2000 a 2003) alumnos y profesores de la Licenciatura en Biología de la UAM Xochimilco han realizado estudios sobre diferentes procesos ecológicos en el Campo Experimental Forestal de San Juan Tetla. Un estudio importante para el manejo fue el que utilizó imágenes de satélite para diagnosticar el estado del bosque y reconocer, en imágenes de años anteriores, los cambios que han tenido lugar. El indicador que se utilizó fue el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) el cual representa valores (de -1 a 1) relacionados directamente con la densidad de la cubierta vegetal y el análisis temporal se hizo con tres imágenes (1991, 1997 y 2002).

Los resultados de este análisis sobre los cambios en la superficie de vegetación se muestran en la Figura 1. Los tonos verdes indican aumento en la actividad productiva de la vegetación y los tonos rojos indican disminución de esta actividad. En el margen de cada recuadro se indica en porcentaje el valor del cambio de acuerdo a los colores en la Figura.

De los resultados obtenidos, cabe resaltar el hecho de que la región del CEF y sus alrededores disminuyeron, de 1991 a 2002, su densidad forestal (estimada indirectamente a través del NDVI) en un 20%. Lo más grave es que 60% de esa pérdida se dio en el periodo de 1997 al 2002.

Lo valioso de este tipo de análisis, es que permite identificar las zonas en las que la disminución de la vegetación requiere de medidas que detengan su pérdida e inclusive que restablezcan la productividad. También podemos ubicar dentro de estas zonas, aquellas en las que las pendientes pronunciadas facilitan la pérdida del suelo cuando no hay una cubierta vegetal lo suficientemente densa para protegerlo. Esto nos lleva a proponer la zonificación que se muestra en la Figura 2 indicando las zonas en las que es necesario reforestar y aquellas en las que se requieren labores de retención de suelo ya que por su escasa cubierta forestal y sus pronunciadas pendientes son fácilmente erosionables.

Es importante resaltar que la zonificación está elaborada en torno a lo que podemos llamar zonas críticas. Toda la superficie que no se propone para reforestar y/o con riesgo de erosión, debe considerarse como de conservación y recreación. De conservación porque es importante tomar medidas que eviten que esas zonas se vuelvan críticas. En este sentido, otro dato importante que surge de las investigaciones realizadas es el del impacto negativo que el pastoreo indiscriminado de ganado vacuno tiene sobre la regeneración de la vegetación. A pesar del deterioro registrado, la región aún tiene un buen potencial productivo como lo demuestra la regeneración del oyamel que se encuentra en zonas de difícil acceso. El problema es que las otras especies de coníferas han disminuido de manera crítica su regeneración debido al ramoneo del ganado.

Hablamos también de uso recreativo porque la riqueza biológica de los bosques todavía sostiene valiosas especies de fauna y conserva sitios de gran belleza. Si se diseñan e implementan programas de educación ambiental la región puede ganar una fuente de ingresos que permitan modificar el uso inadecuado que se le ha dado al bosque en los últimos años.

Con base la zonificación propuesta y con el objeto de proporcionar elementos que orienten el manejo de los bosques, este Manual propone lineamientos de manejo para:

- recuperar la cubierta vegetal en sitios degradados.
- prevenir la pérdida del suelo en sitios donde ha disminuido la cubierta vegetal y las pendientes son muy pronunciadas.
- mejorar el potencial productivo de los bosques
- mantener y mejorar los valores educativos y escénicos del paisaje forestal

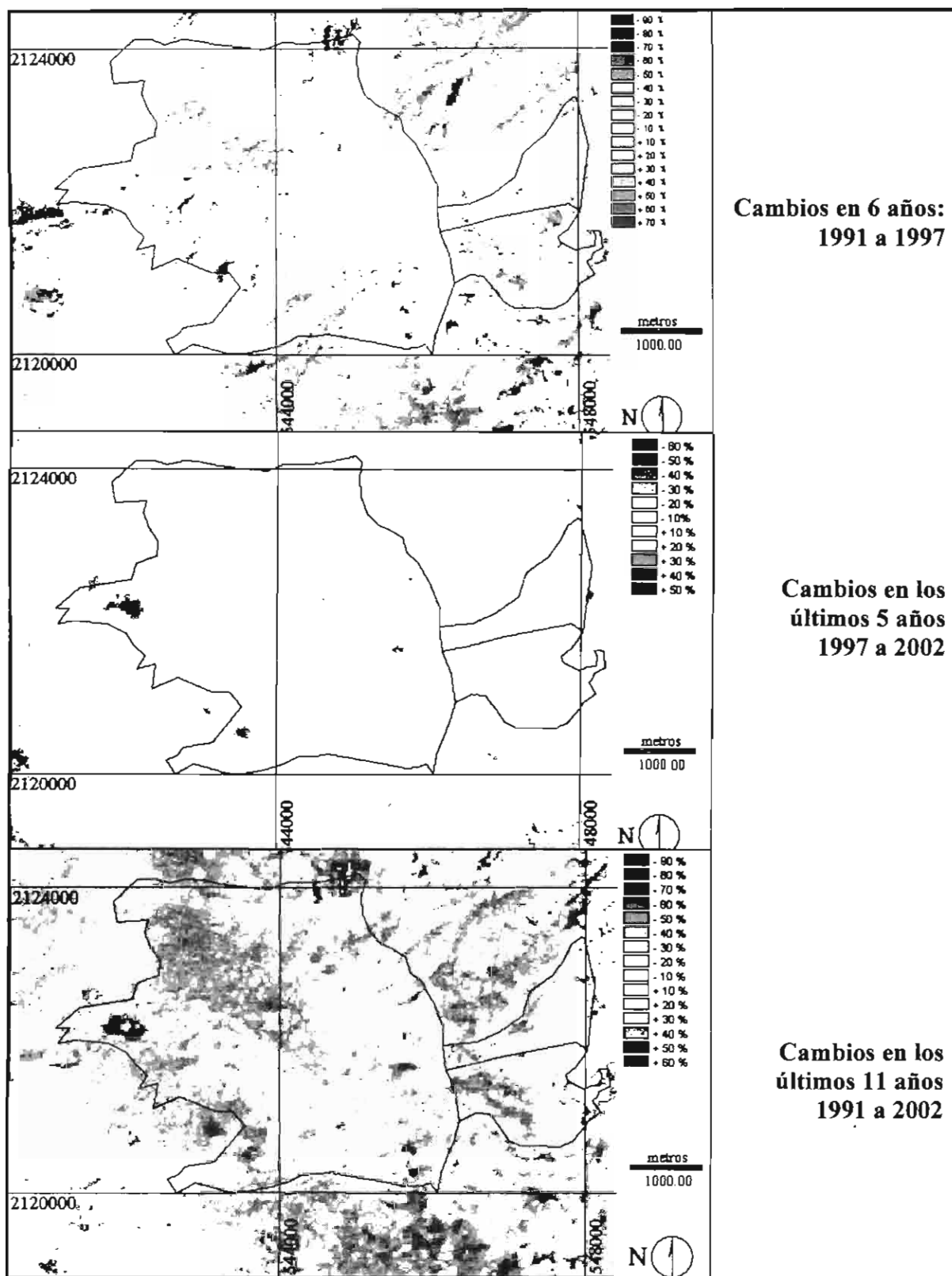


Figura 1. Mapas que muestran los cambios en la vegetación productiva

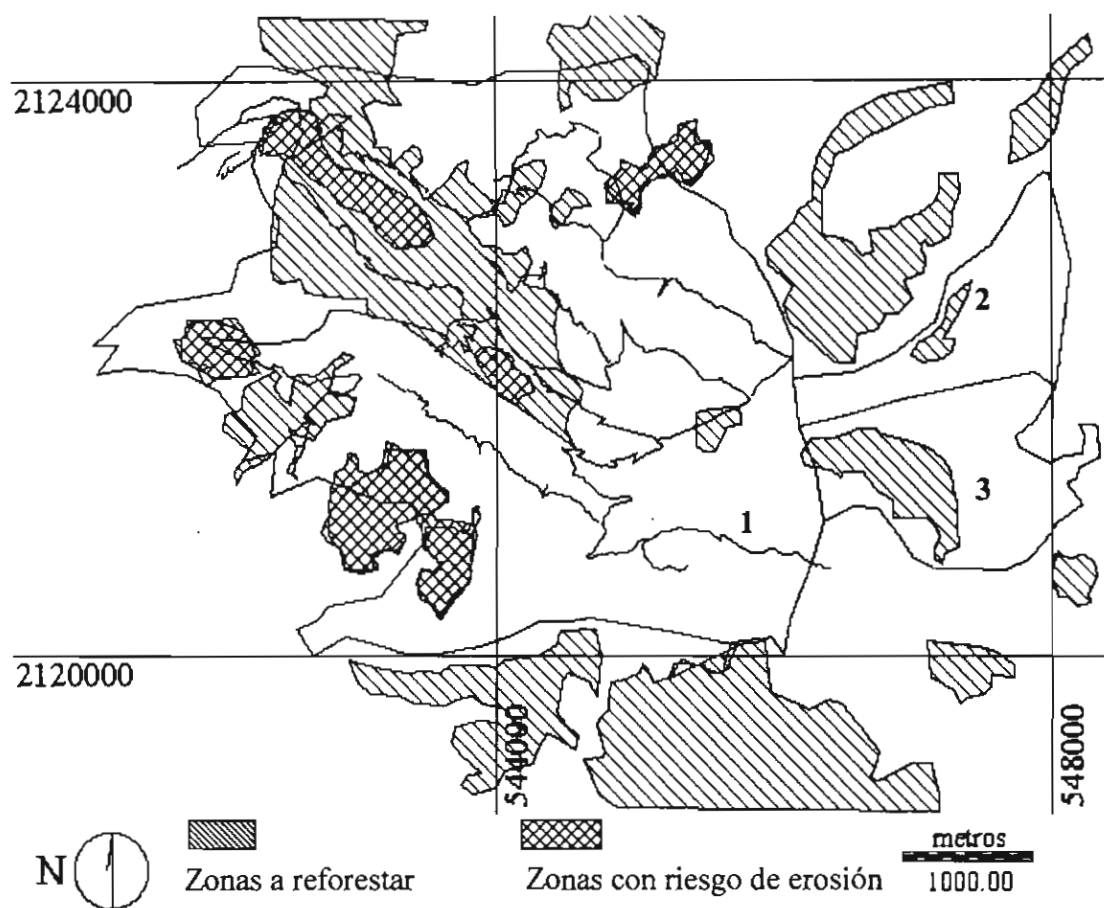


Figura 2. Se muestran el Campo Experimental Forestal de San Juan Tetla (1) y los ejidos de San Juan Tetla (2) y San Agustín Atzompa (3).

Ecología de bosques

Valor de los bosques

Los productos comerciales de los bosques son bien conocidos pero poco se sabe sobre los valores indirectos que consisten en una gran variedad de servicios. Los bosques juegan un papel importante en moderar el impacto del agua de lluvia y en facilitar la absorción del agua en el suelo. Esto favorece la estabilidad del suelo y reduce su erosión. Sin la cubierta de los bosques los procesos de erosión interferirían con los procesos de los cuerpos de agua al aumentar los sedimentos y se reduciría la fertilidad de los suelos disminuyendo el reciclaje de nutrientes y agua.

Los bosques también ejercen una función purificadora del aire al remover plomo y otros elementos tóxicos de la atmósfera. Los árboles son importantes por su capacidad de almacenar agua y controlando con la evapotranspiración las rutas de retención de agua bajo la superficie del suelo. Lo anterior favorece el que el flujo del agua hacia el cauce de los ríos sea confiable y constante reduciendo los riesgos de inundaciones y asegurando una mayor reserva promedio de agua disponible.

El papel de los bosques en regular el clima se da a escalas locales y globales como resultado de los procesos de transpiración, reflejo de la radiación solar y reciclaje de carbono. En regiones deforestadas la lluvia se reduce debido a que el almacenaje de agua y la evapotranspiración disminuyen. Por otro lado, la disminución en la captura del carbono debido a la pérdida de bosques es un factor fundamental en el calentamiento global.

Brevemente mencionaremos también que, en regiones expuestas a fuertes vientos, los bosques forman barreras que disminuyen el impacto de las tormentas. Por otro lado, el sostener una variedad de especies y su correspondiente diversidad genética son valores cada vez más reconocidos como importantes para la continuidad de los procesos evolutivos y pasan a formar parte de valores culturales además de los estéticos y recreativos.

Estructura y funcionamiento de bosques templados

Los bosques, al igual que todos los demás ecosistemas, son conjuntos de elementos que interactúan entre sí de manera muy compleja. Estos elementos pueden separarse en dos grandes grupos; aquellos que tienen vida (plantas, animales, microorganismos) y los inanimados (suelo, agua, condiciones del clima, relieve, localización geográfica). Nos referimos a estos elementos como la *estructura* del ecosistema y el conocer la forma en que se organizan los elementos nos permite hablar de los *patrones* del ecosistema.

Por otro lado, hay una serie de *procesos* que son fundamentales para entender la manera en que funcionan los ecosistemas. Por ejemplo, los procesos de *depredación* son aquellos en los que un organismo vivo obtiene su energía para sobrevivir de otro organismo. La recirculación de materia en el ecosistema es muy compleja pues involucra la transformación de los elementos básicos (carbono, nitrógeno, fósforo, etc.) en compuestos que nutren y dan energía a los seres vivos.

Los bosques que conocemos son el resultado de miles de años en los que estos procesos han tenido lugar formando el suelo con nutrientes que absorben las plantas y una variedad de conjuntos de plantas que permiten a la fauna tener lugares para habitar y alimentarse. Los bosques, en particular, se han adaptado a ciertos cambios periódicos como las heladas, las sequías y las lluvias intensas.

La biodiversidad no consiste en simples agregados de especies diferentes. La mayoría de las especies están donde están porque dependen de la integridad y permanencia del ecosistema en el que se encuentran. Las plantaciones de bosques nunca pueden recuperar la riqueza de especies del sotobosque de un bosque natural. La restauración debe utilizarse para recuperar algunas de las características que el bosque ha perdido por el uso inadecuado pero lo más importante de la restauración es que debe permitir que los procesos del ecosistema continúen de manera que el ecosistema por sí sólo, al paso del tiempo, recupere su integridad.

Nos es muy fácil distinguir los cambios en el bosque cuando inicia la época de lluvias o cuando es invierno y llegan las heladas; sin embargo, la mayoría de los procesos en los bosques se llevan a cabo en periodos de tiempo más largos que los de la vida de una persona.

Restauración y manejo de los bosques

Lograr una adecuada restauración de los bosques requiere de resolver primero una serie de aspectos fundamentales para garantizar la continuidad de los esfuerzos. En primer término, es indispensable tener un claro enunciado, de preferencia en la legislación, de los propósitos y objetivos del CEF. Este enunciado debe ser ampliamente socializado en la región.

En segundo término, se debe reconocer al INIFAP como la autoridad federal a cargo del CEF ya que cuenta con la experiencia necesaria para desarrollar políticas y guiar la implementación y el financiamiento del Campo. A nivel local debe haber una estructura que reúna a personal profesional con un administrador designado que sea responsable de tiempo completo en las labores de coordinación para el manejo en el Campo.

Un tercer aspecto, se refiere a la comunicación; se deberá establecer un mecanismo de comunicación efectiva entre la estructura del manejo de CEF y las comunidades, los ejidos y municipios colindantes con el CEF.

Finalmente, se debe llevar a cabo un proceso continuo de revisión para verificar que los propósitos y objetivos se están logrando. Para ello, se debe reconocer que el concepto de manejo es dinámico más que estático por lo que se requiere de flexibilidad para adaptar las políticas y prácticas a nuevos retos y para aprovechar nuevas oportunidades.

En un contexto más amplio mencionaremos seis principios que deben dirigir la restauración y el manejo de los bosques:

1. La economía de la región debe ser sólida con perspectivas a futuro. El mantener las cualidades del bosque se debe reconocer como un elemento que apoya la sustentabilidad económica de la región.
2. La protección del bosque es posible solamente con el apoyo y compromiso de los habitantes de la región. Se deben mostrar de manera clara, las ventajas que tiene la recuperación y manejo adecuado de los bosques.
3. Las características ecológicas fundamentales del bosque (captación de agua, retención del suelo y hábitat para la vida silvestre) deben ser registradas, monitoreadas y protegidas.
4. Se deben establecer con claridad las metas, impactos y opciones para el manejo del bosque. Estas deberán ser discutidas con todos los actores involucrados en términos accesibles a todos con el objeto de lograr consensos y apoyo a las decisiones que se tomen sobre la marcha.
5. Las herramientas de control que se utilicen para controlar el acceso al CEF deberán ser flexibles y respetar los derechos, necesidades e intereses de los habitantes de la región.
6. Los intereses en proteger el CEF y los bosques colindantes deben ser entendidos y reconciliados con los intereses de los habitantes de la región.

Técnicas de manejo

Reforestación

La reforestación es el proceso de plantar y permitir la regeneración y establecimiento de una comunidad forestal. Uno de los aspectos más importantes en la reforestación, es contar con plántulas que respondan de manera adecuada a las condiciones de microclima y del suelo en el que van a ser transplantadas. Las especies nativas garantizan lo anterior y aún más si provienen de árboles del sitio que se va a reforestar. Si bien existe un vivero en la cabecera municipal de Chiautzingo, debe considerarse una prioridad el construir uno dentro del CEF de manera que las plántulas estén perfectamente adaptadas a las condiciones climáticas y de altitud.

El uso de plántulas obtenidas directamente del bosque es una buena alternativa mientras se tiene un vivero. Se deben seleccionar plántulas sanas de aproximadamente 7 centímetros de alto y con las raíces intactas una vez removidas del suelo. Existen sitios con buena regeneración dentro del CEF que pueden ser utilizados para extraer plántulas.

Antes de colocar las plántulas, se debe preparar el sitio con el objeto de reducir la cantidad de vegetación que puede competir con las ellas. De manera especial, se deben remover los pastos ya que sus raíces largas y extendida limitan el acceso de las plántulas a los nutrientes. Los pastos también deben evitarse porque son un hábitat propicio para muchos herbívoros que pueden dañar severamente las plántulas.

Para preparar el sitio deben evitarse los métodos mecánicos ya que éstos remueven el mantillo, compactan el suelo y favorecen el crecimiento de pastos. La quema controlada es preferible ya que mantiene la riqueza mineral en el sitio y favorece la disponibilidad de los nutrientes para las plántulas.

Tabla 2. Espaciado de plántulas

árboles por hectárea	espaciado (m)
270 a 490	2 x 2
170 a 270	3 x 3
90 a 170	4 x 4
60 a 90	5 x 5

Para determinar el espacio que debe haber entre cada plántula al reforestar, se debe considerar la densidad de arbolado que se desea lograr. La tabla 2 es una guía para tal efecto. Si se desea mantener un ambiente de aspecto natural propicio para la recreación, es conveniente colocar las plántulas en patrones irregulares. Para ello, se deben seleccionar de preferencia sitios donde el suelo mineral esté expuesto y no haya hierbas alrededor. En las

laderas que dan al sur es bueno colocar las plántulas en áreas sombreadas bajo la protección de troncos o ramas.

El agua es el factor más crítico para la sobrevivencia y el crecimiento de las plántulas durante los primeros años. Por ello, la mejor época para reforestar es antes de la época de lluvias lo cual además coincide con el hecho de que las plántulas están en periodo de latencia lo que las hace menos vulnerables a la manipulación para su trasplante. Las plántulas deben mantenerse húmedas y a bajas temperaturas; no debe darles la luz directa del sol. Los agujeros para colocar las plántulas deben ser lo suficientemente profundos para que las raíces no se doblen. Una vez colocada, la plántula debe mantenerse derecha; el suelo con el que se cubra el hoyo no debe tener ramas ni agujas y se debe compactar alrededor de la plántula de manera que no queden bolsas de aire.

