



Universidad Autónoma Chapingo

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

LOCALIZACIÓN DE ZONAS POTENCIALES PARA EL DESARROLLO DE SEIS ESPECIES FORESTALES EN EL ESTADO DE TLAXCALA

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

Maestro en Ciencias en CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

JUAN CARLOS DÍAZ FÉLIX



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Febrero de 2007

Chapingo, Edo. de México





Universidad Autónoma Chapingo

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**LOCALIZACIÓN DE ZONAS POTENCIALES
PARA EL DESARROLLO DE SEIS ESPECIES
FORESTALES EN EL ESTADO DE TLAXCALA**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

Maestro en Ciencias en CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

JUAN CARLOS DÍAZ FÉLIX

Enero de 2007

Chapingo, Edo. de México



LOCALIZACIÓN DE ZONAS POTENCIALES
PARA EL DESARROLLO DE SEIS ESPECIES
FORESTALES EN EL ESTADO DE TLAXCALA

Tesis realizada por JUAN CARLOS DÍAZ FÉLIX bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN **CIENCIAS FORESTALES**

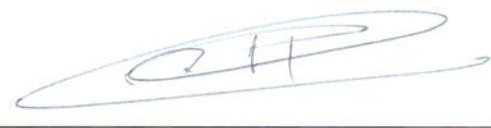
DIRECTOR:


M.C. Silvia Terrazas Domínguez

ASESOR:


Dr. José A. Gil Vera Castillo

ASESOR:


M.C. Eduardo Vargas Pérez

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud:

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la División de ciencias Forestales por permitirme cursar en ellas esta maestría.

A CONACyT por la beca tan valiosa que me ayudo a poder realizar este postgrado.

A la M.C.. Silvia Terrazas Domínguez por su amistad, apoyo y confianza que me brindo durante la dirección de la presente tesis.

Al Dr. José A. Gil Vera Castillo y al M.C. Eduardo Vargas Perez, por sus comentarios y sugerencias que contribuyeron a realizar un mejor trabajo.

Y a todos aquellos que de una u otra manera me brindaron su apoyo y ayuda para la culminación de mi tesis.

DEDICATORIA

Con gran amor, cariño y respeto dedico este sencillo trabajo a las personas más importantes en mi vida.

A mis padres: **Ricarda Félix Torres y Juan Carlos Díaz Olivas.**

A mis hermanos: **Alain, José Luis y Abraham.**

A mi novia **Sagrario.**

DATOS BIOGRÁFICOS

Nací en Durango, Dgo. en el año de 1982. Durante diez y siete años viví en el municipio de Topia, lugar donde estudié la primaria, secundaria y preparatoria.

En 1999 ingresé al Propedéutico de la Universidad Autónoma Chapingo, y después, en el 2000, a la División de Ciencias Forestales donde obtuve el título de Ingeniero Forestal en el 2004.

En el mismo año fui aceptado en la maestría en ciencias en Ciencias Forestales, la cual concluí en el 2006, obteniendo el grado de Maestro en Ciencias.

LOCALIZACIÓN DE ZONAS POTENCIALES PARA EL DESARROLLO DE SEIS ESPECIES FORESTALES EN EL ESTADO DE TLAXCALA

LOCALIZATION OF POTENCIAL ZONES FOR THE DEVELOPMENT OF SIX FOREST SPECIES IN THE STATE OF TLAXCALA

Juan Carlos Díaz Félix¹ y Silvia Terrazas Dominguez²

RESUMEN

Usando como herramienta de análisis el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 9, se identificaron las zonas potenciales para el desarrollo de *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus cembroides*, *Pseudotsuga menziesii*, *Juniperus deppeana* y *Quercus rugosa*, en el estado de Tlaxcala. Se utilizaron coberturas temáticas digitales de edafología, temperatura, precipitación, altitud, pendiente, exposición y uso de suelo. Con base en los requerimientos medioambientales para cada una de las especies en estudio y mediante la técnica de sobreposición de capas se localizaron dichas zonas, obteniendo una superficie potencial de 7317 ha para *Pinus montezumae*, 5343 ha para *Pinus patula*, 4539 ha para *Pinus cembroides*, 4522 ha para *Pseudotsuga menziesii*, 5395 para *Juniperus deppeana* y 6903 ha para *Quercus rugosa*.

PALABRAS CLAVE: SIG, zonas potenciales, coberturas temáticas digitales, sobreposición de capas.

ABSTRACT

Using as an analytical tool the Geographic Information System (GIS) ArcGIS 9, the potential zones were identified for the development of *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus cembroides*, *Pseudotsuga menziesii*, *Juniperus deppeana* and *Quercus rugosa*, in the state of Tlaxcala. Thematic digital coverages were used related to edafologia, temperature, precipitation, altitude, slope, exposition and soil use. Based on the environmental requirements for each one of the species under study and by means of the overlapping cap technique the above mentioned zones were located, obtaining a potential area of 7317 has for *Pinus montezumae*, 5343 has for *Pinus patula*, 4539 has for *Pinus cembroides*, 4522 has for *Pseudotsuga menziesii*, 5395 for *Juniperus deppeana* and 6903 has for *Quercus rugosa*.

KEY WORDS: GIS, potential zones, thematic digital coverages, overlapping cap.

1 Tesista

2 Director

ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Los Sistemas de Información Geográfica y su aplicación	4
3.2. Estudios realizados sobre zonas potenciales	8
3.3. La clasificación de uso de suelo con imágenes de satélite	12
4. MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1. Descripción del estado de Tlaxcala	16
4.1.1. Ubicación	16
4.1.2. Fisiografía	17
4.1.3. Climatología	18
4.1.4. Geología y suelos	19
4.1.5. Vegetación	20
4.1.6. Caracterización de las áreas forestales	21
4.2. Metodología	23
4.2.1. Selección y descripción de especies.....	23
4.2.1.1. <i>Pinus montezumae</i> Lamb	24
4.2.1.2. <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	26
4.2.1.3. <i>Pinus cembroides</i> Zucc	29
4.2.1.4. <i>Pseudotsuga menziesii</i>	32
4.2.1.5. <i>Juniperus deppeana</i> Steud	34
4.2.1.6. <i>Quercus rugosa</i> Neé	37
4.2.2. Variables a utilizar	40

4.2.3. Generación de la base de datos digital	43
4.2.3.1. Material cartográfico utilizado	43
4.2.3.2. Esquema metodológico	43
4.2.3.3. Coberturas de datos generales	44
4.2.3.4. Rangos y valores usados para las variables	55
4.2.3.5. Coberturas de datos específicos	58
4.2.4. Localización de zonas potenciales	59
5. RESULTADOS	60
5.1. Cobertura de uso de suelo y vegetación	60
5.2. Localización y distribución de zonas potenciales	63
6. DISCUSIÓN	69
7. CONCLUSIONES	70
8. RECOMENDACIONES	72
9. LITERATURA CITADA	71
10. ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superposición de capas booleanas	6
Figura 2. Localización geográfica del estado de Tlaxcala, México	17
Figura 3. Base de datos digital para el estado de Tlaxcala	44
Figura 4. Rangos de temperatura media anual en el estado de Tlaxcala	45
Figura 5. Rangos de precipitación media anual en el estado de Tlaxcala	45
Figura 6. Tipos de suelo en el estado de Tlaxcala	46
Figura 7. Fase física para los suelos del estado de Tlaxcala	48
Figura 8. Tipos de textura para los suelos del estado de Tlaxcala	50
Figura 9. Valores de altitud para el estado de Tlaxcala	51
Figura 10. Valores de pendiente para el estado de Tlaxcala	52
Figura 11. Mapa de exposiciones para el estado de Tlaxcala	52
Figura 12. Porcentajes por clase de uso de suelo y vegetación	61
Figura 13. Disminución de la superficie boscosa en el estado de Tlaxcala	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tipos de suelo encontrados en Tlaxcala	47
Cuadro 2. Descripción de las fases físicas para los suelos de Tlaxcala ...	49
Cuadro 3. Valores de arcilla y arena para las categorías de textura del suelo	50
Cuadro 4. Clases utilizadas en la clasificación supervisada	54
Cuadro 5. Variables climáticas, edáficas y topográficas utilizadas para localizar las zonas potenciales	57
Cuadro 6. Área obtenida por clase de uso de suelo y vegetación	60
Cuadro 7. Superficie total de zonas potenciales por especie	64
Cuadro 8. Distribución de zonas potenciales por municipio	67

1. INTRODUCCIÓN

México es uno de los países que presentan mayores índices de deforestación mundial y donde gran parte de la superficie forestal ha sido reemplazada en forma drástica por áreas de actividad agropecuaria, que lejos de contribuir en la producción, la lesiona al convertirlas en terrenos de baja productividad, por lo tanto poco rentables económicamente.

De entre los estados de la Republica Mexicana, el de Tlaxcala es uno de los que presentan serios problemas ambientales y una gran perdida de áreas boscosas, producto de la alta densidad de población, la tala inmoderada y el uso inadecuado del suelo. Se conoce que originalmente la entidad tenía una superficie de 350,000 hectáreas de bosques y en 1949, tenía sólo 108,000 hectáreas y para el año de 1999 se reportaban solo 60,000 hectáreas (Espejel, 1999).

Los intentos que diversas dependencias como la CONAFOR, a través de programas como PRODEPLAN, han llevado a cabo para integrar nuevamente terrenos de vocación forestal a la producción mediante la reforestación y el establecimiento de plantaciones comerciales, no han tenido el éxito esperado, debido a la falta de investigaciones que contribuyan al conocimiento sobre el desarrollo de especies forestales.

Es importante para estos tipos de estudios intensificar la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica, herramienta útil y eficiente en la identificación de sitios adecuados para el establecimiento de especies vegetales (entre otras aplicaciones), a través de la manipulación y procesamiento de información cartográfica digitalizada (Lang, 1998).

Bajo este marco el presente estudio tiene como objetivo determinar la zonas potenciales para el establecimiento de seis especies de importancia forestal; *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus cembroides*, *Pseudotsuga menziesii*, *Juniperus deppeana* y *Quercus rugosa* en el estado de Tlaxcala. Esto mediante la aplicación del SIG ArcGIS 9, así como el uso imágenes del satélite Landsat ETM+, ortofotos digitales e información cartográfica obtenida en CONABIO e INEGI.

A través de esté estudio, se pretende impulsar el establecimiento de especies forestales, ya sea con fines comerciales o de reforestación como una alternativa de reconversión de las áreas donde sea posible realizar actividades que representen mayor rentabilidad a productores agropecuarios del estado, así como una alternativa para frenar la degradación de los recursos naturales.

2. OBJETIVOS

General

Definir mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica, las zonas potenciales para el desarrollo de *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus cembroides*, *Pseudotsuga menziesii*, *Juniperus deppeana* y *Quercus rugosa* en el estado de Tlaxcala.

Específicos

- Obtener el mapa de uso de suelo y vegetación actual a partir de una clasificación supervisada con imágenes del satélite Landsat ETM+ y ortofotos digitales.
- Crear una base de datos digital, con las coberturas temáticas requeridas para la localización de las zonas potenciales.
- Elaborar los mapas de localización y distribución de zonas potenciales para las seis especies en estudio.
- Determinar la superficie de zonas potenciales para el desarrollo de cada especie en el estado de Tlaxcala.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Los Sistemas de Información Geográfica y su aplicación

En general un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una colección organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, almacenamiento, integración, actualización, modificación, análisis espacial y despliegue de todo tipo de información geográficamente referenciada (ESRI, 1995).

Existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relacionada con la infraestructura de un municipio, estado o incluso a nivel nacional.

Es indiscutible que los datos son el principal activo de cualquier sistema de información. Por ello el éxito y la eficacia de un SIG se miden por el tipo, la calidad y vigencia de los datos con los que opera. Los esfuerzos y la inversión necesaria para crear las bases de datos y tener un SIG eficiente y funcional no son pequeños, aunque tampoco significa una gran inversión.

La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada que pueda ser procesada por el lenguaje de las computadoras actuales. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles y normalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en capas; en esta fase, y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a compilar, se seleccionan las capas temáticas a incluir.

La base de un SIG es, por tanto, una serie de capas de información espacial referenciada en formato digital que representan diversas variables, o bien capas que representan objetos a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada.

Un Sistema de Información Geográfica almacena dos tipos de datos que se encuentran en los mapas: las definiciones geográficas de las características de la superficie terrestre y los atributos o cualidades que esas características poseen. No todos los sistemas usan la misma lógica para lograr esto. Casi todos, sin embargo, usan una o la combinación de ambas técnicas fundamentales de representación cartográfica: *vectorial* y *raster* (Ronald, 2003).

Algunas de las operaciones que se pueden realizar en un SIG y posiblemente sean las más destacadas, son las que integran los componentes espacial y temática de los datos en un mismo proceso.

Dentro de estas operaciones que realizan los SIG encontramos la reclasificación y las operaciones de superposición. La reclasificación crea una nueva capa de cada condición individual de interés (Figura 1).



Figura 1. Superposición de capas booleanas.

La capa resultante es conocida como capa o máscara *Booleana* porque sólo muestra aquellas áreas que cumplen con la condición de interés. La superposición (overlay) de capas *Booleanas* en un SIG dará lugar a la producción de nuevas capas basadas en alguna combinación lógica o matemática de dos o más capas de entrada.

Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Estas tecnologías comenzaron a utilizarse inicialmente a nivel de proyectos individuales, luego a nivel departamental, pero en los años recientes los SIG se han ido moviendo muy rápidamente hacia el marco de trabajo de cualquier organización/institución bajo el enfoque de compartir y distribuir información y servicios en su interior. Esto permite a las organizaciones tomar mejores decisiones en base al análisis de los factores más relevantes del problema en estudio. Por esto la tecnología SIG se está convirtiendo en una parte integral de la infraestructura de la información en muchas organizaciones (ESRI, 2004).

La construcción e implementación de un SIG en cualquier organización es una tarea siempre progresiva, compleja, laboriosa y continúa. Los análisis y estudios anteriores a la implantación de un SIG son similares a los que se deben realizar para establecer cualquier otro sistema de información; sin embargo, en los SIG hay que considerar las características especiales de los datos utilizados y sus correspondientes procesos de actualización.

Los SIG han sido reconocidos como una tecnología de integración que puede incorporar datos muy dispares en cualquier mapa. La sobreposición de diversas capas de datos en un espacio geográfico común permite que se integren y que se pueda derivar nueva información para solucionar problemas y trabajar más eficientemente (Pozo, 2004).

3.2 Estudios realizados sobre zonas potenciales

De acuerdo a la FAO (1997) la zonificación agroecológica es la división de la superficie de la tierra en unidades más pequeñas, que tienen características similares relacionadas con la aptitud de la tierra, la producción potencial y el impacto ambiental. El nivel de detalle depende de la escala de estudio y en ocasiones del equipo utilizado para el procesamiento de la información; siendo el periodo de crecimiento, el régimen de temperatura y la unidad cartográfica de suelos los elementos esenciales que definen una zona o área agroecológica.

La importancia de esta zonificación que implica la producción en los ambientes más favorables que proveen las condiciones que satisfacen los requerimientos de la especie, radica en la necesidad de practicar una agricultura más productiva y con un nivel de riesgo menor (Ruiz *et al.*, 1999).

Utilizando como base los Sistemas de Información Geográfica, se han desarrollado diferentes trabajos de investigación y de aplicación en muy diversas áreas, como es la determinación del potencial productivo de especies vegetales en México (Medina, 1997).

Aunque aun son pocos los estudios que se han realizado en este tema, estos han ido en aumento. Algunos ejemplos del uso de los SIG en la detección de zonas potenciales para el desarrollo de diversas especies vegetales son los siguientes:

INIFAP (2006) el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Agropecuarias en coordinación con la Comisión Forestal del Estado de Michoacán, llevo acabo un diagnostico para determinar las áreas potenciales para *Pinus patula*, *P. pseudostrobus*, *P. michoacana*, *P. greggii*, *Cedrela odorata*, *Tectona grandis*, *Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Acrocarpus fraxinifolius* y *Brosimum alicastrum* en el estado. Mediante el SIG ArcView 3.2 e IDRISI V3.2, se generaron los mapas de zonas potenciales para las diferentes especies utilizando coberturas digitales en los temas de precipitación, temperatura, altitud, pendiente, tipo y uso de suelo y clima.

Cano y Martínez (2004) desarrollaron una tecnología para el establecimiento de plantaciones de *Pinus eldarica* con fines comerciales y de reforestación en el estado de Nuevo León. Para el análisis espacial utilizaron el SIG IDRISI, del cual se obtuvo la información en forma de mapas en los cuales presentan las áreas potenciales para plantaciones comerciales, intensivas y de conservación, con diferentes categorías de productividad.

La CONAFOR (2003) elaboro una guía con el objetivo de resaltar las zonas del país donde puede haber un potencial para el desarrollo de plantaciones forestales. La base de la información utilizada fueron las fichas técnicas de especies para la reforestación proporcionadas por PRODEPLAN y PRONARE. Se utilizaron mapas digitales a escala 1:250,000 en los temas de tipo de suelo, textura, temperatura, precipitación y altitud. Como resultado final

se obtuvieron 29 mapas donde se localizan las zonas potenciales para el establecimiento de plantaciones con especies de importancia comercial.

Meza (2003) llevó acabo una investigación cuyo objetivo principal fue la identificación de áreas con potencial productivo para damiana (*Turnera difusa* Willd) bajo condiciones de riego en Baja California Sur. Utilizó el SIG ArcView 3.1 y Arc/Info para PC 3.5.2, además de cartografía digital con datos de altitud, temperatura, textura y fase del suelo. Estimó una superficie de 81,500 hectáreas con potencial de producción las cuales coinciden en su mayoría con zonas agrícolas importantes del sur del estado.

Meza (2002) mediante el uso de los SIG ArcView 3.1 y Arc/Info para PC 3.5.2, identificó áreas potenciales en el estado de Baja California Sur para el establecimiento de plantaciones de palo de arco (*Tecoma stans*) bajo condiciones de riego. Empleó mapas digitales de altitud, temperatura, textura y fase del suelo. Estimó un área de 147,900 hectáreas con potencial para el establecimiento de la especie, siendo la temperatura mínima y suelo sin fases físicas, los factores más restrictivos.

SIG-MAGA (2002), Laboratorio de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala, se identificaron áreas del país con aptitud para el desarrollo de 30 cultivos promisorios, incluidos 22 frutales, 5 hortalizas y 3 ornamentales. Para el análisis de la información se utilizo el SIG ArcView 3.2, con sus extensiones "Spatial Analys" y "3D". Las

variables utilizadas para realizar los análisis de los cultivos fueron: altitud, temperatura media anual, precipitación media anual, edafología y pendiente, todas a escala 1:250,000.

Martínez (1998 y 1999) mediante el uso de un SIG y utilizando información de altitud, pendiente, clima y suelo, generó un mapa de áreas con potencial para chamizo blanco (*Atriplex canescens*) en el estado de Coahuila. Menciona que el uso de esta tecnología puede beneficiar a los productores, ya que podrían incrementar sus ingresos al planear sus actividades en áreas productivas de bajo riesgo y con el uso de especies vegetales más adecuadas.

