



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

**ÁREAS POTENCIALES PARA REFORESTAR EL MUNICIPIO  
DE SAN MIGUEL EL GRANDE, OAXACA**

**TESIS**

**Que como requisito parcial para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:**

**RAMÍREZ PÉREZ ESTELA**



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

CHAPINGO, EDO. DE MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2015

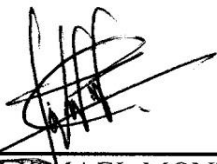


**ÁREAS POTENCIALES PARA REFORESTAR EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL  
EL GRANDE, OAXACA.**

TESIS REALIZADA POR **ESTELA RAMÍREZ PÉREZ** 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:**



---

DR. ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO  
RIVAS


**ASESOR:**



---

DR. DIÓDORO GRANADOS SÁNCHEZ

**ASESOR:**



---

DR. FRANCISCO ALBERTO DOMÍNGUEZ  
ÁLVAREZ

DEDICATORIA

A:

ISABEL Y JOAQUÍN, mis padres

A:

EUSTOLIA, VERÓNICA, CECILIA E IMELDA, mis hermanas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada la cual me permitió realizar los estudios de Postgrado

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la División de Ciencias Forestales por brindarme esta oportunidad.

Al Dr. Alejandro Monterroso Rivas por la dirección y orientación final de esta tesis.

Al Dr. Diódoro Granados Sánchez y Dr. Francisco Alberto Domínguez Álvarez por los comentarios proporcionados.

## DATOS BIOGRÁFICOS

Estela Ramírez Pérez

Candidata para el Grado de Maestra en Ciencias en Ciencias Forestales

Tesis: **ÁREAS POTENCIALES PARA REFORESTAR EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL EL GRANDE, OAXACA**

Datos personales: Nacida en Iturbide, San Miguel el Grande, Tlaxiaco, Oaxaca el 11 de abril de 1988

Educación: Licenciada en Biología por la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, generación 2006-2010.

Experiencia profesional: Ayudante de investigación en el proyecto genérico: Aplicación de un Índice Meteorológico de Predicción de Incendios Forestales en Áreas Naturales Protegidas del Centro de México. Actividades desempeñadas: solicitud de datos de incendios en CONAFOR y datos meteorológicos en CONAGUA, captura y organización de los mismos.

### **Publicación:**

Gil-Águilar, J, Labastida-Estrada, E, Mineros-Ramírez, R, Ramírez-Pérez, E y Tenorio-Romero, RM. **Estimación de la producción primaria y biomasa del fitoplancton y su relación con algunas condiciones ambientales en la Laguna de Chautengo, Guerrero (Febrero de 2009). Chautengo Lagoon, Guerrero (February 2009): estimation of primary production and phytoplankton biomass and their association to some environmental conditions.** Recibido el 10 de julio de 2013; aceptado para su publicación el 15 de septiembre de 2013 y publicado el 01 de diciembre de 2013 en el Vol.2, No.4, julio a diciembre de 2013 en la REVISTA DIGITAL EBIOS perteneciente al Departamento El Hombre y su Ambiente de la UAM-X.

# ÁREAS POTENCIALES PARA REFORESTAR EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL EL GRANDE, OAXACA

## SUITABLE AREAS TO REFOREST THE MUNICIPALITY OF SAN MIGUEL EL GRANDE, OAXACA

Estela Ramírez-Pérez<sup>1</sup>, Alejandro I. Monterroso-Rivas<sup>2</sup>

### RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue delimitar áreas potenciales para reforestación con las especies *Pinus patula* Sch et. Cham y *Pinus pseudostrabus* Lindl., en el municipio de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, en el estado de Oaxaca, mediante el análisis de algunos factores ambientales y requerimientos ecológicos de las especies forestales y un Sistema de información Geográfica (SIG), además de la verificación de campo. Para ambas especies se consideraron los subcriterios: precipitación media anual, temperatura media anual, pendiente (%), exposición de la pendiente, uso de suelo y vegetación; así como altitud, pH, textura y tipo de suelo. Se elaboraron dos mapas con las áreas potenciales con la siguiente aptitud: 498 ha

### ABSTRACT

The objective this study was to define potential areas for reforestation with *Pinus patula* Sch et. Cham and *Pinus pseudostrabus* Lindl., in the municipality of San Miguel El Grande, Tlaxiaco, state of Oaxaca. To define areas were used different elements such as: environmental factors, ecological requirements of the forest species, Geographic Information System (GIS), and, field verification. For both species were considered the following sub-criteria: annual rainfall, mean annual temperature, slope (%), aspect; land use and type of vegetation; altitude, soil pH, soil texture and soil type. Basically, two maps were developed with the potential areas that yielded the following aptitudes: 498 ha are adequate; 6,019 ha are

adecuadas, 6,019 ha marginalmente adecuadas, 2,251 ha moderadamente adecuadas para plantar a *P. patula* y 1,406 ha no adecuadas para ésta; mientras que para la especie *P. pseudostrobus* se calcularon 642 ha adecuadas, 2,736 ha marginalmente adecuadas, 6,362 ha moderadamente adecuadas; así como 434 ha no adecuadas. Finalmente se detalla la superficie total a plantar en el municipio, la cual se calcula en 1,264 ha, la superficie para cada una de las especies es de 547 ha para *P. patula* y 717 ha para *P. pseudostrobus*. El conocimiento de los requerimientos ecológicos y el uso de herramientas como los SIG permitieron determinar las áreas potenciales para la toma de decisión con relación a las especies a plantar en el municipio.

**Palabras Clave:** Aptitud de suelo, *Pinus patula* Sch et. Cham., *Pinus pseudostrobus* municipio. Lindl., Sistemas de Información Geográfica.

marginally adequate; 2,251 ha are moderately suitable for planting *P. patula* and 1,406 ha are not suitable. While, in the case of *P. pseudostrobus* specie calculated 642 ha are adequate; 2,736 ha are marginally adequate; 6,362 ha are moderately suitable; and, 434 ha are not adequate.

Finally, the total area to be planted in the municipality referred, is 1,264 ha approximately. 547 ha for *P. patula* and, 717 has for *P. pseudostrobus*. The knowledge on ecological requirements and the use of GIS enabled to identify and determine the potential areas for decision making regarding species to be planted in the municipality.

**Key Words:** Land Suitable, *Pinus patula* Sch et. Cham., *Pinus pseudostrobus* Lindl., Geographic Information System.

1Tesisista  
2Director

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 GENERAL .....	3
2.2 PARTICULARES.....	3
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
3.1 EL SUELO .....	4
3.1.1 Factores formadores del suelo.....	5
3.1.2 Formación del suelo.....	7
3.1.3 Composición del suelo .....	7
3.1.4 Degradación, erosión y conservación del suelo .....	8
3.1.5 Suelos forestales e importancia de la cobertura de vegetación.....	11
3.2 EVALUACIÓN DE TIERRA.....	12
3.2.1 Elección de las especies y factores que influyen en su elección .....	12
3.2.2 Plantaciones forestales .....	19
3.2.3 Plantaciones forestales con fines de mejoramiento de suelo.....	20
3.2.4 Aptitud del suelo.....	21
3.2.5 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	23
3.3 EVALUACIÓN DE APTITUDES .....	24
<b>4. ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>31</b>
4.1 EL MEDIO FÍSICO .....	31
4.1.1 Ubicación geográfica.....	31
4.1.2 Toponimia.....	32
4.1.3 Relieve .....	32
4.1.4 Rocas dominantes.....	34
4.1.5 Suelos .....	36
4.1.6 Clima .....	38
4.1.7 Ríos.....	38
4.1.8 Uso de suelo y vegetación .....	39
4.2 MEDIO SOCIAL Y ECONÓMICO .....	41
4.2.1 Educación.....	41
4.2.2 Población económicamente activa.....	41
4.3 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES .....	42
<b>5. MÉTODOLÓGIA.....</b>	<b>43</b>
5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES DE INTERÉS.....	43
5.1.1 <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. ....	43
5.1.2 <i>Pinus Pseudostrobus</i> Lindl.....	47