Después de que las plántulas han sido colocadas, es necesario realizar labores de mantenimiento periódico para asegurar su sobrevivencia y crecimiento. Una caminata a través del área deforestada de dos a cuatro veces al año permite verificar que las plántulas sobrevivan y estén creciendo bien o si es necesario tomar medidas adicionales para controlar malezas o proteger los pequeños árboles de daño causado por herbívoros.

Retención de suelos

La erosión inicia cuando el agua o el viento desprenden partículas de suelo y roca de la superficie de la tierra. Una vez desprendidas, las partículas son transportadas por aire o agua; en el segundo caso, ocasionan acumulación de sedimentos en cuerpos de agua, reduciendo su capacidad de almacenaje. Las acciones necesarias para prevenir esto son dos. En primero lugar, debe prevenirse el desprendimiento del suelo y en segundo término, cuando esto no es posible, debe evitarse que el suelo que se desprenda sea removido el lugar.

Las prácticas de control de la erosión deben tener como propósito disminuir el impacto de la caída de la lluvia sobre el suelo; disminuir la profundidad, velocidad y volumen de las corrientes de agua de lluvia; y aumentar la sedimentación en el lugar.

La única forma segura de evitar la pérdida de suelo cuando la cubierta vegetal ha disminuido y en sitios con caminos y brechas, es construir estructuras que ayudan a la formación del suelo y disminuyen la velocidad de la corriente de agua sobre suelos descubiertos. El mantenimiento de estas estructuras es tan importante como su adecuada construcción.

Cuando hay una buena cubierta vegetal, no es necesario intervenir ya que el dosel reduce el impacto de la lluvia y el mantillo en el suelo propicia la retención del agua. Sin embargo, en sitios con pendientes muy pronunciadas en las que se realicen labores de reforestación, es conveniente colocar paredes que ayuden a la retención del suelo (Figura 1) mientras se recupera la cubierta vegetal.

Cuando la zona en proceso de restauración es extensa, será necesario colocar una represa más amplia como se muestra en las Figuras 2 y 3.

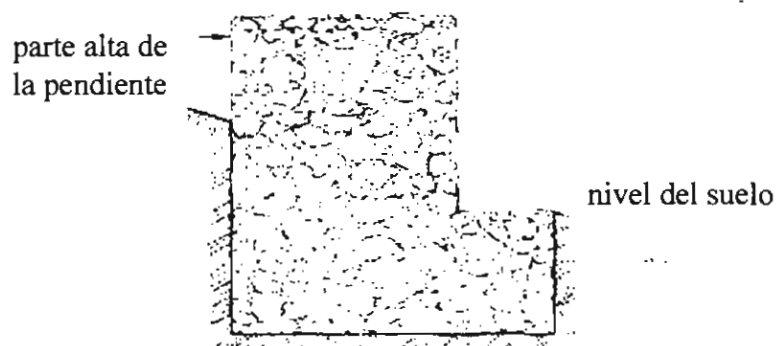


Figura 1. Pared de retención de suelo.

Tabla 1. Inclinação y longitud de canales

terreno	ángulo respecto al camino	porcentaje de pendiente	longitud (m)
plano	2 a 15 grados	2	75
		3	70
		4	60
		5	50
pendiente moderada	15 a 30 grados	6	45
		7	40
		8	35
		9	30
pendiente pronunciada	30 a 45 grados	10	25
		11	20

En espacios abiertos y, sobre todo, en las orillas de caminos y brechas, el potencial de erosión es muy alto. Por ello, la construcción de caminos y brechas debe seguir el relieve en la medida de lo posible y se deben construir canales para desviar el agua de lluvia. Estos canales deben interceptar el costado del camino a la misma profundidad que el camino en ángulos que varían dependiendo de la pendiente del terreno conforme se indica en la Tabla 1 donde se

muestran también las variaciones que se deben tomar en cuenta respecto a la inclinación y longitud del canal. Deben ser excavados y lo suficientemente amplios para permitir su mantenimiento.

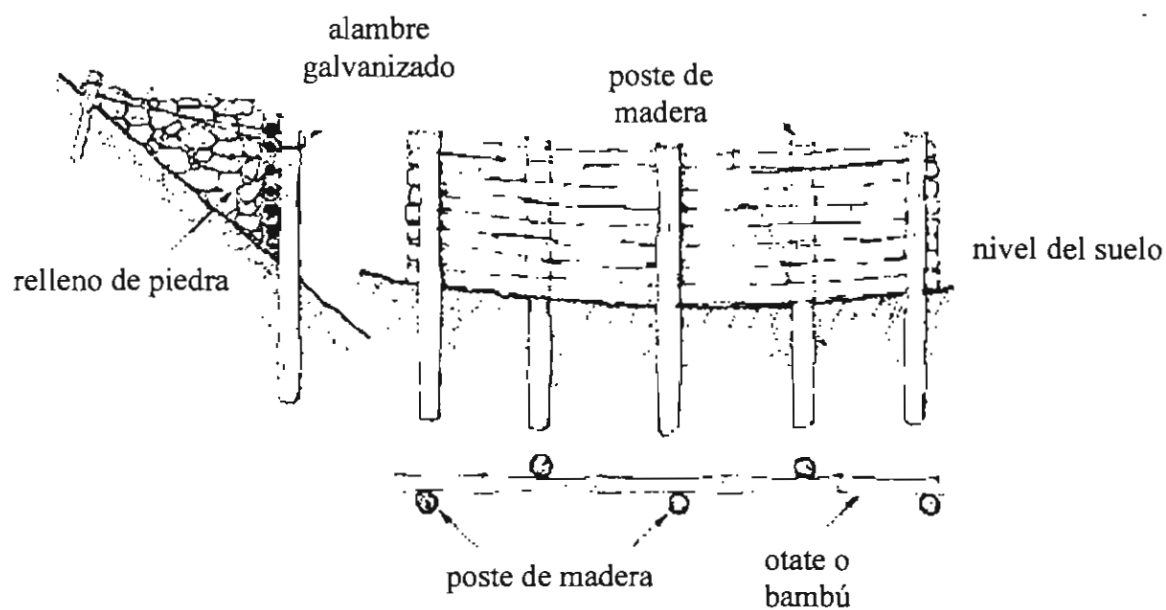


Figura 2. Represa de otate o bambú

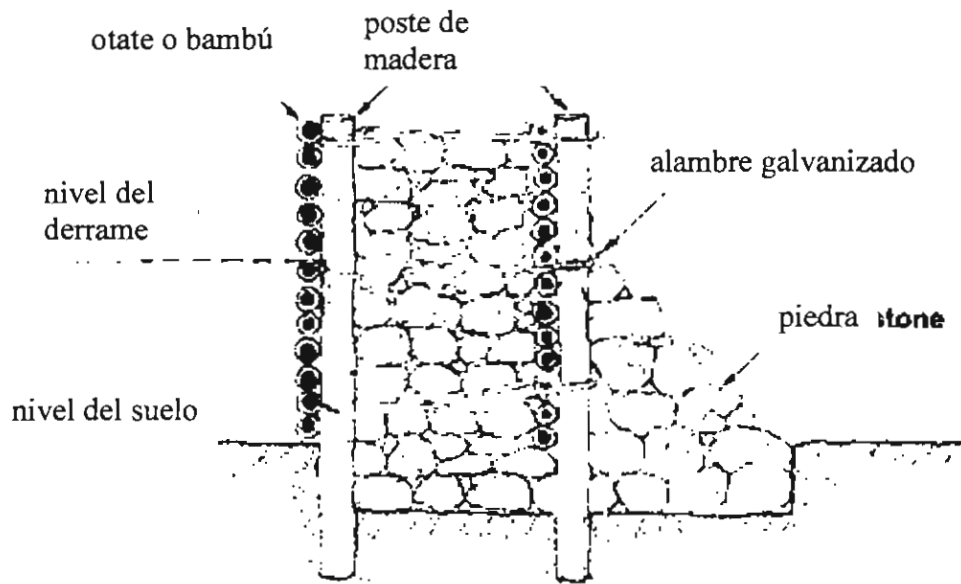


Figura 3. Vista transversal de una represa de otate o bambú reforzada con piedra

Descripción de los tipos de vegetación

Bosques de oyamel

Estos bosques son perennes y su cubierta es por lo general densa con árboles muy altos. Conforme alcanza su límite altitudinal (3,400 a 3,500 m), el bosque se hace más abierto. Los bosques de oyamel crecen en suelos profundos de andosol que son húmedos y ricos en materia orgánica.

La estructura de estos bosques consiste de dos o tres estratos, dependiendo del grado de perturbación. Los estratos arbustivo y herbáceo son relativamente pobres en cuanto a número de especies pero también pueden ser muy densos en algunas especies. De acuerdo con el grado de humedad, el estrato rasante puede tener varias especies de musgos.

En el estrato arbóreo inferior, es común encontrar individuos de *Arbutus xalapensis*, *Garrya laurifolia* y *Quercus laurina* asociados al oyamel además de *Pinus montezumae* en altitudes mayores a los 2,900 m. El dosel de estos árboles suele cubrir alrededor del 10% del sitio y va aumentando conforme el oyamel se aleja de las cañadas y da lugar a los tipos de vegetación mixta y de pinos.

En el estrato arbustivo se encuentran dos importantes especies endémicas de este tipo de bosque: *Ageratina parayanum* y *Ageratina isolepis*. Otras especies que es común encontrar en el estrato arbustivo son: *Fuchsia microphylla*, *Roldana angulifolia*, *Roldana barba-johannis*, *Senecio angulifolius*, *Senecio tolucensis*, *Lupinus montanus*, *Salvia elegans*, *Salvia gesneriflora*, *Physalis stapeloides*, *Cestrum thyrsoideum*, *Symphoricarpus microphyllus* y *Ceanothus coeruleus*.

Cuando el dosel es más abierto (de 15 al 40%), *Verbesina virgata* es una especie muy común. En contraste, bajo doseles cerrados (más del 60 %), es común encontrar a *Smilax moranensis* que es una especie trepadora.

En el estrato herbáceo, generalmente encontramos *Cirsium ehrenbergii*, *Trisetum virletii*, *Erigeron galeottii*, *Stachys nepentifolia*, *Packera sanguisorbae*, *Bromus anomalus* y *Deschampsia*. En áreas abiertas, las especies características son *Geranium potentillaefolium*, *Castilleja moranensis*, *Erigeron galeotti*, *Echeandia reflexa*, *Oenothera roseum*, *Festuca amplissima*, *F. orizabensis* y *F. tolucensis*. En áreas perturbadas es común encontrar *Ceanothus coeruleus*, *Castilleja moranensis*, *C. tenuifolia*, *Erigeron galeotti*, *Echeandia flavecens*, *Oenothera roseum*, *Bacharis conferta*, *Penstemon gentianoides*, *Brachypodium mexicanum* y *Vulpia myurus*; esta última puede ser abundante a la orilla de los caminos.

A ras del suelo, es común encontrar *Alchemilla procumbens* junto con *Eryngium carlinae*. En sitios muy húmedos, encontramos *Sibthorpia repens*, *Rubus liebmannii*, *Cinna poeformis*, *Arenaria bourgaei*, *Stevia* spp., *Agrostis* spp., *Eryngium* spp. y varias especies de musgo.

En las partes más altas (arriba de los 3,500 m), *Abies religiosa* se encuentra asociada a *Pinus hartwegii* en el estrato arbóreo superior y con *Salix oxylepsis* en el inferior. El estrato arbustivo está dominado por: *Roldana angulifolius*, *R. barba-johannis*, *Rubus* spp. y *Ageratina* spp. Las especies herbáceas más comunes son: *Muhlenbergia macroura*, *Penstemon gentianoides*, *P. roseus*, *Castilleja moranensis*, *Stevia* spp, *Festuca tolucensis*, *Lupinus montanus*, *Trisetum virletti*, *Bromus* spp, *Geranium potentillaefolium*, *Stipa ichu*, *Acaena elongata*, *Brachipodium mexicana*, y *Festuca amplissima*.

Bosques de pinos

Los bosques de pino son también perennes y se localizan entre los 2,850 y 4,000 m. Estos bosques tienen la capacidad de establecerse en diferentes tipos de suelo incluyendo los pobres en nutrientes o con suelos poco profundos. Algunas comunidades se desarrollan bien en suelos rocosos como es el caso de los bosques de *Pinus hartwegii*.

Además de *Pinus hartwegii* las especies de pinos que predominan y que llegan a formar masas puras son *Pinus montezumae* y *P. ayacahuite* las cuales comparten muchas de las especies herbáceas y arbustivas asociadas. En general, los bosques de pino tienen un dosel inferior de árboles con especies de hojas anchas como *Buddleia parviflora*, *B. cordata*, *B. sessiliflora*, *Alnus jorullensis*, *Arbutus* spp. y *Salix* spp.

El estrato arbustivo de los bosques de pino está dominado por las siguientes especies: *Lupinus montanus*, *Fuschia microphylla*, *Ribes ciliatum*, *Ageratina* spp, *Salix paradoxa*, *Eringium* spp. y *Senecio* spp. Una especie secundaria de arbustos también presente en los bosques de pino es *Coriaria ruscifolia*.

En el estrato herbáceo encontramos:

Erigeron galeoti, *Festuca amplissima*, *F. tolucensis*, *F. orizabensis*, *Muhlenbergia macroura*, *M. quadridentata*, *Calamagrostis tolucensis*, *Alchemilla procumbens*, *Arenaria* spp., *Stipa ichu*, *Lupinus* spp., *Penstemon* spp., *Bidens bigelovii*, *Gamochaeta americana*, *Gnaphalium oxyphyllum*, *Stevia viscida*, *S. ovata*, *Galium ascherbornii* y *Salvia lavanduloides*.

Hierbas características de los bosques de *Pinus montezumae* son *Stenanthium frigidum*, *Gnaphalium liebmanii*, *Acaena elongata*, *Muhlenbergia rigida*, *Cinna poeformis*, *Castilleja arvensis* y *Alchemilla procumbens*.

Los bosques de pinos tienen una variedad de especies rastreras entre las que mencionaremos como algo excepcional a *Sibthorpia repens* y *Didymaea alsinoides*.

Los bosques de *Pinus hartwegii* se localizan en la parte más alta del CEF y se extienden hasta los 4,000 m. Esta especie habita una amplia variedad de relieves incluyendo pendientes muy pronunciadas de más de 45 grados. El tipo de suelo puede ser muy profundo o bien rocoso

aunque en éste último, la altura de los árboles no suele ser mayor de 5 metros mientras que en mejores suelos pueden llegar a los 24 metros.

En general estos bosques son abiertos con densidades del dosel de 10 a 50 %. El estrato arbustivo no siempre está presente y cuando lo está *Salix oxilepis*, *Senecio procumbens*, *Senecio mairetianus* y *Vaccinium geminiflorum* predominan.

El estrato herbáceo llega a cubrir hasta un 40% de la superficie y las especies más comunes son los pastos *Calamagrostis tolucensis*, *Muhlenbergia macroura*, *Festuca tolucensis*, *F. orizabensis*, *F. livida*, *Poa orizabensis*, y *Agrostis vinosa*.

Otros tipos de hierbas que comúnmente encontramos asociadas a *Pinus hartwegii* son *Alchemilla procumbens*, *A. pinnata*, *A. vulcanica*, *Eryngium proteiflorum*, *Acaena elongata*, *Penstemon gentianoides*, *P. roseus*, *Selloa plantaginea*, *Hieracium mexicanum*, *Lupinus montanus*, *Ageratina* spp., *Stevia* spp., *Viola* spp. y *Sedum* spp. En zonas más húmedas hay ejemplares de *Cinna poeformis* y *Stenantiun frigidum*.

Bosques de aile

Estos bosques de hojas anchas suelen localizarse entre los 2,350 y 2,800m. Se desarrollan tanto en suelos profundos como someros y la altura del estrato arbóreo varía de acuerdo con las especies que se asocian al aile. En general estas comunidades no son muy altas y, dependiendo de la profundidad del suelo y de la pendiente, pueden alcanzar los 20 metros de altura.

En el estrato arbustivo comúnmente encontramos *Stevia*, *Dhalia*, *Baccharis*, *Ageratina*, *Laumouroxia* y *Valeriana*. De éstas, *Ageratina isolepis* es una importante especie endémica. El estrato herbáceo es rico en individuos de los siguientes géneros: *Thalictrum*, *Galium*, *Geranium*, *Muhlenbergia*, *Penstemon* y *Salvia*.

Bosques mixtos

Cuando están mezclados, estos bosques se denominan de acuerdo con la especie dominante y esto varía de acuerdo con la altitud y con cambios en las condiciones locales de humedad, exposición y tipo de suelo. De esta manera, los bosques de pino y oyamel se localizan en las áreas de transición de las cañadas. En muchos casos, *P. montezumae* es la especie codominante pero también lo pueden ser *P. ayacahuite* y *P. hartwegii*.

Otros bosques mixtos importantes son los formados por mezclas de pinos y ailes. Estos bosques por lo general son combinaciones de *P. montezumae* o *P. leiophylla* con *Alnus jorullensis* ssp. *jorullense* y *Arbutus xalapensis* en el estrato arbóreo. Las especies arbustivas dominantes son *Salvia* spp. y *Fuchsia microphylla*; en el estrato herbáceo *Conopholis alpina* es dominante. La cubierta del dosel arbóreo es alta, por lo general dentro del rango del 50 al

80% en el estrato arbóreo superior y de 50% en el inferior. La cubierta del dosel del estrato arbustivo es alta variando de 35 a 50% y el estrato herbáceo es mucho menor con valores de alrededor del 20%. Por lo general hay un estrato rasante que cubre un 10%.

El concepto de comunidad en ecología antes de Clements; una revisión bibliográfica



OPUNTIEN AUF DEM PLATEAU VON ANAHUAC Mexiko
Cromolitografía de Ernst Friedrich Heyn (1841-1894),
publicada en *Pflanzenleben* (1888-91)
de Anton Kerner von Marilaun

Presentación

Es común encontrar en la literatura sobre ecología y sus principales conceptos, pocas referencias al origen y evolución del concepto de comunidad antes de los trabajos de Clements. Es el propósito de este escrito recorrer el Siglo XIX en busca de los precursores de concepto de comunidad en ecología.

Debido a que no es posible tener acceso a las fuentes originales de muchos de los escritos del Siglo XIX, éstas se citan en las notas al pie de página. Una considerable cantidad de las publicaciones citadas en la bibliografía se obtuvieron a través del acceso a Journal Storage (<http://www.jstor.org>) que tiene la UAM. La traducción de los textos citados se hizo apegándose lo más cercanamente posible a la sintaxis original que refleja la expresión de la época a la que pertenecen los textos.

Humboldt

El origen del concepto de comunidad en ecología es generalmente atribuido al trabajo de Frederick Edward Clements (1874-1945). Sin embargo, desde el siglo XIX se habían sentado las bases para establecer dicho concepto. A lo largo de un fascinante proceso que involucró a numerosos estudiosos de la naturaleza provenientes de diferentes disciplinas (geografía, limnología, botánica, zoología, oceanografía), se fue consolidando el reconocimiento de la comunidad como una unidad de estudio relevante para la ecología.

A partir de las numerosas publicaciones del alemán Friedrich Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1858), los naturalistas del siglo XIX consideraban que dentro de la naturaleza era posible reconocer, describir, clasificar y mapear entidades naturales o comunidades que llamaron, entre otras cosas, *asociaciones*, *cœnosis*, *formaciones* o *sociedades* (McIntosh, 1985). El extenso y sistemático trabajo de Humboldt y de su compañero de viaje, el médico y botánico francés Aimé Bonpland (1773-1858) permitió reconocer que ciertas plantas crecían juntas en determinadas regiones.