Pajares (1997) realizó un trabajo con el objetivo de localizar zonas idóneas para reforestar en un área de Madrid mediante el uso del SIG IDRISI. Tras un análisis de varias especies seleccionó a *Pinus pinaster* como la mas adecuada para reforestar. Se partió del uso de mapas bases digitalizados a una escala 1:200,000. Las variables empleadas fueron: altitud, litología, hidrografía, uso del suelo (vegetación), capacidad de usos del suelo, carreteras y núcleos habitados. Mediante procesos de recodificación, análisis topográfico, análisis de proximidad y superposición de los mapas base se generaron dos mapas sintéticos (mapa de idoneidad y mapa de zonas restringidas), al superponer ambos se llegó al mapa final con las áreas de mayor y menor aptitud para la reforestación.

3.3. La clasificación de uso de suelo con imágenes de satélite

De acuerdo con Vink (1975), citado por Zavala (1993), el concepto de uso de suelo es similar al de uso de la tierra y se define como cualquier tipo de intervención humana cíclica o permanente para satisfacer sus múltiples necesidades. Es innegable que el uso de la tierra es un resultado de las condiciones naturales, técnicas, socioeconómicas y de la actividad humana pasada y presente de un país o de una región determinada.

Tradicionalmente, la clasificación se lograba a través de la interpretación visual de características y de la delineación manual de sus límites. Sin embargo, con el advenimiento de las computadoras y del tratamiento digital de imágenes, se ha prestado atención en el uso de la interpretación asistida por computadora. Como consecuencia, la mayoría de los proyectos de clasificación en la actualidad emplean procedimientos de clasificación digital, guiados por la interpretación humana (Ronald, 2003).

El procesamiento digital de imágenes de satélite actualmente es una herramienta muy generalizada en la mayoría de las disciplinas que se relacionan al uso y manejo de los recursos naturales. Específicamente en el área forestal, esta disciplina ha demostrado su aplicabilidad en vastos sectores del planeta.

Algunos ejemplos de estudios realizados con el uso de imágenes de satélite son los siguientes:

Barrón y García (2003) a través de una clasificación supervisada de imágenes de satélite, identificaron y cuantificaron las áreas degradadas del bosque en un área de Tepehuanes Dgo. Mediante el criterio de máxima probabilidad obtuvieron la imagen de degradación que arrojó que un 46.31% del área presenta algún grado de degradación y un 2.45% de la zona tiene degradación severa.

Lalane et al. (2002) a través de una serie multitemporal de imágenes satelitales Landsat TM, determinaron los distintos ambientes productivos para un área de Buenos Aires, Argentina. Se realizaron las mediciones por áreas productivas, pudiendo inferir, de éste modo, la cantidad de hectáreas que pueden utilizarse para el aprovechamiento ganadero. Se determinó el uso de la tierra, comprobándose sobre muchas áreas, rotaciones agrícolas o monocultivos de verano continuos en sectores con sensibilidad a la erosión.

Rivera (2001) utilizando imágenes del satélite Landsat-TM, el programa IDRISI y datos de campo, llevo a cabo un estudio en el estado de Hidalgo, donde se valoraron y clasificaron las tierras según su nivel de concentración de nitratos. Los resultados indicaron que a través de las imágenes de satélite es posible indicar los niveles de concentración en capas de suelo de 60-90 cm de

profundidad, donde las altas concentraciones están directamente asociadas a la lixiviación de estos causando problemas de contaminación.

Gumiel *et al.* (1999) realizaron un trabajo en el cual, mediante una clasificación con imágenes Landsat TM en la Vega Baja y Campo de Helche (Alicante), se lograron cuantificar las superficies de los diferentes tipos de cultivo de riego. Se realizó un trabajo de campo con el fin de cartografiar segmentos de 500 x 500 m definidos a partir de fotografías aéreas y las imágenes corregidas. La superficie total calculada de cultivos de regadío es de 41,963 hectáreas, lo que supone el 62% del área de estudio.

Ponce (1998) utilizando una porción de una imagen Landsat TM, definió las diferentes clases de uso de suelo y vegetación de un área del estado de Tabasco. Para la clasificación supervisada identificó 10 clases a partir de la comparación del mosaico en falso color y los recorridos en el terreno. El autor concluye que efectuando mejoras de la imagen y el reconocimiento en el terreno de cada una de las clases puede rendir mejores resultados en la clasificación supervisada.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de Argentina (SAGPyA, 1997), realizó un inventario de Plantaciones Forestales en el cual se abarcaron siete regiones. El procesamiento e interpretación se llevó a cabo con imágenes del satélite LANDSAT TM 5. La interpretación final, que combinó la interpretación de las imágenes satelitales, las verificaciones de

campo, el muestreo de campo y la recopilación de los datos de los propietarios definió una superficie final de 642,394.5 ha de plantaciones en las siete regiones inventariadas.

Rodríguez (1993) mediante la clasificación automática de imágenes de satélite LANDSAT TM generó una clasificación automática supervisada de una superficie arbolada ubicada en el noroeste del Municipio de Guanacevi, Durango. Se elaboró un mapa de tipos de vegetación usando técnicas de fotointerpretación y se obtuvo la exactitud de la clasificación mediante la elaboración de una matriz de confusión donde se obtienen los aciertos y errores de las diferentes clases resultando con 62.3% de exactitud.

Bolstad y Lillesand (1992) realizaron un estudio en Wisconsin, en el que se comparan dos métodos de clasificación digital de superficies forestales ocupadas por distintos géneros. Realizaron una clasificación supervisada usando tres bandas, siguiendo el método tradicional (basado únicamente en datos de satélite LANDSAT TM) de clasificación de máxima verosimilitud y se compara con un método combinado, incluyendo datos de tipo de suelo; relaciones suelo-planta, relaciones entre especies o grupos de especies y datos de ubicación terrestre. Los resultados demostraron que el método combinado tiene una mayor precisión que el método tradicional, con un promedio de exactitud del 89 y 73%, respectivamente.

Woodcock et al., (1990) utilizaron imágenes LANDSAT TM y modelos de reflectancia del dosel para inventarios de madera. El modelo de reflectancia del dosel que se utilizó para estimar el tamaño y densidad de los árboles fue Li / Strahler, además de modelos basados en relaciones terrestres para predecir el tipo regional de cada sitio. La clasificación final del tipo de bosque fue una combinación del mapa general de cobertura terrestre, los resultados del modelo del dosel y el tipo de predicción regional.

Serradi (1989) realizó un estudio de clasificación de cobertura del suelo en un área con contraste topográfico usando imágenes LANDSAT TM y obtuvo mejores resultados cuando los datos fueron corregidos por efectos topográficos usando un modelo altitudinal digital.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del estado de Tlaxcala

4.1.1. Ubicación

El Estado de Tlaxcala se localiza geográficamente en la región centro-oriental de la República Mexicana entre los 97°37'07'' y los 98°42'51'' de longitud oeste y los 19°05'43'' y los 19°44'07'' de latitud norte. Situado en las tierras altas del eje neovolcánico, sobre la meseta de Anáhuac (Figura 2).

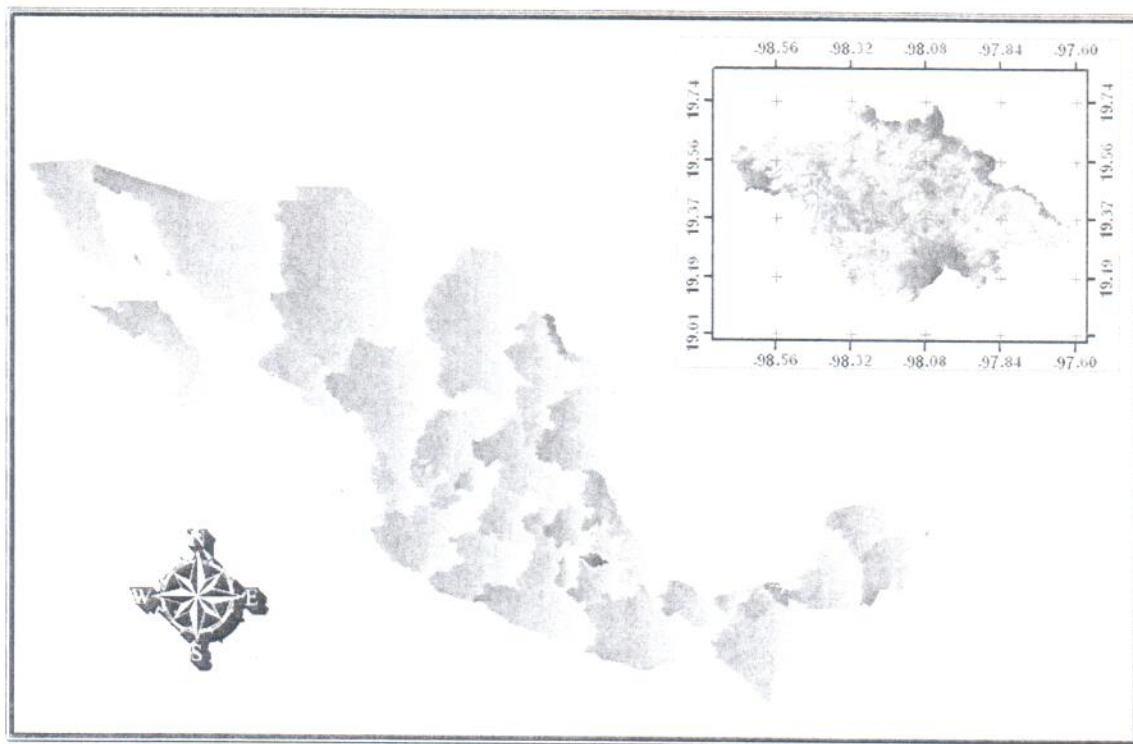


Figura 2. Localización geográfica del estado de Tlaxcala, México.

4.1.2. Fisiografía

Es el estado de la Federación con menor superficie, ya que su extensión territorial es de 4,060.93 km², lo que representa el 0.2 % del territorio nacional.

El paisaje de Tlaxcala esta compuesto de extensos llanos que se alternan con sierras, edificios volcánicos y por lomeríos formados también por rocas ígneas extrusivas. Los suelos Tlaxcaltecas muestran también una gran influencia del vulcanismo. Muchos de ellos están compuestos en su totalidad por vidrio o arena volcánica.

4.1.3. Climatología

El clima en general es templado-subhúmedo con lluvias de verano, pero tiende a ser más seco y extremoso en los valles centrales y septentrionales, y más frío hacia las alturas de La Malinche. Las precipitaciones medias anuales son mayores en el centro y sur, donde van de 600 a 1 200 mm, en tanto que en el noroeste y oriente las lluvias son menores de 500 mm al año.

Los climas templados se presentan particularmente en los valles y las llanuras. El volcán La Malinche, al sur del estado tiene un clima semifrío, excepto en sus cumbres más altas, donde el clima, puede calificarse como frío.

Clima templado

Presenta una temperatura media anual de entre 12 y 18°C, la del mes mas frío oscila entre 3 y 18°C. Este tipo de clima cubre alrededor del 94% de la superficie del estado y se presenta con tres modalidades distintas en cuanto a grado de humedad y porcentaje de lluvia invernal.

Clima semifrío

El rasgo que caracteriza a este clima es un régimen térmico medio anual menor de 12°C. Los tipos de vegetación que comúnmente se desarrollan en estas condiciones son bosques y praderas de alta montaña. Se localiza en pequeñas zonas del este y oeste de la entidad y ocupa aproximadamente el 5% de su superficie.

Clima frío y muy frío

Se caracteriza porque en el mes más cálido se registra una temperatura media menor de 6.5°C, lo que solo permite el desarrollo de asociaciones de líquenes, musgos y hierbas cuya estructura recuerda a la tundra; típica cubierta vegetal de las llanuras árticas, que en nuestro país solo se encuentra en las partes más altas de las montañas, encima de la línea arbolada. Este clima se localiza en la cumbre de La Malinche y cubre alrededor del 1% de su superficie.

4.1.4. Geología y suelos

En Tlaxcala predominan los afloramientos de rocas volcánicas como las andesitas, las riolitas, los basaltos, las tobas y las brechas volcánicas; así como diversas asociaciones de estas.

Las unidades estratigráficas más antiguas del estado son las rocas sedimentarias; en particular los depósitos clásticos formados en un ambiente continental lacustre que, de acuerdo con su litología, son clasificados como asociaciones alternantes de areniscas y limolitas y de areniscas y calizas.

Las estructuras geológicas más importantes de Tlaxcala, son volcánicas; entre ellas destaca, como uno de los seis estrato-volcanes más grandes del país, la majestuosa Malinche, la cual se encuentra en su mayor parte dentro de los límites del estado.

La variedad de tipos de suelo se debe fundamentalmente a la constitución litológica y al clima de la zona. En la provincia predominan las rocas ígneas extrusivas básicas, aunque existen zonas con rocas ígneas extrusivas intermedias y ácidas. Debido a que el clima imperante es el templado subhúmedo, no existe una gran diversidad edáfica.

4.1.5. Vegetación

El Estado de Tlaxcala queda dentro del Reino Neotropical, ubicado en la región xerófita mexicana y en la provincia de la Altiplanicie, la cual se extiende desde Chihuahua y Coahuila hasta Jalisco, Michoacán, Estado de México, Tlaxcala y Puebla (Rzedowski, 1978).

La distribución de los tipos de vegetación en la entidad, obedece principalmente a características climáticas, aunque la presencia de algunas comunidades está en función de ciertas características edafológicas determinadas por el sustrato ecológico y la topografía. Tanto el clima como la topografía son factores determinantes sobre los diferentes tipos de vegetación existentes. La vegetación de Tlaxcala es propia de los climas fríos o templados, con especies dotadas para resistir bajas temperaturas, como el oyamel, el encino, el pino y el sabino.

Para el estado de Tlaxcala se han definido nueve tipos de vegetación, definidos fisonómicamente en las siguientes unidades: Bosque de Pino, Bosque de Oyamel, Bosque de Encino, Bosque de Sabino, Matorral Xerófito, Pastizal, Páramo de altura, Vegetación Halófila y Vegetación acuática y subacuática. En la superficie ocupada por vegetación forestal, las especies predominantes son el *Pinus pseudostrobus*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus patula*, *Pinus montezumae*, *Pinus rudis*, *Pinus leiophylla*, *Pinus teocote*, *Pinus hartwegii*, *Pseudotsuga macrolepis*, *Abies religiosa*, *Quercus spp.*, *Juniperus deppeana*, entre otras.

4.1.6. Caracterización de las áreas forestales

Los recursos forestales de Tlaxcala se localizan en cuatro grandes regiones definidas por su ubicación geográfica; dos de ellas conforman las zonas forestales con aprovechamiento comercial de sus bosques: la región de Tlaxco-Terrenate y la región de Nanacamilpa-Calpulalpan; otra define la ubicación del Parque Nacional de La Malinche; y una más comprende la región con vegetación forestal fragmentada de la región Centro-Poniente de la entidad.

Según el Inventario Forestal Periódico (1994), la extensión forestal del estado conformaba una superficie de 85,376 ha, de las cuales 51,709 eran arboladas; 5,049 estaban cubiertas por vegetación de zonas áridas; 40 correspondían a vegetación acuática y subacuática; 28,578 eran suelos forestales perturbados.

De acuerdo a estos datos, de la superficie arbolada con que se contaba, 29,939 ha correspondían a bosques de coníferas; 5,304 ha estaban cubiertas por mezclas de coníferas y latifoliadas. Adicionalmente, se registraba una superficie de 6,901 ha en las que prevalecían diferentes tipos de vegetación.

Los factores que ponen en riesgo la sustentabilidad de los recursos forestales en el Estado de Tlaxcala se pueden enunciar de la siguiente manera: erosión fuerte y muy fuerte en el 33.6% de la superficie estatal, solo 24.6% de la superficie arbolada cuenta con un manejo forestal sustentado en criterios técnicos, riesgosos procesos de cambio de uso de suelo en la Región Norte y avance de la frontera agrícola en las otras regiones, región Centro en grave peligro de degradación irreversible, escasa inversión para protección y restauración forestal, pocos ejemplos de diversificación productiva.

Esta problemática provoca un círculo vicioso que contribuye a generar: pobreza, pérdida de suelos, pérdida de material genético forestal y su potencial, reducción de la recarga de los mantos acuíferos y cambio de uso de suelo de forestal a otros usos.

4.2. Metodología

4.2.1. Selección y descripción de especies

Tomando en cuenta los aspectos climáticos, edáficos y fisiográficos del área de estudio, se lograron seleccionar, del total de especies disponibles para esta área, sólo a aquellas que tienen posibilidades de adaptarse por encontrarse dentro de su rango de distribución.

Otros factores que influyeron en la selección de las especies fueron: su importancia económica, las propiedades que algunas de estas especies poseen para la rehabilitación y restauración de bosques y el papel que confieren en la recuperación y restauración de los suelos.

Después de un análisis de los aspectos anteriores, se llegó a la conclusión de que seis de las mejores especies para establecer en el área son *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus cembroides*, *Pseudotsuga menziesii*, *Juniperus deppeana* y *Quercus rugosa*.

La descripción que se hace a continuación para cada una de las especies, se obtuvo mediante la revisión de la literatura existente y la información recolectada en las fichas técnicas de especies para la reforestación proporcionadas por PRODEPLAN y PRONARE (SIRE; CONAFOR, 2003).

4.2.1.1. *Pinus montezumae* Lamb.

Descripción

Árbol de 25 a 30 m y diámetro normal (DN) de 50 a 90 cm; con un crecimiento de rápido a moderado. Es una especie maderable de gran importancia económica, clasificándose como excelente para la fabricación de papel con un grado de calidad III. Se ha utilizado con éxito en varios programas de reforestación, para la protección de cuencas hidrográficas y restauración de suelos degradados (SIRE; CONAFOR, 2003).

Distribución

En México, se ha reportado en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, México, Michoacán, Jalisco, Guerrero, Oaxaca, Chiapas; Colima, Morelos, Querétaro, Zacatecas y Distrito Federal (Eguiluz, 1978; Perry, 1991; Martínez, 1992).

Requerimientos Ambientales

Variables climáticas

Esta especie se puede desarrollar en sitios secos o áridos, aunque bajo estas condiciones el crecimiento es lento y los árboles son de baja estatura y muy ramificados. Es una especie muy resistente a heladas y condiciones de alta montaña (Eguiluz, 1978).

El intervalo de precipitación en el que se desarrolla *Pinus montezumae* va desde los 500 a 1100 mm anuales y prospera mejor a los 800 mm (Martínez, 1992), Perry (1991) menciona que se desarrolla en climas fríos y calientes con una precipitación entre los 800 a los 1200 mm anuales; temperaturas que oscilan entre los 8 a los 18 °C (Eguiluz, 1978; Perry, 1991; Martínez, 1992).