5.2 REQUERIMIENTOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES.....	50
5.2.1 <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. ....	50
5.2.2 <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. ....	51
5.3 CRITERIOS PARA IDENTIFICAR LAS ÁREAS APTAS A PLANTAR.....	52
5.4 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA .....	52
5.4.1 Actualización de información de vegetación y uso de suelo en el área.....	52
5.5 APLICACIÓN DE APTITUDES.....	56
MUESTREO DE CAMPO, CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	57
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>60</b>
6.1 ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO EN EL ÁREA.....	60
6.2 MAPAS SUBCRITERIO Y APTITUD POR VARIABLE PARA LAS ESPECIES FORESTALES.....	63
6.3 LOCALIZACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y SUPERFICIE DE LAS ÁREAS POTENCIALES CON <i>P. PATULA</i> Y <i>P. PSEUDOSTROBUS</i> .....	65
6.4 PLANTACIONES FORESTALES CON FINES DE RESTAURACIÓN DE SUELO CON <i>PINUS PATULA</i>	71
6.5 PLANTACIONES FORESTALES CON FINES DE RESTAURACIÓN CON <i>PINUS PSEUDOSTROBUS</i> .	73
6.6 ÁREAS DE REFORESTACIÓN, CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN CON <i>PINUS. PATULA</i> .....	75
6.7 ÁREAS DE REFORESTACIÓN, CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN CON <i>PINUS PSEUDOSTROBUS</i>	77
6.8 ÁREAS DESTINADAS A MEJORAMIENTO DE SUELO CON <i>PINUS PATULA</i> .....	79
6.9 PROPUESTA: ÁREAS A REFORESTAR.....	82
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>95</b>
ANEXO 1. CARTOGRAFIA DETALLADA Y TEMÁTICA PARA LA ZONA DE ESTUDIO .....	95
ANEXO 2. VARIABLES Y APTITUD POR VARIABLE DE <i>PINUS PATULA</i> .....	103
ANEXO 3. VARIABLES Y APTITUD POR VARIABLE DE <i>PINUS PSEUDOSTROBUS</i> .....	104
ANEXO 4. ANÁLISIS MULTICRITERIO Y APTITUD DE <i>PINUS PATULA</i> .....	105
ANEXO 5. ANÁLISIS MULTICRITERIO Y APTITUD DE <i>PINUS PSEUDOSTROBUS</i> .....	106
ANEXO 6. RECLASIFICACIÓN DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN Y CLASIFICACIÓN APARICIO (2009).....	107
ANEXO 7 PERFILES DE SUELO .....	108
ANEXO 8 ANEXO ÁREAS DEGRADADAS Y SUPERFICIES A REFORESTAR .....	112

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Factores estudiados para clasificar un terreno.-----	23
Cuadro 2. Matriz de requerimientos ambientales para <i>Pinus patula</i> -----	50
Cuadro 3. Matriz de requerimientos ambientales para <i>Pinus pseudostrabus</i> -----	51
Cuadro 4 Superficie por aptitud para reforestar con <i>Pinus patula</i> -----	82
Cuadro 5 Superficie por aptitud para reforestar con <i>Pinus pseudostrabus</i> -----	82

## Índice de Figuras

Figura 1. Proceso de formación del suelo, en él se experimentan transformaciones, ganancias, pérdidas y translocaciones (trasladaciones). Las propiedades resultantes de los suelos son mayormente cuantitativas y no cualitativas -----	7
Figura 2. Composición promedio ideal de los primeros centímetros del suelo (% en peso) y composición promedio del suelo (% en volumen).-----	8
Figura 3. Erosión en una cuenca -----	10
Figura 4. Ubicación geográfica del área de estudio. Municipio de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca-----	33
Figura 5. Tronco y acículas de <i>Pinus patula</i> -----	44
Figura 6 Tronco y Acículas de <i>Pinus pseudostrabus</i> -----	48
Figura 7 Puntos de muestreo en el municipio de San Miguel El Grande -----	58
Figura 8 Porcentaje de vegetación y uso de suelo en el Municipio de San Miguel El Grande	60
Figura 9 Mapa de actualización de uso de suelo y vegetación del Municipio de San Miguel El Grande -----	62
Figura 10 Aptitud por variable para la especie <i>P. patula</i> -----	67
Figura 11 Áreas potenciales para la especie <i>P. patula</i> -----	68
Figura 12 Aptitud por variable para la especie <i>P. pseudostrabus</i> -----	69
Figura 13 Áreas potenciales para la especie <i>P. pseudostrabus</i> -----	70
Figura 14 Áreas a reforestar con fines de restauración con la especie <i>P. patula</i> -----	72
Figura 15 Áreas a reforestar con fines de restauración con la especie <i>P. pseudostrabus</i> -----	74
Figura 16 Áreas a reforestar y conservar con la especie <i>P. patula</i> -----	76
Figura 17 Áreas a reforestar y conservar con la especie <i>P. pseudostrabus</i> -----	78
Figura 18 Áreas destinadas a mejoramiento de suelo con <i>P. patula</i> -----	80
Figura 19 Áreas destinadas a mejoramiento con <i>P. pseudostrabus</i> -----	81
Figura 20 Áreas con aptitud adecuada para <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus pseudostrabus</i> -----	83
Figura 21 Áreas para reforestar con <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus pseudostrabus</i> -----	84
Figura 22 Superficie para reforestar con <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus pseudostrabus</i> -----	85

## **1. INTRODUCCIÓN**

El área total de bosque en el mundo se reduce cada año en 13 millones de hectáreas a causa de la deforestación; sin embargo las plantaciones de árboles a gran escala están reduciendo notablemente la pérdida del área de bosque a nivel mundial (FAO, 2010).

En México se estima que la cobertura forestal se ha reducido notablemente en las últimas décadas, sin embargo, de acuerdo a los reportes de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) se observa una reducción en la tasa de pérdida en el último periodo, la deforestación de bosques y selvas pasó de 354 mil hectáreas por año en el periodo 1990-2000 a 155 mil hectáreas por año en el periodo 2005-2010 (CONAFOR, 2010). A pesar de este logro, se estima que es necesario reforestar una superficie equivalente a la que se deforesta anualmente. Recobrar estas áreas significa incrementar el potencial productivo del país en productos maderables y sus colaterales beneficios económicos, así como asegurar los hábitats de fauna y flora silvestres, incrementar reservas acuíferas de los mantos freáticos, proteger el suelo contra la erosión, proteger la calidad de aire y los microclimas, así como generar beneficios recreativos diversos, que en conjunto contribuyen al mejoramiento de bienestar de la sociedad (Torres y Magaña, 2001)

Anualmente la cubierta forestal de Oaxaca disminuye en promedio 59,609.25 hectáreas (González, 2009). Oaxaca es uno de los estados que muestra pérdidas de masa boscosa superior a lo reforestado al año (Céspedes, 2010).

Los esquemas organizativos comunitarios para el aprovechamiento forestal en Oaxaca han tenido reconocimiento nacional e internacional, pero en las regiones y comunidades menos o no organizadas, como es el caso del municipio de San Miguel El grande, Tlaxiaco, los

recursos forestales se encuentran bajo riesgos, amenazas y prácticas que implica su falta de gestión y aprovechamiento (Grupo Mesófilo, 2010).

San Miguel El Grande tiene un gran potencial para el aprovechamiento de sus recursos forestales; sin embargo es necesario atender los suelos que se encuentran con cierto grado de degradación; mediante prácticas de conservación y mejoramiento de los mismos (Aparicio, 2009).

En el contexto de la problemática a la erosión del suelo, se plantea como respuesta primordial, plantar más árboles, ya que esto, no sólo contribuye a la no deforestación, si no que su vez, permitirá satisfacer la demanda de madera y otros productos forestales, la generación de empleos y, contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de las poblaciones rurales, especialmente las ubicadas en las regiones forestales del país (Díaz y Díaz, 2007; Muñoz, 2011).

Por lo anterior, este trabajo pretende sentar las bases que permitirán ubicar las mejores zonas para restaurar la cobertura forestal. Realizar una propuesta de reforestación, con fines de restauración, protección, conservación, recuperación y mejoramiento de suelo; que puedan convertirse al largo plazo en una actividad económica rentable para la comunidad que habita el municipio.

Las preguntas de investigación que dirigen la presente son: ¿Cuál es el estado actual en relación al uso de suelo y vegetación del Municipio de San Miguel El Grande?, ¿Qué variables ambientales determinan la aptitud de suelo en el Municipio de San Miguel El Grande?, ¿Cuáles son los requerimientos ecológicos de *P. patula* y *P. pseudostrobus* para determinar áreas de plantación de estas especies? Y finalmente, ¿Qué y cuál superficie del área de estudio (Municipio de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca) integra variables óptimas (algunas

ambientales) que requieren las especies forestales nativas (*P. patula* y *P. pseudostrobus*), para llevar a cabo acciones de mejoramiento del suelo y de las condiciones de vida rural?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

Delimitar áreas potenciales para reforestación con de *Pinus patula* Sch et. Cham y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en el municipio de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, en el estado de Oaxaca, mediante el análisis de algunos factores ambientales y requerimientos ecológicos de las especies forestales, con el propósito de ubicar aquellos sitios susceptibles de reforestar y que den solución al problema de la deforestación y la erosión identificados.