Schow y Meyen

El botánico danés Joachim Frederik Schouw (1789-1832) estableció una nomenclatura para las unidades reconocidas por Humboldt y Bonpland, añadiendo

el sufijo *-etum* al nombre genérico de la planta que dominaba la asociación¹. (McIntosh, 1985). Fue el primero en incorporar el punto de vista del hábitat de las especies de plantas; Rubel (1927) considera que Schouw hablaba de geografía de plantas al discutir las condiciones actuales de las plantas en la superficie de la tierra; de historia vegetal al considerar el origen y cambios en las plantas; y de fisiología vegetal como el campo del cual mucho se debe aprender sobre la acción de los factores externos en las plantas.



Joachim Frederik Schouw

Franz Julius Ferdinand Meyen (1804-1840), profesor alemán, viajó alrededor del mundo como médico en el barco prusiano "Louise" (1830-32) y publicó en 1836² las bases para una geografía vegetal, obra que se consideró como libro de texto durante 60 años. Meyen distinguió 8 zonas de vegetación en todo el mundo. (Wiegand, 2000). Un dato curioso que muestra la universalidad de los científicos del siglo XIX es el hecho de que Meyen fue también un microscopista que investigó la estructura celular de las plantas siendo el primero en distinguir y describir tipos individuales de tejidos como el parénquima (Sengbusch, 2003.)

Grisebach

El botánico alemán August Heinrich Grisebach (1814-1879) es el primer investigador en utilizar de manera explícita el enfoque fisonómico en los estudios de vegetación pero además incorpora también aspectos del hábitat a su análisis en lo que se llamó a principios del siglo XIX como *sociología vegetal* o *fitosociología* (Rubel, 1927). Llegó a describir más de 50 formaciones vegetales en todo el mundo en los mismos términos fisonómicos que se utilizan hoy en día al relacionar la distribución vegetal con factores climáticos (Walker, 2004).

En uno de sus primeros trabajos acuña el término *formación* y lo define como *la unidad fundamental de vegetación*³. (McIntosh, 1985; Wiegand, 2000). Apoyado en una compilación de Guy McPherson, Weltzin (2000) reproduce el siguiente fragmento de este texto seminal de Grisebach (las itálicas son mías)

Yo nombraría *formación fitogeográfica* a un grupo de plantas que contiene un carácter fisonómico definido, tal como una pradera, un bosque, etc.. Esta formación puede ser caracterizada por una sola especie social, por un complejo de especies dominantes pertenecientes a una familia, o

¹ 1823. *Grundzüge einer Allgemeinen pflanzengeographie*. Berlin. G. Reiner.

² 1836. *Grundriß der Pflanzengeographie*. Berlin: Haude und Spener'sche. English transl.: *Outlines of the Geography of Plants*. London: Ray Society, 1846.

³ 1838. *Über den Einfluß des Klimas auf die Begrenzung der natürlichen Floren*. *Linnaea* 12:159-200.

finalmente, puede mostrar un agregado de especies que, a pesar de presentar un carácter taxonómico variado, tienen una peculiaridad común.

Otro escrito de Grisebach publicado en 1872⁴, es aún la base para todos los mapas de la distribución de la vegetación mundial en zonas y biomas. (Wiegand, 2000).

E. Forbes

Kormondy (1965, citado en Emmeche, 2001), considera que uno de los primeros estudios que reconocieron la existencia de ensambles particulares de diferentes especies fueron los del naturalista británico Edward Forbes (1815-1854), pionero en estudios oceanográficos. Al integrar los resultados de sus estudios realizados en el Mediterráneo entre abril de 1941 y octubre de 1942 en el barco "Beacon", E. Forbes escribió⁵:

La distribución de animales marinos está determinada por tres grandes influencias principales, y modificada por varias secundarias o locales. Las influencias principales son el clima, la composición y la profundidad del mar, las cuales corresponden a las tres principales influencias que determinan la distribución de animales en la tierra y que son el clima, la estructura mineral y la elevación... (Traducido de Ocean Explorer, 2004).

A pesar de morir tan joven (39 años) E. Forbes realizó una gran cantidad de cosas ya que desde muy temprana edad se dedicó a observar, recolectar y sistematizar elementos de la naturaleza. A los 12 años se interesó también por la geología y a los 16 años ingresó como estudiante de medicina a la Universidad de Edimburgo. En cuanto atendió una clase de botánico, se dedicó de lleno a la historia natural y en sus múltiples excursiones investigó tanto vegetación terrestre como costera y especies marinas, siempre integrando aspectos de geología en sus análisis. (Huxley, 1854; Sharpey, 1954-1955; Moore y Douglas, 1901).

En 1843 fue asignado a la Cátedra de Botánica del King's College. Poco después se convirtió en el Secretario y Curador de la Sociedad Geológica, Miembro de la sociedad Linneana y de la Royal Society (Huxley, 1854; Sharpey, 1954-1955; Moore y Douglas, 1901). Huxley lo describió como *un hombre de letras y un artista... tiene simpatías para todos, y una disposición formal, buscadora de la verdad y exhaustiva*. (White, 2003)

⁴ 1872. *Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung*. W. Engelmann, Leipzig. French transl.: *La Végétation du Globe, d'après sa Disposition suivant les Climats Esquisse d'une Géographie Comparée des Plantes*. Paris: J.-B. Baillière, 1877-1878. 2 vols.)

⁵ 1843. *Report on the Mollusca and Radiata of the Aegean Sea, and on their distribution, considered as bearing on Geology*. Publicado en: Report of the Thirteenth Meeting of the British Association for the Advancement of Science Held at Cork in August 1843. J. Murray, London. p. 152.

De Candolle

El botánico suizo Alphonse De Candolle (1806-1893)⁶, era considerado por sus contemporáneos *la más alta autoridad viviente en cuestiones de nomenclatura (taxonómica)* (Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1884). De una manera más extensa, Spalding (1890), refiriéndose al tratado de De Candolle de 1855 escribió:

... (el tratado) apareció justo medio siglo después de la publicación del ensayo de Humboldt⁷. No es mucho decir que, comparado con todo lo que le ha precedido, este gran trabajo mostró tal aumento de conocimiento con una amplitud de visión y capacidad de generalización tales, que lo convierten en un registro permanente de la suma de todo lo que había sido logrado hasta mediados del presente siglo...

Los intereses de De Candolle eran variados con el denominador común de que gustaba de reunir una gran cantidad de datos, los procesaba con precisión y orden y los contrastaba con teorías vigentes en esa época pasándolos al resto del mundo para que los usaran (Spalding, 1890). Una muestra de ello es su historia de las ciencias de su época y de los científicos de dos siglos previos⁸. Al comentar esta obra, la revista Science (1885) relata que De Candolle antes de ser botánico había iniciado el estudio de leyes, en dos ocasiones había sido miembro de convenciones constituyentes y repetidas veces de cuerpos legislativos.

Hoy día se le considera precursor de la fitogeografía (Encyclopædia Britannica, 2004) ya que discutió la determinación histórica de la distribución de las plantas. También introdujo el elemento de escala al distinguir la influencia del macroclima en una gran escala y del agua y la temperatura como parámetros más concretos (de menor escala) que afectan el crecimiento de las plantas en un sitio determinado. (Wiegand, 2000).

Kerner

El botánico vienés Anton Kerner von Marilaun (1831-1898) es considerado por Ruber (1927) junto con Grisebach como uno de los primeros científicos en utilizar un enfoque fitosociológico.

Kerner es reconocido por McIntosh (1958), Orlocci (2000) y Orlocci y De Patta (2003) como el precursor de los estudios del desarrollo de las comunidades. Al

⁶ 1855. *Géographie botanique raisonnée ou exposition des faits principaux et des lois concernant la distribution géographique des plantes de l'époque actuelle*. 2 vols. Paris: Victor Mason. Geneva: J. Kessmann.

⁷ Spalding se refiere al *Essai sur la Géographie des Plantes* publicado en 1805.

⁸ 1873. *Histoire des Sciences et des Savants depuis deux Siècles*. Corr. Inst. Acad. Sc. de Paris, &c. Geneve

analizar los patrones de vegetación en un pantano aluvial en el lago Achen en el Tirol austriaco⁹, Kerner aplica por primera vez una metodología de análisis temporal que actualmente es conocido como Series de Tiempo con Datos Sustituidos (surrogate) (Orlocci y De Patta, 2003).

Al describir sus viajes a través de la cuenca del Danubio en una publicación posterior¹⁰, Kerner analiza las razones por las cuales los organismos se agregan en comunidades. En su texto describe:

Donde quiera que el reino de la naturaleza no está perturbado por la interferencia del hombre, las diferentes especies de plantas se unen en comunidades, cada una de las cuales tiene una forma determinada, y constituye una característica en el paisaje del cual es parte. Estas comunidades están distribuidas y agrupadas en una gran variedad de formas y, como las líneas en la cara de un hombre, dan una impresión particular a la tierra en la que crecen.... La razón por la cual viven juntas no reside en su origen común, sino en la naturaleza del habitat. Están forzadas a acompañarse no por afinidad sino por el hecho de que sus necesidades vitales son las mismas. Puede ser cierto que entre los muchos miles de plantas que habitan la tierra no haya dos que sean completamente iguales en sus requerimientos respecto a la intensidad y duración de la iluminación solar, la concurrencia de una duración particular de la luz de día con una determinada cantidad de calor, la composición y cantidad de sales nutrientes disponibles en los lugares en que las plantas viven, la cantidad de humedad en el aire y en el suelo, o, finalmente, el carácter de la lluvia. Esto

no excluye, sin embargo, la posibilidad de que, en sitios determinados, demandas similares sean cubiertas, y que diferentes especies con necesidades similares puedan florecer sin ser perturbadas, lado a lado como viven los hombres en una casa o en un pueblo, y, aunque sus costumbres y sus necesidades puedan no ser exactamente iguales, forman una sociedad que es permanente, que prospera, y en la cual cada miembro se siente en casa, porque descansa en los usos comunes y está adaptado a las condiciones locales. Tampoco es imposible que cada uno derive una ventaja de la vida en común, que los



Anton Kerner von Marilaun
(1831 - 1898)

⁹ 1863. *Das Pflanzenleben der Donauländer*. Innsbruck: Wagner. Traducido por H.S.Conard como *The Background of Plant Ecology*. The Iowa State University Press, Ames (1951), 1977, Arno Press, New York.) Traducido por H.S.Conard como *The Plant Life of the Danube Basin* (Iowa State college Press, Ames, 1951).

¹⁰ 1897. *Natural History of Plants: Their Forms, Growth, Reproduction and Distribution*. Trans. F. W. Olivier. Blackie, London.

individuos asociados puedan apoyarse unos a otros en la conducción de sus vidas, y que ellos puedan incluso depender unos de otros. (Traducido de Golley, 1993, pp. 17-18).

McIntosh (1958) considera a Kerner como precursor de una rama de la botánica denominada *fisonomía vegetal*. La contribución de la fisonomía vegetal, era el reconocimiento de las comunidades vegetales con base en su apariencia. De la publicación de Kerner sobre la vegetación del Danubio, McIntosh (1958, 1985) cita:

El arreglo horizontal y vertical de grandes comunidades de plantas no es accidental a pesar de su aparente carencia de orden. Sigue ciertas leyes inmutables. Toda planta tiene su lugar, su tiempo, su función y su significado... En todo lugar las plantas se reúnen en grupos definidos que aparecen como comunidades en desarrollo o terminadas, pero nunca transgreden la composición ordenada y correcta de su tipo. La ciencia ha dado a tales grupos el nombre de Formaciones de Plantas. Con el estudio comparativo del paisaje, los botánicos encontraron necesario definir estos elementos siempre recurrentes que son tan conspicuos en la fisonomía del paisaje.

Como se desprende de este párrafo, una contribución importante de Kerner fue el reconocimiento de que las comunidades de plantas están ligadas a lo largo del tiempo. El mecanismo de esta relación consiste en el proceso de *facilitación* de las poblaciones que ya están presentes en la comunidad para preparar el terreno a las poblaciones que invaden desde afuera de la comunidad. Orlocci y De Patta (2003) concluyen que el trabajo de Kerner es el origen de la visión holística y dinámica de las comunidades vegetales que predomina desde mediados del siglo XX.

Möbius

En búsqueda de palabras que condujeran a un nuevo lenguaje común, Karl Möbius (1825-1908), profesor alemán de biología, acuñó el término *biocœnosis* para referirse a la comunidad de ostiones que crecían en un arrecife¹¹.

Cada banco de ostión es entonces, hasta cierto grado, una comunidad de seres vivos, una colección de especies, y un agregado de individuos, que encuentran aquí lo necesario para su crecimiento y continuidad, así como un suelo adecuado, suficiente alimento, el porcentaje de sal requerido, y una temperatura favorable para su desarrollo... La ciencia no posee hasta ahora una palabra para designar una comunidad como esta; ninguna palabra para una comunidad donde la suma de especies e individuos, estando limitados mutuamente y siendo seleccionados por el promedio de

¹¹ 1877. Die Auster und die Austernwirthschaft. Verlag von Wiegandt, Hempel und Parey, Berlin.

las condiciones de vida externas, han, por medio de la transmisión, continuado en posesión de un territorio determinado. Propongo la palabra *Biocœnosis* para tal comunidad. (Traducido de McIntosh, 1985, p. 52).

Semper y S.A. Forbes

Los trabajos del zoólogo alemán Karl Semper (1832-1893)¹², quien en 1863 estudió los arrecifes de coral en las islas Palaos en Micronesia, y los del biólogo americano Stephen Alfred Forbes (1844-1930)¹³, son también reconocidos como pioneros en la utilización de un enfoque ecológico de comunidades.

El trabajo de Semper fue recibido con mucho interés (Science, 1881; The American Naturalist, 1881). Con el propósito de analizar las causas de la variabilidad animal, Semper él discute la influencia de los *alrededores inanimados* sobre los organismos; en particular la luz y la temperatura. Posteriormente, discute la influencia de los *alrededores vivos*.

En la visión de McIntosh (1985), Semper aporta una concepción trófica de la comunidad de manera similar a sus contemporáneos y se anticipa a la analogía que años después haría Clements al comparar las especies de una comunidad a los órganos de un individuo. Semper lo expresó de la siguiente manera (traducido de McIntosh, 1985, p. 73):

La comunidad organística se caracteriza por diferentes especies que son interdependientes por las mas variadas relaciones fisiológicas, como los órganos de un organismo vivo.

En cuanto a S.A. Forbes, es frecuente encontrar en los libros de texto de ecología referencias a su describe de un lago como

... un sistema viejo y relativamente primitivo, aislado de sus alrededores. Dentro de él circula materia y operan controles para producir un equilibrio comparable al de un área similar en tierra. En este microcosmos nada puede ser totalmente comprendido hasta que sus relaciones con el todo se ven claramente... El lago aparece como un sistema orgánico, un balance entre la construcción y la descomposición en el cual la lucha por la existencia y la selección natural han producido un equilibrio, una "comunidad de interés" entre el predador y la presa. (Traducido de Golley, 1993, p. 36).

Una importante contribución de S.A. Forbes fué la fundación del Laboratorio de Historia Natural de Illinois y del Illinois Natural History Survey (Schneider, 2000), importantes instituciones creadas con la siguiente concepción: *El primer requisito*

¹² 1881. *Animal Life as Affected by the Natural conditions of Existence*. New York, Appleton.

¹³ 1887. The lake as a microcosm. *Bull. Peoria Sci.Ass., Illinois Nat. Hist. Surv.Bull.* 15:537-50., 2,475-538.

indispensable es lograr un conocimiento detallado del orden natural – una exploración de la historia natural conducida con inteligencia. Sin el conocimiento general que esa exploración nos puede dar, todos nuestros registros serán empíricos, temporales, inciertos y, con frecuencia, peligrosos. Stephen A. Forbes, Illinois Natural History Survey (2004). Esta cita refleja el espíritu que predominó a finales del siglo XIX conforme la visión naturista daba paso a la búsqueda de un mayor rigor científico.

Warming

En términos prácticos, varios autores (Tansley citado en McIntosh, 1985; Wiegleb, 2000; Emmeche, 2001; Walker, 2004), coinciden en reconocer al danés Johannes Eugenius Bülow Warming (1841-1924) como el primero en estudiar de manera sistemática a las comunidades vegetales, además de que fue el primero en utilizar el término ecología en el título de su trabajo publicado en 1895: *Plantesaamfund. Grundtraek af den Økologiske Plantegeografi*. (Kjøbenhavn, Philipsens). Este documento, escrito en danés, fue traducido al alemán en 1896¹⁴ y fue el primer libro de texto de ecología vegetal etiquetado como tal. En 1909 se publicó una versión en inglés (modificada) titulada: *Oecology of Plants: an Introduction to the Study of Plant Communities*.

En este libro, Warming utiliza un enfoque de geografía ecológica vegetal que trata a las comunidades vegetales como resultantes de todas las fuerzas que operan sobre ellas. Resalta el concepto de *fisonomía* como el rasgo característico de la apariencia de un conjunto de plantas que por ello se denominan comunidad (Hitchcock, 1897). Asimismo, sintetiza de manera ordenada las aportaciones de sus antecesores (Rubel, 1927).

Por la velocidad a la que es traducido, es rápidamente accesible para los científicos angloparlantes. De manera especial y con singular entusiasmo, A.G. Tansley retoma el trabajo de Warming para su trabajo de campo en 1898 y al año siguiente utiliza el libro de Warming como texto básico para su curso en Toynbee Hall (Tansley, 1947).

La estancia de Warming en Brasil de 1863 a 1866 con el zoólogo danés Peter Wilhelm Lund (1801-1880), específicamente en Laguna Santa, Minas Gerais, le permitió contribuir de manera significativa a la geografía fitobiológica¹⁵. Wiegleb (2000) resalta su importancia como pionero en el desarrollo de un programa ecológico de investigación que incluía las siguientes preguntas:

¹⁴ Traducido por el Dr. Emil Knoblauch con el título de *Lehrbuch der Oekologischen Pflanzengeographie*. Berlín, Gebrüder. Bornträger.

¹⁵ 1892. *Lagoa Santa, contribuição para a geografia fitobiológica*. En: Warming, E. & Ferri, M.G. 1973. *Lagoa Santa e a vegetação dos cerrados brasileiros*. Itatiaia, Belo Horizonte e EDUSP, São Paulo

1. ¿ Cuales especies se encuentran unidas en un sitio?
2. ¿Cuál es su fisonomía?
3. ¿ Porqué las especies se encuentran unidas en comunidades específicas?
4. ¿ Porqué tienen esa fisonomía?

De esta manera, el enfoque de E. Warming permitía clasificar la información y analizarla considerando de manera integrada a la comunidad y su ambiente (aunque carecía de una terminología precisa que se generó más tarde). Asimismo, el hecho de que llegó a coleccionar 4000 nuevas especies le permitió desarrollar un sistema de formas de vida gracias a sus observaciones sobre adaptaciones de las plantas a condiciones de sequía así como a su fenología. Lo anterior le permitió establecer el principio de que el suelo tiene un mayor impacto sobre la vegetación que el clima, y que la humedad y la temperatura son los principales factores climáticos que influyen en las asociaciones vegetales. Warming también acuñó varios términos ecológicos aún en uso como son los prefijos *halo-*, *hidro-*, *meso-* y el calificativo *xerófito*. La estructura básica de sus libros de texto sigue siendo utilizada hoy en día. (Walker, 2004)

Drude y Schimper

Tanto McIntosh (1985) como De Patta (2004) consideran fundamentales, además de E. Warming, las aportaciones del geógrafo vegetal alemán Oscar Drude (1852 - 1933)¹⁶, y de Andreas Franz Wilhelm Schimper (1856-1911)¹⁷, ecólogo alemán de la Universidad de Bonn. Lo anterior, debido al énfasis de ambos investigadores en el examen de las relaciones de las plantas y comunidades con su hábitat.