Variables edáficas

Los suelos donde se desarrolla esta especie son de origen volcánico, ubicados en las mesetas altas y pendientes bajas de las montañas, sitios donde se encuentran los mejores ejemplares. Los suelos son ricos en Nitrógeno, Calcio y Potasio. En condiciones naturales esta especie se encuentra creciendo en suelos erosionados (SIRE; CONAFOR, 2003).

Pinus montezumae tiene un mejor desarrollo en suelos profundos a moderadamente profundos, con textura migajón-arenosa, arenosa, areno-limosa, no pedregosos y con buen drenaje; pH entre 5.4 -6.9 y ricos en materia orgánica (Eguiluz, 1978; Perry, 1991; Martínez, 1992).

Según la clasificación FAO, para esta especie se recomiendan los suelos de tipo andosol, cambisol, regosol, feozem, litosol y vertisol (SIRE; CONAFOR, 2003):

Variables topográficas

La altitud a la que se puede desarrollar esta especie va de los 1150 a 3150, siendo mejor a los 2500 msnm (Eguiluz, 1978). De acuerdo con Perry (1991) esta especie se encuentra entre los 2000 a los 3200 msnm y Martínez (1992) por su parte lo restringe a los 2500 – 2800 msnm.

Importancia

Se ha utilizado con éxito en varios programas de reforestación, para la protección de cuencas hidrográficas y restauración de suelos degradados. Por su amplia distribución natural en la Republica Mexicana el *Pinus montezumae* es indefectiblemente una especie de aprovechamiento maderable (Eguiluz, 1978; Martínez 1992).

4.2.1.2. *Pinus patula* Schl. et Cham

Descripción

Alcanza alturas de 30 a 35 m y diámetros normales de 50 a 90 cm. Su copa es abierta y redondeada, tronco recto y libre de ramas hasta una altura de 20 m, con una raíz profunda y poco extendida. Es de rápido crecimiento, 20 m³/Ha/año. El crecimiento se detiene sensiblemente entre los 30 y 35 años de edad.

Distribución

Se distribuye naturalmente sobre las formaciones montañosas de la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y la Sierra Madre de Oaxaca, en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Querétaro, Distrito Federal y Tlaxcala (Perry, 1991).

En la localidad de Tlaxco, Tlaxcala, *Pinus patula* coexiste con *Abies religiosa* Schl. Et Cham. y *Pinus ayacahuite* Ehr., además de especies de los géneros *Quercus*, *Alnus* y *Arbutus* a 2 mil 950 msnm, lo que representa prácticamente el límite altitudinal natural de la especie. La exposición noreste de este sitio favorece la concentración de la humedad necesaria para el desarrollo del abeto y es el mismo caso del pino patula.

Requerimientos Ambientales

Variables climáticas

Se desarrolla principalmente en zonas templadas que reciben una gran cantidad de niebla durante el año, es posible encontrarla en lugares donde llegan los vientos húmedos del Golfo de México, aunque también pueden crecer en donde no exista humedad relativa alta.

Según Vela (1980), las temperaturas medias anuales varían entre 10°C y 16°C. La precipitación total anual varía de 800 a 1500 mm en promedio, con una estación seca relativamente corta, nieblas frecuentes y lluvias invernales (Madrigal, 1967).

Variables edáficas

Pinus patula prefiere los suelos profundos y de textura fina que los someros y de textura gruesa que presentan las pendientes fuertes. Por otra parte, la estructura es granular y la pedregosidad es nula en la mayoría de los casos, aunque puede haber lugares donde sea escasa (Vela, 1980).

Según la clasificación FAO, esta especie se desarrolla en los suelos de tipo andosol, cambisol, litosol y regosol (SIRE; CONAFOR, 2003).

Variables topográficas

Crece en terrenos de topografía plana y lomeríos con pendientes moderadas y hasta de 100 %. Regularmente, donde la inclinación es del 60% o más se ve reemplazada por *P. teocote*. Sin embargo, más que un efecto directo del grado de inclinación de la pendiente, esta sustitución se debe a cambios en el tipo de suelo (Vela, 1980).

En términos generales, las altitudes en las cuales se puede encontrar *Pinus patula* se encuentran entre los 1600 y los 3100 msnm (Velásquez et al., 2004).

Esta especie no muestra ninguna preferencia por alguna exposición específica en el área comprendida entre Molango y Acaxochitlan, que es donde se le encuentra en masas puras, ya que puede estar sobre laderas y cerros orientados en cualquier exposición. En el resto del área de distribución si se

nota la influencia que tiene este factor, ya que solo se le encuentra en lugares donde llegan los vientos húmedos del Golfo de México, siendo normalmente las exposiciones este, noreste y sureste las dominantes (Vela, 1980).

Importancia

Por su potencial productivo y capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y suelos no forestales, es ampliamente utilizado para la producción de madera de aserrío y de material celulósico. Extensamente utilizado en plantaciones comerciales en Sudáfrica y países de América del Sur (Perry, 1991).

4.2.1.3. *Pinus cembroides* Zucc

Descripción

Pinus cembroides, conocido comúnmente como pino piñonero, es un árbol de 5 a 15m de altura, con un DN de 30 cm y hasta 70 cm. Es de tronco corto y ramas ascendentes, delgadas y distribuidas irregularmente en el tallo. Es una especie monoica de lento crecimiento. Los árboles tardan varios años en fructificar por primera vez (Eguiluz, 1978).

Distribución

Es una de las especies de pino de mayor distribución en México, forma masas puras en la Sierra Madre Oriental al norte del Trópico de Cáncer. Las

mayores poblaciones están en: Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Hidalgo y Zacatecas.

Requerimientos Ambientales

Variables climáticas

Pinus cembroides es una especie de alto potencial adaptativo, resistente a heladas, sequías y temperaturas elevadas (SIRE; CONAFOR, 2003).

El pino piñonero se presenta en climas semiáridos con primavera seca, templado con invierno benigno, con una precipitación de 350 a 800 mm anuales. La temperatura varía de 10 a 18°C con una mínima absoluta de 10°C y una máxima absoluta de 35°C (Cuanalo, 1979).

Variables edáficas

Los suelos en su mayoría son complejos de montaña o amarillo, café rojizo forestal y litosoles con texturas variables de migajón arenoso, y arena arcillosa, de profundidad variable de 0,05 a 1,0 m, en terrenos de lomeríos y suelos del tipo litosol, así como en suelos profundos de valles con una profundidad de 1 a 2 m con bajo contenido de materia orgánica.

Según la clasificación FAO, el *Pinus cembroides* se desarrolla en suelos tipo leptosol, regosol, rendzina, feozem y xerosol, con texturas que van de arenosa a arcillosa a migajón-arenosa (SIRE; CONAFOR, 2003).

Variables topográficas

Esta especie se desarrolla en laderas de cerros y lomeríos, pendientes secas y rocosas, o al pie de las montañas. En los valles es donde se presentan los mejores, ejemplares de preferencia están en exposiciones soleadas. A esta especie se le encuentra entre los 1800 a 3100 msnm (SIRE; CONAFOR, 2003).

La pendiente del terreno donde se localiza el piñonero es importante, ya que este grupo solo se encuentra en forma natural en los declives o zonas escarpadas del comienzo de la sierra en su límite inferior con el desierto, hasta donde se inicia el límite superior del escalón de la sierra, con excepción de las sierras de Baja California donde se localiza el piñonero en las zonas mas altas (López y Plascencia, 1998).

Las exposiciones predominantes de la zona de los piñoneros es en la Sierra Madre Occidental hacia el este, en donde preponderan los vientos secos de las mesas del norte y centro de la república (López y Plascencia, 1998).

Importancia

Pinus cembroides es una especie muy adecuada para reforestar zonas áridas, semiáridas y zonas muy erosionadas. Los piñoneros tienen la capacidad de establecerse en sitios donde casi ninguna planta lo hace. En estas tierras, el piñonar ayuda a evitar la erosión y favorece la infiltración del agua, de tal forma que los mantos se pueden reabastecer (SIRE; CONAFOR, 2003).

4.2.1.4. *Pseudotsuga menziesii*

Descripción

Árbol de 12 a 20 m y que alcanza hasta 40 m, con DN de 35 a 70 cm, hasta 3 m. Es uno de los árboles madereros más importantes y actualmente, además de los extensos bosques naturales de Norteamérica, es objeto de cultivo forestal en la mayor parte de Europa occidental, Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica (Reyes, 2002).

Distribución

La distribución geográfica de *Pseudotsuga* se restringe a intervalos altitudinales de los macizos orográficos, variando desde los 1500 a los 3600 msnm (Domínguez, 1986). En México es encontrado en Hidalgo, Sonora, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, Puebla, Tlaxcala, Oaxaca y Veracruz.

Requerimientos Ambientales

Variables climáticas

Aunque *Pseudotsuga* presenta un amplio rango de distribución fuertemente influenciada por factores históricos, las condiciones de microclima y el efecto de la fisiografía del terreno, han jugado un papel muy importante para su establecimiento y desarrollo. Esta especie prefiere los climas templados fríos y con pendientes de 35 a 100% (Domínguez, 1986; Acevedo, 1998).

Según la información recolectada por las fichas técnicas de PRODEPLAN Y PRONARE, esta especie se desarrolla en un rango de precipitación anual que va de los 600 a los 1800 mm. Asimismo, se menciona que el rango de temperatura media anual va de los 7°C a los 13°C (SIRE; CONAFOR, 2003).

Variables edáficas

Esta especie se establece en gran variedad de suelos, pero tienen un mejor desarrollo en suelos con textura franco-arenosa, pedregosos, profundos y bien drenados donde la humedad del ambiente y del suelo sea abundante, siendo un indicador la presencia de zarzas y helechos y un pH de 5 a 6 (Domínguez, 1986; Acevedo, 1998).

Según la clasificación hecha por la FAO, para esta especie se recomiendan los suelos de tipo regozol, feozem, leptosol y cambisol (SIRE; CONAFOR, 2003).

Variables topográficas

Las especies de *Pseudotsuga*, en México, ocupan hábitats análogos a los de Oyamel (*Abies sp*). Forman bosques entre altitudes de 1500 a 3600 msnm., en sitios húmedos y fríos, preferentemente en laderas y cañadas a lo largo de corrientes de agua o valles muy protegidos, ocupando superficies muy reducidas en medio de pinares y muy frecuente se les encuentra formando masas mixtas con *Pinus* y *Abies* (Rzedowski, 1978).

Se establece sobre suelos jóvenes, en laderas con pendientes de 20 a 70% y con exposición norte, noroeste y noreste, prefiriendo las primeras (SIRE; CONAFOR, 2003).

Importancia

A lo largo de la Costa Oeste de Estados Unidos y Canadá, *Pseudotsuga menziesii*, es la especie de más alto valor comercial por sus características tecnológicas; dicha especie produce madera de aserrío de grandes dimensiones y se le emplea en la construcción de edificios y embarcaciones; su pulpa es considerada como de la más alta calidad en la elaboración de papel y su corteza es usada como fuente de taninos (Domínguez, 1986). De igual forma es recomendado y ampliamente usado como árbol de navidad y suele importarse a México para este propósito (Yáñez, 1991).

4.2.1.5. *Juniperus deppeana* Steud

Descripción

Los *Juniperus* mexicanos, también llamados cedro, cedro blanco, táscate, tlascal, nebrita, sabino, enebro, son árboles siempre verdes, de una altura de 0.50 a 20 metros según las especies. La madera en general, es de color amarillento o casi blanco, su textura es fina y uniforme (Martínez, 1963).

Distribución

Juniperus deppeana es una de las especies que se encuentran dentro del género *Juniperus*, ocupa el segundo lugar en cuanto a distribución en el territorio nacional (Martínez, 1963).

En México se le encuentra de manera natural en los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango, Hidalgo, Edo. de México, Michoacán, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Veracruz, (Martínez, 1963).

Requerimientos Ambientales

Variables climáticas

Según la información recolectada por las fichas técnicas del SIRE, *Juniperus deppeana* tiene un mejor desarrollo en sitios con rangos de temperaturas medias anuales que van de 12 a 20°C y rangos de precipitación que van de los 700 a los 1100 mm anuales (SIRE; CONAFOR, 2003).

Variables edáficas

Juniperus deppeana crece en una gran variedad de suelos, incluso en los originados de riolitas o rocas calcáreas. Es tolerante a suelos alcalinos y pobres, así como a suelos poco profundos y pedregosos (Salazar Marcial, 2000).

Vázquez Yanes *et al.* (2002) señala que *Juniperus deppeana* se desarrolla en suelos someros con materia orgánica, arenoso profundo, rojizo arcilloso, pedregoso, arenoso rocoso, suelo profundo de llanuras y además es resistente a suelos compactados y pedregosos, tolerante a suelos pobres de baja fertilidad y suelos alcalinos. Según las fichas técnicas del SIRE se le encuentra en suelos Andosol y Feozem.

Variables topográficas

Juniperus deppeana es la especie dominante en los bosques de junípero, desarrollándose en un rango altitudinal que va de los 1,800 a 2,900 msnm; en bosques de pino-encino su intervalo altitudinal varía entre 1,400 a 2,600 msnm. Se establece tanto en laderas y lomeríos, en pendientes de 10 a 70%; también crece en llanos y partes bajas de la Sierra Madre Oriental (SIRE; CONAFOR, 2003).

Importancia

De los frutos, hojas y tronco de esta especie se extraen aceites esenciales aromáticos. La madera es un excelente combustible de alto valor calorífico, arde lento y produce poco humo y hollín. El fuste y las ramas se usan como leña y para la elaboración de carbón. Esta especie tiene un efecto restaurador en la recuperación de terrenos degradados y en la conservación del suelo mediante el control de la erosión. *Juniperus deppeana* resulta favorecida con la aparición periódica de incendios y es resistente a condiciones de sequía.

4.2.1.6. *Quercus rugosa* Neé

Descripción

Árbol de 8 a 15 m, aunque llega a medir hasta 30 m de altura, y un DN de 10 a 80 cm o más. Presenta una copa amplia redondeada y es de lento crecimiento.

Distribución

Es una especie nativa de México, se encuentra en las regiones montañosas de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Veracruz, Chiapas, siendo particularmente abundante en el centro del país, en el Edo. de México y en el Distrito Federal, Hidalgo, Michoacán, Querétaro, Puebla, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato. También se encuentra en Baja California, Guerrero, Michoacán, Zacatecas y Jalisco.

Requerimientos Ambientales

Variables climáticas

Debido a las diferencias fisiográficas existentes en el área de distribución de las especies de encinos, se puede decir que el clima es del tipo templado húmedo con lluvias principalmente en verano. La temperatura media anual varía de 10 a 14°C con un rango de precipitación media anual que va de 600 a los 1500 mm (Martínez, 1981).

Variables edáficas

Los suelos en que se desarrolla *Quercus rugosa*, en su mayor parte, son del tipo cambisol húmico, con fase física lítica. También se le localiza en tipos de suelo feozem háplico, con fase física lítica y textura gruesa a mediana en los primeros 30 cm superficiales (Martínez, 1981).

Esta especie prospera en suelos desde someros a profundos, con texturas que van de migajon-arenosa, areno-migajosa hasta arenosa, con pedregosidad incipiente a moderadamente pedregosos (SIRE; CONAFOR, 2003).

Según la clasificación de la FAO, para esta especie se recomiendan los suelos de tipo andosol y luvisol (SIRE, CONAFOR, 2003).

Variables topográficas

Vegeta en bosques de encino entre 1800-2800 msnm. Esta especie prospera en laderas de cerros, barrancas y cañadas húmedas, también se encuentra en terrenos planos y en lugares secos. Los individuos adultos de esta especie son resistentes a las sequías. Tolerancia las heladas cuando adulto, la sombra parcial, la contaminación ambiental y los floruros (CONAFOR, 2003).

Importancia

La madera en forma de leña y carbón se usa como combustible, también se utiliza en la elaboración de pulpa para papel y para fabricar pilotes,

durmientes y postes para cercas. Las hojas y la corteza contienen una gran cantidad de taninos, los cuales se utilizan para curtir pieles; las hojas y los frutos son consumidos por el ganado bovino, porcino y caprino (SIRE, CONAFOR, 2003).

Se sugiere como una especie clave en la rehabilitación y restauración de bosques, ya que pueden establecerse en etapas tempranas de la sucesión secundaria e incluso en suelos desnudos y erosionados (López, 1998). Esta especie aporta beneficios importantes, ya que contribuye a la formación y estabilización del suelo y ayuda a mantener el equilibrio ecológico de cuencas al favorecer la infiltración y la conservación de los mantos acuíferos subterráneos (Vázquez Yanes, *et al.*, 2002).

4.2.2. Variables a utilizar

El uso apropiado de un sitio para la producción forestal depende de varias condiciones, tanto del medio ambiente físico (clima-suelo-topografía), como las controladas por el hombre para poder lograr una producción de biomasa sostenida, rentabilidad económica y socialmente conveniente.

Para la selección de las variables se tomo como referencia algunos de los trabajos realizados para la localización de zonas potenciales tanto en México como en otros países.

Meza (2003) en sus trabajos utilizó las variables de altitud, temperatura, textura y fase del suelo. La CONAFOR (2003) además de utilizar variables como la altitud, temperatura y textura, incluyo las variables de tipo de suelo y precipitación. Así mismo, el INIFAP (2006) en su trabajo realizado en el estado de Michoacán, utilizó todas las variables mencionadas, sustituyendo la textura y fase del suelo por las variables de uso de suelo y tipo de clima.

En trabajos realizados en otros países algunos utilizaron las mismas variables en los análisis, tal es el caso de SIG MAGA (2002) en su trabajo llevado a cabo para Guatemala, utilizo las variables de altitud, temperatura, precipitación, edafología y pendiente. Otro caso es el trabajo de Pajares (1997), quien utilizó variables diferentes a las antes mencionadas, como son litología, hidrografía, capacidad de usos del suelo, carreteras y núcleos habitados.

Además de las experiencias tomadas de otros trabajos, se tomaron en cuenta las principales condiciones medioambientales que las especies forestales requieren para un buen desarrollo y la información cartográfica disponible. En base a esto, para los análisis de las especies en estudio se decidió utilizar las variables de altitud, temperatura, precipitación, tipo de suelo, textura y fase física, exposición, pendiente y uso de suelo y vegetación.

Variable Altitudinal

Se trata de una variable determinante a la hora de localizar las zonas de mayor adaptación de las especies vegetales, ya que como es bien sabido, cada especie tiene umbrales altitudinales óptimos, los cuales se deben tener en cuenta para evitar el fracaso de la plantación.

Variables climáticas

Referidos a los intervalos de temperatura media anual y precipitación media anual dentro de los cuales las especies presentan un buen desarrollo.

Variables edáficas

Referidos a características generales del suelo, donde es posible el desarrollo de las especies, siendo las características consideradas el tipo suelo, textura y fase física.

Exposición

La exposición es la localización de una zona respecto del norte geográfico. Esta modifica directamente la radiación y, a partir de ella, el resto de las características climáticas. La exposición del terreno es también un factor importante de analizar, pues determina en cierto modo la humedad que conserve el sitio.