### **2.2 Particulares**

1. Realizar una búsqueda bibliográfica sobre los principales requerimientos ambientales de las especies estudiadas para elaborar matrices de requerimientos.
2. Aplicar las matrices mediante análisis multicriterio y cartográfico, con mapas subcriterio para determinar la aptitud de la tierra de dos especies forestales en el área de estudio.
3. Evaluar y agrupar las áreas con algún tipo de aptitud y con viabilidad según su uso de suelo en propuestas para plantaciones forestales mediante contrastación de algunos factores ambientales mapeados y requerimientos ecológicos de las especies forestales
4. Elaborar mapas de localización y distribución de áreas potenciales para reforestaciones forestales de *P. patula* y *P. pseudostrobus* con base en el análisis cartográfico.
5. Proponer un programa de reforestación que incorpore criterios sociales, económicos y ambientales en el municipio.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 El suelo**

El suelo es un cuerpo natural, formado por material parental o “roca madre” (materiales no consolidados, mayormente sedimentos; material intemperizado que se encuentra sobre las rocas que le dieron origen; materiales parcialmente consolidados y que fueron transportados por la acción del agua, un río o la gravedad, llamados: aluvial, fluvial o coluvial, respectivamente. También existen materiales de suelo natural realmacenado o sedimentos; así como materiales tecnogénicos), (Dokuchaev, 1899; FAO, 2009).

El suelo posee tanto profundidad como extensión, morfología y estructura; características y propiedades que reflejan las condiciones en las cuales se formaron. Es producto de procesos físicos, químicos y biológicos influenciados por factores ambientales que actúan en forma combinada y variable, tales como, el clima, el relieve, los organismos vivos y muertos; así como la edad de la superficie geológica. (Suarez, 1979; Dokuchaev, 1899; Kaplán *et al.*, 2011).

La distribución de los factores formadores del suelo, aunado al factor antropogénico, determinan la diversidad y distribución espacial de los mismos (Dokuchaev, 1899). La diversidad de los suelos afecta la diversidad de las especies de vegetación, especialmente en los ecosistemas forestales (Krasilnikov, 2011), el mantenimiento de la biodiversidad, la calidad del aire y del agua, así como la salud humana y la calidad del hábitat (Doran y Parkin, 1994).

El suelo es un recurso natural no renovable, por su tiempo de formación; que es mayor que el de la vida del hombre (Ortiz, 2012).

Ortiz S.C.A. 2012. Degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. 87-96 p. En: Deforestación, desertificación y reforestación, Ma. De Lordes de la Isla de Bauer (Comp). Comité de Acción para el Saneamiento del Ambiente, A.C. (CASA). 181 p.

### ***3.1.1 Factores formadores del suelo***

De acuerdo a Kaplán *et al.*, 2011, uno de los modelos de formación del suelo más utilizados en relación a una propiedad dada del suelo; es función de la siguiente expresión:

$$p(S): F(\text{clima, geología, relieve, organismos vivos y tiempo})$$

Donde:

**p**: una propiedad del suelo, **S**: suelo y **F**: función.

Recientemente se ha sugerido agregar la acción del hombre como factor de la formación del mismo.

- **Factor clima**

La influencia de este factor, en el pasado como en la actualidad, es de tal magnitud que, hasta no hace mucho tiempo se explicaba y refería a los grandes tipos de suelos del mundo. En el pasado, los distintos tipos de clima dieron lugar a tipos de vegetación a veces utilizados indistintamente con tipos de suelo a pequeña escala (Kaplán *et al.*, 2011).

- **Factor material parental o “roca madre”**

La diferente composición de las rocas, su edad relativa, resistencia ante la acción del clima y organismos, inciden en la composición, tiempo de formación, paisaje y profundidad de los suelos; así como en propiedades mineralógicas, físicas y químicas de los mismos (Kaplán *et al.*, 2011).

- **Factor relieve**

El factor relieve condiciona la profundización de la formación del suelo:

- Gobernando la relación escurrimiento: infiltración del agua.
- Modificando la mayor o menor incidencia del viento o la insolación.
- Controla una mayor o menor influencia de la humedad de capas temporarias o permanentes en la formación del suelo (Kaplán *et al.*, 2011).

- **Organismos vivos**

La flora y la fauna de una determinada región, de algún modo, son consecuencia del clima presente o pasado. Por lo común, en equilibrio con un determinado clima se encuentra asociada un tipo de vegetación y de ésta última depende la supervivencia de los animales que viven en ella.

La incorporación de los restos de la flora y fauna al suelo es un proceso de suma importancia. La cantidad y calidad de “humus” de un suelo es altamente dependiente del tipo de vegetación y fauna en equilibrio con éste. Como consecuencia son diferentes las formas en que sus restos ingresan, se descomponen e integran al suelo en formas más o menos estables (Kaplán *et al.*, 2011).

Los organismos que habitan el suelo tienen funciones vitales como la fertilidad y la continua circulación y movimiento a través del mismo; manteniéndolo esponjoso, suave y aireado: propiedades de un suelo útil y sano (Negrete y Barois, 2012).

- **Factor tiempo**

Los factores de formación de suelo mencionados previamente pueden haber actuado por períodos muy variables: desde relativamente breves a muy largos (decenas a miles de años).

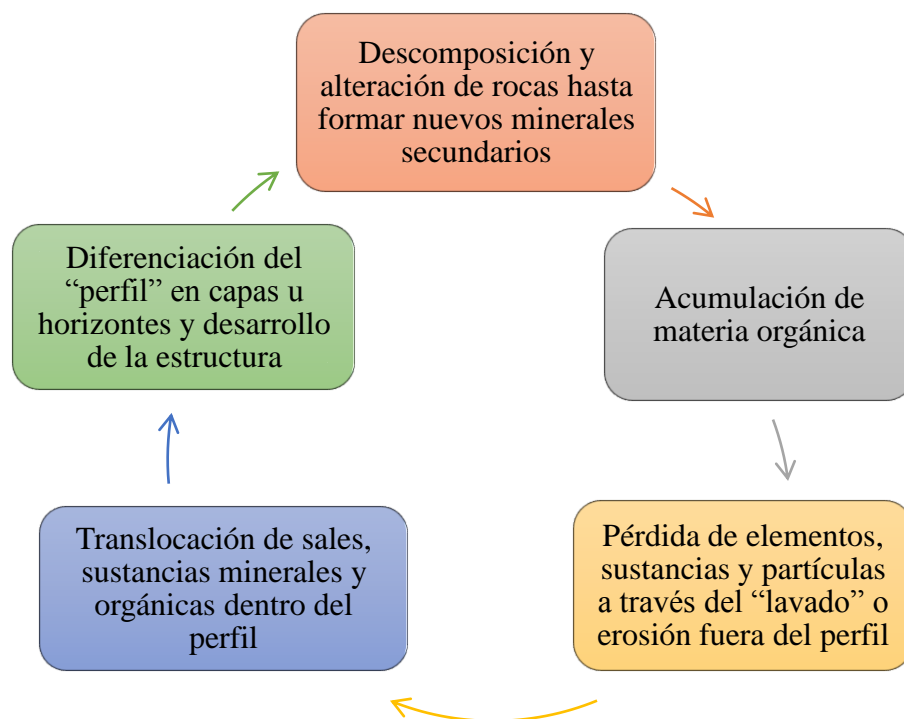
El paisaje-suelo que conocemos hoy, es consecuencia de procesos y fenómenos que han operado reiteradamente. La combinación de factores de formación da lugar a una serie de



procesos simples o generales de formación (comunes a todo tipo de suelo), que contribuyen a modelar el paisaje y los suelos asociados al mismo (Kaplán *et al.*, 2011).

### 3.1.2 Formación del suelo

Los procesos que contribuyen a modelar y formar el suelo son los siguientes:

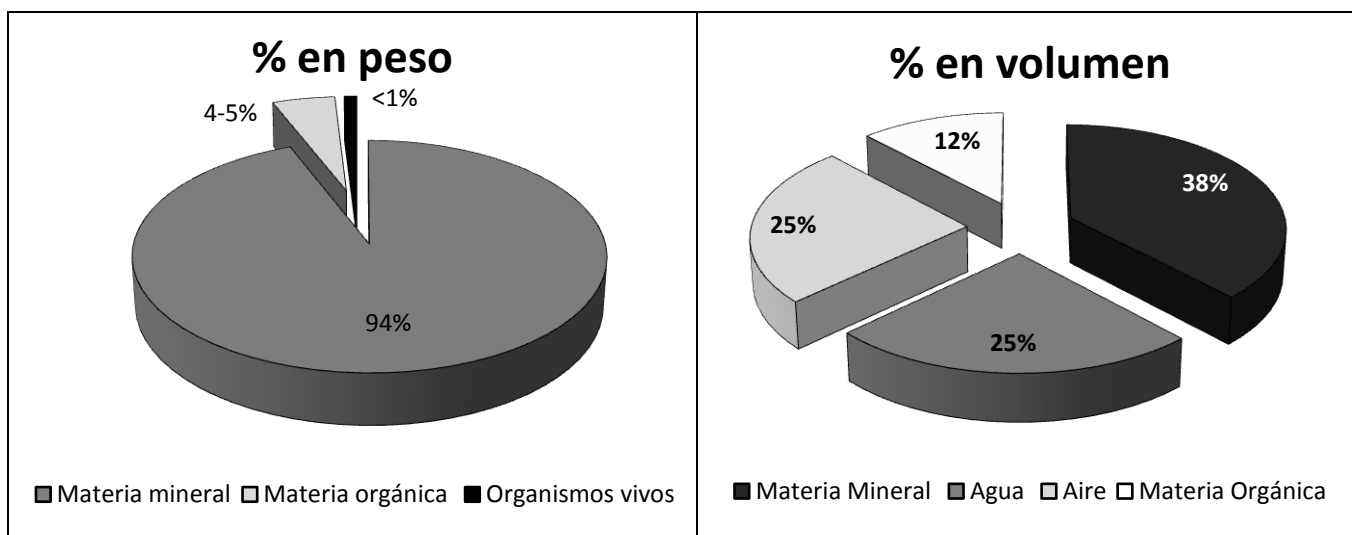


*Figura 1. Proceso de formación del suelo, en él se experimentan transformaciones, ganancias, pérdidas y translocaciones (trasladaciones). Las propiedades resultantes de los suelos son mayormente cuantitativas y no cualitativas*