Oscar Drude fue discípulo de Grisebach (Harshberger, 1914) y tanto Golley (1993) como De Patta (2004) coinciden en que su trabajo ejerció una fuerte influencia en Clements, especialmente porque desarrolló métodos cuantitativos para la recolección de datos. Drude es autor del primer manual de fitogeografía¹⁸ donde describe el uso de cuadrantes del mismo tamaño para medir la abundancia relativa de plantas en diferentes regiones de Alemania (Cronon, 1983; Golley, 1993).

En su manual, Drude discute las relaciones de las plantas con el ambiente. Las condiciones que causan una cierta disposición o arreglo de grupos de plantas en

¹⁶ 1884. *Florenreiche der Erde*;

1890. *Atlas der Pflanzenverbreitung*;

1890. *Handbuch der Pflanzengeographie*. Stuttgart: J. Engelhorn.

1913. *Die Oekologie der Pflanzen* Die Wissenschaft 50. Braunschweig.

¹⁷ 1898. *Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage*. Jena: Fischer. Traducido en 1903 como *Plant Ecology upon a Physiological basis*. Oxford, Clarendon Press.

¹⁸ 1890. *Handbuch der Pflanzengeographie*. J. Engelhorn, Stuttgart. Bibliothek geographischer Handbuecher

diferentes regiones son consideradas ampliamente. También describe las diferentes regiones de plantas del mundo (Botanical Gazette, 1891).

La influencia que el manual ejerció en los estudios fitogeográficos de la época se puede ejemplificar al ver la rapidez con la que el grupo de investigadores de Nebraska al que pertenecía Frederick Clements utilizaron la propuesta de Drude como base para realizar su trabajo. Bajo la dirección del Dr. Pound, publicaron en 1898¹⁹ los resultados de cinco años de trabajo siguiendo las ideas de Drude e incluso utilizando por primera vez en la literatura ecológica de Estados Unidos conceptos traducidos directamente del alemán (Britton, 1898).

Al igual que Humboldt años atrás y en el siglo XX, Clements, Drude vio al clima como el factor dominante en la determinación de las regiones de vegetación en el mundo (Harshberger, 1914; Cronon, 1983; McIntosh, 1985).

Ya en el siglo XX (en 1911), Drude participó en la primera excursión fitogeográfica internacional organizada por A.G. Tansley. En el informe de dicha excursión, Drude compara de manera notable la flora de Gran Bretaña con la de Europa Central (Drude, 1912; Journal of Ecology, 1913).

Por otro lado, Schimper escribió sobre ecología vegetal reuniendo materiales para sus trabajos de Norte América, Asia, las Indias Orientales y Europa. En 1898 preparó un primer mapa de distribución de plantas reuniendo la información conocida sobre la significancia del agua, el calor, la luz, el aire, el sol y la fauna para las plantas. Schimper consideró que las comunidades vegetales se distribuyen en función del clima, y que donde existen transiciones abruptas entre tipos de vegetación, el suelo interviene como factor determinante.

A las comunidades de plantas que reflejan la humedad general, los regímenes de las temperaturas y las condiciones del suelo de la región, las definió como formaciones climáticas o edáficas (Wadsworth 2000). Para Schimper las características morfológicas tenían un valor adaptativo. Retomó muchos de los hallazgos de Warming sin darle crédito; sobre todo con respecto a la importancia de los factores climáticos y edáficos (McIntosh, 1985).

Nichols (1923) retoma el concepto de formación de Schimper y lo aplica a ciertos grupos de asociaciones definidas geográficamente. Al formular su propuesta para una clasificación fisonómica de la vegetación, Küchler (1949) reconoce de manera especial el trabajo de Schimper en su edición revisada y ampliada de 1935²⁰ como fundacional de la geografía vegetal moderna.

En la publicación de Ward (1931) sobre climatología, (sección sobre Climatología Botánica o Agrícola), el autor reconoce las contribuciones de Drude, Schimper y

¹⁹ Pound, R. and Clements, F.E., 1898. *The Phytogeography of Nebraska*. Lincoln, Nebraska.

²⁰ Schimper, A.F.W. and F.C. von Faber. 1935. *Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage*. Jena. 3rd ed.

Warming respecto a la interacción vegetación-clima. En contraste, una publicación reciente sobre el origen europeo de la ecología²¹ no menciona en absoluto a Andreas Schimper ni a Oscar Drude (Nicholson, 2001).

En un balance final, Warming, Schimper y Drude son mencionados con frecuencia como los tres pilares de la ecología de comunidades del siglo XIX (Nichols, 1923; Ward, 1931; Tansley, 1947; Cooper, 1957; Goodwin, 1977; McIntosh, 1985; Nicholson, 2001). El único que añade a los anteriores a Kerner es el brasileño De Patta (2000) quien concluye: *Kerner y Grisebach abordaron el estudio de la vegetación desde una perspectiva florística y estática en tanto que Warming y Schimper utilizaron un enfoque evolutivo y fisiológico.*

Cowles

Henry Chandler Cowles (1869-1939) era de formación geólogo pero desde 1897 trabajó en la facultad de botánica de la Universidad de Chicago desarrollando en ese ámbito todo su trabajo posterior. Sus amplia formación y su interés por el trabajo de Warming (llegó a aprender danés para leerlo en su idioma original) propició que pusiera énfasis en el estudio las relaciones que observaba entre el relieve, la geología y la vegetación²². Cowles también argumentó rigurosamente sobre la teoría de la sucesión²³ (Rubel, 1927; McIntosh, 1985).

Siendo de Cowles la última publicación del siglo XIX relevante a nuestro tema, marca un cambio no solamente en el aspecto temporal, sino también por el amplísimo reconocimiento que se le da a su trabajo como fundador de la Ecological Society y por verse reflejado en importantes ecólogos que se formaron bajo su tutoría y que se conocen de manera genérica como "la escuela de Chicago". A diferencia del trabajo de los científicos anteriores, el de Cowles es ampliamente difundido en Internet (American Memory, 2004; Centennial Catalogues, 2004; Wikipedia, 2004). También Cowles y S.A. Forbes son los únicos científicos del siglo XIX que trabajaron en ecología de comunidades que son mencionados en la genealogía de Sprugel (1980).

Se le considera precursor de la ecología dinámica debido a los resultados de su estudio en las dunas de Indiana al sur del Lago Michigan. Cowles encontró que podía relacionar la vegetación con la distancia de la costa, la edad de la duna y el tipo de suelo.

²¹ Acot, P. 1998. *The European Origins of Scientific Ecology (1800-1901)*. Translated by B.P. Hamm. Paris: Editions des Archives Contemporaines/Gordon & Breach Publishers.

²² 1899. *The ecological relations of the vegetation of the sand dunes of Lake Michigan*. Botanical Gazette, 27:95-391.

²³ 1901. *The physiographic ecology of Chicago and vicinity: A study of the origin, development, and classification of plant societies*. Botanical Gazette, 31, 73-108, 145-82.

Flahault y Schröter

Después de un siglo tan rico en exploraciones, descubrimientos y análisis sobre la forma en que se establecen diversas agrupaciones bióticas en la naturaleza, llegó el tiempo de sistematizar todo ese conocimiento y establecer criterios comunes que permitiesen avanzar tanto en la mejor definición del concepto de comunidad como en los métodos de estudio.

El francés Charles Flahault (1890–1891) junto con el botánico suizo Carl Schröter (1855 - 1939) definieron como unidad básica de clasificación a la comunidad de plantas con una composición florística definida, que se presenta dentro de condiciones fisonómicas y de hábitat uniformes²⁴. Esta unidad, la denominaron como *asociación* y su origen sigue siendo reconocido en los estudios de comunidades vegetales que aplican este término (Reid et al., 1999, Thompson et al., 2000, Faber-Langendoen, 2001, Roccio et al., 2002, Jennings et al., 2002, Carsey et al., 2003). Flahault creó en 1890 el Instituto de Botánica de Montpellier.

Tansley (1947) y McIntosh (1985) mencionan a Schröter como el responsable de introducir los términos de *autoecología* (disciplina de la ecología que estudia las historias de vida, la ecología fisiológica, la biogeografía y la ecología de poblaciones) y *sinecología*, (disciplinas que incluyen la ecología de hábitats, la biocoenología, la ecología del paisaje y la investigación de ecosistemas) (Wiegand, 2000). La forma en que esto sucedió la encontramos en Rubel (1927) quien explica que el Congreso Internacional de Botánica (que tuvo lugar en París en 1900), solicitó a los autores hacer propuestas sobre terminología fitogeográfica. Si bien Rubel menciona solamente a Schröter, las definiciones de los conceptos recientemente creados se publicaron en el trabajo de Schröter y Krichner²⁵.

Petersen

A pesar de los grandes avances logrados en el siglo XIX, al iniciar el siglo XX, era necesario confrontar diferencias y buscar un concepto unificador y reconocido por la comunidad científica. En este sentido, el limnólogo danés C. G. Joh. Petersen desarrolló un nuevo concepto de comunidad²⁶. La cuestión principal a resolver para ello era si las comunidades debían definirse de acuerdo con sus relaciones funcionales o solamente de acuerdo con la composición de especies (Rosenberg, 2001).

²⁴ 1910. *Phytogeographische nomenclature*. Proc. Int. Bot. Congr. Brussels Extrait du Camp de-rendu: 1-29.

²⁵ 1902. *Die Vegetation des Bodensees*. Teil II .Zweiter Teil. Stettner-Verlag, Lindau, Germany.

²⁶ 1913: *Valuation of the sea II. The animal communities of the sea bottom and their importance for marine zoogeography*. - Rep. Danish. Biol. Stat. Vol. 21, 44 S.

Wiegler (2000 (2000) compara las definiciones del concepto de *biocœnosis* de Möbius y el de comunidad de Petersen de la siguiente manera (Tabla 1).

	<i>biocœnosis</i> de Möbius	<i>comunidad</i> de Petersen
Base de la definición	Funcional, basada en interrelaciones	Estadística, basada en la ocurrencia conjunta y repetida de especies
Caracterización	Todas las especies	Se seleccionan especies características de acuerdo con los requerimientos prácticos
Medida de abundancia	Abundancia relativa y absoluta	Solamente abundancia relativa
Dinámica	Se asume equilibrio dinámico pero estable	No hace suposiciones al respecto debido a restricciones metodológicas
Enfoque	Descriptivo y explicativo causal para casos puntuales	Clasificadorio, delimitación y mapeo de todos los casos posibles

Tabla 1. Contraste entre los conceptos de *biocœnosis* de Möbius y el de comunidad de Petersen (Wiegler, 2000).

Otra importante pregunta a resolver era si las comunidades se delimitaban por las sus interacciones (*a posteriori*) o si podía establecerse un criterio topográfico (*a priori*) para delimitarlas. Las respuestas a esta pregunta se vieron influenciadas por el enfoque disciplinario de aquellos que se dedicaron a tratar de responderla; los botánicos prefirieron una delimitación funcional; para los zoólogos era con frecuencia preferible la delimitación topográfica (Wiegler, 2000).

Bibliografía

- American Naturalist (The), 1881. Semper's Animal Life as Affected by the Natural Conditions of Existence. Recent Literature. *The American Naturalist*, Vol. 15, No. 7:550-552.
- American Memory. 2004. *Henry C. Cowles and Ecological Succession*. Historical Collections for the National Digital Library.
<http://memory.loc.gov/ammem/award97/icuhtml/aepsp5.html>
- Botanical Gazette, 1891. Current Literature. *Botanical Gazette*, Vol. 16, No. 5:152-153.
- Britton, E.G., 1898. The Phytogeography of Nebraska. Review *Science*,. New Series, Vol. 8, No. 184:53-55.
- Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1884. Botanical Notes, *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, Vol.11, No. 5:56-58.
- Carsey, K., Cooper, D., Decker, K., Culver, D. and G. Kittel. 2003. *Statewide Wetlands Classification and Characterization*. Wetland Plant Associations of Colorado. Final Report. Colorado Department of Natural Resources.
- Centennial Catalogues. 2004. The University of Chicago.
http://www.lib.uchicago.edu/projects/centcat/centcats/fac/facch14_01.html
- Cooper, W.S., 1957. Sir Arthur Tansley and the Science of Ecology. *Ecology*, Vol. 38, No. 4:658-659.
- Cronon, W.J. 1983. Paradigm shift. *Reviews in American History*, Vol. 11, No. 1:93-98.
- Darwin Correspondence Project, 2004. Extended bibliography.
<http://darwin.lib.cam.ac.uk>
- De Patta P., V. 2004. *Ecología vegetal: conceitos básicos*. Departamento de Ecología, UFRGS.
- Drude, O., 1912. The International Phytogeographical Excursion in the British Isles. IX. The Flora of Great Britain Compared with that of Central Europe. *New Phytologist*, Vol. 11, No. 7:236-255.
- Emmeche, C. 2001. Bioinvasion, globalization, and the contingency of cultural and biological diversity - some ecosemiotic observations. *Sign Systems Studies*, vol. 29 (1): 235-262. <http://www.nbi.dk/~emmeche/cePubl/2001c.bioinva.html>

- Encyclopædia Britannica. 2004. "Alphonse Pyrame de Candolle" from Encyclopædia Britannica Premium Service. <http://www.britannica.com/eb/article?eu=20265>
- Encyclopedia. 2004. *Pathology of Plants*. The 1911 Edition Encyclopedia LoveToKnow™. <http://12.1911encyclopedia.org/P/PA/PATHOLOGY.htm>
- Faber-Langendoen, D., editor. 2001. *Plant communities of the Midwest: Classification in an ecological context*. Association for Biodiversity Information, Arlington, VA.
- Flahault, Ch. 1901. a Project for Phytogeographic Nomenclature. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, vol. 28, No. 7:391-409.
- Golley, F.B., 1993. *A History of the Ecosystem Concept in Ecology*. Yale University Press.
- Goodwin, H. 1977. Sir Arthur Tansley: The Man and the Subject. The Tansley Lecture, 1976. *J. Ecol* 65, 1-26.
- Harshberger, J.W., 1914. Die Oekologie der Pflanzen. Review. *Science*, New Series, Vol. 40, No 1026:314.
- Hitchcock, A.S., 1897. Vegetable Physiology. *The American Naturalist*, Vol. 31, No. 365:435-440.
- Huxley, T.H., 1854. Professor Edward Forbes, F.R.S. Obituario Anónimo. *Journal of Science and Literary Gazette*. 1016-18.
- Illinois Natural History Survey. 2004. <http://www.inhs.uiuc.edu/welcome/index.html>
- Jennings, M., Loucks, O., Glenn-Lewin, D., Peet, R., Faber-Langendoen, D., Grossman, D., Damman, A., Barbour, M., Pfister, R., Walker, M., Talbot, S., Walker, J., Hartshorn, G., Waggoner, G., Abrams, M., Hill, A., Roberts, D. and D. Tart. 2002. *Standards for Associations and Alliances of the U.S. National Vegetation Classification*. The Ecological Society of America Vegetation Classification Panel. Version 1.0.
- Journal of Ecology (The), 1913. International Phytogeographical Excursion in Britain. Notices of Work on British Vegetation. *Journal of Ecology*, Vol. 1, No. 2:125-131.
- Küchler, A.W. 1949. A Physiognomic Classification of Vegetation. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 39, No. 3:201-210.
- McIntosh, R.P., 1958. Plant Communities. *Science*, Vol. 128, No. 3316:115-120.

- McIntosh, R.P., 1985. *The Background of Ecology. Concept and Theory*. Cambridge University Press.
- Mills, H.B., 1964. Stephen Alfred Forbes. *Systematic Zoology*, Vol. 13, No. 4:208-214.
- Moore, A.W. and M.A. Douglas, (compilers) 1901. *Manx Worthies or Biographies of Notable Manx Men and Women*, Chapter 6. Science Isle Of Man S. K. Broadbent & Company, Limited, Vicioria Street.
- Nichols, G.E. 1923, A working Basis for the Ecological Classification of Plant Communities, *Ecology*, Vol. 4, No. 2:154-179.
- Nicholson, M., 2001. Book Review: Pascal Acot (ed) *The European Origins of Scientific Ecology (1800-1901)*. *Isis*, Vol. 92, No. 1:187-188.
- Ocean Explorer, 2004. *1843 - Controlling Factors for Marine Life. Life in the sea*. <http://oceanexplorer.noaa.gov/history/quotes/life/life.html>
- Orlóci, L. 2000. *From Order to Causes. A personal view, concerning the principles of syndynamics*. Published at address: <http://sites.netscape.net/orloci>
- Orlóci, L. and V. De Patta Pillar. 2003. *Syndynamics- essays on concepts and methods in the analysis of time series vegetation data*. Essay I. Trajectory analysis. Essay II. Outlook. Prepared for the 2003 Course on "Advanced Methods for the Analysis of Community Dynamics" offered in the Graduate Program of Ecology, the Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. Internet Edition. 143.54.23.101/arquivos/lpe/Koa/SY030714.pdf
- Reid, M.S., Schulz, K.A., Comer, P.J., Schindel, M.H., Culver, D.R., Sarr, D.A. and M. C. Damm. 1999. *An Alliance Level Classification of Vegetation of The Coterminous Western United States*. The Nature Conservancy. Western Conservation Science Department. Boulder, Colorado.
- Rocchio, J., Doyle, G., Lyon, P. and D. Culver, 2002. *Survey of Critical Wetlands and Riparian Areas in Mesa County*. Colorado Natural Heritage Program.
- Rosenberg, R. 2001. Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity. *Sci. Mar.*, 65 (suppl. 2):107-119.
- Rubel, E., 1927. Ecology, Plant Geography, and Geobotany; Their History and Aim. *Botanical Gazette*, Vol. 84, No. 4:428-439.

- Schneider, D.W., 2000. Local Knowledge, Environmental Politics, and the Founding of Ecology in the United States: Stephen Forbes and "The Lake as a Microcosm" (1887). *Isis*, Vol. 91, No. 4:681-705.
- Science, 1881. Animal life as Affected by the Natural Conditions of Existence. *Science*, Vol. 2, No. 45:216.
- Science, 1885. Hereditary Intellect and the Geographical Distribution of Talents. *Science*, Vol. 5, No.100:14-15.
- Sengbusch, P.V., 2003. *Microscopy: the Achievements of the 19th Century and their 17th Century Roots*. <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e01/01f.htm>
- Sharpey, W. 1954-1955. Obituary Notices of Deceased Fellows. *Proceedings of the Royal Society of London*, Vol. 7:263-288.
- Spalding, V.M., 1890. The distribution of plants. *The American Naturalist*, Vol. 24, No. 285: 819-831.
- Sprugel, D.G., 1980. A "pedagogical genealogy" of American plant ecologists, *Bulletin of the Ecological Society of America* 61(4):197-200.
- Stallins, J.A. *Biogeography. 2004. Vegetation Dynamics: Early Concepts*. GEO 4930/5930 Lecture notes. Florida State University, Department of Geography.
- Tansley, A.G., 1947. The Early History of Modern Plant Ecology in Britain. *The Journal of Ecology*, Vol. 35, No. 1/2:130-137.
- Thompson, R.L., Jones, R.L., Abbott, J.R. and W. N. Denton. 2000. Botanical Survey of Rock Creek Research Natural Area, Kentucky. Agriculture. Forest Service. Northeastern Research Station. General Technical Report NE-272.
- Walker, D.A. 2004. Lesson 2: History of plant Ecology. Lecture Slides. Alaska Geobotany Center. <http://www.geobotany.uaf.edu/teaching/biol474/lesson02notes.pdf>
- Ward, R, DeC, 1931. The Literature of Climatology. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 21, No. 1:34-51.
- Weltzin, J. 2000. The Plant Community Defined. <http://eeb.bio.utk.edu/weltzin/>
- White, P. 2003. Thomas Huxley. Making the "Man of Science". Cambridge University Press.