Pendiente:

Al plantear un uso forestal de la tierra debe procurarse no entrar en conflicto con aquellas áreas cuya capacidad de uso mas adecuada sea la agricultura. Debido a que las áreas con menor pendiente son las más aptas para el uso agrícola, se decidió utilizar pendientes mayores del 10% en todos los análisis de las especies.

Uso de suelo y vegetación

La razón por la que se utilizó esta variable fue con el fin de descartar áreas cubiertas por cuerpos de agua y las principales zonas urbanas presentes en el área de estudio.

4.2.3. Generación de la base de datos digital

4.2.3.1. Material cartográfico utilizado

A escala 1:250,000, se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE) realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Además, se utilizaron los mapas vectoriales digitales a nivel Nacional adquiridos en CONABIO, en los temas de Edafología, Isoyetas e Isotermas.

También se emplearon imágenes del satélite Landsat 7 ETM+ correspondientes al 6 de Septiembre del 2000, con sus 8 bandas espectrales, y ortofotos digitales elaboradas por el INEGI.

4.2.3.2. Esquema metodológico

Utilizando el programa ArcGIS 9, se creó la Base de Datos Digital para el estado de Tlaxcala. Esta Base de Datos, formada por coberturas de datos generales y específicos, se realizó usando las herramientas de la extensión Spatial_Analyst (Figura 3).

Las diferentes coberturas fueron generadas en la proyección UTM (Universal Transversal Mercator), con Datum NAD 1927, zona 14N. Los mapas en formato vector se transformaron a raster con un tamaño de celdilla (píxel) de 100 por 100 metros.

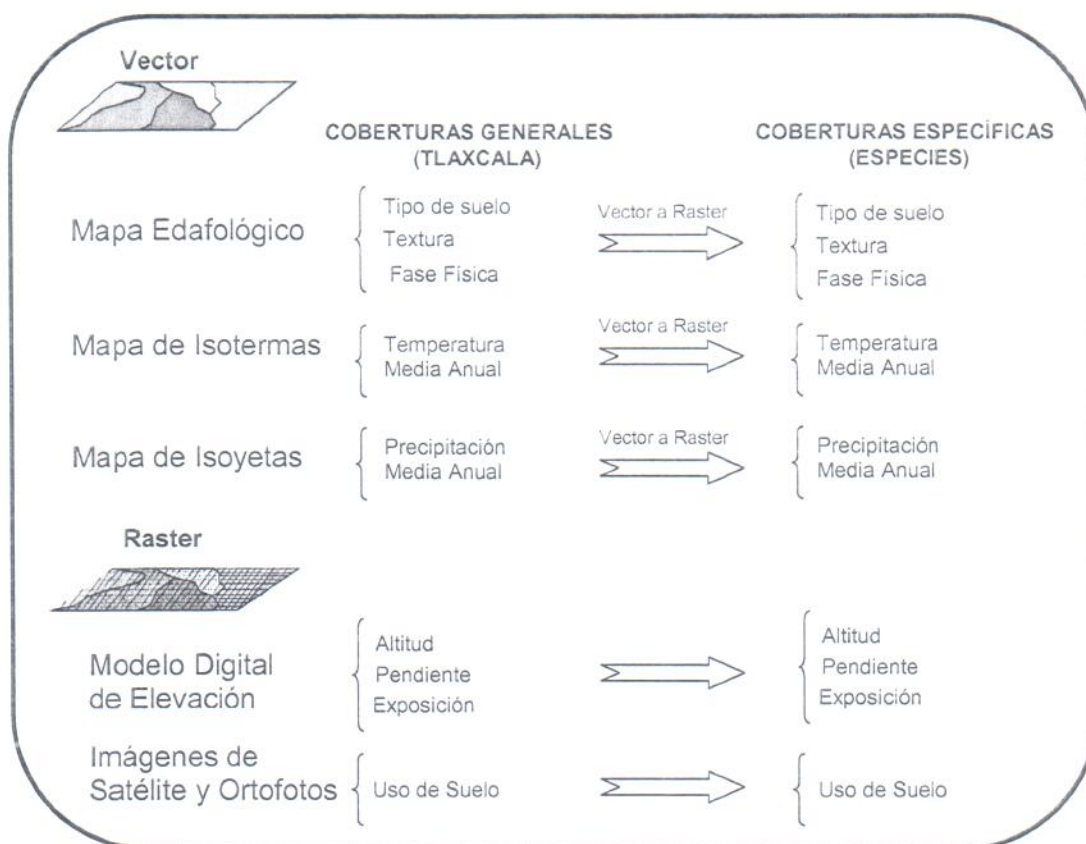


Figura 3. Base de datos digital para el estado de Tlaxcala.

4.2.3.3. Coberturas de datos generales

Las coberturas de datos generales contenían la información de las diferentes variables para el estado de Tlaxcala.

Coberturas de datos climáticos

De los mapas vectoriales de Isotermas e Isoyetas, se realizó un recorte para obtener las coberturas de los rangos de temperatura media anual y precipitación media anual para el estado de Tlaxcala, separando estos rasgos en coberturas independientes (Figura 4 y 5).

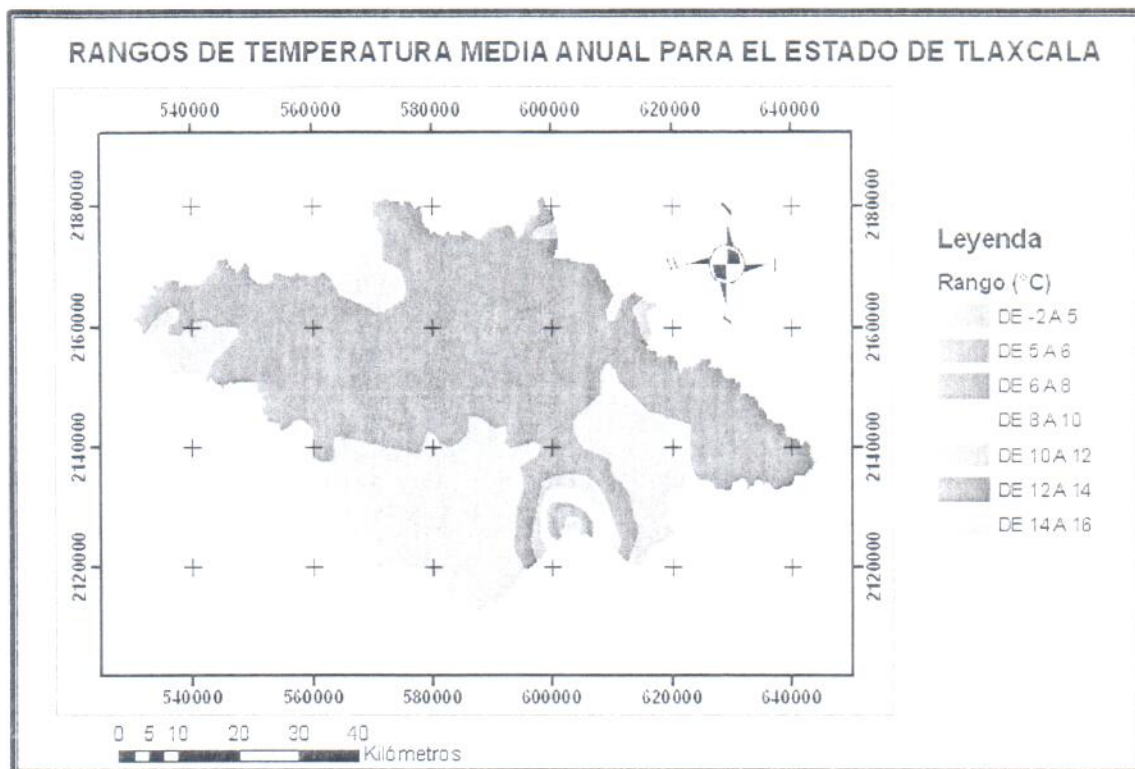


Figura 4. Rangos de temperatura media anual en el estado de Tlaxcala.

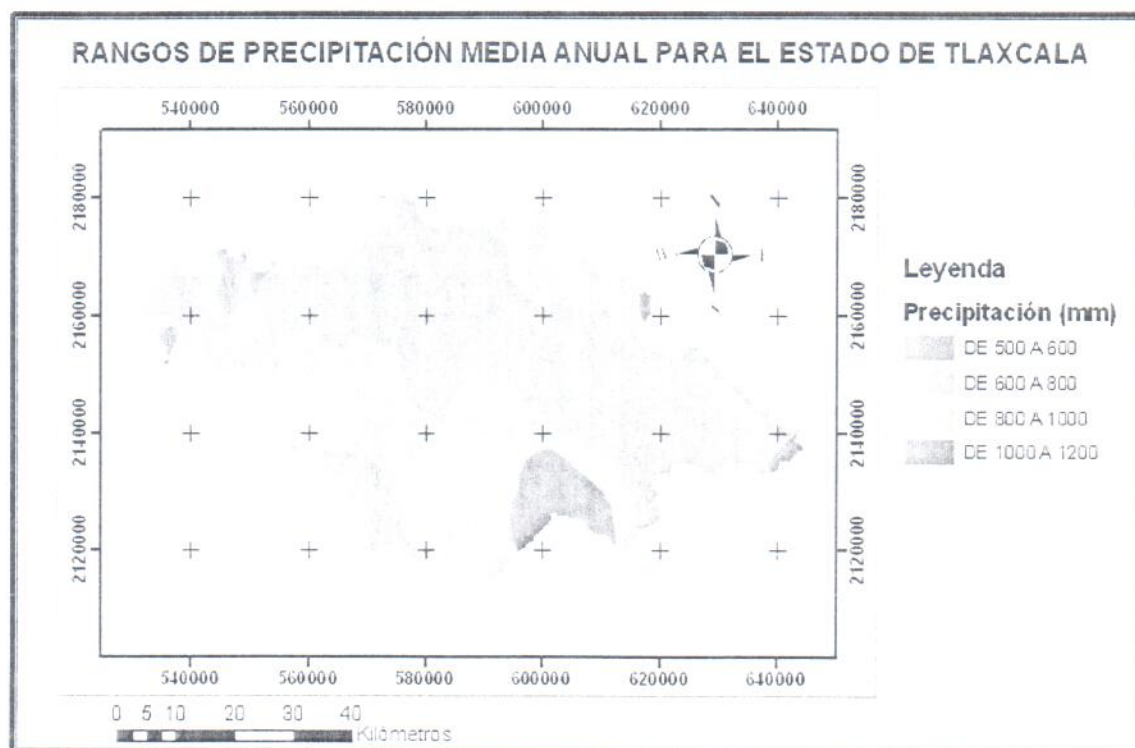


Figura 5. Rangos de precipitación media anual en el estado de Tlaxcala.

Coberturas de datos edafológicos

Para generar las coberturas de tipos de suelo, textura y fase física, se uso el mapa edafológico adquirido en CONABIO, del cual, al igual que en la realización de las coberturas de datos climáticos, se separaron los diferentes rasgos en coberturas independientes (Figuras 6,7 y 8).

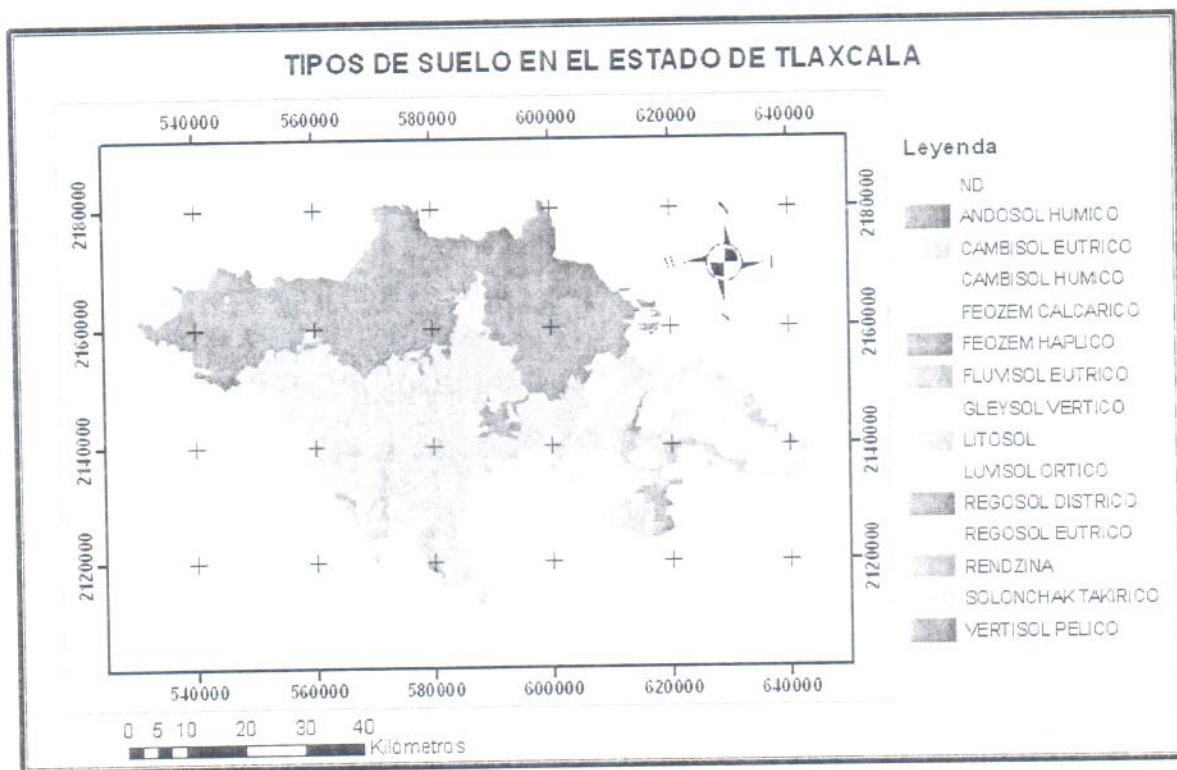


Figura 6. Tipos de suelo en el estado de Tlaxcala.

De acuerdo a la Leyenda de Suelos FAO 1968, modificada por DETENAL en 1970, los diferentes tipos de suelo encontrados en el estado de Tlaxcala, se pueden describir de la siguiente manera:

Cuadro 1. Descripción de los tipos de suelo encontrados en Tlaxcala.

Tipo de suelo	Descripción
Andosoles	Son suelos oscuros muy ligeros, con alto contenido de ceniza y otros materiales de origen volcánico.
Andosol Húmico	Los suelos Andosol Húmico, presentan una capa superficial algo gruesa, oscura pero pobre en nutrientes, con terrones muy duros cuando están secos.
Cambisoles	Suelos con un subsuelo muy diferente a simple vista en color y textura a la capa superficial. La capa superficial puede ser oscura, con más de 25 cm de espesor pero pobre en nutrientes y en ocasiones no existe.
Cambisol Eutrico	Con subsuelo rico o muy rico en nutrientes
Cambisol Húmico.	Cambisol con una capa superficial oscura, a veces gruesa, de regular a buen contenido de materia orgánica pero pobre en nutrientes.
Feozems	Suelo con una capa superficial oscura, algo gruesa, rica en materia orgánica y nutrientes.
Feozem calcárico	Feozem con algo de cal a menos de 50 cm de profundidad.
Feozem háplico	Feozem sin ninguna otra propiedad especial.
Gleysoles	Suelos pantanosos o inundados a menos de 50 cm de profundidad la mayor parte del año.
Gleysol Vértico	Con subsuelo ligeramente agrietado en alguna parte de la mayoría de los años.
Litosoles	Suelos con menos de 10 cm. de espesor.
Luvisoles	Suelos con mucha arcilla acumulada en el subsuelo. Se diferencian de los Acrisoles en que son más fértiles en general.
Luvisol Órtico	Luvisol sin otra característica especial.
Regosoles	Suelos sin estructura y de textura variable, muy parecidos a la roca madre.

Regosol Dístrico	Regosol con subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.
Regosol Eútrico	Regosol con subsuelo rico o muy rico en nutrientes.
Rendzina	Suelos con menos de 50 cm de espesor que están encima de rocas duras ricas en cal. La capa superficial es algo gruesa, oscura y rica en materia orgánica y nutrientes.
Solonchaks	Suelos alcalinos con alto contenido de sales en alguna capa a menos de 125 cm de profundidad.
Solonchak Takyrico	De textura arcillosa y con grietas en la superficie cuando el suelo está seco.
Vertisoles	Suelos muy arcillosos en cualquier capa a menos de 50 cm de profundidad; en época de secas tienen grietas muy visibles a menos de 50 cm de profundidad, siempre y cuando no haya riego artificial. Estos suelos se agrietan en la superficie cuando están muy mojados.
Vertisol Pélico.	Vertisol muy oscuro.

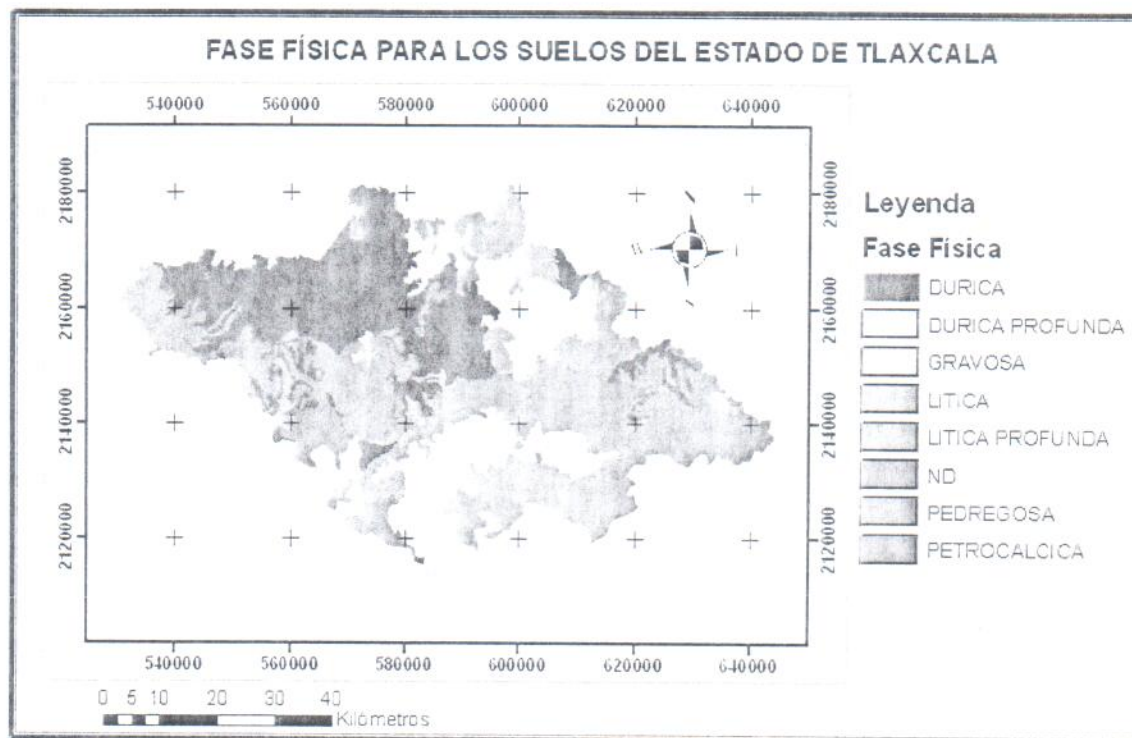


Figura 7. Fase física para los suelos del estado de Tlaxcala.