### 3.1.3 Composición del suelo

La mayoría de los suelos que cubren la superficie continental son minerales (cuantitativamente su mayor componente son silicatos, óxidos e hidróxidos, clastos, nitratos, carbonatos, entre otros) que provienen de la alteración de las rocas. La figura 2 muestra el porcentaje mineral en peso y volumen en el suelo, en este último, el agua y el aire son

componentes muy dinámicos, varían en períodos breves; considérense las variaciones que podrían darse luego de una lluvia.



*Figura 2. Composición promedio ideal de los primeros centímetros del suelo (% en peso) y composición promedio del suelo (% en volumen).*

El material al partir del cual se forman los suelos, por lo común es un sustrato geológico de naturaleza mineral. De manera que sus componentes tienen una apreciable semejanza con el de la roca a partir de la cual se forman o diferencian. Por su parte, los componentes orgánicos, en su mayoría provienen de la vegetación bajo la cual se formaron, con un grado variable de transformación por los organismos (macro y micro fauna) que habita en ese medio. A su vez los compuestos solubles y coloidales se pueden desplazar dentro del perfil de suelo, de manera que algunas partes se empobrecen relativamente y otras se enriquecen.

### **3.1.4 Degradación, erosión y conservación del suelo**

La **degradación** acelerada e irreversible del suelo se define como un desbalance de algunas de las funciones del suelo, más a menudo referida a la función productiva del mismo, que son

causa de su deterioro físico, químico biológico y de su total destrucción (pérdida de energía y calidad). La degradación puede ser explicada por la competencia entre diferentes formas de utilización o aprovechamiento del suelo, tales como la ocupación, la contaminación y la sobreexplotación (López, 2002).

La degradación del suelo se manifiesta por la erosión, la acidificación, la pérdida de materia orgánica, la salinización, la urbanización, la contaminación agroquímica, etcétera (Alfaro, 2004).

La **erosión** ha sido definida como el desprendimiento y arrastre de partículas o masas de suelo principalmente por acción del agua y del viento; de ahí las denominaciones de erosión hídrica y eólica. Este proceso se desencadena básicamente cuando el hombre provoca, con sus actividades, el deterioro de la cobertura vegetal (Becerra, 2005).

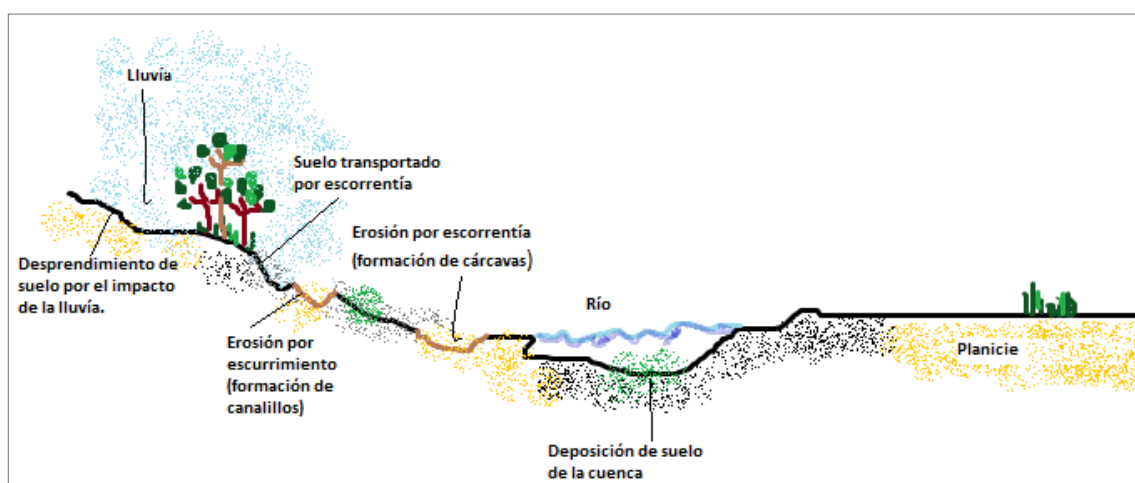
En la descripción de la erosión del suelo, se debe dar más énfasis a la erosión acelerada o la inducida por el hombre que rompe el equilibrio entre los suelos, la vegetación, el agua y el viento, lo cual da lugar a formaciones terrestres erosivas y otras condiciones anormales, como son las cárcavas o zanjas, los subsuelos descubiertos por la erosión laminar, los derrumbes, las carreteras socavadas los lagos y los causes de ríos obstruidos por sedimentos (López, 2002).

No siempre es fácil distinguir entre la erosión natural y la acelerada ya que están a menudo muy relacionadas; sin embargo, cabe mencionar que la erosión inducida por el hombre es el resultado de un uso irracional y desconocimiento en la gestión de recursos, como las prácticas agrícolas inapropiadas, sobrepastoreo y extracción o sobreexplotación de la vegetación natural (FAO, 2009).

La erosión es una repuesta al aumento de la presión que ejerce sobre el suelo el crecimiento demográfico y el abandono de grandes áreas anteriormente productivas, que han dejado de serlo como resultado de la salinización y alcalinización. Sin embargo, en otras partes del

mundo la erosión aparece como consecuencia directa del abandono de tierras asociado a la despoblación del campo (Morgan, 1996).

Los factores que determinan la tasa de erosión son la lluvia, la escorrentía, el viento, el suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y la presencia o ausencia de medidas de conservación. El aspecto de protección se centra en los factores relacionados con la cobertura de vegetación, esta puede proteger el suelo de la erosión al interceptar la lluvia y reducir la velocidad de la escorrentía y del viento. Diferentes cubiertas vegetales consiguen distintos grados de protección y, en consecuencia, las actuaciones humanas mediante determinados usos de suelo pueden controlar considerablemente la tasa de erosión (Morgan, 1996).



*Figura 3. Erosión en una cuenca*

El suelo es la base de todos los programas de cultivo. Si se usa prudentemente, puede lograrse una producción de alto rendimiento indefinidamente y al mismo tiempo ser mejorado. Si se es usado imprudentemente o para propósitos para los cuales no es adaptable, los resultados serán decepcionantes, incluso desastrosos, por tal razón es importante conocer las capacidades del suelo (Hudson, 1982).

El conocimiento adecuado de los recursos naturales es indispensable para la planificación, el ordenamiento territorial y la elaboración de propuestas enfocadas a su conservación, uso,

gestión, mejoramiento, restauración y remediación del deterioro que reflejan grandes extensiones de suelo, producto principalmente de la actividad del hombre (Alfaro, 2004).

### ***3.1.5 Suelos forestales e importancia de la cobertura de vegetación***

Un suelo forestal puede considerarse como aquel que se ha desarrollado bajo la influencia de una cubierta forestal. Este concepto reconoce el efecto marcado de las raíces profundas de los árboles y la asociación de organismos específicos de la vegetación forestal y la capa de hojarasca, junto con su lavado promovido por productos de descomposición sobre la génesis del suelo. Los suelos forestales cubren aproximadamente la mitad de la superficie terrestre (Pritchett, 1986)

Todos los suelos -con excepción de aquellos suelos de tundra, praderas y desiertos- fueron desarrollados bajo una cubierta forestal y han adquirido algunas propiedades distintivas como resultado de tal asociación. Evidentemente, no todos estos suelos están cubiertos bajo bosque, en la actualidad; además, existen pocos bosques verdaderamente vírgenes en regiones pobladas del globo. La conversión del bosque nativo, en sistemas de agricultura es un fenómeno ampliamente conocido y practicado (Salas, 1987).

Como se ha venido mencionando, el clima, la vegetación y el suelo forman un complejo dinámico e interrelacionado, y cuando un miembro de este se altera, los demás cambian de manera similar y se establece un nuevo equilibrio.