Wiegand, G. 2000. Lecture Notes on "The History of Ecology and Nature Conservation". Dept. of General Ecology Bachelor Program of the International Study Course "Environmental and Resource Management". Null Version, January 2000. www.tu-cottbus.de/BTU/Fak4/AllgOeko/erm/hist-skript-2000.pdf

Wikipedia. 2004. Ecological succession. Wikipedia. The Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Ecological_succession



KONIGEN DER NACHT *Cereus nycticalus* (Mexiko)
Cromolitografia de Ernst Heyn,
publicada en
Pflanzenleben (1888-91) de Anton Kerner von Marilaun

Ecology and Man in Mexico's Central Volcanoes Area

Edited by

Gerrit W. Heil

*Department of Plant Ecology,
Utrecht University, The Netherlands*

Roland Bobbink

*Department of Landscape Ecology,
Utrecht University, The Netherlands*

and

Nuri Trigo Boix

*Departamento El Hombre y su Ambiente,
Universidad Autonoma Metropolitana, México*



Kluwer Academic Publishers

Dordrecht / Boston / London

- Rzedowski, J. (1993). Diversity and origins of the Phanerogamic Flora of Mexico. In: Biological diversity of Mexico; origins and distribution (T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot and J. Fa, eds.), pp. 129-144. Oxford University Press, New York.
- Sarukhán, J., Soberón, J., and Larson-Guerra, L. (1996). Biological conservation in a high beta-diversity country. In: Biodiversity, science and development: towards a new partnership (F. Di Castri and T. Younés, eds.) pp. 246-248. CAB International.
- Toledo, V. M., and Ordóñez, M. J. (1993). The biodiversity Scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats. In Biological diversity of Mexico; origins and distribution (T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot and J. Fa, eds.), pp. 758-777. Oxford University Press, New York.
- Van de Poll, H.M. 1995. Remote sensing based vegetation mapping of the National Park Iztaccihuatl-Popocatepetl, Mexico. Faculty of Biology, Universiteit Utrecht, report nr 951102.
- Vazquez-Selem, L. (1997). Late quaternary glaciations of Teyotl volcano, central Mexico. *Quaternary International* 43/44, 67-73.
- Velázquez, A., Romero, F.J., and López-Paniagua, J. (1996) *Ecología y conservación del zacatuche*. Publicaciones científicas, Fondo de Cultura Económica, Mexico, D.F.
- Velázquez, A., Toledo, V. M., and Luna, I. (2000). Mexican temperate vegetation. In: North American terrestrial vegetation (M. G. Barbour and W. D. Billings, eds.), pp. 573-592. Cambridge University Press, Cambridge.

Chapter 2

Classification and mapping of the vegetation using field observations and remote sensing

Nuri Trigo Boix*, Aurora Chimal Hernandez*, Gerrit W. Heil**†, Roland Bobbink**, and Betty Verduyn**

* *Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, México* **

Faculty of Biology, Utrecht University, The Netherlands

Key words: classification, remote sensing, plant communities

Abstract: The Iztaccihuatl and Popocatepetl volcanoes region is very important both from a phytogeographical and a botanical point of view due to their location within the Neovolcanic Transversal Axis. The combination of different factors favours the development of different vegetation communities that represent an important floristic richness. To be able to design and implement adequate management and conservation plans for the Iztaccihuatl and Popocatepetl volcanoes area, it is necessary to obtain more knowledge of the different vegetation communities occurring in the area as well as of their spatial distribution. The method applied to accomplish a vegetation classification for the area considered in the first place the gathering of field data on the plant species composition of the various forests, and secondly a TM satellite image that has been used to process a supervised classification for the area. The potential of remotely sensed satellite imagery is limited to achieve a very comprehensive supervised classification. However, vegetation classes that cover a large homogenous areas (> 1 ha) are separated through a spectral analysis, which resulted in a map that distinguishes seven major vegetation classes. Additionally, a description of most of the species present in the ground, herb and shrub layer of the main vegetation types as well as the tree-associated species has been made. An updated species list is available on the c.d.

1. INTRODUCTION

The Iztaccíhuatl and Popocatepetl volcanoes region is very important both from a phytogeographical and a botanical point of view. This is due to their location within the Neovolcanic Transversal Axis, which includes the highest mountains in México, and to a marked altitudinal gradient. The combination of these factors favours the development of different vegetation communities that represent an important floristic richness. Previous research in the region has been either too extensive and coarse (Ern 1972; Fuentes 1975); or it has focused on very specific communities (Guzmán 1966, 1972; Madrigal 1967; Obieta and Sarukhan 1981; Cárdenas 1987) or locations (May-Nah 1971; Anaya *et al.* 1980).

Rzedowski (1975), when comparing the different vegetation communities of Mexico, mentions that the conifer and oak forests (highly represented in the volcanoes) are the plant communities with the higher number of species. Another community present in the area that is very important for depicting several endemic species, is the alpine vegetation (Almeida-Leñero *et al.* 1994; Escamilla 1996). In contrast, if we consider the area comprised between the 2,500 to the 2,800 meters above sea level (m), we have another rare and important vegetation community that is very similar to the mountain cloud forest *sensu* Rzedowski (1970). This community is present only in discontinuous gaps and under very special environmental conditions. In all of these communities we can find both Holarctic as Neotropical species and as a result of this diversity of communities in the area we can find approximately 45% of the 2,071 species which Rzedowski and Rzedowski (1985) recognized for the Valley of Mexico (Chávez and Trigo 1996).

From an ecological point of view, the area represents an important catchment for water retention, both for the Valley of Mexico as for the western area of Puebla. This includes the High Balsas Watershed, because the vegetation that covers the volcanoes increases significantly the water retention capacity. During the past decades, the vegetation communities of the volcanoes have survived in an acceptable conservation condition; which is fortunate when we consider that these communities are the habitats for a big number of animal species.

The adverse rapid changes in land use around the mountains make it urgent to implement long-term management plans that must prioritize the

conservation of the natural vegetation habitats. The urban area is extending both over the forest and over the agricultural lands and there is a displacement of the forested areas due to the opening of new lands for agriculture and grazing. Especially in the situation of the volcanoes, the agricultural lands have increased almost 50% in the last 15 years (Chávez and Trigo 1996). This has not only caused the reduction of the forest areas but also it's fragmentation. That is, the formation of vegetation "islands" which affects mostly the animal populations as a result of the reduction of their habitat (see Chapter 3). Therefore, adequate management and conservation plans for the forests are needed to establish buffer zones to limit this habitat fragmentation effect.

To be able to design and implement adequate management and conservation plans for the Iztaccíhuatl and Popocatepetl volcanoes area, it is necessary to obtain more knowledge of the different vegetation communities occurring there as well as of their spatial distribution. For this purpose, this study has been carried out to accomplish a vegetation classification of the Iztaccíhuatl and Popocatepetl volcanoes, which integrates the underlying processes that determine the distribution of the various vegetation communities at different scales.

2. METHODS

The method applied to accomplish a vegetation classification for the area is described in Figure 2.1. It considered in the first place the gathering of field data on the plant species composition of the various forests. From August 1994 to July 1997, vegetation data was gathered at 223 different sampling points in the volcano area. For all sampling points the position in UTM was obtained and data gathered about the dominant species, in most cases (189) including the percentage of canopy cover and in the rest (34) only the name of the dominant species.

In line with this information, the field data has been used for the classification of the vegetation according to the following types:

Abies religiosa forests, *Pinus hartwegii* forests, *Pinus montezumae* forests, *Cupressus* spp. forests, mixed conifer forests, broad-leaved forests, mountain cloud forests, mixed forests with conifer dominant species, mixed forests with

broad-leaved dominant species, alpine grassland, shrubs or secondary vegetation, induced grasslands, and crops.

Besides the former, the following non-vegetated areas can be found in the area, i.e. bare soils, urban areas, bare volcano peaks, and snow on the top of the volcanoes.

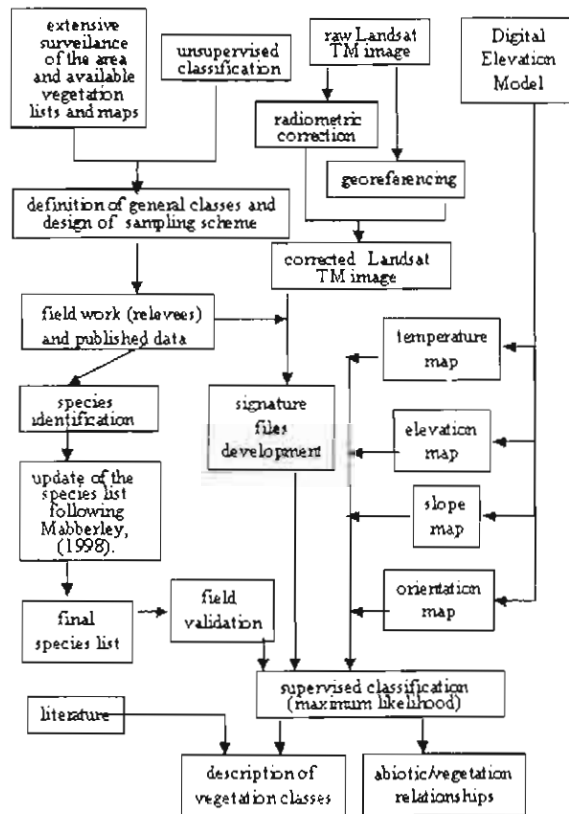


Figure 2.1. Overview of the data processing

Another essential information for this classification was a Landsat TM satellite image from March 1997 that was processed for radiometric

correction. The geometric correction was done with the use of a 1:25 000 topographic map; eight reliable points could be found on both the images and the map for this purpose.

A preliminary classification (unsupervised) of the vegetation was used from the image for the field survey points. This was done for Bands 1 through 5, and Band 7. An exploratory data analysis was undertaken in order to determine which of the vegetation communities listed above could be separated with enough confidence to create a signature file with a training data set.

Finally, a supervised classification was obtained for the area using the maximum likelihood hard classifier MAXLIKE from IDRISI (Eastman 1993). This process was done in a recursive way by adjusting the signature file with respect to the information obtained from the exploratory data analysis and from field data gathered in a validation field trip carried out in October 1998.

3. RESULTS

Based on our field knowledge of the area and the several years of field sampling, the vegetation and land use types of the Iztaccíhuatl and Popocatepetl volcanoes has been pre-classified as follows:

Natural vegetation

One-species conifer forest

Abies religiosa
Pinus hartwegii
Pinus montezumae
Pinus leiophylla
Pinus ayacahuite
Pinus teocote
Pinus rudis
Pinus pseudostrobus
Cupressus spp.

Mixed conifer forests

Broad-leaved species forests

Quercus spp.

Alnus spp.

Mountain cloud forest

Mixed forest

Conifer dominant forest

Broad-leaved dominant forest

Grasslands

Alpine

Sub-alpine

Degraded areas

Secondary vegetation

Induced grasslands

Bare soil

Man made landscapes

Crop

Urban

Volcano peaks

Bare rock

Snow

On the other hand, *Abies religiosa* forests are a special case where the signature (especially in band 4) can be distinguished from the rest. If we add to this the fact that this kind of forest is clearly distributed along ravines, covering relatively wide areas, then we can separate this class from the rest through the supervised classification procedures described in the previous section. As a result of this, some classes which share the same signature values are put together according to the vegetation classes depicted in Figure 2.2.

In spite of this information on the vegetation, the potential of remotely sensed satellite imagery is limited to achieve such a comprehensive supervised classification. Therefore, the results here presented are divided in two sections: the first one describing the supervised classification and the second one describing the vegetation composition of major vegetation types.

3.1 Supervised classification

Among the vegetation classes, only those that cover somewhat large homogenous areas (> 0.1 ha) can be separated through a spectral analysis from a remotely sensed image, and even for those, the spectral separation is not enough to distinguish among some of the vegetation classes. Such is the case, for example of the signature values obtained for *P. hartwegii* which are the same we can have in other types of conifer forests where densities are relatively low (less than 40%). Also, we find this closeness in signature values between mixed conifer/broad-leaved forests and forests where we find only conifers but with a rather dense cover (over 60%).

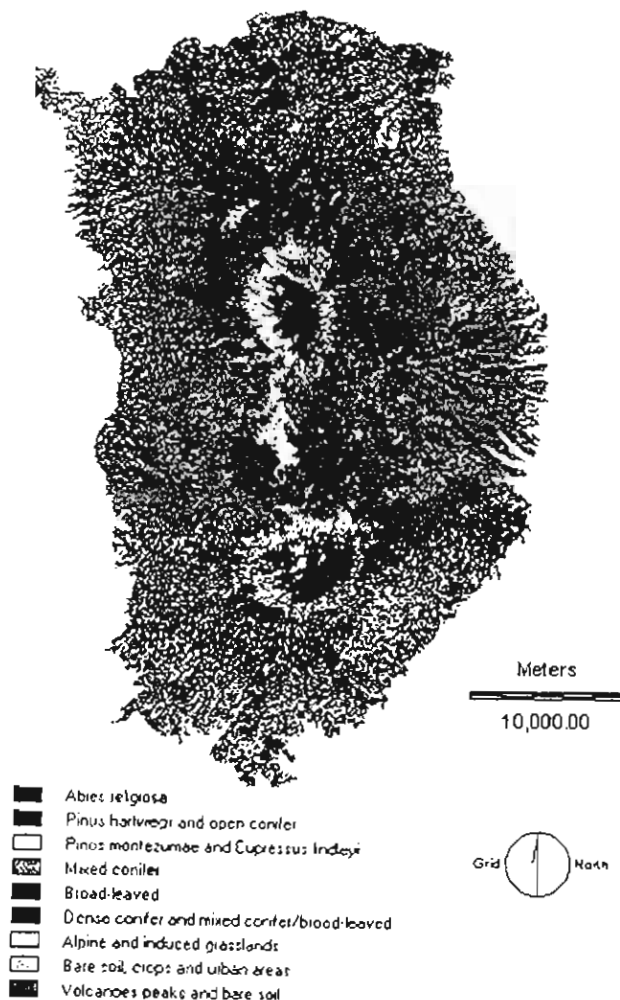


Figure 2.2. Vegetation map (1997) of the Izuacchuatl - Popocatepetl area

3.2 Vegetation description

This section describes most of the species present in the ground, herb and shrub layer of the main vegetation types as well as the tree-associated species. A species list updated from the one published in Chávez and Trigo (1996) is added at the end of this Chapter. Families, genera and species are listed in alphabetical order following the classification from Mabberley (1998).

3.2.1 Fir forests

This is a perennial forest of the conspicuous species *Abies religiosa*. The tree cover is usually dense with relatively tall trees (Figure 2.3). As it reaches its altitudinal limit, the forest becomes more open, which also happens at the lower limits where the ravines begin. The altitudinal range for this community is from 2,700 to 3,550 m within deep andosol soils which are humid and rich in organic material due to the density of the forest and because of their location along the ravines. The weather corresponds to a temperate subhumid with summer rainfall (1,000 a 1,400 mm) and a mean annual temperature ranging from 7.5° to 13.5° C.

The structure of the vegetation, depending on the degree of disturbance, consists of two to three layers. The shrub and herb layers are rather poor in their number of species but they can also be very dense with respect to some of the Compositae, Leguminosae and Solanaceae species. According to the degree of humidity, the ground layer can have several moss species.

Typical samples of this forest can be found in the Cañada de Chopanac and in the Cañada de Tzotquinzinco as well as in Nexcoalanco. Mixed with this kind of community at lower parts we have *Cupressus lindleyi* and *C. lusitanica* both of great importance in the area distributed in a very patchy way near many of the fir and conifer forest areas.

In the lower tree layer, the most common accompanying species, which might have altogether a dominance of up to 80%, are *Clethra mexicana*, and *Arbutus xalapensis*. With increasing altitude, other less dominant

accompanying species found at the high tree layer are *Pinus montezumae* in altitudes higher than 2,900 m, as well as *Garrya laurifolia* and *Quercus laurina*. The canopy cover of these tree species is usually close to 10%, when they are present and it becomes higher as the fir forest gives place to the pine and mixed types of vegetation.



Figure 2.3. Typical Fir forest with herb layer (photograph by N. Trigo)

In the shrub layer, which might have a cover of up to 70%, we can most commonly find the following species:

Fuchsia microphylla, *Roldana angulifolia*, *Roldana barba-johannis*, *Senecio angulifolius*, *Senecio tolucensis*, *Lupinus montanus*, *Salvia elegans*, *Salvia gesneriflora*, *Physalis stapeloides*, *Cestrum thyrsoides*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Ceanothus coerulzus*.

Two important endemic species, of this kind of forest found between 2,600 and 3,200 m are *Ageratina parayanum* and *Ageratina isolepis*.

Under more open canopies (tree canopy cover ranging from 15 to 40%), *Verbesina virgata* is very common. In contrast, under closer canopies (tree canopy cover over 60 %), it is common to see *Smilax moranensis*, a "climbing" species.

In the herb layer, we usually find *Cirsium ehrenbergii*, *Trisetum virletii*, *Erigeron galeottii*, *Stachys nepenifolia*, *Packera sanguisorbae*, *Bromus anomalus* and *Deschampsia*. In open areas, characteristic species are *Geranium potentillaefolium*, *Castilleja moranensis*, *Erigeron galeotti*, *Echeandia reflexa*, *Oenothera roseum*, *Festuca amplissima*, *F. orizabensis* and *F. tolucensis*. In more disturbed areas, it is common to find *Ceanothus coeruleus*, *Castilleja moranensis* and *C. tenuifolia*, *Erigeron galeotti*, *Echeandia flavecens*, *Oenothera roseum*, *Bacharis conferta*, *Penstemon gentianoides*, *Brachypodium mexicanum* and *Vulpia myurus*; this latter species is abundant in the edge of roads.

In the ground layer with a cover of up to 40%, *Alchemilla procumbens* is very common together with *Eryngium carlinae*. On the other hand, in very humid places, we can find *Sibthorpia repens*, *Rubus liebmannii*, *Cinna poeformis*, *Arenaria bourgaei*, *Stevia* spp., *Agrostis* spp., *Eryngium* spp. and various moss species.

In the highest parts of this forests (3,500 m), *Abies religiosa* is associated with *Pinus hartwegii* in the upper tree layer and with *Salix oxylepsis* in the lower tree layer. The shrub layer is dominated by the following species: *Roldana angulifolius*, *R. barba-johannis*, *Rubus* spp. and *Ageratina* spp. The most common herb species present at this altitude associated with the fir forests are: *Muhlenbergia macroura*, *Penstemon gentianoides*, *P. roseus*, *Castilleja moranensis*, *Stevia* spp., *Festuca tolucensis*, *Lupinus montanus*, *Trisetum virletii*, *Bromus* spp., *Geranium*

potentillaefolium, *Stipa ichu*, *Acaena elongata*, *Brachipodium mexicana*, and *Festuca amplissima*.

The ground layer is quite similar to that of open areas induced grassland, with dominance of *Alchemilla procumbens*, *Potentilla candicans*, *Poa annua*, *Eryngium carlinae*, *Acaena elongata*, *Deschampsia pringlei*, *Muhlenbergia repens*, *Cyperus sesleroides* and *Carex leucophylla*.

3.2.2 Pine forests

These perennial forests are located between the 2,850 and 4,000 m with a mean annual temperature ranging from 8 to 16 °C and a mean annual rainfall of 700 to 1,200 mm. These forests have the capability of establishing in various types of soil including those that are poor in nutrients or have a low depth. Some communities develop rather well on rocky soils, as is the case of the *Pinus hartwegii* forest. These communities are also found in vast areas of deep soils.