Cada tipo de suelo puede presentar diferentes fases físicas, las cuales son definidas de acuerdo con la presencia y abundancia de elementos sólidos de grava, piedra o capas fuertemente cementadas, presentándose a profundidades variables, siempre menores a 100 cm (Cuadro 3).

Las fases físicas superficiales, representadas por fragmentos de roca (piedras, gravas) en la superficie del suelo, no representan una limitante para el establecimiento de plantaciones forestales.

Cuadro 2. Descripción de las fases físicas para los suelos de Tlaxcala.

Fase Física	Descripción
Dúrica	Capa subsuperficial fuertemente cementada por sílice dentro de los 50 cm de profundidad.
Dúrica profunda	Capa subsuperficial fuertemente cementada por sílice entre los 50 y 100 cm de profundidad.
Gravosa	Suelo con muchas gravas a menos de 100 cm de profundidad y que limita o impide el uso de maquinaria agrícola. Las gravas miden de 0.2 a 7.5 cm en su parte más ancha.
Lítica	Suelo con roca continua dentro de los 50 cm de profundidad.
Lítica profunda	Suelo con roca continua entre 50 y 100 cm de profundidad.
Pedregosa	Abundancia de piedras sobre la superficie y/o dentro de las capas subsuperficiales del suelo. Las piedras miden de 7.5 a 25 cm en su parte más ancha, es decir, son mucho más grandes que las gravas
Petrocálcica	Capa subsuperficial fuertemente cementada por carbonato de calcio y magnesio dentro de los 50 cm de profundidad.

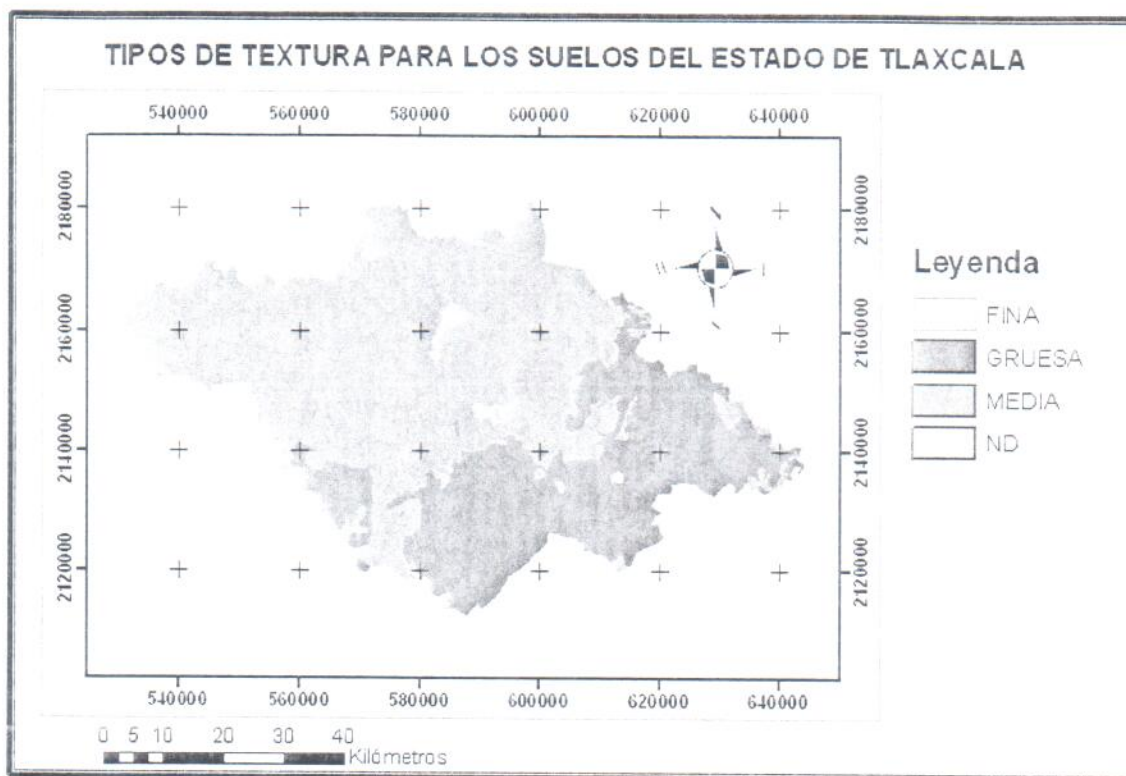


Figura 8. Tipos de textura para los suelos del estado de Tlaxcala.

Las categorías de textura están en función de la proporción de arcilla, limo y arena, y el dominio de valores para las tres clases esta dado de la siguiente manera:

Cuadro 3. Valores de arcilla y arena para las categorías de textura del suelo.

Categoría	Valores
Gruesa	Menos del 18% de arcilla y más del 65% de arena.
Media	Menos del 35% de arcilla y menos del 65% de arena.
Fina	Más del 35% de arcilla.

Coberturas de altitud, pendiente y exposición

Las coberturas de altitud, pendiente y exposición se realizaron utilizando el MDE generado por el INEGI. Para la cobertura de altitud, se realizó un recorte al MDE, de manera que este solo comprendiera el límite del área de estudio. Utilizando esta cobertura, se generaron las capas de pendiente y exposición, para lo cual también se ocupó de las herramientas encontradas en la extensión Spatial_Analyst (Figuras 9, 10 y 11).

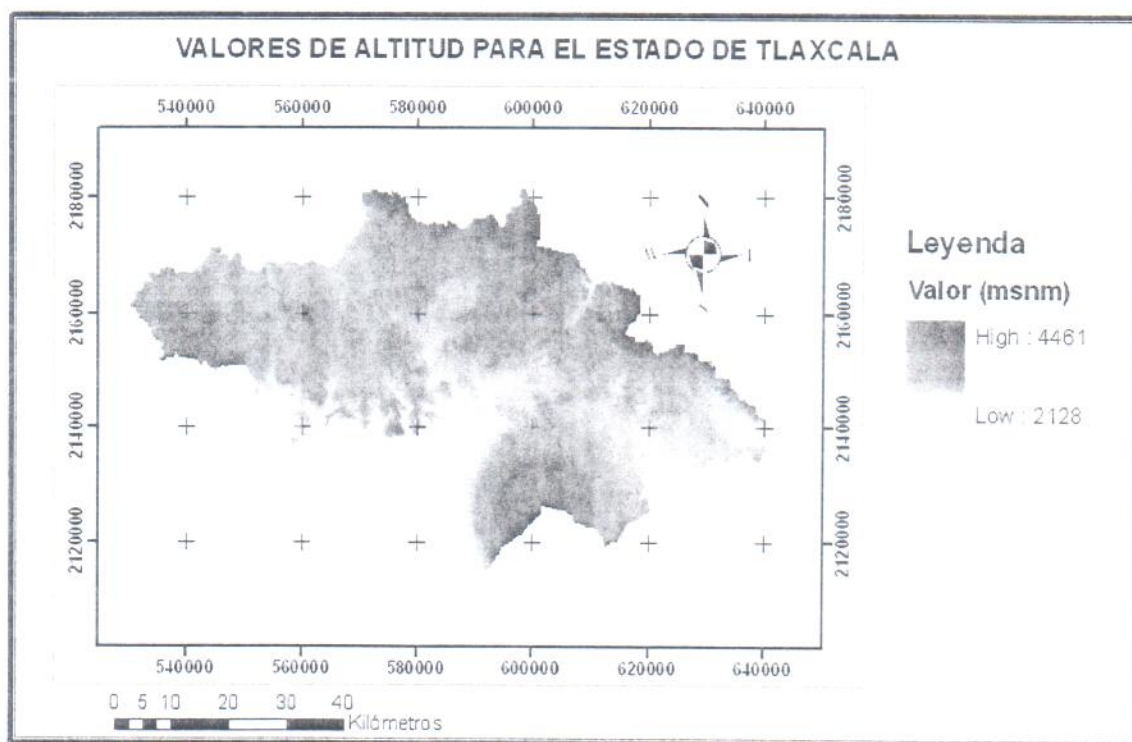


Figura 9. Valores de altitud para el estado de Tlaxcala.

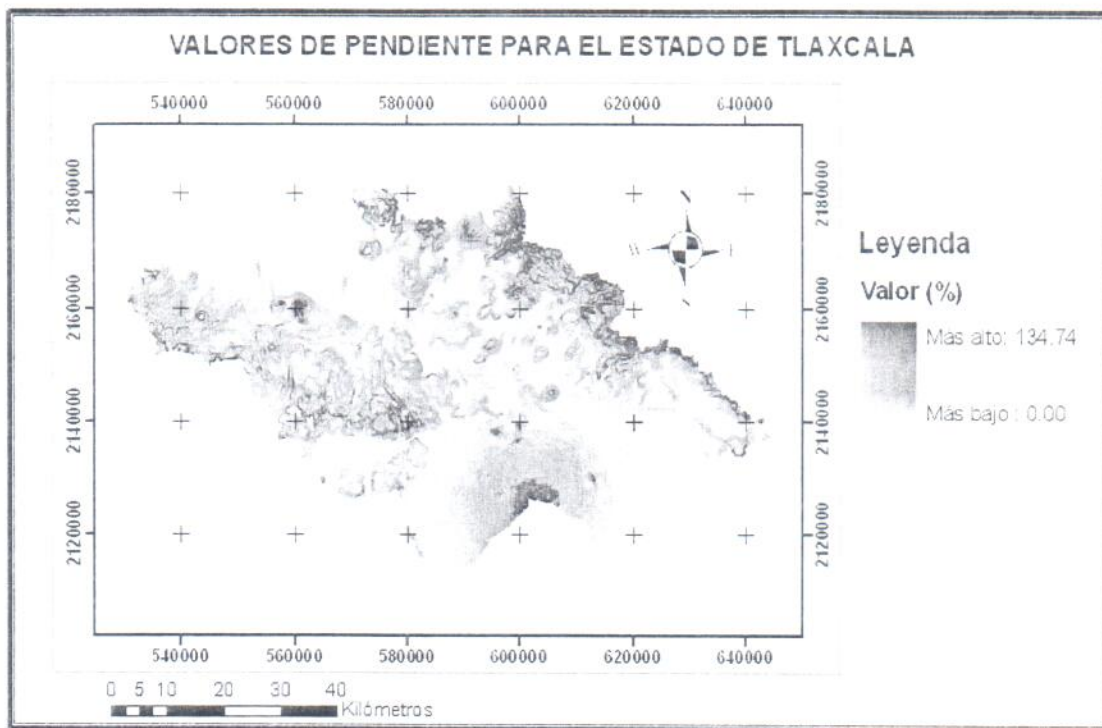


Figura 10. Valores de pendiente para el estado de Tlaxcala

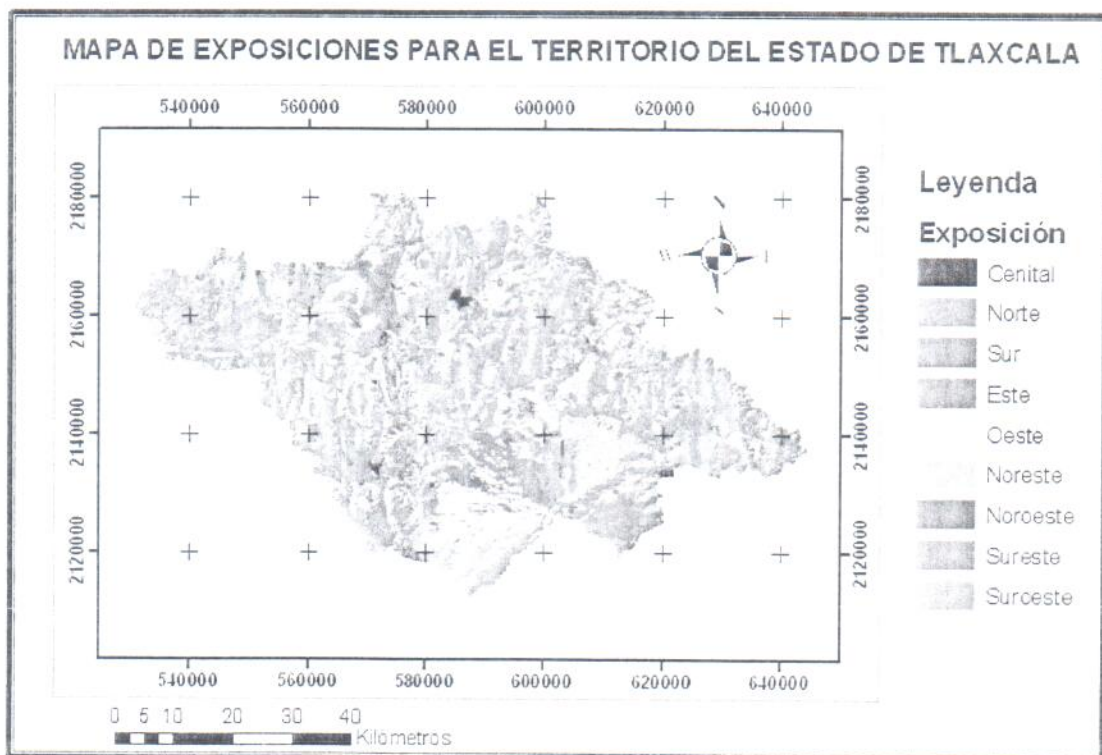


Figura 11. Mapa de exposiciones para el estado de Tlaxcala

Cobertura de uso de suelo y vegetación

La cobertura de uso de suelo y vegetación se realizó mediante una clasificación supervisada con las imágenes de satélite, utilizando el programa IDRISI Kilimanjaro.

Fase de entrenamiento

Una clasificación supervisada parte de un cierto conocimiento de la zona a clasificar, adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo. Esto permite delimitar áreas representativas de las categorías analizadas (campos de entrenamiento). A partir de aquí se determinan los Niveles Digitales (ND) o el rango que le corresponde a las clases definidas previamente por el usuario.

Con la clasificación supervisada, uno provee una descripción estadística del modo en el que se espera que ciertas coberturas terrestres aparezcan en la imagen, y luego se usa un procedimiento (conocido como un *clasificador*) para evaluar la probabilidad de que cada píxel pertenezca a una de estas clases.

En base a un recorrido en campo, y apoyándose con ortofotos digitales del área de estudio, se realizó la selección de los campos de entrenamiento, lo cual permitió delimitar las áreas que se consideraron como representativas de las distintas clases o tipo de respuesta espectral de interés.

Al final se definieron 10 clases (unidades de uso de suelo) para el área de estudio y se seleccionaron muestras de píxeles que representaran a las categorías de interés, tomando como mínimo 60 píxeles por categoría.

En el Cuadro 4 se pueden observar las diferentes clases que se utilizaron para la clasificación de uso de suelo y vegetación. En lo que respecta a la clase de bosque de coníferas, en esta se incluyeron los bosques de pino, oyamel, pseudotsuga y asociaciones entre las mismas.

Cuadro 4. Clases utilizadas en la clasificación supervisada.

CLASES
1. Bosque de Coníferas
2. Bosque de Pino-Encino
3. Bosque de Encino
4. Bosque de Juniperus
5. Zonas Agrícolas
6. Zonas Urbanas
7. Cuerpos de Agua
8. Pastizal inducido
9. Pradera de Alta Montaña
10. Erosión

Fase de asignación

Una vez culminada la selección y estudio de las categorías que se incluirían en la clasificación, se procedió adscribir cada uno de los campos en la imagen infrarrojo (*combinación de las bandas 234*) en la categoría correspondiente. Se establecieron tres campos de entrenamiento por clase, tomando áreas representativas de acuerdo al recorrido en campo y las ortofotos.

Clasificación

Para la clasificación se utilizó el clasificador de máxima probabilidad (MAXLIKE). Este clasificador evalúa la probabilidad de que un píxel pertenezca a una de las categorías consideradas y lo clasifica en la categoría, a la cual tenga mayor probabilidad de pertenecer, asume que esas probabilidades son iguales para todas las clases y que los datos tienen una distribución normal.

4.2.3.4. Rangos y valores usados para las variables

Tomando como base las características del área de estudio, la revisión bibliográfica realizada para las especies y las características descriptivas de los mapas generales, se generaron los rangos y valores utilizados para la localización de las zonas potenciales de las seis especies en estudio (Cuadro 5).

Dado que el estado de Tlaxcala no posee valores altitudinales menores de 2128 msnm y todas las especies se pueden desarrollar desde elevaciones inferiores a esta, este valor se utilizó como límite inferior del rango de todas las especies. Lo mismo se hizo cuando se estableció el límite máximo del rango de temperatura media anual, siendo la máxima en el estado 16 °C, este valor se uso para las especies que se pueden desarrollar en temperaturas iguales o mayores.

Para algunas de las especies se incluyeron algunos tipos de suelo donde se desarrollan de manera natural en el área de estudio, los cuales no se mencionan en las fichas técnicas del SIRE. Dado que no se encontró información de las fases físicas aptas para cada especie, estas se eligieron tomando en cuenta la descripción de las mismas y los requerimientos edáficos de cada especie.

Por cuestiones de aptitud, se decidió que el valor mínimo de la pendiente para todas las especies en estudio fuera mayor del 10%. Esto también se hizo con el fin de proteger las zonas con mayor peligro de erosión, la cual tenderá a ser mayor en laderas con pendientes más acusadas.

La exposición se eligió en base a la preferencia de cada especie por alguna orientación, dado que no todas requieren o precisan de la misma cantidad de iluminación.

Cuadro 5. Variables climáticas, edáficas y topográficas utilizadas para localizar las zonas potenciales.