El suelo, desempeña un papel esencial en el crecimiento y desarrollo de los bosques; proporciona el agua, los nutrientes y un medio de sostén para los árboles y para el resto de la vegetación forestal. Éstos se derivan de un material parental de composición mineral heterogénea; los cuales, determinan en gran parte las propiedades del suelo, que a su vez

influyen tanto en la composición de la vegetación forestal como en el ritmo del crecimiento de los árboles.

Las propiedades de los suelos desarrollados bajo condiciones determinadas han influido de gran manera en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Propiedades tales como la textura, temperatura, pH y contenido de nutrientes, relaciones de humedad y relativas al material parental, son singularmente importantes.

El tipo de material parental a partir del cual se ha formado el suelo puede influir en su contenido de bases y en su capacidad nutritiva. Los cambios en los tipos de vegetación coinciden con los cambios en la roca madre subyacente. Por ejemplo, los suelos derivados de las areniscas son por lo general ácidos y de texturas gruesas, produciendo condiciones en las cuales los pinos y otra coníferas tienen grandes ventajas competitivas (Pritchett, 1986). Por otra parte la roca caliza, al intemperizarse bajo las mismas condiciones climáticas, origina suelos más fértiles y de texturas más finas que sostienen árboles de maderas duras y ciertas coníferas como el cedro rojo (*Juniperus*). Aunque no todos los suelos derivados de calizas son productivos, este material parental ejerce una influencia importante en la distribución y crecimiento de los árboles del bosque.

## **3.2 Evaluación de Tierra**

### ***3.2.1 Elección de las especies y factores que influyen en su elección***

La determinación correcta de la especie depende en primer término, del objetivo de la plantación, así como de la afinidad que exista entre las exigencias ambientales de la especie (requerimientos ecológicos) y de las condiciones que prevalezcan en el sitio por repoblar (posibilidad de adaptación), de no ser así, será muy difícil en la práctica obtener éxito (Macías, 1951; Musalem *et al.*, 2006).

Para esto es necesario realizar un análisis detallado de:

1. La relación existente entre las condiciones del lugar y las exigencias de la especie
2. Lo apropiado de la especie para el fin que se persiga
3. Las posibilidades de su adaptación al tratamiento silvícola elegido

#### **1) Relaciones entre las condiciones del lugar y las exigencias de las especies**

La diferencia en las características de la vegetación forestal de distintas regiones, demuestra claramente que el bosque tiene sus particularidades según las especies que lo constituyen, y las condiciones del lugar. Así se observa, que en algunas zonas las masas son más densas y vigorosas cuando están formadas por una especie determinada y, que la misma especie en otra zona, crece con dificultad debido a que el suelo, la humedad u otros factores no le son favorables.

El estudio de los factores que tienen una gran influencia directa sobre la vegetación forestal pueden agruparse en: factores climáticos, del suelo, topográficos y bióticos.

##### **a) factores climáticos**

El medio ambiente se encuentra formado por factores físicos tales como el clima, la vegetación, el relieve, el suelo, entre otros. El clima es el factor más importante puesto que actúa sobre los otros factores modificándolos, esto posibilita la oportunidad de que climas semejantes conformen ambientes con vegetación y suelos parecidos. Hablando de selección de especies, quizá los aspectos más relevantes a considerar con relación al clima sean la precipitación y la temperatura (Musálem *et al.*, 2006).

- **precipitación:** el vapor de agua que se encuentra en la atmósfera es depositada sobre la superficie de la Tierra en forma de lluvia, rocío, granizo, heladas y nevadas. La precipitación en cualquiera de estas formas, aumenta la cantidad de humedad contenida en el suelo y su influencia es benéfica, porque incrementa el agua disponible para que los

árboles contrarresten las pérdidas por evaporación y transpiración; por otra parte, debe tenerse en cuenta su acción mecánica sobre el suelo y la vegetación (Macías, 1951).

La precipitación varía según la región y está asociada, principalmente, al movimiento del aire dentro de la atmósfera, de tal forma que va de unos cuantos milímetros de precipitación anual en los desiertos a varios miles en el Ecuador. Por tal razón las áreas cercanas al Ecuador presentan ventajas sobre las demás regiones dada la disponibilidad de humedad en el suelo. Pero no solo importa la cantidad de precipitación anual, sino también su distribución durante el año, sobre todo, la duración de la estación seca.

Algunas especies muestran preferencia por un patrón de precipitación pluvial muy específico (Musálem *et. al*, 2006).

En las regiones donde las lluvias son irregularmente distribuidas, tanto la vegetación como el suelo, sufren por la acción mecánica de las precipitaciones ya que éstas, generalmente, se presentan en forma de grandes tormentas que rompen o tiran las hojas de los árboles y aún erosionan el suelo al chocar contra él. Para reforestar estos lugares, deben seleccionarse especies de hojas gruesas y resistentes sobre todo, si se trata de proteger suelos expuestos a la erosión (Macías, 1951).

- **temperatura:** un elemento que influye grandemente en la elección de las especies es la temperatura debido a la oblicuidad de los rayos solares al llegar a la tierra y a la duración del día a través del año (Musálem *et. al*, 2006) toda vegetación sólo puede vivir a temperaturas variables dentro de ciertos límites. Es decir cada especie tiene su propia área de dispersión, cuyas fronteras son más o menos fijas, variaciones ligeras de temperatura. Todas las especies tienen un grado diferente de resistencia al frío, por lo que resulta claro el hecho de que las que proceden de zonas tropicales mueren cuando encuentran temperaturas próximas al punto de congelación; mientras que las que son propias de



regiones frías, se conservan perfectamente. La resistencia al calor también es distinta de una especie a otra. No sólo existe variación de resistencia al calor y al frío entre las especies, sino aun entre individuos de la misma especie, lo que se debe, a la selección natural, que ha dado origen a distintas variedades. En tal virtud, es preciso conocer las diferencias de vigor de cada especie y tener presente que, cuando se ejecuten trabajos de reforestación artificial, en lugares expuesto a un clima severo deberán usarse semillas que se colecten en la zona de distribución natural de la especie y aun dentro de ella, en los lugares que guarden mayor semejanza con la zona donde se trabaja (Macías, 1951).

#### **b) Factores del suelo**

- **suelo:** proporciona no sólo estabilidad y soporte físico, sino que es, además, el medio a través del cual obtienen, por medio de sus raíces, la humedad y los elementos nutritivos que le son indispensables para su proceso vital.

Las principales propiedades de los suelos que afectan la selección de especies y que determinan que trabajos de preparación del suelo son requeridos previo a la plantación son: profundidad, estructura física, fertilidad, pH y salinidad; así como, los factores físico-topográficos, tales como la pendiente, la exposición y la altura (Evans 1992).

**Profundidad del suelo:** la profundidad del suelo tiene un papel importante en la selección de especies a plantar. Por ejemplo, en un suelo suelto y poco profundo tendrán mayor estabilidad los encinos, poseedores de raíces penetrantes. Para asegurar el éxito de las plantaciones, deben protegerse los árboles pequeños, tanto cuando el suelo sea muy superficial, como demasiado duro y compacto, o bien cuando el suelo sea impermeable, pues en estos casos se dificulta la penetración de las raíces y los árboles están expuestos a ser derribados por el viento (Macías 1951).

**Estructura del suelo:** La estructura del suelo (la forma en que las partículas se ordenan entre sí) influye en la retención y movimiento del agua y aire, así como la fertilidad (capacidad de intercambio catiónico) y accesibilidad por las raíces de los árboles (Brady and Weil, 1998)

**Textura del Suelo:** la textura del suelo (las cantidades relativas de partículas de diferentes tamaños) influye directamente sobre el crecimiento de los árboles. Los suelos van de los arcillosos, que son pesados, a los arenosos que son ligeros, pasando por suelos intermedios, es decir, por los húmicos, que son los más apropiados para el crecimiento de los árboles. Los suelos arcillosos tienen la ventaja de ser muy ricos en contenido de nutrientes minerales pero tienen el defecto de tener mal drenaje, por lo contrario, los suelos arenosos presentan buen drenaje pero no son fértiles. Todos los árboles crecen mejor en un suelo profundo y poroso dentro de su área de dispersión natural. El suelo que más se aproxima a estas condiciones debe contener de 20 a 33% de arcillas, 50 a 70% de arena, 3 a 10% de cal y 2 a 5% de materias orgánicas (Macías, 1991).

Ambos, **textura y estructura** influyen fundamentalmente la aptitud de los suelos para el desarrollo de las raíces de las plantas (Brady and Weil, 1998).

El suelo influye de manera directa en el proceso fisiológico de los árboles, ya que proporciona agua y elementos nutritivos, por tal razón, es un factor que determina la distribución dentro del área en dispersión de una especie. La especie deberá ser seleccionada de acuerdo con la calidad del suelo, ya que de esto depende la rapidez en el crecimiento, el término de vida y la forma del tronco y de la copa. También su influencia se manifiesta en la calidad de la madera y en la tolerancia y resistencia a las plagas y enfermedades (Macías, 1951).