The most important and abundant of the pure pine forests is the one formed by *Pinus hartwegii* which is worthy of a separate description since it contains a characteristic set of associated species that are almost unique to this type of forest.

Other most important pure pine forests is the one formed by *Pinus montezumae* which shares many of its shrub and herb species with the rest of the pine forests and is found in rather big patches around both volcanoes. Of less extension but also important are the forests of pure *Pinus leiophylla*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* and *Pinus rudis*. The size of the patches of pure *P. hartwegii* and *P. montezumae* should allow them to be recognised by a separate spectral signature in the classification from the remote Landsat TM image but as will be discussed in the next section, this is not so straightforward. The rest of the pine species that are distributed in relatively small patches are engrossed within the category of conifer forests.

In general, pine forests present trees with a height ranging from 20 to 30 meters. There is usually also a less high tree layer ranging from 10 to 20

meters formed by broad leaf species such as *Buddleia parviflora*, *B. cordata*, *B. sessiliflora*, *Alnus jorullensis*, *Arbutus* spp. and *Salix* spp.

The shrub layer of these forests is dominated by the following species: *Lupinus montanus*, *Fuschia microphylla*, *Ribes ciliatum*, *Ageratina* spp., *Salix paradoxa*, *Eringium* spp. and *Senecio* spp. A secondary shrub also found in pine forests is *Coriaria ruscifolia*.

In the herb layer we can find:

Erigeron galeoti, *Festuca amplissima*, *F. tolucensis*, *F. orizabensis*, *Muhlenbergia macroura*, *M. quadridentata*, *Calamagrostis tolucensis*, *Alchemilla procumbens*, *Arenaria* spp., *Stipa ichu*, *Lupinus* spp., *Penstemon* spp., *Bidens bigelovii*, *Gamochaeta americana*, *Gnaphalium oxyphyllum*, *Stevia viscida*, *S. ovata*, *Galium ascherbornii*, *Salvia lavanduloides*.

Herbs which are characteristic of the *Pinus montezumae* forests are *Stenanthium frigidum*, *Gnaphalium liebmanii*, *Acaena elongata*, *Muhlenbergia rigida*, *Cinna poeformis*, *Castilleja arvensis* and *Alchemilla procumbens*.

A special reference ought to have *Festuca rzedowskiana*, an endemic species found between 2,750 and 3,450 m and reported by Rzedowski and Rzedowski (1979).

These pine forests also have a number of trailing species among which we can mention as exceptional *Sibthorpia repens* and *Didymaea alsinoides*.

Pinus hartwegii forests

Being the most distinctive of the pine forests, *Pinus hartwegii* is located between the 2,900 and 4,000 m and marks the upper limit of the forest vegetation in the mountains. This species is located in a wide variety of landforms including very steep hillsides with slopes of over 45 degrees. The type of soil can either be very deep or rocky although in the latter, the height of the trees is lower than 5 meters whereas in better soil conditions they can grow as high as 24 meters.

In general these forests are rather open with canopy densities ranging from 10 to 50 %. The shrub layer is not always present and when present, *Salix oxilepis*, *Senecio procumbens*, *Senecio mairatianus* and *Vaccinium geminiflorum* commonly dominate it. On the grassland edges towards the lower parts of these communities, it is very common to find *Juniperus monticola* almost forming a community by itself associated with grasses.

The herb layer, on the other hand, can reach canopy cover of up to a 40%. The most commonly associated species in the *Pinus hartwegii* forests are the following grasses (Figure 2.4):

Calamagrostis tolucensis, *Muhlenbergia macroura*, *Festuca tolucensis*, *F. orizabensis*, *F. livida*, *Poa orizabensis*, *Agrostis vinosa*.



Figure 2.4. *Pinus hartwegii* with the tussockgrass *Muhlenbergia macroura* in front (photograph by A. Chimal)

Other types of herb species commonly found are *Alchemilla procumbens*, *A. pinnata*, *A. vulcanica*, *Eryngium proteiflorum*, *Acaena elongata*, *Penstemon gentianoides*, *P. roseus*, *Selloa plantaginea*, *Hieracium mexicanum*, *Lupinus montanus*, *Ageratina* spp., *Stevia* spp.,

Viola spp. and *Sedum* spp. In the more humid areas of these forests, it is common to find *Cinna poeformis* and *Stenanthium frigidum*.

An important species associated with this kind of forests and which Rzedowski and Rzedowski (1979) have considered as endemic of the valley of Mexico, is *Agrostis calderoniae*, found on the western slope of the Iztaccíhuatl.

A particularly dense area of *Pinus hartwegii* forest can be found in the higher parts of the San Juan Tetla Station on the Northeast part of the Iztaccíhuatl within the altitudinal range of 3,390 to 3,400 m. The shrub and herb layers are particularly rich for this kind of forest and we can also find species such as:

Senecio cinerarioides, *Senecio sinuatus*, *Bacharis conferta*, *Phacelia platycarpa*, *Festuca amplissima*, *Ageratina glabrata*, *Erigeron carlinae*, *Geranium potentillaefolium*, *Brachiaria* sp., *Rumex* sp., *Trifolium* sp., *Cyperus* sp., and *Bidens* sp.

3.2.3 Cypressus forests

Although *Cupressus* spp. is strongly associated with *Abies religiosa*, in some areas it can be found in pure patches: a most important example of this is found on the southeastern slope of the Popocatepetl. Other important tree species sometimes present with very low densities in this kind of forest are *Arbutus xalapensis*, *Quercus rugosa* and *Q. laurina*.

Important shrubs in these forests are the following:

Verbesina oncophora, *Symphoricarpos macrophyllus*, *Fuchsia microphylla*, *Clematis diodica*, *Piqueria trinervia*, *Monina cililata*, *Baccharis conferta*, *Coriaria viscifolia*, *Salvia prunelloides*, *Senecio sinuatus*, *Valeriana clematidis*.

Within the herbs group the following species occur: *Satureja macrosperma*, *Acaena elongata*, *Bidens anthemoides*, *Gamochaeta americana*, *Festuca rosei*, *Physalis chenopodiifolia* and *Stevia monardifolia*.

Because of the high degree of humidity found in this kind of vegetation, we find some creeping species such as *Smilax moranensis*, *Bromus anomalus* and *Galium aschenbornii*; ferns such as *Adiantum andicola*, *Asplenium monanthes* and *Driopteris wallichiana* Subsp. *Wallichiana*. At ground level, we find the trailing species *Didymaea alsinoides*.

3.2.4 Oak and alder forests

These broad-leaved forests are located between the 2,350 and 2,800 m. They are found both in deep as in shallow soils. The annual average temperature ranges from 9° to 13° C and annual rainfall from 700 to 1,200 mm.

The height of the tree layer and the phenology vary according to the oak-associated species (Figure 2.5). In general these communities are not very tall and depending on the depth of the soil and the slope they can reach up to 20 meters high.

The composition of the species includes some areas of predominantly deciduous species and others completely evergreen. From the 8 oak species reported in the area *Quercus crassipes*, *Quercus laurina* and *Quercus rugosa* are the more common. *Q. crassipes*, is usually found in areas combined with low-density communities of *P. montezumae* or with *Cupressus* spp.; associated species in the lower tree layer are *Garrya laurifolia*, *Arbutus xalapensis* and *Clethra*. In the shrub layer we commonly find the following: *Stevia*, *Dhalia*, *Baccharis*, *Ageratina*, *Laumouroxia* and *Valeriana*. Among these, an important endemic species is *Ageratina isolepis*. The herb layer is rich in individuals from the following genera: *Thalictrum*, *Galium*, *Geranium*, *Muhlenbergia*, *Penstemon* and *Salvia*.



Figure 2.5. *Quercus rugosa* with *Tilandsia* in the canopy (photograph by A. Chimal)

3.2.5 Mountain cloud forest

The mountain cloud forest (Leopold, 1950) is a very rare and beautiful vegetation type, which is present mainly on the west slope of the Iztaccíhuatl volcano in a much-reduced area. The species present in this forest require a very high degree of humidity and therefore, they are found

exclusively in the deepest part of some cañadas between the 2,500 and 2,900 m. These sites are always very well protected from sun and strong winds keeping an annual mean temperature of 12 to 14°C; they receive an annual rainfall above 1,000 mm. The soils are deep, rich in organic matter and humid almost all year round.

The tree layer goes from 10 to 25 meters high and it is very dense. Most of the species are perennial and the tree canopy hardly shows any changes in greenness during the change of seasons. Depending on the location and the degree of disturbance, the association of the dominant species changes. Among the most characteristic elements of this type of forest, we find *Cornus excelsa*, *Ceanothus* and *Rubus*.

One of the best-preserved areas of this type of forest is the deepest parts of the cañadas of Ococintla and Tlapexpa (Figure 2.6). The top tree layer is formed by mature *Pinus montezumae* trees (35 to 45 meters high) associated on the lower tree layer with a dense canopy (90%) of *Prunus brachybotrya* and *Garrya laurifolia*. The shrub layer is also dense mostly with *Eupatorium pazcuarense*. Adjacent areas have isolated individuals of the following species:

Clethra mexicana, *Cornus disciflora*, *Ilex toluhana*, *Meliosma dentata*, *Quercus laurina*, *Abies religiosa*, *Alnus arguta*, *Buddleia cordata*, *Cornus excelsa*, *Cupressus lindleyi*, *C. lusitanica*, *Ageratina mairretianum*, *Pinus ayacahuite*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *Prunus serotina* ssp. *capuli*, *Quercus rugosa*, *Sambucus mexicana*, *Oreopanax xalapensis*, and *Viburnum stenocalyx*.

Among the most common shrub species found in this type of vegetation are: *Archibaccharis sescenticeps*, *Cestrum terminale*, *Iresine ajuscani*, *Launourouxia xalapensis*, *Lippia umbellata*, *Montanoa frutescens*, *Urtica dioica*, *Solanum appendiculatum*, *Salvia mocinoi* and *Salvia gesneriflora*. *Ageratina isolepis*, also present in fir and oak forests is reported by Rzedowski and Rzedowski (1979) as a species endemic to the Valley of Mexico whereas *Ageratina ramireziorum*, another endemic, is found also in oak forests.



Figure 2.6. Cloud forest (photograph by A. Chimal)

The most common herb species in these communities are: *Bidens ostruthioides*, *Bromus dolichocarpus* and *Peperomia hispidula*. In addition, also ferns are present: *Adiantum andicola*, *Dryopteris wallichiana* Subsp. *Wallichiana*, *Phanerophlebia nobilis* and *Pteris cretica*. Other interesting vegetation forms present in these communities are the woody climbing species: *Archibaccharis hirtella*, *Celastrus pringlei*, *Clematis dioica*, *Philadelphus mexicanus*, *Smilax moranensis*, *Solanum appendiculatum* and *Valeriana clematis*. Finally, we also *Tillandsia* and *Peperomia* can be found.

3.2.6 Mixed forests

When they are mixed, these forests are named according to the dominant species and this varies according to the altitude as well as changes in the local conditions of humidity, exposition and soil type. In this way, we observe that the fir-pine forests are located in most of the transitional areas, as fir becomes less dense at the open parts of the

cañadas. In most cases, *P. montezumae* is the codominant pine species but also *P. ayacahuite* and *P. hartwegii*; the latter in the higher parts of the mountains (Figure 2.7).



Figure 2.7. Mixed forest (photograph by A. Chimal)

When the transition from the pure fir forests in the cañadas is located in areas lower than 2,800 m and towards protected and more humid areas, the co-dominant species can be *Cupressus* spp., *Quercus* spp., *Garrya laurifolia* and *Buddleia cordata*. These mixed communities can have as associated shrub species *Baccharis conferta* and *Senecio* spp. In the herb layer it is common to find *Acourtia hebeclada* and *Halenia brevicornis*.

The other very important mixed forest is the one formed by pine and oak trees. These forests are usually combinations of *P. montezumae* or *P. leiophylla* with *Quercus rugosa*, *Alnus jorullensis* ssp. *jorullense* and *Arbutus xalapensis* in the tree layer. The dominant shrub species are *Salvia* spp. and *Fuchsia microphylla*; in the herb layer *Conopholis alpina* is dominant. The canopy cover of the tree layers is mostly high, ranging from 50 to 80 % in the high tree layer and mostly 50% in the lower tree layer. The canopy cover of the shrub layer is also quite high, ranging from 35 to

50% and the herb layer much lower around 20%. There is usually a ground layer with an average of 10% cover. In some areas at the lower limit of the altitudinal range covered by this research (2500 m), *Pinus montezumae* can be found combined with very short individuals of *Quercus frutex* (about 1 m tall). These communities are found in very shallow soils with annual rainfall of 700 to 900 mm and mean temperatures from 9 to 13 °C. The slopes are very steep (40%) and associated shrub and herb species are very few: *Baccharis conferta* in the shrub layer and *Brickellia* sp. and *Castilleja* sp. in the herb layer. Rzedowski and Rzedowski (1979) report that these types of communities are strongly induced by frequent fires.

3.2.7 Grasslands

Alpine Grasslands

These communities are given many different names: high paramo (Miranda, 1947), alpine prairie (Beaman, 1962) or *zacatonal*, a word derived from the aztec word *zacate*, which refers to those high tall and clumped grasses such as *Muhlenbergia* and *Festuca*. We will use the term of Rzedowski (1978): alpine grassland although it is not very clear why high mountains located in America should borrow their name from the celtic voice *alp* which identifies the European high mountains.

This vegetation type is endemic of the central mountains of Mexico and it is located in the Iztaccíhuatl and Popocatepetl volcanoes between 3,800 m where *P. hartwegii* almost ends till the 4,500 m where all vegetation stops growing shift into the volcanoes rocks, bare soils and glaciers. The soil under these grasslands is mostly sandy derived from volcanic rocks. The climate is extremely cold with temperatures from 3 to 5 °C all over the year and rainfall from 600 to 800 mm (Figure 2.8).

The most relevant plant species is *Muhlenbergia quadridentata* and according to other authors as Beaman 1965, Cruz 1969 and Almeida-Leñero *et al.* 1997a,b, three associations can be distinguished: between 3,700 and 3,800 m *M. quadridentata* is the dominant species.



Figure 2.8. Alpine grassland (photograph by R. Bobbink)

From 3,800 to 4,200 m this species is associated with *Calamagrostis tolucensis* and *Festuca tolucensis*. Finally, at the upper part from 4200 to 4500 m, *M. quadridentata* is associated with *Festuca livida* and *Arenaria bryoides*; the latter forming thick patches which is a characteristic adaptation to the extreme cold. Other species that are commonly found with these associations are *Poa conglomerata*, *Trisetum spicatum*, *Senecio orizabensis*, *S. procumbens* and *Draba jorullensis*. In very moist or even swampy places, *Carex* spp. is present and on the rocks and humid soils several moss species are common.

Induced Grasslands

Although there is usually a strong discussion as to when grassland is induced and when it is natural, the characteristic species of the alpine grasslands are usually very reduced in their density in disturbed areas. As a

result, we can find patches of grasslands in the volcanoes area with the following grasses and herbs:

Muhlenbergia macroura, *M. quadridentata*, *Festuca tolucensis*, *Calamagrostis tolucensis*, *Stipa ichu*, *Cinna poeformis*, *Deschampsia pringlei*, *Cyperus sesteriodes*, *Vaccinium geminiflorum*, *Gentiana ovatiloba*, *Phacelia platycarpa*, *Pernettya ciliata*, *Arenaria bourgaei*, *Stellaria cuspidata*.

In places protected by rocks, we have *Heuchera orizabensis* and *Ageratina* spp.; quite often the surface of the rocks is covered by *Villadia batesii*.

3.2.8 Secondary vegetation

An unfortunately increasing vegetation type is the secondary vegetation that is taking over many pine and pine-oak forests as a consequence of human activities (Figure 2.9). When this kind of vegetation is derived from fir, oak or pine forests it is common to find several *Senecio* species dominating. As we go south, we also find *Coriaria ruscifolia*, *Reseda luteola* and *Brassica campestris*.

When this secondary vegetation is close to former cultivated areas, we can find the following species:

Argemone platyceras, *Eruca sativa*, *Castilleja* spp., *Geranium seemanni*, *Lupinus campestris*, *Phacelia platycarpa*, *Ranunculus petiolaris* var. *arsenei*, *Reseda luteola*, *Senecio salignus*, *Zephyranthes carinata*.



Figure 2.9. Induced grassland by burning and consequently cattle grazing (photograph by A. Chimal)

4. DISCUSSION

The vegetation characterization in this Chapter constitutes a quite complete and updated description of the forests in the Iztaccíhuatl and Popocatepetl volcanoes. The species list accounts for a most extensive fieldwork during 4 years and it will certainly provide a useful reference to future investigations in the area. However, the use of remotely sensed images to produce a supervised classification requires still of further field validation and more detailed sampling along several gradients.

The importance of improving this classification relies on the possibilities that spatial analysis provides for a better understanding of the ecological relationships in the region. To show this, a series of graphs were elaborated to analyse the vegetation distribution from the supervised classification shown in Figures 2.10, 2.11 and 2.12 with respect to altitude, temperature, slope in degrees, and aspect/orientation.

Figure 2.10 shows a clear separation of some vegetation types along the altitudinal gradient. One of the most conspicuous vegetation types to this respect is *Pinus hartwegii* due to its marked separation from the rest types within the range of 3,500 to 4,000 m. The left part of the *P. hartwegii* distribution line, below 3,100 m belongs to the open conifer forests, some of which might also comprise areas with shrubs and fruit trees.

With much lower density values, the alpine grasslands also separate themselves clearly from 3,600 to 4,400 m. Higher than that, the values from the graph represent overestimated grasslands on the bare tops of the volcanoes, probably due to the higher reflection values of small clouds and bare rock. The grasses on lower areas show their highest abundance between 2,500 and 2,800 m with a considerable reduction from 2,800 to 3,600 m, which is the altitudinal range most tolerated by *Abies religiosa*, *Pinus montezumae* and *Cupressus* spp. forests.

Mixed conifer forests, broad-leaved forests, dense conifer, and mixed conifer/broad-leaved forests have a wider distribution range with no particular preference. The higher values for broad-leaved forests between 3,200 and 3,400 m very probably belong to dense conifer forests with *Abies religiosa* and mixed conifer/broad-leaved forests. Something to be cautious about are the values above 3,700 m, which should correspond only to *Pinus hartwegii* and alpine grasslands.

As for the relationship between temperature and vegetation, a climatic zone map has been used that separates eight temperature ranges (Flores, 1997). This climatic zone map includes both temperature and precipitation data and it also accounts for regional variations in topography and altitudinal ranges. Taking this into account, Figure 2.11 shows that *Abies religiosa* is quite akin in its distribution to broad-leaved forests, this is to be expected due to their similar preferences for more humid and temperature conditions.

Grasses separate in what can be interpreted as the difference between alpine and induced grassland, having the former with highest values between -1.5 and 16 °C. With a similar pattern but with higher values and a more restricted distribution (1 to 16 °C) we find *P. hartwegii*.