Especie	Rango Altitudinal msnm	Variables Climáticas		Variables Edáficas			Variables topográficas	
		Temperatura Media Anual (°C)	Precipitación Media Anual mm	Tipos de Suelo	Fase Física	Textura	Pendiente %	Exposición
<i>Pinus montezumae</i>	2128-3200	8-16	800-1200	Andosol húmico Cambisol eutrítico Cambisol húmico Feozem háplico Litosol Regosol eutrítico	Lítica Lítica profunda	Mediana a Gruesa	10 - 60	E, SE y Z
<i>Pinus patula</i>	2128-3000	10-16	800-1500	Andosol húmico Cambisol eutrítico Cambisol húmico Litosol Regosol eutrítico	Lítica Lítica profunda	Mediana a Gruesa	10 - 60	N, NE y NW
<i>Pinus cembroides</i>	2128-3100	10-16	350-800	Feozem háplico Regosol eutrítico Rendzina	Lítica Dúrica Dúrica profunda Pedregosa	Fina a Gruesa	10 - 50	E, SE y Z
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	2128-3600	7-13	600-1800	Andosol húmico Cambisol eutrítico Cambisol húmico Feozem háplico Regosol eutrítico	Lítica Lítica profunda Pedregosa Gravosa	Mediana a Gruesa	20 - 100	N, NE y NW
<i>Juniperus deppeana</i>	2128-2900	12-16	700-1100	Andosol húmico Feozem háplico	Lítica Lítica profunda Dúrica Dúrica Profunda Pedregosa	Fina a Gruesa	10 - 70	E, SE y Z
<i>Quercus rugosa</i>	2128-2800	10-14	600-1500	Andosol húmico Cambisol eutrítico Cambisol húmico Feozem háplico Luvisol órtico	Lítica Lítica profunda Dúrica Dúrica Profunda Pedregosa	Mediana a Gruesa	10 - 70	E, SE y Z

4.2.3.5. Coberturas de datos específicos

Estas coberturas fueron generadas mediante la reclasificación de las coberturas de datos generales, las cuales se reclasificaron en base a los requerimientos de las especies indicados en el Cuadro 5.

De cada una de las coberturas generales, se seleccionaron los valores de cada variable para generar una nueva capa, la cual contó con la información de la variable ambiental, que es la adecuada para el crecimiento y desarrollo de la especie en cuestión. Dado que la cobertura de uso de suelo y vegetación se usó para eliminar los cuerpos de agua y zonas urbanas presentes en el área de estudio, esta se reclasificó en base a estos dos aspectos.

El procedimiento para la creación de estas nuevas coberturas se realizó utilizando la extensión *Spatial_Analyst*, en la cual, mediante la herramienta "Reclassify" se generó una capa booleana por cada variable, dándoles un valor de "1" a las áreas de interés y un valor de "0" a las áreas no potenciales o con alguna restricción.

Lo anterior se realizó para las seis especies en estudio, por lo cual se generaron 9 coberturas o capas booleanas por especie.

4.2.4. Localización de zonas potenciales

La localización de zonas potenciales se realizó por medio de la técnica de sobreposición de capas. En el caso de sobreposición de dos o más capas de polígonos el resultado es una nueva capa de polígonos con sus atributos relacionados procedentes de las originales, estos atributos pueden ser también el resultado de operaciones aritméticas entre los atributos originales, tales como sumas, diferencias, multiplicaciones o bien ser el resultado de reclasificaciones previas.

En este caso se utilizaron las capas booleanas reclasificadas anteriormente para cada variable y para cada especie. Usando la herramienta “Raster Calculator” de la extensión Spatial_Analyst, se sobrepusieron (multiplicaron) las 9 capas para cada especie. Como resultado de la sobreposición se obtuvieron seis mapas finales (mapas de zonas potenciales) en el que las áreas resultantes con valor de “1” fueron las zonas que reunieron todos los requerimientos de las especies en cuestión.

Dado que los mapas resultantes fueron generados en formato raster, estos fueron transformados a formato vector, lo cual permitió calcular las áreas con potencial productivo para cada especie.

5. RESULTADOS

5.1. Cobertura de uso de suelo y vegetación

Como resultado de la clasificación supervisada, se obtuvo el mapa de uso de suelo y vegetación para las diferentes clases propuestas (Anexo 1). En el Cuadro 6 se puede observar el área total obtenida en hectáreas para cada una de las clases.

Cuadro 6. Área obtenida por clase de Uso de Suelo y Vegetación.

Clase	Área (ha)
Bosque de Coníferas	19,421
Bosque de Pino-Encino	7,496
Bosque de Encino	12,349
Bosque de Juniperus	19,369
Zonas Agrícolas	288,795
Zonas Urbanas	15,113
Cuerpos de Agua	1,412
Pastizal inducido	13,606
Pradera de Alta Montaña	2,035
Erosión	19,443
Total	399,039

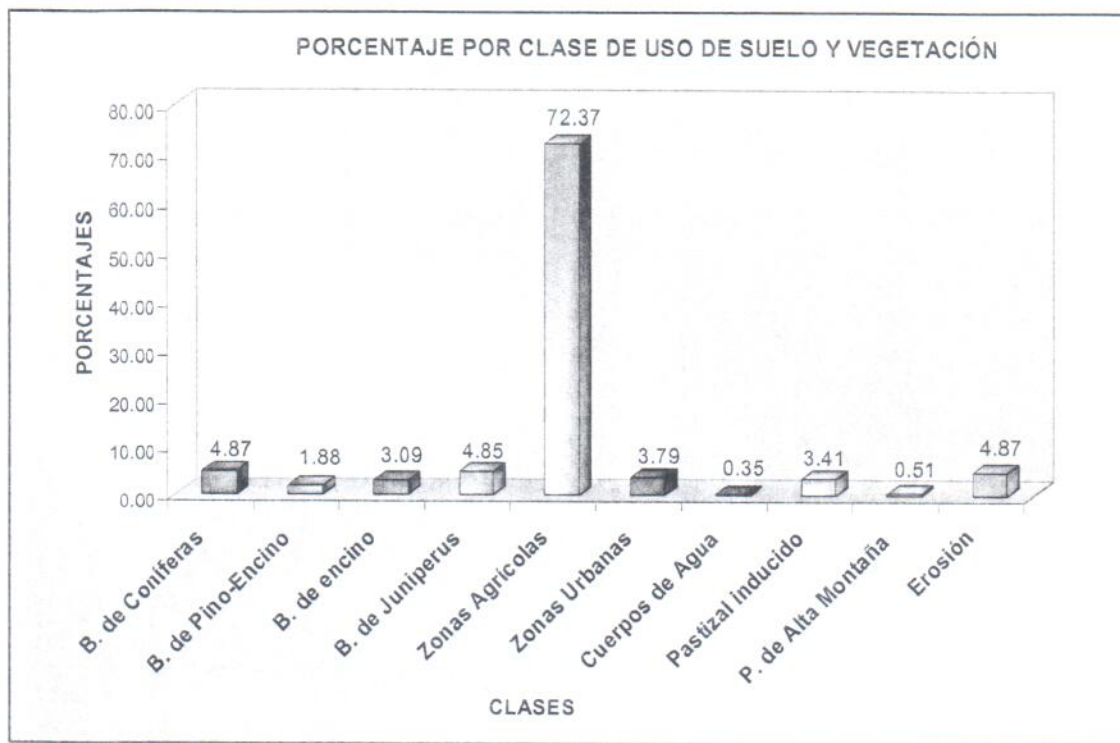


Figura 12. Porcentajes por clase de uso de suelo y vegetación

Los resultados obtenidos muestran que más del 70% del territorio del estado corresponde al uso agrícola, mientras que la suma de porcentajes de áreas arboladas no alcanzan el 15% (Figura 12).

Según el Instituto Nacional de Ecología (INE), en Tlaxcala la deforestación es un problema que se ha venido presentando a través del tiempo, debido a que se tienen datos que demuestran el gran deterioro y severo despase que ha sufrido el área boscosa (Figura 13).

Aunque todos los municipios del estado han tenido una reducción de sus áreas arboladas, la región de La Malinche es donde más han disminuido y en contraparte aumentado las áreas de cultivo.

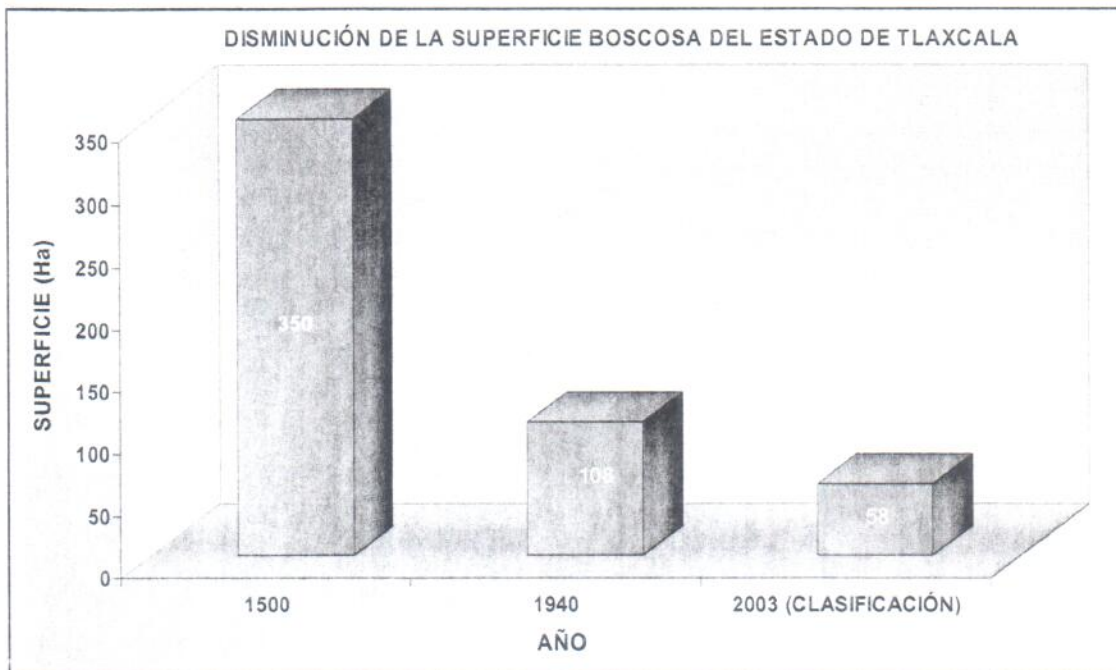


Figura 13. Disminución de la superficie boscosa en el estado de Tlaxcala

El mayor porcentaje de áreas con bosques de coníferas y bosques de pino-encino se encontró en los municipios de Tlaxco, Nanacamilpa, Calpulalpan, Teolochohco, San Francisco Tetlanohcan, Huamantla, Zitlaltepec y Emiliano Zapata.

Las áreas más densas de bosque de encino se encontraron en los municipios de la Española, Hueyotlipan, Xaltocan, Ixtacuixtla y Panotla, mientras que la mayor parte de las áreas de juniperus, se ubicó en la parte norte del estado, abarcando principalmente los municipios de Tlaxco, Tetla y Sanctorum de Lázaro Cárdenas.

Las áreas de pastizal inducido generalmente se encontraron asociadas a zonas con problemas de erosión, las cuales en su mayoría se ubicaron al noreste del estado, comprendiendo los municipios de Tlaxco, Lazaro Cardenas, Emiliano Zapata, Terrenate y Altzayanca.

Aunque se considera el total de la superficie del estado con problemas de erosión (INEGI), los resultados obtenidos en la clasificación supervisada solo nos muestran las zonas con problemas de erosión acelerados y totalmente erosionados. Las zonas más erosionadas se encontraron en los municipios de Altzayanca, Tequexquitla, Terrenate, Calpulalpan, Nanacamilpa, Españita, Hueyotlipan, Sanctórum e Ixtacuixtla.

5.2. Localización y distribución de zonas potenciales

Como resultado final de la sobreposición de capas booleanas se obtuvieron seis mapas finales en los cuales se muestra la ubicación de las zonas potenciales para el desarrollo de cada especie (Anexo 2).

Para una mejor ubicación de estas áreas, a cada mapa se le agregó la división municipal del estado, la ubicación de algunos de los municipios más importantes y las vías de transporte principales. Por cuestiones de la escala de salida de los mapas, se decidió poner solo las áreas mayores a 5 ha.

Los resultados obtenidos mediante la cuantificación de las superficies determinadas en los mapas de zonas potenciales, se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Superficie total de zonas potenciales por especie.

Espécie	Superficie total (ha.)
<i>Pinus montezumae</i>	7317
<i>Pinus patula</i>	5343
<i>Pinus cembroides</i>	4539
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	4522
<i>Juniperus deppeana</i>	5395
<i>Quercus rugosa</i>	6903
Total	34019

De las zonas potenciales para *Pinus montezumae*, la mayor parte quedaron localizadas en las principales zonas boscosas del estado; la región Centro-Poniente, Tlaxco_Terrenate, Nanacamilpa-Calpulalpan y el Parque Nacional de La Malinche.

Las variables mas restrictivas y que por lo tanto influyeron de manera significativa en la distribución de zonas potenciales para *Pinus montezumae* fueron la exposición, precipitación y fase física del suelo.

Al igual que para *Pinus montezumae*, las áreas potenciales para *Pinus patula* quedaron distribuidas en las principales zonas boscosas de la entidad, esto obedece principalmente a la gran similitud de condiciones medioambientales que requieren estas dos especies para su desarrollo.

En el caso de *Pinus patula*, la exposición, precipitación y fase física también fueron las variables con mayor peso a la hora de realizar los análisis, sin embargo, el tipo de suelo también fue un factor de importancia en la localización de zonas potenciales.

Con excepción del Parque Nacional de La Malinche, las áreas potenciales para *Quercus rugosa* se distribuyeron en las mismas áreas que *Pinus montezumae* y *Pinus patula*, con la diferencia de que las áreas para esta especie se localizaron en partes más bajas de las montañas, las cuales, de manera natural son áreas de transición entre estos géneros.

Las variables con mayor peso para *Quercus rugosa* fueron el tipo de suelo, la altitud y la temperatura, las cuales en conjunto excluyeron la parte sur del estado.

Las zonas potenciales para *Pinus cembroides* y *Juniperus deppeana* quedaron localizadas al norte del estado de Tlaxcala, de las cuales el mayor porcentaje quedó concentrado en el municipio de Tlaxco, ubicándose en las laderas y partes bajas de las montañas. Algunas de las zonas potenciales para *Juniperus deppeana* coincidieron con las áreas obtenidas en la clasificación supervisada, localizándose la mayoría en la parte norte del estado.

La variable más importante para estas dos especies, y la cual definió en gran parte la ubicación de las zonas potenciales fue el tipo de suelo. En el caso particular de *Pinus cembroides*, la variable precipitación tuvo otro gran peso a la hora de eliminar zonas no potenciales, restringiendo toda el área de la Malinche.

Como era de esperarse, las zonas potenciales para *Pseudotsuga menziesii* quedaron localizadas en las partes mas altas de las montañas, esto debido a los altos valores de pendiente y altitud que requiere esta especie para un buen desarrollo.

Aunque la altitud y exposición fueron dos variables de gran peso en la localización de zonas potenciales para *Pseudotsuga menziesii*, sin duda alguna, la variable mas restrictiva fue la pendiente.

Para una mejor localización de la distribución de zonas potenciales, se ubicaron las áreas por municipio para cada una de las especies en estudio (Cuadro 8).

De los sesenta municipios del estado, hubo cuatro que obtuvieron zonas potenciales para las seis especies en estudio, Tlaxco, Calpulalpan, Nanacamilpa y Tetla. De ellos, Tlaxco fue el más importante, ya que tuvo más del 30% del total de zonas potenciales obtenidas para las seis especies, con una suma de 11,897 ha.

Cuadro 8. Distribución de zonas potenciales por municipio.

MUNICIPIO	ÁREA POR ESPECIE (HA)						TOTAL
	<i>Pinus montezumae</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus cembroides</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Juniperus deppeana</i>	<i>Quercus rugosa</i>	
Tlaxco	1615	1723	1692	1672	3025	2170	11897
Ixtacuixtla	1619	866				574	3059
Calpulalpan	433	391	199	527	253	248	2051
Nanacamilpa	416	100	270	361	256	344	1747
Tetla	105	20	384	29	519	564	1621
Panotla	589	687		21		240	1537
Atlangatepec			479		479	490	1448
Terrenate	24		357	568	148	131	1228
Españita	555	278				373	1206
Hueyotlipan	421	153	180		173	274	1201
Emiliano Zapata	69			632	295	140	1136
Huamantla	318	179	338	125			960
Alzayanca			299	145		492	936
Xaltocan	152	142		52		350	696
Tetlanohcan		210		209			419
Tlaxcala	230	144				35	409
Totolac	315	63					378
Sanctorum			139		105	109	353
Lázaro Cardenas		19	34		132	132	317
Zitlaltepec	236			61			297

MUNICIPIO	ÁREA POR ESPECIE (HA)						TOTAL
	<i>Pinus montezumae</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus cembroides</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Juniperus deppeana</i>	<i>Quercus rugosa</i>	
Chiautempan		219					219
San Jose Teacalco	36	59		43			138
Yauhquemehcan	48	18				65	131
Teolocholco		51		59			110
Apetatitlan	67					28	95
Tecopilco			18	18		59	95
Tequexquitta			94				94
Amaxac de Guerrero						62	62
Zacualpan	54						54
Cuapiaxtla			44				44
Santa Cruz Tlaxcala	15				10		25
Tocatlan						23	23
Texoloc		21					21
Xaloztoc			12				12

6. DISCUSIÓN

Con la finalidad de obtener mejores resultados en la localización de zonas potenciales, se decidió utilizar las variables propuestas por la CONAFOR (2003) siendo estas temperatura, precipitación, altitud, textura y tipo de suelo, complementadas con las variables pendiente y uso de suelo propuestas por el INIFAP (2006). Además, para aumentar la precisión del estudio se agregó la variable exposición.

Dada la limitante de información disponible y la escala en la que se encuentra, no se incluyeron otras variables en el estudio, tal es el caso del tipo de clima y la fase química del suelo, las cuales solo se cuenta con información a una escala muy general (1:1'000,000).

Con respecto a los resultados obtenidos mediante la metodología empleada y la utilización de las diferentes variables en la ubicación de zonas potenciales, se lograron definir las zonas con una mayor precisión a la obtenida por la CONAFOR (2003), en la cual obtuvieron un porcentaje de zonas aptas para *Pinus montezumae* de más del 50% del territorio estatal, mientras que con el uso nuevas variables en el presente estudio se logró precisar más la ubicación de las áreas para esta especie, con una superficie de poco menos del 2%. La ubicación más precisa de las zonas obtenidas para esta especie se debió principalmente a la inclusión de las variables de exposición y pendiente.

Para el caso de *Pinus patula*, no hubo una gran diferencia en la superficie de zonas potenciales obtenida en este estudio con la generada por la CONAFOR (2003), esto se debió a que en este caso se añadió un mayor número de unidades de tipos de suelo que no se tomaron en cuenta en los trabajos realizados por la CONAFOR.

En lo que respecta a las demás especies en estudio, no se tienen antecedentes de trabajos realizados para la localización de zonas potenciales en el estado de Tlaxcala. Sin embargo, comparando las zonas potenciales obtenidas para estas especies con las obtenidas por Meza (2002 y 2003) para otras especies y otras zonas, estas fueron mucho mas precisas en cuanto a la ubicación, debido a que el autor no tomo en cuenta variables como la precipitación, exposición, pendiente, tipo y uso de suelo, dándole como resultado zonas de ubicación muy generales.

En términos generales, los resultados obtenidos por el INIFAP (2006) en el estado de Michoacán fueron muy similares a los obtenidos en este estudio, dado que se utilizaron las mismas variables y las mismas escalas para los mapas, excepto que en el presente trabajo se decidió incluir la variable exposición, la cual se puede decir que fue decisiva en la ubicación de zonas potenciales para las diferentes especies.