**Fertilidad y el pH:** éstos son de suma importancia en la elección de una especie. El género *Pinus* crece en suelos con pH moderadamente ácidos, de 3.5 a 6.0. La acidez de un suelo es importante porque influye en la disponibilidad de nutrientes y porque algunas especies son sensitivas al pH.

La fertilidad de los suelos para plantaciones forestales es otro factor importante, ya que para suelos pobres se deberán seleccionar especies poco demandantes, a menos que se quiera fertilizar el suelo, para la plantación (Musálem, 2006).

La demanda de sustancias minerales nutritivas varía de acuerdo con las especies, por lo que al hacer la elección habrá que dar, a cada una, la clase de suelo que prefiera. Aunque es lógico suponer que todas las especies prefieren suelos fértiles, no todas tienen las mismas exigencias, y es por lo mismo variable el mínimo de fertilidad que cada una necesita para tener un desarrollo apreciable. La misma afirmación puede hacerse con respecto al humus, pues también éste ejerce una influencia directa en el crecimiento, sobre todo en los bosques jóvenes (Macías, 1951).

## **2) Especies para un fin determinado**

Una vez analizados los factores ambientales que influyen en la selección de una especie se recurre a aquellas que satisfacen los objetivos de la plantación; así como a las que puedan adaptarse a las condiciones del sitio. El requisito principal que debe considerarse al seleccionar especies a plantar, es que asimilen las condiciones del lugar por reforestar; también es preciso considerar con todo cuidado, que se ajusten al fin particular que trate de resolverse

1. Propósitos comerciales
2. Fines de protección

### 3. Propósitos netamente estéticos o decorativos

Casi siempre, la idea de formar un bosque obedece a un fin determinado, pero con frecuencia es posible combinar dos, o tres objetivos planeados.

*Selección de especies con fines de producción:* cuando la tendencia principal sea la de obtener productos comerciales, se investigará, primero, que especies son susceptibles de asimilarse a las condiciones del terreno para elegir entre ellas, la que prometa productos más valiosos y de mayor demanda en los mercados o de manera inversa.

*Elección de especies con fines de protección:* existen menos exigencias para elegir a la especie más útil, en este ámbito. Los casos más frecuentes dentro de este rubro son:

1. Contrarrestar la velocidad del viento. La mayoría de las coníferas son muy eficientes, en este caso, ya que siendo de follaje persistente, proporciona una buena protección todo el tiempo; sin embargo, como su copa no es muy amplia, deberá mezclarse, al formar las cortinas, con árboles que la tengan bien desarrollada.
2. Evitar deslizamientos en lugares de pendiente pronunciadas. Para estos fines, son útiles las especies de raíces pivotantes, pues al penetrar profundamente, dan mayor soporte al suelo.
3. Evitar la erosión. En los lugares expuestos a la erosión ya sea por viento o agua, se usarán especies, que puedan formar, en el menor tiempo posible, una gruesa capa de tierra vegetal, las hojosas son mejores que las coníferas.
4. Mejoramiento del suelo. Para mejorar la calidad del suelo, habrá que escoger especies que puedan proporcionarle las materias que faltan, tomándolas del subsuelo. Son de utilidad en estos casos árboles de raíces penetrantes y de hojas caducas.

*Elección de especies con fines decorativos:* aquí la elección es menos restrictiva y depende de la preferencia que se tenga por determinada especie, así como de las cualidades de esta.

### **3.2.2 Plantaciones forestales**

Para abordar algún tipo de clasificación de las plantaciones, por su objetivo, es necesario antes, definir los términos siguientes:

**Plantación Forestal.** Establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal. De acuerdo a la FAO (1982) el término plantaciones se usa para designar: los bosques establecidos artificialmente, por repoblación de terrenos que previamente no estaban plantados de árboles; los bosques establecidos artificialmente por repoblación de terrenos cubiertos por masas forestales en los 50 años anteriores o hasta donde llega la memoria. La operación supone la sustitución de las masas anteriores por otras nuevas y esencialmente diferentes. Es la conversión por actividad humana directa de tierras no boscosas en tierras forestales mediante plantación, siembra o fomento antropogénico de semilleros naturales en terrenos donde anteriormente hubo bosques, pero que en la actualidad se encuentran deforestados, por las razones siguientes: explotación de la madera para fines industriales y/o para consumo como combustible, ampliación de la frontera agrícola o la ampliación de áreas urbanas; entre otras.

**Forestación.** Establecimiento de vegetación forestal en terrenos de aptitud preferentemente forestal y no forestal es para fines de restauración, conservación y producción comercial (Fierros S/D).

**Reforestación.** Establecimiento de vegetación forestal en terrenos forestales, con el objeto de restaurar, conservar y regenerar áreas bajo manejo (Fierros S/D).

### ***3.2.3 Plantaciones forestales con fines de mejoramiento de suelo***

Los programas de cultivos de bosques crecen en importancia, por el aumento en la demanda de productos de madera y por la necesidad de encontrar uso provechoso para los terrenos severamente erosionados y abandonados. Estas necesidades crecientes han estimulado el interés en la determinación de los factores más influyentes en la producción de recursos forestales (Stalling, 1985).

El establecimiento de plantaciones forestales, no sólo contribuye a la no deforestación, también permite satisfacer la demanda de madera y otros derivados del bosque, restaurar la cobertura arbórea, controlar el avance de la agricultura y la ganadería extensivas al convertirse en una actividad rentable en el largo plazo, permite incrementar la producción maderable por unidad de superficie que actualmente tienen los bosques naturales, genera empleos y contribuye al mejoramiento de las condiciones de vida de las poblaciones rurales, especialmente las ubicadas en las regiones forestales del país (Díaz y Díaz, 2007; Muñoz, 2011; Torres y Magaña, 2001).

Sin embargo; para obtener éxito en las plantaciones forestales debe asegurarse que las áreas seleccionadas cumplan con los requerimientos ecológicos propios de las especies que se utilizarán, con ello se logrará que los individuos tengan una adaptación rápida al área donde se establezcan.

En sitios con problemas severos de erosión y presencia de cárcavas es necesario implementar programas de restauración ecológica que optimicen el establecimiento de cobertura vegetal y protección de suelos, para lo cual se requiere seleccionar especies tolerantes a condiciones extremas de sitios degradados, evaluando especies con capacidad de crear condiciones microambientales que favorezcan estas condiciones extremas. Una plantación mixta (*Pinus devonianana* y *P. greggii*) podría representar la mejor opción para

restaurar este tipo de sitios. *Pinus greggi* (exótica en el área de estudio) se puede usar en las primeras etapas de la restauración para crear micrositios favorables para el establecimiento de especies endémicas como *P. devoniana* (y *P. pseudostrobus* sólo en pendiente 30°). Así se podría revertir en parte el grave problema de erosión, reducir la pérdida de suelo y la formación de cárcavas al aumentar la supervivencia y desempeño de las plantas (Gómez *et. al.*, 2012).

#### **3.2.4 Aptitud del suelo**

La aptitud del suelo se define como la capacidad de un tipo dado de tierra para establecer un uso definido. Los planes de cultivo se basan, en la capacidad de las tierras (Bennett, 1965). El procedimiento de la clasificación de la aptitud de la tierra, se entiende como la evaluación y la agrupación de áreas específicas para un uso definido. El objetivo principal de la evaluación de la tierra es la predicción inherente de la capacidad para definir una utilización del suelo específica por un período de tiempo largo sin provocar su deterioro, minimizando costos socioeconómicos y ambientales. El análisis de aptitud es un acercamiento multidisciplinario que incluye información de diversas ciencias tales como del suelo, de los cultivos, la meteorología, sociales, economía, entre otras (Prakash, 2003).

La información básica para determinar la capacidad de los diversos tipos de suelo ha de definirse preferentemente antes de establecer el plan definitivo de trabajo. El uso actual del terreno debe reflejar la distribución y el estado de las exploraciones agrícolas, pecuarias y silvícolas que existan en la zona (Ortiz, 1991). Uno de los primeros pasos a tomar consiste en hacer un estudio físico de las tierras con el fin de obtener datos para la clasificación de capacidades (SCS, EUA, 1974). Esta información se refiere a características como la pendiente, la erosión, los peligros de la misma, la exposición a desbordamientos, el carácter

pedregoso, la salinidad, la presencia de un alto manto de agua, la textura y la profundidad del suelo (Bennett, 1965).

Los suelos se clasifican de acuerdo con un juego limitado de parámetros que influyen directamente en el potencial de uso. El número de clase, representado en un mapa, permite reconocer a simple vista las áreas de menor o mayor potencial (es decir, con pocos o muchos limitantes para el uso), (CATIE, 1993)

Existen varios sistemas para agrupar a los suelos de acuerdo a su aptitud para producir (capacidad de uso). Estos sistemas van de simples a complejos dependiendo del nivel de detalle que se pretenda obtener, según los métodos y técnicas empleados y el propósito por alcanzar en el trabajo desarrollado (González, 1971).