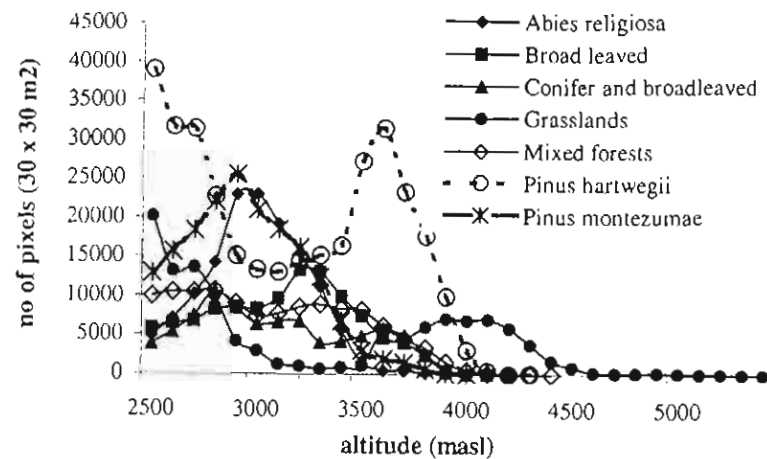


Figure 2.10. Relation between altitude (m) and vegetation

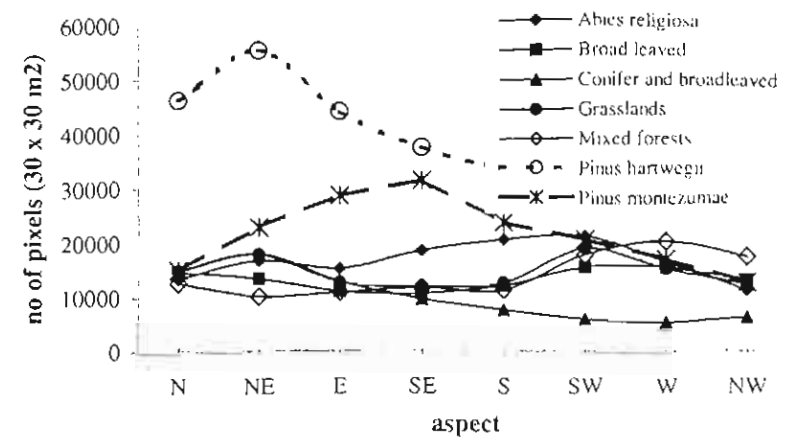


Figure 2.12. Relation between orientation and vegetation

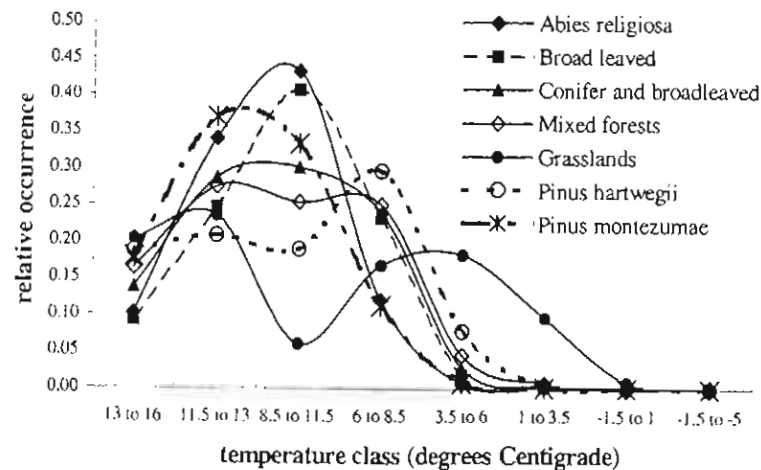


Figure 2.11. Relation between temperature (°C) and vegetation

As we could see in the relationship with altitude, open conifer forests and induced grasslands correspond, with respect to temperature, to warmer areas with values ranging from 8.5 to 13 °C. A final note with respect to the temperature gradient is that *Pinus montezumae* shows a more clear separation from *Abies religiosa* than it did with respect to altitude having a slightly higher preference for temperatures of 8.5 to 11.5 °C whereas the preference of fir forests is markedly towards areas with temperatures ranging from 6 to 8.5 °C.

Exposition conditions are also very important in determining the distribution of the different vegetation types. An alternative way to see the effect of the exposition in the vegetation is provided by aspect, which is a simplification of the slope orientation. These structural changes in the terrain have a strong effect on local climate conditions, which in some cases can be reflected in the vegetation composition. In general, the Iztaccíhuatl and Popocatepetl mountains are separated basically towards two big areas; east and west, with a very heterogeneous area on the north; the aspect relationship shows the consequences of this.

The spatial analysis of 8 aspect classes in relation to vegetation (Figure 2.12) shows only a significant separation of *Pinus hartwegii* and *Pinus montezumae* forests which might be in reality a consequence of the high abundance of this vegetation type with respect to the others. It is possible that the resolution used for the classification (pixel size of 30 x 30 meters) does not show differences that affect vegetation distribution at a more local scale. It is remarkable to note the overlapping distribution range for these vegetation types, i.e. in the terrain they truly separate due to slope and aspect.

On one hand, *Pinus hartwegii* is mainly distributed in the higher parts, which are more open and present larger surfaces towards the northeast. The open conifer forests are also more characteristic of the eastern area towards the estate of Puebla.

It is remarkable to note the distribution of the dense conifer and mixed conifer/broad-leaved forests in their preference for the north, north-east and east orientations. These occur basically on the northern part of the mountains where the hill-lands region favour the environmental conditions preferred by this vegetation types.

With an opposite distribution, we find a relative higher abundance in the other range of the gradient (southwest, west and northwest) the mixed conifer forests, the broad-leaved forests, and the alpine and induced grasslands. *Abies religiosa*, on the other hand, also follows this pattern but with a more wide range covering also with high abundance at locations oriented southeast and south.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the following persons who contributed significantly with their work to the elaboration of this Chapter: Miriam Díaz, Marisa Silva, Laura Gómez Aíza and Gilberto Hernández.

REFERENCES

- Almeida-Leñero, L., Cleef, A.M., Herrera, A., Velazquez, A. and Luna, I. (1994). El zacatonal alpino del Volcán Popocatepetl, México, y su posición en las montañas tropicales de América. *Phytocoenologia* 22 (3) 391-436.
- Almeida-Leñero, L., Cleef, A.M. and González, A. (1997a). Fitosociología de la vegetación alpina de los volcanes Popocatepetl y Nevado de Toluca, región central de México. In: Vegetación, Fitogeografía y Paleocología del Zacatonal Alpino y Bosques Montanos de la Región Central de México (Almeyda-Leñero, L.). pp.61-88. Tesis de Doctorado Universidad de Amsterdam.
- Almeida-Leñero, L., Cleef, A.M. and Velazquez, A. (1997b). Fitosociología del bosque de coníferas del volcán Popocatepetl, México. In: Vegetación, Fitogeografía y Paleocología del Zacatonal Alpino y Bosques Montanos de la Región Central de México (Almeyda-Leñero, L.). pp.61-88. Tesis de Doctorado. Universidad de Amsterdam.
- Anaya, A.L., Hernández, R. and Madrigal, X. (1980). La vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental del Iztaccíhuatl (México). Boletín Técnico No. 65. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
- Beaman, J.H. (1962). The timberlines of Iztaccíhuatl and Popocatepetl, México. *Ecology* 43: 377-385.
- Beaman, J.H. (1965). A preliminary ecological study of the alpine flora of Popocatepetl and Iztaccíhuatl. Boletín de la Sociedad Botánica de México.
- Cárdenas, A. (1987). Nuevos registros para la flora de micos de México y del Valle de México. *Anales Inst. Biol. UNAM* 58, Ser. Bot.: 93-96.
- Chávez, J.M. and Trigo, N. (eds.) (1996). Programa de Manejo para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. Colección Ecología y Planación, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México. 273 pp. 12 mapas.
- Cruz, R. (1969). Contribución al conocimiento de la ecología de los pastizales en el VLL E DEmÉXICO. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México. 235 pp.
- Eastman, J.R. (1993). *IDRISI, version 4.1, update manual*. Clark University Graduate School of Geography, Worcester, MA. 207 pp.
- Em, H. (1972). Estudio de la vegetación en la parte oriental del México Central. Comunicaciones del Proyecto Puebla-Tlaxcala 6: 1-6.
- Escamilla, M.E. (1996). La vegetación alpina y subalpina del declive occidental del volcán Popocatepetl, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 50 pp.
- Flores, M. (1997). Diseño y aplicación de una metodología para la identificación de ecotopos en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y su área de influencia. Tesis de Licenciatura. Departamento el Hombre y su Ambiente, UAM-Xochimilco, México. 60 pp. + 14 mapas.
- Fuentes, A.L. (1975). El paisaje en el piedemonte pobliano de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl. Boletín No. 6, Instituto de Geografía, UNAM.
- Guzmán, G. (1966). Hongos (Macromicetos) comunes en la ruta Amecameca-Tlaxcala (Volcán Popocatepetl), México. En: Guía de las excursiones del Tercer Congreso Mexicano de Botánica, Sociedad Botánica de México, México; pp. 13-16.

- Guzmán, G. (1972). Algunos macromicetos, líquenes y mixomicetos importantes en la zona del volcán Popocatepetl. En: Guías botánicas de excursiones en México, I Congreso Latinoamericano y V Mexicano de Botánica, Sociedad Botánica de México, México: pp. 17-43.
- Leopold, A.S. (1950). Vegetation zones of Mexico. *Ecology* 31: 507-518.
- Mabberley, D.J. (1998). *The Plant Book. A portable dictionary of the vascular plants.* University Press. Cambridge. 858 pp.
- Madrigal, S. X. (1967). Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham.) en el Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico 18. México, D. F. 94 pp.
- May-Nah, A. (1971). Estudio fitoecológico del Campo Experimental San Juan Tetla, Puebla, México. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México, d.F. 130 pp.
- Miranda, F. (1947). Estudios sobre la vegetación de México - V. Rasgos de la vegetación en la cuenca del Río de las Balsas. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 8 (1-4): 95-114 + 15 láminas.
- Obieta, M.C. and Sarukhan, J. (1981). Estructura y composición herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii*. I. Estructura y composición florística. *Boletín de la Sociedad Botánica* 41: 75-125.
- Rzedowski, J. (1970). Nota sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México*, 18: 91-106.
- Rzedowski, J. (1975). Flora y vegetación de la Cuenca de México. En: *Memorias de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*, Tomo 1, Departamento del Distrito Federal, México: pp 79-134.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa. México D.F. 432 pp.
- Rzedowski, J. and Rzedowski, G.C. (Eds.) (1979). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Vol. I Ed. CECSA. México, D.F., 403 pp.
- Rzedowski, J. and Rzedowski, G.C. (Eds.) (1985). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Vol. II. Ed. ENCB, IPN e Instituto de Ecología A.C. México. 674 pp.

Chapter 3

Man-induced changes in vegetation cover in the Iztaccíhuatl-Popocatepetl Region

Roland Bobbink*, Gerrit W. Heil** and Betty Verduyn**

* *Landscape Ecology*, ** *Plant Ecology*, Faculty of Biology, Utrecht University, The Netherlands

Key words: Erosion, Deforestation, Fragmentation, Land use changes, Ecological threats, RS, vegetation.

Abstract: An analysis has been carried out on the changes in natural communities in the Iztaccíhuatl-Popocatepetl region in the period 1986 to 1997 using satellite images and vegetation ground data. The ecological impacts of these recent changes are discussed in relation to the increase in human pressure and future hazards. The most obvious changes were observed in the forested parts (2,500 – 4,000 m) of the area. More sparse *Pinus hartwegii* stands were found at the highest forest sites in 1997 than in 1986; secondly, dense *Pinus*, *Abies* or mixed forest decreased in density at the lower slopes. Finally, a large increase in area with shrubs and very sparse tree cover was found in the central-eastern slopes over a large altitudinal gradient. Via cross comparison it became evident that total forest density decreased with 13.2 % and forest fragmentation increased, too. A detailed cross-comparison showed that the observed deforestation rate is strongly influenced by its accessibility (distance to trails and its steepness). Three main causes have been identified for this decline in forest cover, viz. (a) enhanced frequency of burning, associated with more livestock grazing; (b) more destructive forestry activities, and (c) increased settlements, especially at the eastern part of the region. A considerable part of this high volcanoes region has an increased risk of erosion because of this deforestation. In addition, non-fossil CO₂ emission will strongly increase by the deforestation process. Finally, this gradual degradation may lead to a decline in typical, partly endemic biodiversity in future. It is concluded that adequate natural resource management is highly needed in the near future.



CERTIFICATE

This is to certify that

NURI TRIGO

satisfactorily has fulfilled the requirements at the international
and interdisciplinary Ph.d.-course in

**Studying Multifunctional Landscapes
and Participating in Scientific Conferences**

held at Sømimestationen, Roskilde University, Denmark
from the 14th to the 22nd October 2000

The course covered:

The concept of Multifunctional Landscapes
Production and evaluation of scientific posters within the theme
for the International Conference "Multifunctional Landscapes",
18 - 21 October 2000

Evaluation of scientific papers within the theme
"Multifunctional Landscapes"

corresponding to 8 ECTS

Peder Agger
Dept. of Environm. Techn. and
Social Studies
Roskilde University, Denmark

Marc Antrop
Dept. of Geography
University of Ghent
Belgium

Henri Décamps
Nat. Centre for Scientific
Research, France

Jesper Brandt
Dept. of Geography and
Intern. Developm. Studies
Roskilde University, Denmark

Teresa Pinto-Correia
University of Evora, Portugal

Sten Folving
EU Joint Research Centre,
Ispra, Italy

Henrik Vejre
Royal Agric. University
Copenhagen, Denmark

STUDYING MULTIFUNCTIONAL LANDSCAPES - AND PARTICIPATING IN SCIENTIFIC CONFERENCES

Report and contributed papers
from an international Ph.D.course
Roskilde and Holbæk
15. - 22. October, 2000



English Title: Landscape Ecological Papers
ISSN: 1395-3710
Issue: 16
Date: 2001 Marts
Published By: Center for Landscape Research, Roskilde University
Issue Editors: Peder Agger and Ritta Bitsch
Editorial Board: Peder Agger, Jesper Brandt and Jesper Fredshavn

Integration of scales for landscape restoration

Integration of scales for landscape restoration
Nuri Trigo Boix
Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco, México

Abstract

Increased human pressure and changes in land use have caused significant impacts to the natural environment in México. The aim of my research is to develop a methodology with the aid of remote sensing images to plan restoration activities in the region of San Juan Tetla, central México. To be able to state a proposal for ecological restoration based on remote sensing, it is necessary to define the potential of the concept of ecological restoration and incorporate the spatial information available in remote sensing.

In my research, ecological restoration is defined and approached as a methodological procedure that allows reducing the spatial fragmentation of certain region preserving the continuity of its habitats. The scales of population and community ecology are integrated with the human social system through five main lines of research: 1) plant-environment interactions; 2) modelling of primary production; 3) definition of spatially, critical management areas; 4) ecological integration expressed in land use planning; and 5) incorporation of the social actors in the land use planning through the establishment of management units. Final products will be a series of maps linked to a database and booklets with management guidelines (e.g. rules of thumb) for the end-users.

Keywords: temperate forests, restoration, management, remote sensing.

Introduction

In order to be able to state a proposal for ecological restoration based on remote sensing, it is necessary to define the potential both of the concept of ecological restoration as of the methodological procedures involved in the use of remote sensing.

In a first very general level, in this project ecological restoration will be defined and approached as that methodological procedure which allows us to reduce the spatial fragmentation of certain region preserving the continuity of the habitats present in it. It is considered that the application of such procedure is due to the fact that there exists a history of changes in land use caused by the pressure of the human groups which make use of such a region.

It is easy to suggest that the most effective form for nature and people to coexist is simply assigning them to different place. However, this is not realistic to preserve the natural values and to maintain, at the same time, the needs for living support of the people. Considering that the antropic pressures are big and in creasing in many localities in our country, the restoration strategies in combination with, for example, the design and creation of buffer areas could be more attractive and efficient for the conservation of the natural landscapes that the simple imposition of limits to the access of certain areas.

The application of remote sensing in the diagnosis of natural resources in the last decade has supplied the researcher with a very and trustable useful tool for planning and decision making. This is even more noticeable if we are talking of the digitised information we obtain from the satellites which circumvent the planet since they allow us to have very updated and precise data bases.

It is important to note, however, that the information derived from such satellites can not be used out of context. It is necessary always to relate the digital information with parameters and characteristics of the objects which are on earth and about which we want to make the diagnosis and/or management. The definition of these parameters and characteristics will vary as a function of the objectives of the researcher and will determine the kind of sensor to use.

Framework

Both ecological restoration as well as the application of remote sensing contain a great variety of sub themes which can be developed from both a conceptual and methodological perspectives. However, for the purpose of this research, five thematic axes are of outstanding importance for us to be able to structure in an ordered and clear way the development of the research and to achieve the objectives which are defined in other section. In this way, what is described below, although is centred around the theoretical content that will be developed, also establishes the methodological basis on which the practical work will be undertaken.

I. Plant-environment interactions

In this axis the mechanisms of the physical environment which influence in a positive or limiting way the development of plants will be analysed. This considers, in first place, the characterisation of the soil type, for which the Soils chart E14B42 from INEGI will be used. Also, a surface model will be elaborated based on the digital terrain model to allow us to find, based in relief (elevation, slope and aspect), the most important microclimatic characteristics; that is humidity and luminosity.

II. Response variable: primary productivity at various scales

Considering as the basic process the primary productivity, the concept of site quality will be incorporated as the synthesis of the plant-environment relationships. For that purpose, it is necessary to have primary productivity predictive models at different scales of approach. Therefore, it will be considered, in a first local level, the allometric relationships (volume models). Afterwards, a relationship that allows us to associate the volume as an indicator of productivity is searched for, with the leaf area index (LAI) achieving in such a way models which express productivity per unit area. Finally, remote sensors are incorporated in the productivity estimations by correlating the LAI values with the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) obtained through image processing.

III. Critical management areas

The definition of the parameters which determine the critical areas with different problems and management needs is the key aspect of this thematic axis. For that purpose, proposals regarding ecological restoration will be reviewed. It is possible, however, to anticipate that the factors determining these critical areas will be related with soil conditions (mostly erodibility), with the main features of vegetation populations (low productivity and renewal rates) and with the impacts from human pressure (land ownership and tendencies to changes in land use). It is in this thematic axis that the first link of the natural system with the social systems is established. In this point, such link is limited to the establishment of the effects of the social system on the natural system. Later on, in thematic axis 5, we will see that the variables of the human dimension will be broadened towards other aspect which are necessary for the planning and management of natural resources.