Aunque la variable de pendiente fue el factor mas restrictivo en la definición de áreas potenciales para las seis especies en estudio, esta influyó de manera determinante para *Pseudotsuga menziesii*. Otra variable que influyó en gran medida para determinar la distribución de zonas potenciales de las tres especies de pino fue la precipitación, mientras que para *Quercus rugosa* y *Juniperus deppeana* fue la altitud.

7. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye:

Con base en la clasificación supervisada, el área obtenida para cada una de las clases propuestas fue la siguiente; 19,421 ha con Bosque de Coníferas, 7,496 ha de Bosque de Pino-Encino, 12,349 ha de Bosque de Encino, 19,369 ha de Bosque de Juniperus, 288,795 ha de Zonas Agrícolas, 15,113 ha de Zonas Urbanas, 1,412 ha de Cuerpos de Agua, 13,606 ha de Pastizal inducido, 2,035 ha de Pradera de Alta Montaña y 19,443 ha con problemas de Erosión.

De acuerdo a los requerimientos agroecológicos para cada una de las especies en estudio, en el estado de Tlaxcala existe una superficie potencial de 7,317 ha para *Pinus montezumae*, 5,343 ha para *Pinus patula*, 4,539 ha para *Pinus cembroides*, 4,522 ha para *Pseudotsuga menziesii*, 5,395 para *Juniperus deppeana* y 6,903 ha para *Quercus rugosa*.

El uso de un Sistema de Información Geográfica en el proceso de determinación de zonas potenciales para el desarrollo de especies forestales resultó ser muy eficiente, debido a los ajustes que es necesario realizar en el proceso y manejo de las diferentes variables de análisis, lo que haría poco práctico el uso de la cartografía tradicional por el excesivo tiempo que consume llegar a un resultado satisfactorio.

8. RECOMENDACIONES

La información proporcionada muestra la localización de las zonas con potencial para establecer plantaciones con las diferentes especies forestales, sin embargo, derivado de la escala de trabajo (1:250,000), el nivel de detalle de los análisis se consideran útiles para actividades exploratorias y/o de planificación general.

Si se abordara un estudio real de localización de zonas potenciales para el establecimiento de una especie forestal, el número de variables aquí consideradas no serían suficientes, ya que sería recomendable incluir aspectos socioeconómicos, del paisaje, incidencia sobre el agua, etc. Además de trabajar con escalas a mayor detalle (1:50,000 ó 1:25,000).

Antes de realizar cualquier esfuerzo de plantación, se recomienda profundizar en su totalidad en los procesos de producción de planta en vivero, con el fin de garantizar la calidad de la misma, así como realizar los ensayos correspondientes en campo, los cuales corroborarán el desempeño de la especie, solucionando los problemas particulares de cada área y/o tipo de plantación, todo con el fin de lograr un alto éxito en el establecimiento de la plantación.

9. LITERATURA CITADA

- Acevedo, R., R. 1998. Estudio sinecológico del bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. oaxacana Debreczy & Rácz, en la zona de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 104p.
- Barron Q. J. y Garcia S. A. 2003. Identificación y cuantificación de áreas degradadas en los bosques del noroeste de Durango. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. De México. 82p.
- Bolstad, P. and Lillesand, T. 1992. Improved classification of forest vegetation in Northern Wisconsin through a rule – based combination of soils, terrain and Landsat thematic mapper data. *Forest Science*. 38 (1) : 5 – 20
- Cuanalo Guevara p. 1979. El pinus cembroides en los bosques de México. Folleto. Durango, Dgo.
- Dominguez, A. F. A. 1986. Estudio ecológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco en la región de Huayacocotla, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 266 p.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 2 v. 622 p.
- ESRI, 1995. Understanding GIS: The Arc/Info Method. Self-study workbook PC version. Environmental System Research Institute. USA. chapter: 1-10.

FAO, 1997. Zonificación agro-ecológica. Guía General. Boletín de Suelos de la FAO. No. 73. FAO. Roma, Italia. 82p.

INIFAP, 2006. Diagnostico para determinar las áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en el estado de Michoacán. Uruapan, Michoacán, México.

Madrigal S. A. 1967. Algunos aspectos ecológicos de los bosques de coníferas mexicanas. México y sus bosques II (16): 1-19

Martínez B., O. U. 1998. Determinación de áreas para plantaciones forestales en zonas áridas. En Tecnologías Llave en Mano. División Forestal. SAGAR-INIFAP. México. P:193-194

Martínez B., O. U. 1999. Metodología para ubicar áreas con potencial productivo de especies vegetales del estado de Coahuila. En: 500 Tecnologías Llave en Mano. División Forestal. SAGAR-INIFAP. México. P: 60

✓ Martínez, M. 1981 Los encinos de México. 2ª edición. Ed Botas. México. pp. 343-345.

Martínez M. 1963. Los *Juniperus* Mexicanos. In MARTÍNEZ, M. 1963. Las Pináceas mexicanas. Editorial Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal. pp. 289-400.

✓ Martínez M. 1992. Los Pinos Mexicanos. Azteca. México, D. F. 361 p.

Medina GG. 1997. Ruíz CJA. Martínez PARA. Ortiz VM. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. Agric. Téc. Mex. 23(1):69-90.

- Lang L. 1998. Managing natural resources with GIS. Enviromental Systems Research Institute (ESRI). USA. 117p.
- ✓ López, F. 1998. Germinación y Establecimiento Temprano de *Quercus rugosa* y sus Implicaciones en la Rehabilitación de Habitats Pinarizados en los Altos de Chiapas, México. Tesis Profesional (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- López P., I. y P. Gonzales A. 1998. Ecofisiografía y productividad de *Pinus cembroides* Zucc "En Sierra de Organos". Municipio de Sombrerete, Zacatecas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Edo. de México.
- ✎ Perry J. P. Jr. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber. Portland, Oregon, USA. 231 p.
- Ponce J. 1998. Clasificación de uso de suelo y vegetación en un área del estado de Tabasco mediante Imágenes de Satélite. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Salazar Marcial, L. 2000. Caracterización ecológica fisonómica de un bosque de *Juniperus* en el Municipio de Tepeapulco, Hidalgo. Tesis de Licenciado en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Iztacala. México. 56 p.
- Serradi A. 1989. Forest clasification on the eastern slope of the Vosges mountains using Lansat – TM imagery. Proceedings of the 9th EARSel Symposium. Pp. 274 – 278.

- Reyes H. V. J. 2002. Variación morfológica y anatómica en poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga*. Tesis de maestría. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Rivera R. 2001. Utilización de imágenes de satélite para determinar áreas con problemas de lixiviación de nitratos. Tesis de maestría. Chapingo Texcoco, Edo. de México. 79p.
- Rodríguez A. 1993. Clasificación automatizada de superficies arboladas mediante imágenes de satélite Landsat TM. Tesis de Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo de México. 99p.
- Ronald J. 2003. Guía para SIG y procesamiento de Imágenes. IDRISI Kilimanjaro. Clark Labs. USA. 312p.
- Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Tercera impresión. Editorial LIMUSA. México. Pp 310-311.
- Ruíz C. et al. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro Técnico. No 3. INIFAPSAGAR. México. 324p.
- Yáñez E. L. 1991. Análisis de la producción de semillas en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en una población natural de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México.
- Vasquez Y. et al. 2002. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. pv.

Velásquez, M. A. et. al. 2004. Monografía de *Pinus patula*. 124 p

Vela G., L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula* Schl. Et Cham.
Publicación especial No. 19. INIF/SARH. Mexico, D.F. 109p.

Woodcock, C. et. al. 1990. Timber inventory using LANDSAT Thematic Mapper imagery and canopy reflectance models. Proceedings of the twenty third International Symposium on Remote Sensing of Enviroment: Vol. II. pp 937 – 948.

INTERNET

1. CONAFOR, 2003. Ficha técnica para *Pinus montezumae* Lamb.
http://conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/Fichas%20Tecnicas/Pinus%20montezumae.pdf
2. CONAFOR, 2003. Ficha técnica para *Pinus cembroides* zucc.
http://conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/Fichas%20Tecnicas/Pinus%20cembroides.pdf
3. CONAFOR, 2003. Ficha técnica para *Pinus patula* Schl. et Cham.
http://conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/Fichas%20Tecnicas/Pinus%20patula.pdf
4. CONAFOR, 2003. Ficha técnica para *Pseudotsuga menziesii*.
http://conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/Fichas%20Tecnicas/Pseudotsuga%20menziesii.pdf
5. CONAFOR, 2003. Ficha técnica para *Quercus rugosa* Neé.
http://conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/Fichas%20Tecnicas/Quercus%20rugosa.pdf
6. CONAFOR, 2003. Ficha técnica para *Juniperus deppeana* Steud.
http://conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/Fichas%20Tecnicas/Juniperus%20deppeana.pdf

7. SIG-MAGA. 2002. Identificación de áreas aptas para el desarrollo de 30 cultivos promisorios a nivel nacional. Laboratorio de Información geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala.
02/2002
<http://www.maga.gob.gt/sig/E-LISTA%20DO%20PROYECTOS/EJECUTADOS/DIVERSIFICACION%20PRODUCTIVA/Diversificacion%20Productiva.pdf>
8. Meza, S. R. 2003. Identificación de áreas con potencial productivo para Damiana en Baja California Sur.
06/2003
<https://intranet.inifap.gob.mx/infoteca/inifap/Forestal/Folleto1179.pdf>
9. Meza, S. R. 2002. Identificación de áreas potenciales para palo de arco mediante el uso de SIG en Baja California Sur.
09/2002
<https://intranet.inifap.gob.mx/infoteca/inifap/Forestal/Folleto1188.pdf>
10. Pajares, E. C. 1997. Localización de zonas idóneas para reforestar mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica: Aplicación a un área de la comunidad de Madrid.
04/1997
http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=811
11. Gumiel J. C. et al. 1999. Clasificación de Imágenes Landsat TM para la estimación de superficies de regadío en la Vega Baja y Campo de Helche, Unidad Hidrogeológica (Alicante). Instituto Tecnológico Geominero de España.
http://telenet.uva.es/promotores/revista/revista_12/AET12_7.pdf
12. Lalanne G. et al. 2002. Determinación de la aptitud productiva del establecimiento la Espadaña mediante el uso de imágenes satelitales. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica. Bs. As. Argentina.
<http://www2.uca.edu.ar/esp/sec-fagrarias/esp/docs-revista/volumenes/pdf/vol204.pdf>
13. Pozo M. 2004. Creando ventajas competitivas con la tecnología SIG, ArcGIS 9 una Herramienta Esencial para la Gestión Forestal. Artículo de la Revista del Colegio de Ingenieros Forestales. Chile. 3p.
http://www.incom.cl/arch_pdf/publicaciones/mundoforestal1-1.pdf
14. Espejel A. y Carrasco G. 1999. El deterioro ambiental en Tlaxcala y las políticas de desarrollo estatal 1988-1999. Instituto Nacional de Ecología.
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/277/espejel.html>

10. ANEXOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
INSTITUTO DE CIENCIAS FORESTALES

MAPA DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN PARA EL ESTADO DE TLAXCALA

Leyenda

- Municipios importantes
- Carreteras principales
- Boques de coníferas
- Boques de pino-encino
- Boques de encino
- Boques de jirapera
- Zonas agrícolas
- Zonas urbanas
- Cuencas de agua
- Pedregal inducido
- Pedregal de alta montaña
- Erosión



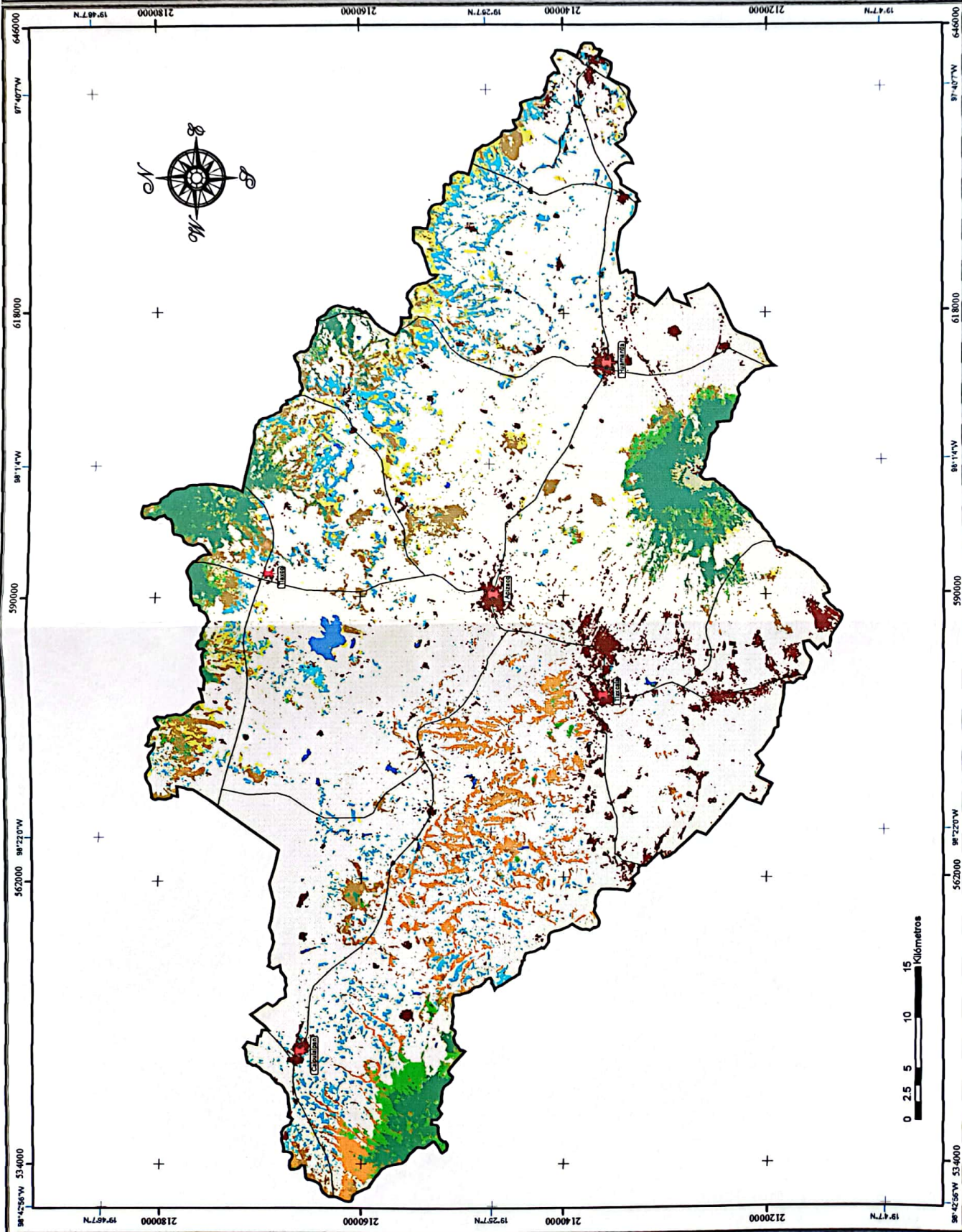
UBICACIÓN:
Estado de Tlaxcala México

ESCALA
1:359 000

Proyección:
UTM Zona 14, Datum NAD 27



0 2.5 5 10 15
Kilómetros





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
INSTITUTO DE CIENCIAS FORESTALES
SECRETARÍA DE CIENCIAS FORESTALES

MAPA DE ZONAS POTENCIALES
PARA EL DESARROLLO DE
Pinus montezumae

SIMBOLOGÍA

Zonas potenciales



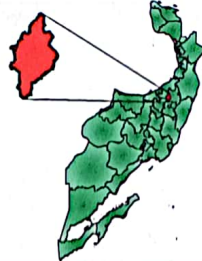
Municipios importantes



Carreteras principales



División municipal



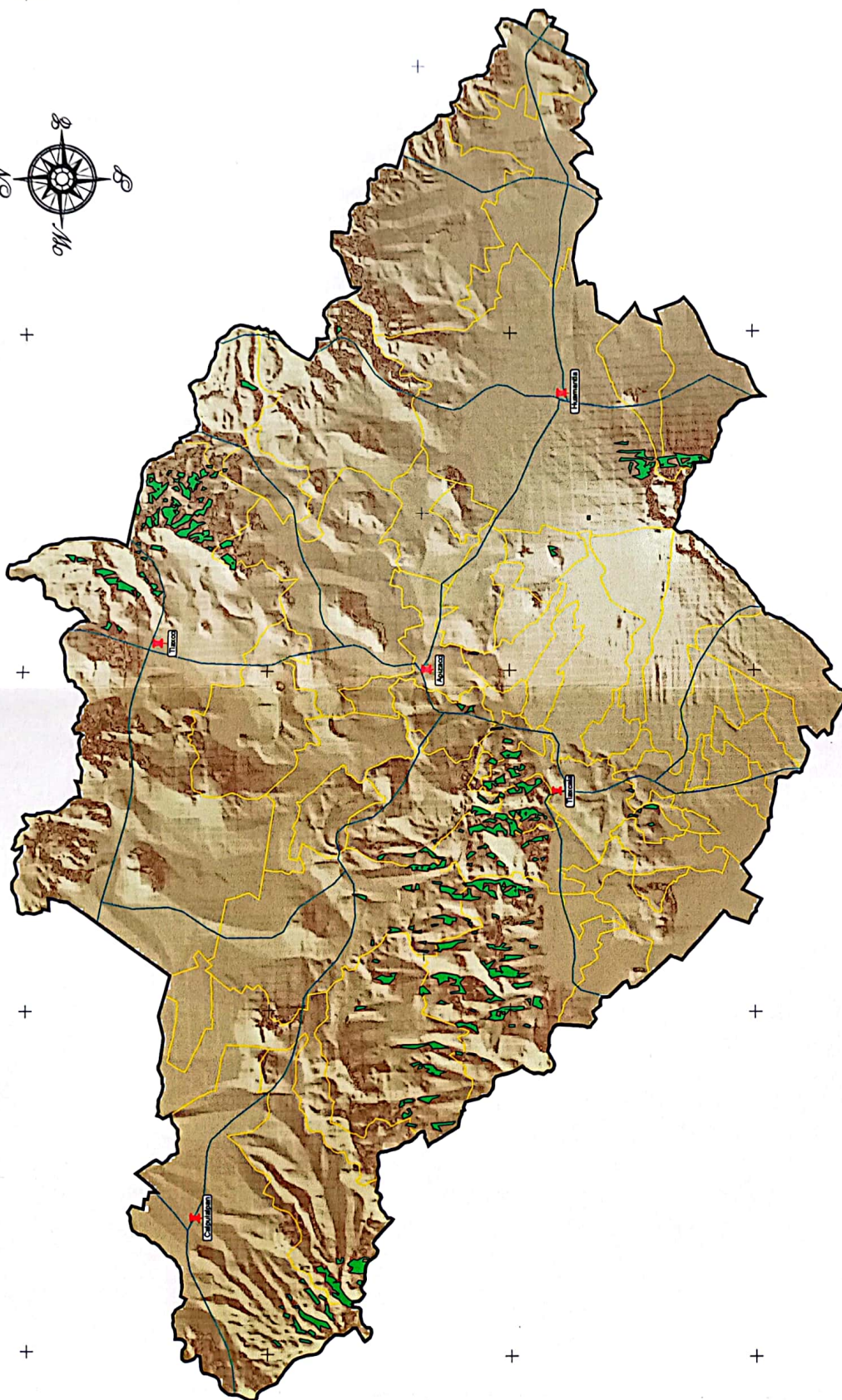
UBICACIÓN:
Estado de Tlaxcala México

ESCALA
1:359,000

Proyección:
UTM Zona 14, Datum NAD 27



0 2.5 5 10 15
Kilómetros





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
INSTITUTO DE CIENCIAS FORESTALES