Realizar este tipo de estudios constituye la utilización de mapas y planos topográficos del área de estudio (Bustamante y Figueroa, 1974), ya que requiere conocimientos de los sistemas de clasificación y práctica en distinguir los distintos suelos, clase de pendientes, clase y grados de erosión (SCS-EUA, 1974).

De acuerdo al Colegio de Postgraduados, para la elaboración de mapas de aptitud de la tierra, es necesario considerar y delimitar los usos siguientes:

- a) USO AGRÍCOLA: incluye terrenos dedicados a la agricultura de riego y/o temporal permanente y agricultura de temporal nómada.
- b) USO PECUARIO: áreas donde se desarrollan pastizales nativos, cultivados e inducidos
- c) USO FORESTAL: son zonas donde se desarrollan especies forestales (pinos, cedros, encinos, eucaliptos); así como diferentes tipos de selvas
- d) ASOCIACIONES ESPECIALES DE VEGETACIÓN: áreas con matorrales, sabanas, mezquiales, nopaleras palmares, entre otros.



- e) **DEPROVISTOS DE VEGETACIÓN:** áreas que por diferentes aspectos se encuentran sin vegetación

Los procedimientos empleados en la elaboración de mapas de uso actual dependen de los materiales y equipos disponibles, algunos con metodologías especiales de interpretación (COLPOS, 1991).

*Cuadro 1. Factores estudiados para clasificar un terreno.*

<b>I. Factores limitantes</b>	<b>II. Factores auxiliares</b>
Determinan clases específicas a partir de un rango de variación	Permiten ubicar condiciones específicas de manejo
<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Clima</li> <li>ii. Erosión</li> <li>iii. Topografía</li> <li>iv. suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Textura</li> <li>ii. Permeabilidad</li> <li>iii. pH</li> </ul>

### **3.2.5 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Rubio y Gutiérrez (1997) mencionan que, los Sistemas de Información Geográficos (SIG) o los *Geographic Information Systems (GIS)* son herramientas informáticas, útiles para abordar problemas como: almacenar la posición de objetos (coordenadas) y sus propiedades (atributos), almacenar información por criterios alfanuméricos, geográficos o una combinación de ambos, realizar operaciones para relacionar entidades; así como análisis de redes (camino, red eléctrica o de transporte). Una característica esencial de los SIG es que intentan capturar en su modelo de datos la realidad, y no una imagen determinada de ésta.

Estas herramientas, en el caso de los recursos naturales, han permitido avances considerables para su estudio y manejo, con la posibilidad de construir escenarios para la toma de decisiones con base en modelos espacial estáticos y dinámicos. Entre los principales ejemplos, están los

estudios pioneros sobre la evaluación del uso y ordenación del suelo (Ordóñez y Martínez, 2003).

Los Sistemas de Información Geográficos tienen dos componentes fundamentales:

- Un modelo de datos en el que se almacenan las características de los objetos geográficos de forma similar a como se almacenan en una base de datos convencional, junto con información posicional (coordenadas) y las relaciones entre los distintos objetos (qué está conectado a qué, o junto a).
- Una colección de funciones que nos permiten interrogar a la base de datos y obtener respuestas, bien en base a listados o a imágenes: mapas.

### **3.3 Evaluación de aptitudes**

Se han elaborado diferentes estudios que versan sobre la aptitud del suelo, la identificación de áreas a reforestar, la distribución potencial de las especies; así como el potencial productivo de la tierra, todos en un entorno de Sistemas de Información Geográfica y análisis multivariado, tal como en el presente estudio. Éstos han sido útiles en la comprensión y elaboración del mismo. A continuación se presenta la síntesis de algunos de los mencionados.

**Pozzobon y Gutiérrez (2003)** diseñaron un modelo para la selección y priorización de áreas degradadas o sin cubierta vegetal e identificaron sitios a ser restaurados mediante reforestaciones en la periferia de la ciudad de Mérida Venezuela, utilizando Técnicas de Evaluación Multicriterio (TEMC), (los cuales se fundamentan en la evaluación de un conjunto de alternativas basándose en una serie de criterios), y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los autores generaron las coberturas de pendientes y altitudes y se empleó el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (IVDN) para generar la cobertura de sectores con y sin capa de vegetación; además se automatizó información de márgenes de ríos nacientes de agua

y centros poblados. La técnica de Evaluación Multicriterio utilizada fue el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) desarrollado por T. L. Saaty a finales de los 70's. Las variables que se tomaron en cuenta en la determinación de áreas a reforestar fueron: la erosión, la pendiente, presencia de suelos descubiertos, nacientes de agua, cobertura vegetal, si el área está o no protegida bajo una figura jurídica, uso de leña para cocinar en la zona, márgenes de los cursos de agua y altitud. Las reglas de decisión que se tomaron fueron: reforestar en zonas de suelo desnudo, en nacientes de agua, en márgenes de ríos (25m), con pendientes entre 25 y 100%, entre 1000 y 3000 msnm que no estuvieran protegidas y que no fueran áreas urbanas. Con base en lo anterior y con ayuda de conocimiento experto se le asignaron pesos a los criterios y se determinó que la altitud es igualmente importante que la pendiente y las nacientes de causas y el suelo desnudo moderadamente más importante que la altitud. Con tal información se produjo el mapa de áreas a reforestar deseado y su priorización.

**Bustillos et. al, (2007)** localizaron y cuantificaron espacialmente los terrenos con aptitud ecológica para establecer plantaciones forestales de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, en ocho municipios del centro-sur del estado de Sinaloa con base en criterios bien definidos y organizados en jerarquías ( Proceso de Análisis Jerarquizado o PAJ) entorno a Sistemas de Información Geográfica.

Los autores usaron mapas digitales de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima; textura y profundidad del suelo de la CONABIO (2005) a escala 1:1 000,000. También el mapa de elevación digital (INEGI, 2005) con resolución espacial de 30 m. La totalidad de la cartografía se rasterizó a un tamaño de píxel de 30 m y se homogeneizó a la proyección UTM con Datum correspondiente a la zona. De igual forma, fue necesario el acopio de información confiable de los requerimientos climáticos, edáficos y fisiográficos de la especie; así como de la opinión de plantadores expertos de la zona.

Se realizó una clasificación de aptitud considerando las variables antes mencionadas y los resultados de las encuestas aplicadas a los expertos en plantaciones forestales. Se elaboraron mapas para eliminar áreas con restricción para el desarrollo de plantaciones.

Según los resultados, en la región de estudio hay aproximadamente 38 863, 121 932 y 302 551 ha con aptitud alta, media y baja. La técnica de análisis multicriterio PAJ fue útil para incorporar el conocimiento experto de plantadores forestales en el proceso de toma de decisiones, así como para la localización espacial y cuantificación de superficies con diferente grado de aptitud. En este estudio, el criterio más importante que influye en la definición de aptitud de terrenos para plantaciones forestales, según las encuestas aplicadas a los expertos plantadores, fue la precipitación.

**Altun et. al, (2007)** Identificaron, clasificaron y mapearon la productividad de sitios forestales con ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la provincia de Artvin en Turquía. Utilizaron dos métodos. Uno directo, el cual combina las características del suelo o factores topográficos (se elaboró un modelo de elevación digital, que permitió conocer la pendiente del terreno y dirección de la misma); con la toma muestras de suelo (que se analizaron química y físicamente) y factores climáticos (precipitación y temperatura), para determinar la productividad del área forestal.

Otro método indirecto, que complementa al primero, y que utiliza un Índice de Sitio (SI, por sus siglas en Inglés). Éste es un clásico inventario que selecciona propiedades de la vegetación como el tamaño y el peso de los árboles (en esta investigación se analizaron 100 árboles dominante y Co-dominantes por ha), y representa todos los factores importantes en el crecimiento de una especie de vegetación en particular, en un sitio dado. Con los datos obtenidos del SI se elaboró una curva anamórfica que complementa el análisis de productividad.

Los sitios muestreados fueron delimitados con la utilización de Sistema de Información Geográfica (SIG) Arc/Info 9. Se elaboraron mapas de clasificación de sitios forestales y mapas de Índice de sitios que se compararon para conocer la productividad de las áreas, la vegetación que las compone y los factores disponibles para el desarrollo de la vegetación en cuestión. Se clasificaron 16 unidades de suelos ecológicos y se identificaron cinco sitios forestales. Estos sitios no sólo se clasificaron y mapearon con propósitos de manejo, si no que la cartografía elaborada podrá ser usada como una herramienta estratégica en planificación de la investigación forestal, para la extrapolación de resultados en la investigación, así como la aplicación de modelos empíricos y/o procesos basado en áreas reales de terrenos forestales.