IV. Ecological synthesis: land-use planning, management and conservation methods

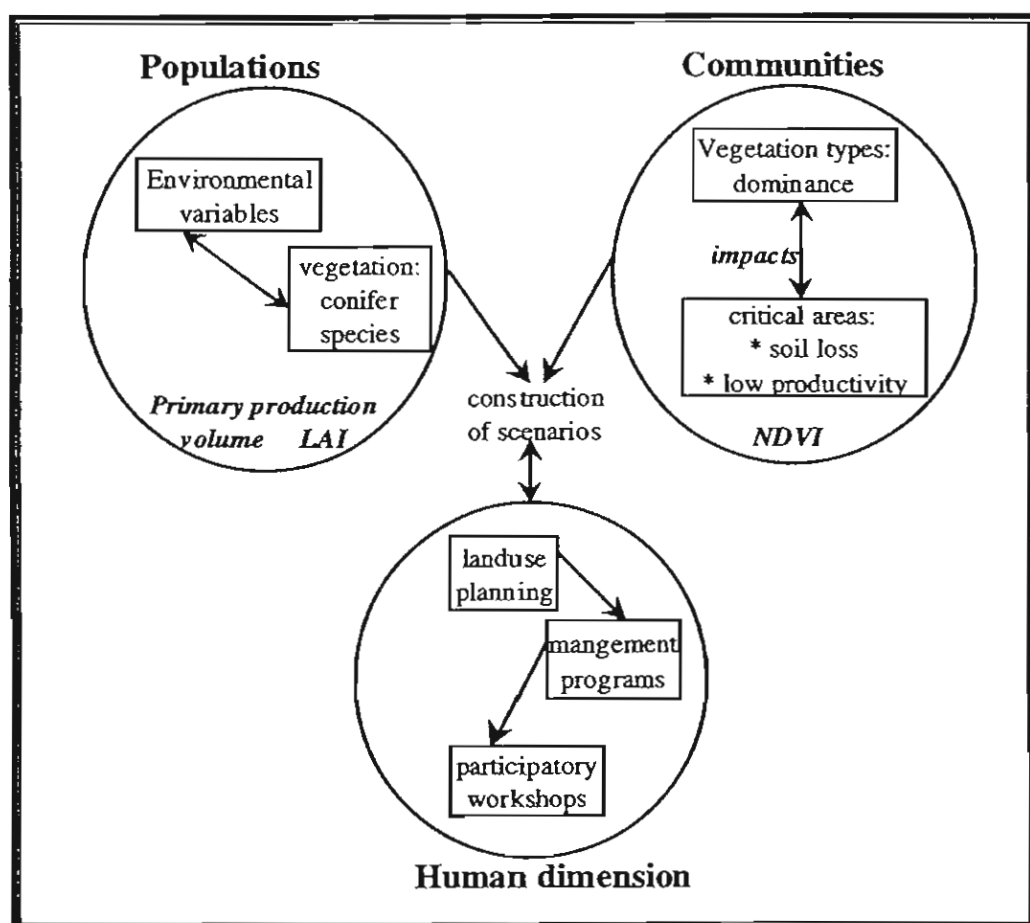
In this axis the ecological information has to be integrated into a classification of land units within the region of research. The former, must consider, in a first level, only the ecological attributes with the purpose of designing the adequate management and conservation strategies for each land unit. The processes evaluated through the first previous thematic axes must be reflected in landscape patterns which indicate to us an ecological zoning based in the degree of

integrity of the communities.

V. Nature-society relationship

This last thematic axis has to incorporate to the previously established management units, the components which, in thematic axis 3, defined the critic areas. In this way, the human dimension variable will be incorporated to the land use planning through the establishment of management units. Also, within this axis the data relative to the social component will be obtained applying methodologies of participatory planning.

The conceptual scheme synthesised in the following figure shows the three key components at different scales: trees at the population level, vegetation types at the community level and landuse planning at the social system level (human dimension). Additional elements considered within each scale as also included as well as the construction of scenarios as the linking process among them.



Research area

The region of the Iztaccíhuatl and Popocatepetl volcanoes is very important from the phytogeographic and botanical point of view. This is due to their location between the Neotropical and Holarctic biogeographic regions and within the Transverse Neovolcanic Axis which contains the highest mountains of México with a remarkable altitudinal gradient. The combination of these factors favours the development of an important diversity of vegetation types which represent an important floristic richness. Rzedowski (1991) in comparing different temperate vegetation communities, mentions that conifer and boarded leafed forests (highly represented in

the volcanoes) are the richest in species. Another community located in the area which is very important due to its abundance in endemism, is the alpine vegetation. As a result of this diversity in the volcanoes area we can find 44.13% of the 2071 recognised species for the Valley of México (Rzedowski y Rzedowski, 1985).

From the ecological perspective, the area represents an important location for water retention, both for the watershed of the valley of México as for the east area of the State of Puebla which includes the Higher Balsas watershed. The vegetation covering the slopes of the volcanoes allows for a significant increase of the water retention capacity and is fundamental for the prevention of erosion.

Unfortunately, the volcanoes area is threatened by a continuous expansion of agriculture, settlements, grazing, illegal lodging, fires and uncontrolled recreation. In only 10 years, the surface affected by land use changes increased in a 50%. Together with the decrease of the forested area there is an increase in the fragmentation of the forests.

In a more specific way, in the northeast slopes of the Iztaccíhuatl, within the State of Puebla, we find the San Juan Tetla area which is shown in Figure 2. This is a highly populated area with many small communities, most of the of prehispanic origin with inherited land ownership systems. This is the case of several towns of the Municipio of Chiautzingo which is located below the forest area of the Iztaccíhuatl. The productive systems and needs of the inhabitants of these towns have a determinant influence in the land use changes of the area.



Figure 2

Common to those town, is the delimitation of the property limits using fences, rows of fruit trees or stone monuments. In the other hand, in communal lands, agriculture is reduced to those small pieces of land located between the andesitic or basaltic lava flows which were formed from the Iztaccíhuatl. This locations are commonly called *joyas* (jewels) and their natural formation limits agriculture to the places where a soil derived from volcanic ashes has been formed

the volcanoes) are the richest in species. Another community located in the area which is very important due to its abundance in endemism, is the alpine vegetation. As a result of this diversity in the volcanoes area we can find 44.13% of the 2071 recognised species for the Valley of México (Rzedowski y Rzedowski, 1985).

From the ecological perspective, the area represents an important location for water retention, both for the watershed of the valley of México as for the east area of the State of Puebla which includes the Higher Balsas watershed. The vegetation covering the slopes of the volcanoes allows for a significant increase of the water retention capacity and is fundamental for the prevention of erosion.

Unfortunately, the volcanoes area is threatened by a continuous expansion of agriculture, settlements, grazing, illegal lodging, fires and uncontrolled recreation. In only 10 years, the surface affected by land use changes increased in a 50%, Together with the decrease of the forested area there is an increase in the fragmentation of the forests.

In a more specific way, in the northeast slopes of the Iztaccíhuatl, within the State of Puebla, we find the San Juan Tetla area which is shown in Figure 2. This is a highly populated area with many small communities, most of the of prehispanic origin with inherited land ownership systems. This is the case of several towns of the Municipio of Chiautzingo which is located below the forest area of the Iztaccíhuatl. The productive systems and needs of the inhabitants of these towns have a determinant influence in the land use changes of the area.

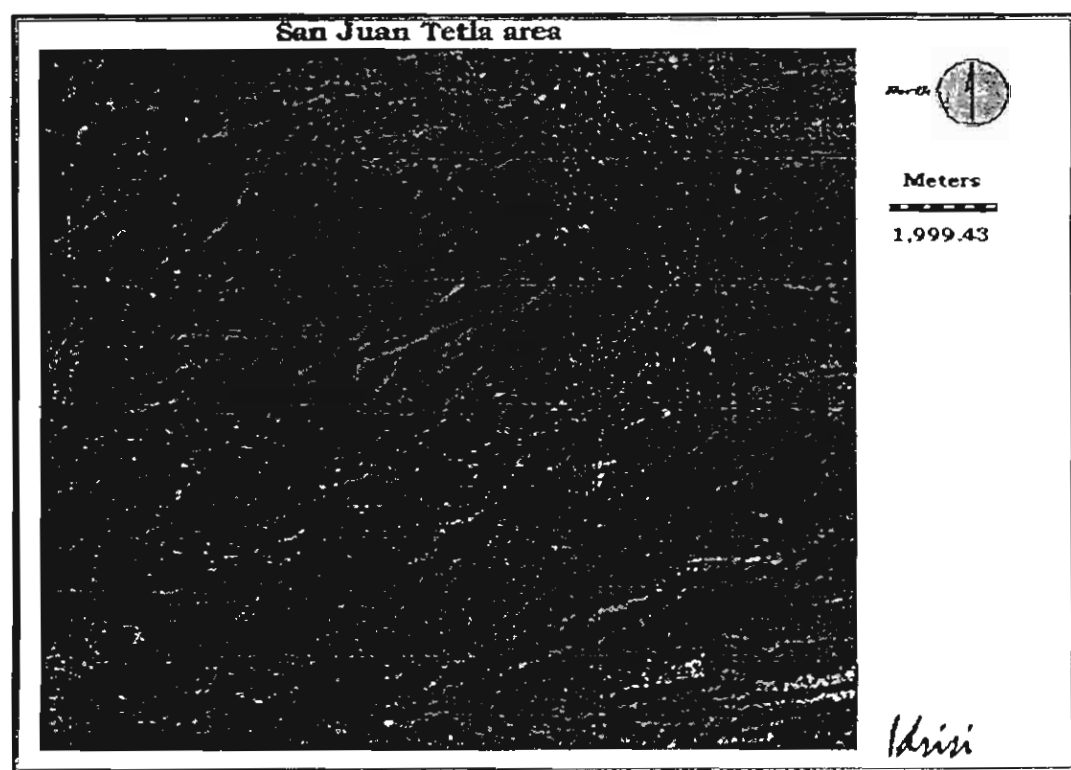


Figure 2

Common to those town, is the delimitation of the property limits using fences, rows of fruit trees or stone monuments. In the other hand, in communal lands, agriculture is reduced to those small pieces of land located between the andesitic or basaltic lava flows which were formed from the Iztaccíhuatl. This locations are commonly called *joyas* (jewels) and their natural formation limits agriculture to the places where a soil derived from volcanic ashes has been formed

Of special interest to this research are the *ejidos* (a characteristic Mexican form of communal property organization) within the Municipio of Chiautzingo which have forest lands. One of them, San Agustín Atzompa has very deteriorated forests but is becoming aware of the importance of protecting and conserving those areas. The other one, San Juan Tetla has already a tradition of 30 years in managing their forest reforesting them and controlling fires with relative success. Besides this two ejidos, the Municipio of Chiautzingo has an extremely well preserved area which is managed for forest research by a specialised Institute from the Ministry of Agriculture.

Objectives

The general objective is to develop a methodology with the support of remote sensing that can allow us to design restoration activities in the ejidos of San Agustín Atzompa, San Juan Tetla and in the Forest Research Institute. The procedure will be designed for different end-users such as planners, decision makers, natural protected areas administrators and non governmental organizations.

The specific Objectives follow the five thematic axes as follows:

1. Characterize the relationships between the environmental limiting factors and the biomass of the conifer tree species.
2. Characterize the production and primary productivity of the conifer tree species.
3. Characterize the areas which present a critical situation with respect to the optimum conditions for the growth and development of the conifer tree species.
4. Integrate a zonation of land units based in quality of the site, dominance and productivity of the conifer tree species.
5. Integrate a zonation of management units based in the land units and the components for decision making derived from the inputs of the socio-economic analysis.
6. Elaborate a series of technical manuals for the different management units.
7. Socialize the zonation proposal as well as the content and procedures of the technical management manuals.

Research questions

Main research question:

¿What are the main factors (biotic and abiotic) determining the natural distribution of the pine tree forest of San Juan Tetla and San Agustín Atzompa as part of the Iztaccíhuatl - Popocatepetl area, and how is this influenced by human pressure?

General hypothesis:

The main factors that cause the natural distribution of the pine trees are soil type, temperature and precipitation expressed in standing biomass, and population structure of the forest.

Working hypothesis:

The growth and population dynamical processes of the different pine tree species have been disrupted by human pressure (through uncontrolled fires, grazing, lodging and reforestation), and as a result the growth and population structure of the forests has been affected.

To answer the research question, the following factors will be quantified:

- a) The key processes that affect the growth of the dominant pine species, such as soil type (as representation of nutrient availability), temperature, precipitation/humidity, and slope along a gradient from low (c. 2700 masl) to high (3700 masl).
- b) Biomass/production along an altitudinal gradient under natural and disturbed conditions.
- c) Effects of (historical) land use on the above mentioned factors.

Procedure

In the first stage of the project a data base will be elaborated through a field survey. For some parameters, such diagnosis will be integrated to a GIS and its result will be expressed as a map. According to the objectives, the activities to develop are the following:

For objective 1: *Characterise the relationships between the limiting factors of the physical environment and the biomass of the tree species.*

1.a) The study area will be delimited considering its natural characteristics (geomorphology, vegetation distribution) as well as the cultural (political division).

1. b) A data base will be elaborated with respect to the data of the physical factors in terms of soil type and microclimatic conditions based in a relief analysis with support of the GIS *Idrisi*.

Later on, to integrate objective 2: *Characterise the primary production and productivity of the tree dominant species*, an intensive sampling will be carried on during three terms. The method for this survey will be a stratified sampling based on altitudinal floors with 25x25 plots. The number of plots will be determined once the working area has been defined and in each plot the following activities will be undertaken.

2. a) Field registers will be made about the localisation of the dominate tree species, as well as their density per unit area. The product of this activity will be a map showing the distribution of the different types of vegetation defined based on the composition of the dominant tree species, as well as a database.

2. b) The following parameters will be measured for all trees: height, DAB and DAP to be able to generate with regressions, the allometric models which allow us to predict the growth tendencies of the trees. The data base so obtained and the growth models constitute the product to obtain for this activity.

2. c) Pictures will be taken of the canopy to be able to estimate LAI with the software WINPHOT, which is based in an analysis of the luminosity within a digital image and has been calibrated to estimate LAI based on pictures of canopies taken with a 180 degrees lens. A database with the values of LAI will be the product to obtain.

2. d) Based on a satellite image of the area, the NDVI will be estimated for the plots sampled in the field. After this, a correlation will be established between these values and the LAI to be able to generate a model which predicts the productivity in the region. Besides the respective data bases, this activity will generate as a product a productivity map.

Objective 3 indicates: *Characterise the areas which present a critical state with respect to the optimal conditions for the growth and development of the dominant tree species.* To be able to achieve this, the following activity will be undertaken parallel to the activities of objective 2 and in the same plots:

3. Field records will be made of those factors which are negative to the development of the tree populations. This considers antropic factors (cutting, sap extraction, grazing, tendencies to land use changes), as well as natural (slope, type of soil, absence of saplings) and others not always easy to define with respect to their direct origin (fires, plagues). This activity will have as result a data base about the critical factors and its respective map of critical areas zonation.

In the second stage of the research it will be necessary to integrate, in a landscape synthesis, the dynamics of the natural processes of the region and the effect of different measures on the land use of the system. To achieve this synthesis, it is necessary to construct, in a sequential manner, a series of maps which integrate the different information layers obtained in the first stage in such a way that it is possible for us to evaluate the impacts of different possible restoration

measures through the construction of several possible scenarios for the management of the forest resources of the region.

In this way, and based on objective 4: *Integrate a zonation of landscape units based in site quality, dominance and productivity of the dominant tree species*, the following activity will be held.

4. Data from the first stage will be integrated in an ecological zonation of the region which contains the landscape units defined in terms of tree species productivity as a response to the site quality. The product that will be obtained will be the landscape units map.

Later on objective 5 will be undertaken and it indicates: *Integrate a zonation of management units based in the landscape units and the components for the decision making derived from the analysis of the socio-economic system*.

This objective is very complex and it involves previous activities which shall be carried on during the same period as the field work of the first stage as described below.

5. a) Socio-economic statistics of the localities involved will be integrated in database.

5. b) Participatory workshops will be held to obtain the necessary information about the organisation forms and mechanisms of decision making of the selected localities.

5. c) The socio-economic information obtained by the previous activities will be analysed in such a way that it is expressed in a listing of criteria and properties for decision making that combines the vision of the inhabitants of the localities with that of the experts on the natural system.

5. d) A comparison of land use in two or three satellite images will be made having among them a difference of between 5 and 10 years. This will be done with time series what can allow us to establish a basic model of the tendency of these changes. The product, which will be indispensable for the following objectives will be the map of land use changes.

5. e) Once we reach this point, we will have three very important maps; critical areas, landscape units and land use changes. The combination of these maps will allow us to design different scenarios about the possible spatial arrangement of the management areas, understanding them as qualitatively different areas with respect to their natural attributes as well as their characteristics of antropic pressure and management system.

5. f) As we proceed in the former activities, it will be possible to elaborate a zoning proposal for management units based on the construction for scenarios. The database obtained in this way and the map of management units are key products for the next stage of the research.

The third and last stage of the work considers the development of a support system for decision making that incorporates decision criteria that looks for the compatibility among conservation of the area and development of the human communities related to it.

To achieve this, two very related aspects have been specified, from these, the first one is objective 6 which indicates: *Elaborate a series of technical manuals for the different management units* and its activity is the following:

6. Technical management proposals will be elaborated for each management unit defined in activity 5. f). These techniques shall be expressed as a final product in a Management manual which contains the strategies and mechanisms necessary for the adequate management of the forested areas which are susceptible to be used by the inhabitants of the selected localities.

The last objective is objective 7 which consists in socialising the zonation proposal as well as the content and procedures of the technical management manuals. This objective shall be achieved through the organisation of a participatory workshop with the users of the forested areas.

References

- Allen, T.F.H., and T.B. Starr (1982): *Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity*. - Chicago: University of Chicago Press.
- Bailey, R.G. (1987): Suggested hierarchy of criteria for multiscale ecosystem mapping. - *Landscape and Urban Planning*, Vol. 14, pp. 313-319.
- Bormann, F.H. and G.E. Likens (1979): *Pattern and Process in a Forested Ecosystem*. - New York: Springer-Verlag.
- Burrough, P.A. (1986): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. - Monographs on Soil and Resources Survey No. 12. Oxford: Clarendon Press.
- Chávez, J.M. and N. Trigo [eds.] (1996): *Programa del Manejo del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl*. - Colección Ecología y Planeación, Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco.
- Ericson, J., E. Boege and M. S. Freudenberger (1998): Population dynamics, migration and the future of the Calakmul Biosphere Reserve. Document presented at the meeting of the Latin American Studies Association. - Chicago, Illinois, september 24 to 26.
- Fuentes, L. (1987): El paisaje en el pie de monte poblano de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl. - México: Boletín del Instituto de Geografía, vol VI, pp 97-116.
- Heil G.W., W.P.A. van Deursen, R. Bobbink, N. Trigo and W. Dijkman (1994): Remote sensing of biomass and land-use in terrestrial ecosystems: Modelling the non-fossil carbon cycle of Latin America. - Delft/Den Haag: Report Resource Analysis - Ministerie van VROM.
- Heil G.W. and W.P.A. van Deursen (1996): Searching for patterns and processes - The role of Geographical Information Systems and Remote Sensing in vegetation science. - *Acta Bot. Neerl.* Vol 45, pp. 543-556.
- IUCN/UNEP/WWF (1991): *Caring for the Earth. A Strategy for Sustainable Living*. - Gland, Switzerland.
- Jensen, J.R. (1996): *Introductory digital Image Processing: a remote sensing perspective*. - New Jersey: Prentice Hall.
- Jongman, R.H., C.J.F. ter Braak and O.F.R. van Tongeren (1987): *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. - Wageningen: Pudoc.
- King, A.W. (1991): Translating models across scales in the landscape. - In: Turner, M.G. and R.H. Gardner [eds]: *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. - New York: Springer-Verlag, Ecological Studies vol. 82, pp 479-517.
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer (1987): *Remote Sensing and Image Interpretation*. - New York: John Wiley and Sons.
- Meentemeyer, V. (1989): Geographical perspectives of space, time and scale. - *Landscape Ecology* Vol. 3, nos. 3/4 pp. 163-173.
- Meentemeyer, V. and E.O. Box (1987): Scale effects in landscape studies. - In: Turner, M.G. [ed.] *Landscape Heterogeneity and Disturbance*. - New York: Springer-Verlag, Ecological Studies vol. 64, pp. 15-34.
- Ridgley, M.A. and G.W. Heil (1998): Multicriterion planning of protected-area buffer zones: an application to Mexico's Ixta-Popo national park. - In: Beinart E. and Nijkamp P. [eds] *Multicriteria evaluation in land use management*. - The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 293-311.
- Rzedowski, J. (1991): El endemismo de la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. - *Acta Botánica Mexicana*. Vol. 15, pp. 47-64.
- Rzedowski, J. y G.C. de Rzedowski [eds.] (1985): *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Vol II - México: Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN e Instituto de Ecología A.C.
- Staalduinen, M.A. van & G.W. Heil (1998): Habitat Fragmentation: The role of Multi Criteria Analysis (MCA) for the Assessment of Effects on Plant Populations. - *Acta Bot. Neerl.*, vol. 47, pp. 514-515.