MAPA DE ZONAS POTENCIALES PARA EL DESARROLLO DE *Pinus patula*

SIMBOLOGÍA

Zonas potenciales



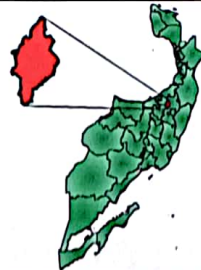
Municipios importantes



Carreteras principales



División municipal



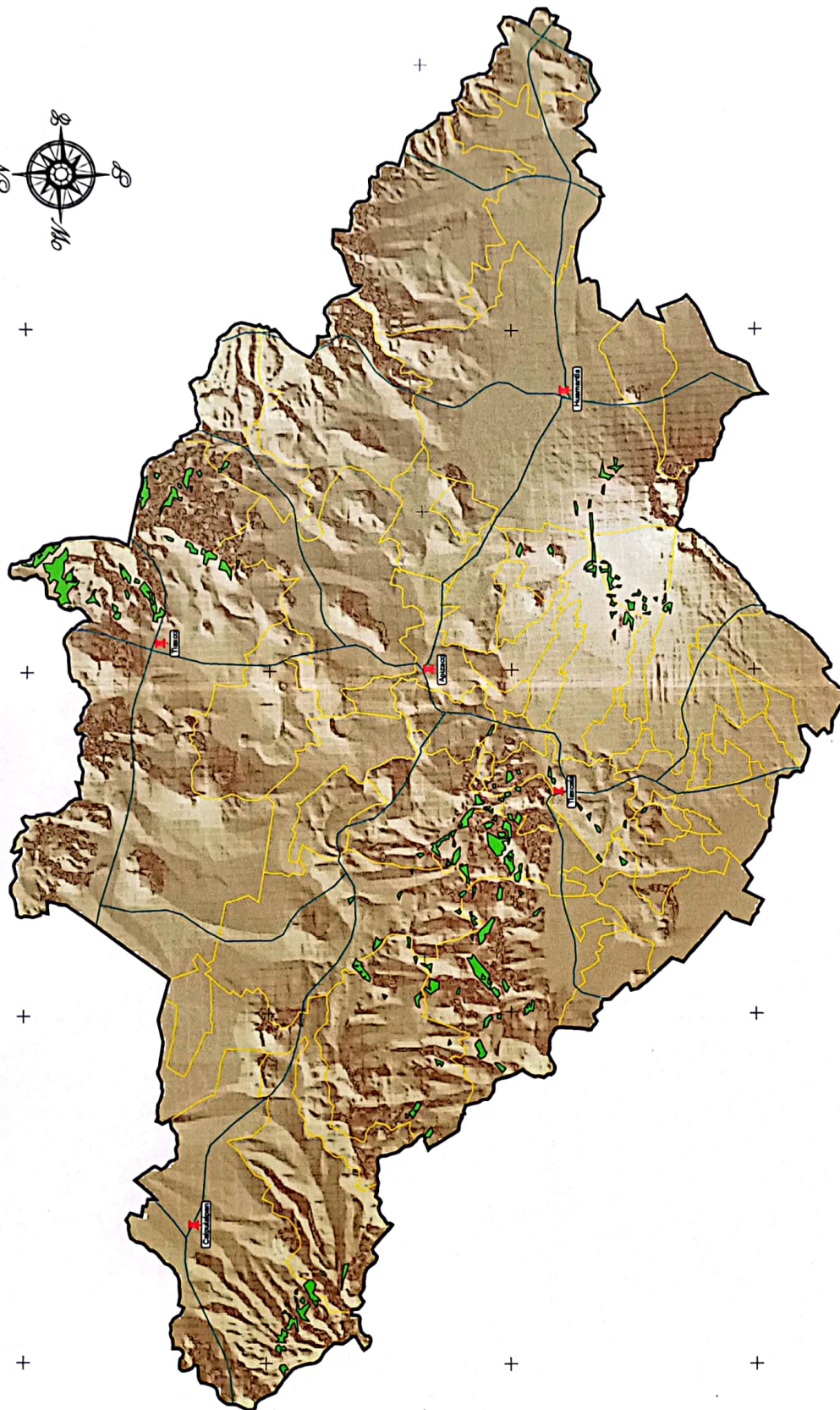
UBICACIÓN:
Estado de Tlaxcala México

ESCALA
1:359,000

Proyección:
UTM Zona 14, Datum NAD 27



0 2.5 5 10 15
Kilómetros

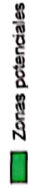




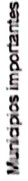
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
INSTITUTO DE CIENCIAS FORESTALES

MAPA DE ZONAS POTENCIALES
PARA EL DESARROLLO DE
Pseudotsuga menziesii

SIMBOLOGÍA



Zonas potenciales



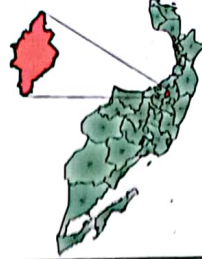
Municipios importantes



Carreteras principales



División municipal



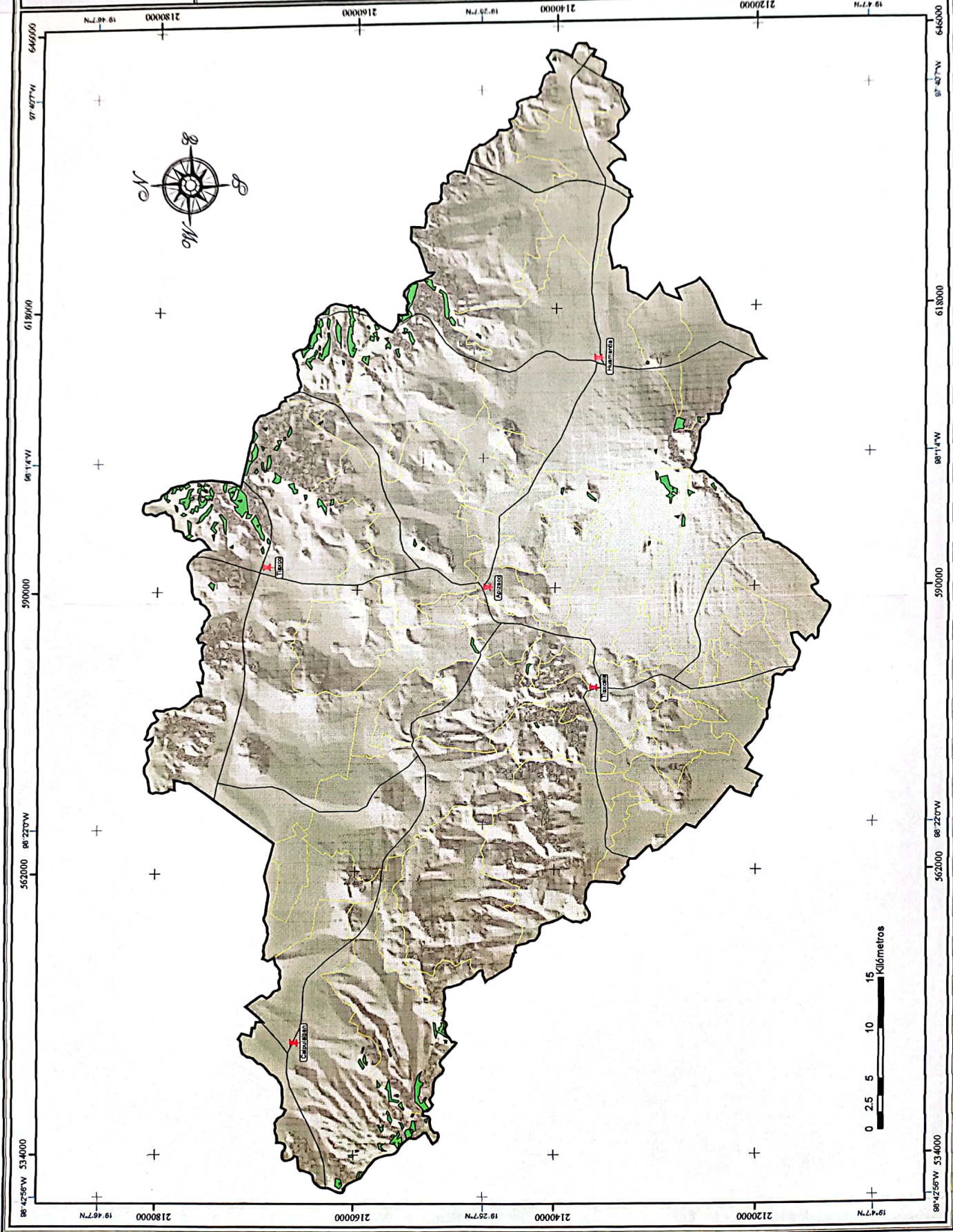
USICACIÓN:
Estado de Tlaxcala México

ESCALA
1:359,000

Proyección:
UTM Zona 14, Datum NAD 27



0 2.5 5 10 15
Kilómetros





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

MAPA DE ZONAS POTENCIALES
PARA EL DESARROLLO DE
Pseudotsuga menziesii

SIMBOLOGÍA

Zonas potenciales



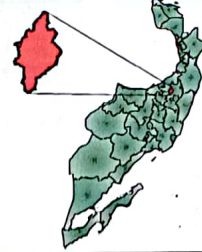
Municipios importantes



Carreteras principales



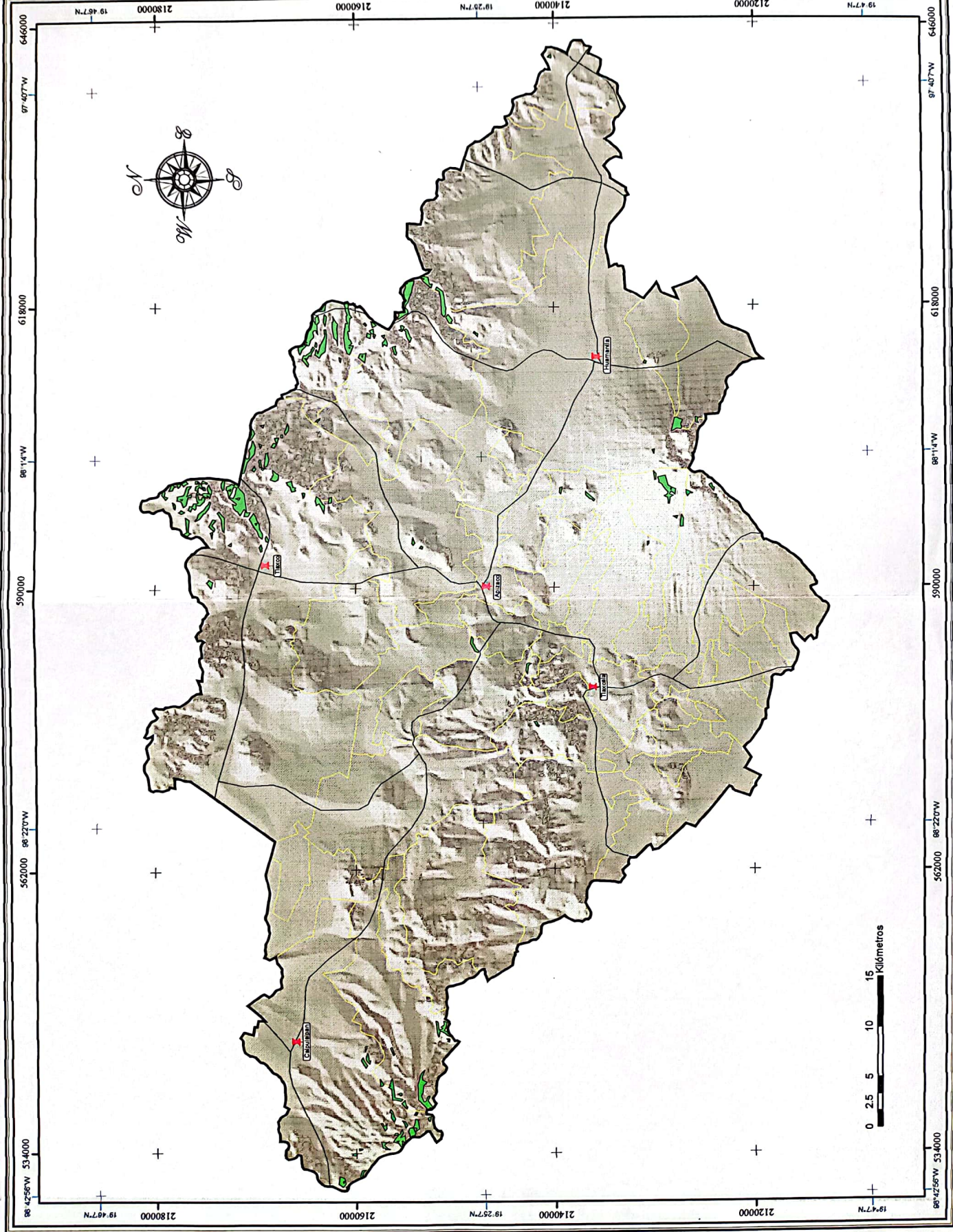
División municipal



UBICACIÓN:
Estado de Tlaxcala México

ESCALA
1:359,000

Proyección:
UTM Zona 14, Datum NAD 27

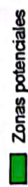




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
INSTITUTO DE CIENCIAS FORESTALES

MAPA DE ZONAS POTENCIALES
PARA EL DESARROLLO DE
Juniperus deppeana

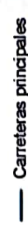
SIMBOLOGÍA



Zonas potenciales



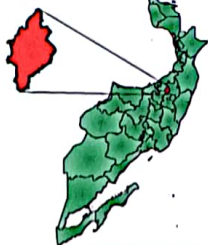
Municipios importantes



Carreteras principales



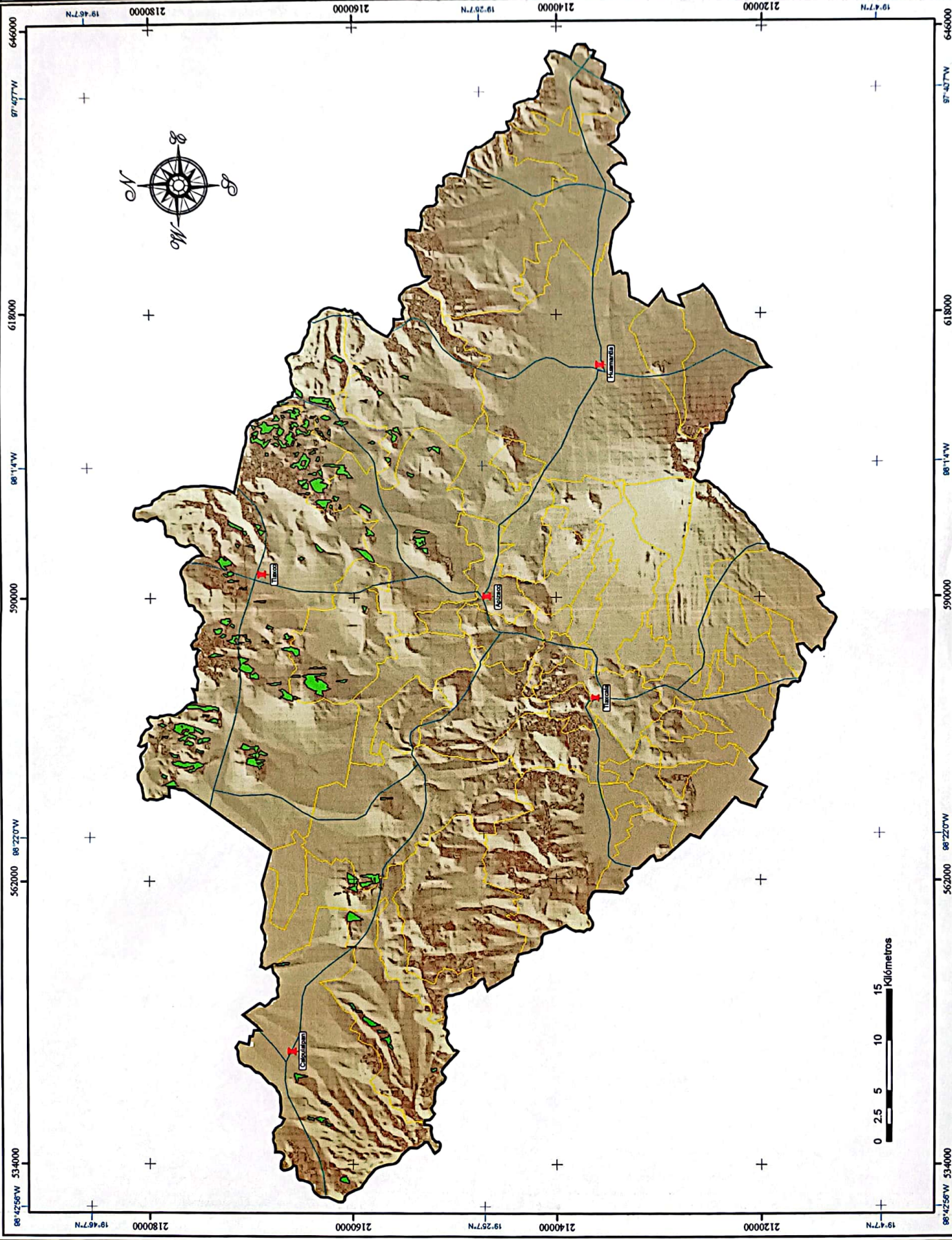
División municipal



UBICACIÓN:
Estado de Tlaxcala México

ESCALA
1:359,000

Proyección:
UTM Zona 14, Datum NAD 27





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

**MAPA DE ZONAS POTENCIALES
PARA EL DESARROLLO DE
*Quercus rugosa***

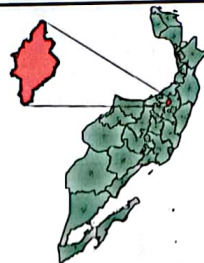
SIMBOLOGÍA

Zonas potenciales

Municipios importantes

— Carreteras principales

División municipal



UBICACIÓN:
Estado de Tlaxcala México

ESCALA
1:359,000

Proyección:
UTM Zona 14, Datum NAD 27