**Caballero et. al, (2010)** realizaron una zonificación de áreas para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* en los límites de los estados de Oaxaca y Veracruz. Se compararon los resultados obtenidos mediante técnicas de Evaluación Multicriterio: Álgebra Booleana y el Proceso de Análisis Jerarquizado (AHP, por sus siglas en inglés) en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para identificar niveles de aptitud de la tierra. Los criterios de evaluación fueron seleccionados con base en la influencia de los factores ecológicos sobre el desarrollo de las especies y la disponibilidad de información cartográfica de escala adecuada. Se utilizaron variables discretas como la precipitación y la temperatura; profundidad, textura y pH del suelo, y variables continuas como la altitud y la pendiente. La estandarización de las variables se realizó a través de técnicas de transición gradual (fuzzy). La importancia relativa de los criterios (pesos) considerados fue calculada a partir de información proporcionada por expertos. Los resultados indican que el área estudiada tiene potencial para el establecimiento de las especies consideradas, pues más del 50% de ésta es muy apta para *E. urophylla*, mientras que para *E. grandis* la aptitud se distribuye en 25% alta, 25% media y 50% baja.

**Mashayekhan y Mahhiny (2011)** realizaron una evaluación de la aptitud de la tierra, para tener éxito en el establecimiento de la especie *Juglans regia* como uno de los taxones agroforestales más importantes en Irán. Se tomaron muestras en el área de estudio, 9403 ha, para obtener información de las condiciones del suelo (Textura de suelo y pH), con tales datos, análisis de laboratorio y Sistemas de Información Geográfica se elaboró la cartografía. La pendiente expresada en porcentaje y la altitud se obtuvieron del modelo digital de elevación, al igual que el índice de humedad y radiación solar. Los requerimientos relevantes de la especie y los niveles de aptitud fueron definidos mediante revisión de literatura y conocimiento experto. También se definió las funciones de pertenencia difusa para los criterios y se asignaron algunos pesos importantes a través del conocimiento experto y Proceso de Análisis Jerarquizado. Esta información fue utilizada como entrada para la combinación lineal ponderada de método de Evaluación Multicriterio (MCE, por sus siglas en inglés).

Los resultados indicaron que el factor más importante de acuerdo al peso asignado fueron la precipitación (0.575), exposición de la pendiente (0.382) y pendiente (0.316). Los factores con importancia media fueron la temperatura media (0.273), el pH (0.234), la radiación solar (0.230), el índice de humedad (0.217), la altitud (0.205) y la topografía (0.199). De acuerdo al MCE las áreas con valores mayores a 0.90 fueron clasificadas como las más adecuadas. Los autores concluyeron que sólo el 11% de la superficie del área de estudio (645 ha) se clasificaban como muy altamente adecuado para la forestación con *Juglans regia*; sin embargo el estudio mostró la utilidad de modelado difuso de aptitud de la tierra que proporciona información en la planificación óptima del uso del suelo.

**Muñoz et. al, (2011)** localizaron, delimitaron y estimaron áreas potenciales para plantaciones forestales comerciales de *Pinus pseudotrobus* Lindl y *Pinus greggii* Engelm en Michoacán, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con base en la

regionalización forestal de la Comisión Forestal del estado de Michoacán (COFOM) y de factores ambientales como: precipitación total anual, temperatura media anual, altitud, pendiente, uso de suelo y tipos de suelo en el estado.

La cartografía y estimación de áreas potenciales se realizó con un SIG utilizando información cartográfica y climática digital del INIFAP. Se elaboró un sistema de estratificación de zonas potenciales basado en niveles de aptitud, descartando las áreas del estado que no reunieron las características específicas para cada especie. Para darle validez a los métodos utilizados, se realizaron visitas a las zonas potenciales propuestas para cada especie estudiada, y así poder verificar la existencia de las condiciones ecológicas adecuadas, para el desarrollo de la vegetación de interés. Se generaron cuatro mapas con las áreas potenciales para las plantaciones, así como la superficie total para cada especie. Se estimaron 234,766 ha para *P. pseudostrobus*, con pendiente 0-15% y 99,760 ha (pendiente 15-30%); para *P. greggii* 253,626 ha (pendiente 0-15%) y 108,365 ha (pendiente 15-30%).

**Otíz et. a, (2008)** determinaron áreas de buena productividad en la zona rural del Distrito Federal, esto con el fin de establecer árboles de navidad y forraje. Tal determinación se llevo a cabo mediante Sistemas de información Geográfica, requerimientos agroecológicos de las especies y variables ambientales (topografía, altitud, precipitación, temperatura máxima, mínima y media, evaporación, pH, contenido de materia orgánica, textura, profundidad y unidades de suelo, pendiente y exposición geográfica).

Se concluye que la zona rural del D.F posee características agroecológicas adecuadas para el establecimiento, desarrollo, crecimiento y producción de árboles de navidad y arbustos de uso múltiple.

**Leal-Nares et.al (2012)** elaboraron un modelos de distribución potencial de *Pinus martinezii* en la cuenca del lago de Cuitzeo utilizando información ambiental y datos de presencia de la

especie. El modelo se apoyó en un análisis multicriterio dentro de un Sistema de Información Geográfica, se utilizaron tres grupos de criterios: geopedológicos, morfométricos y climáticos. Con esto determinaron los factores ambientales que determinan la distribución de la especie en cuestión además de elaborar un perfil bioclimático para la misma. Se encontró que el grupo de criterios geopedológicos (andosoles, ignimbritas y complejos de laderas de lomeríos altos) son más importantes en la distribución potencial, seguidos por el grupo de criterios morfométricos (altitud, pendiente y exposición de laderas) y el grupo menos relevante correspondió al climático (temperatura media y precipitación). Para finalizar, se explica que el modelo espacial constituye una herramienta útil para labores de conservación y reforestación: así como para buscar nuevas poblaciones de *P. martinezii* aún no registradas; también es útil para identificar sitios de reintroducción de la especie.

**Monterroso, Gomez y Tinoco (2012)** evaluaron el comportamiento futuro del hábitat y extrapolaron los resultados a nivel ecosistema, a partir del análisis de ocho especies forestales representativas (*Liquidambar macrophylla*, *Alnus arguta*, *Carpinus caroliniana*, *Clethra mexicana*, *Pinus patula*, *Nectandra sanguínea*, *Podocarpus reichei* y *Quercus* spp.) y los impactos de distribución de las mismas considerando escenarios de cambio climático. Se realizó un análisis de distribución geográfica y el posible comportamiento de las especies en cuestión considerando escenarios de cambio climático en una porción del bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo, aproximadamente 266,000 ha., para esto los autores utilizaron un software que utiliza los intervalos de las variables ambientales donde una especie puede vivir en condiciones óptimas (información de presencia de las especies). Las variables seleccionadas fueron: 1 variable topográfica (topoformas), 5 paisajísticas (tipo de suelo, usos del suelo, humedad almacenada del suelo, vegetación primaria y secundaria; además de las zonas donde predomina el bosque mesófilo de montaña), 6 climáticas (tipo de clima,



precipitación total anual, precipitación horizontal, temperatura media anual, evapotranspiración actual y meses del año con demasías de agua). Se elaboró un mapa de distribución potencial para cada especie mediante la correlación de presencia de las especies (muestreo de campo) y las variables ambientales. Se encontró que las variables climáticas se encuentran altamente correlacionadas y que la combinación de variables ambientales satisfacen los requerimientos de dichas especies. Con la aplicación de los métodos elegidos y el software utilizado encontraron que dos nichos ecológicos de las especies estudiadas se modificarán por el cambio climático para “mejorar sus condiciones actuales” mientras que el nicho ecológico de seis de las especies en estudio serán afectadas por el mismo fenómeno disminuyendo la superficie optima de crecimiento, por tanto el bosque mesófilo también disminuirá.

#### **4. Área de estudio**

##### **4.1 El medio físico**

La presente investigación se llevó a cabo en el municipio de San Miguel el Grande, ubicado en el Distrito de Tlaxiaco, en el estado de Oaxaca. Este municipio tiene una superficie total de 10,165 hectáreas y forma parte de la región de la Mixteca Alta, la cual comprende la porción más montañosa de la región (Grupo Mesófilo, 2011). San Miguel El Grande es un municipio de poca extensión; sin embargo, posee variedad de microclimas por la topografía que lo caracteriza.

##### **4.1.1 Ubicación geográfica**

San Miguel el Grande se ubica entre los paralelos 16°59' y 17°10' de latitud norte; y los meridianos 97°33' y 97°40' de longitud oeste con una altitud entre 2,100 y 3,400 msnm. El municipio limita al norte con el municipio de Tlaxiaco, al sureste con Chalcatongo, al sureste

con Santa Catarina Yosonotú, al oeste con San Esteban Atatlauca, al noreste con San Antonio Sinicahua, San Pedro Molinos y Santa Catarina Ticúa (Aparicio, 2009).

#### **4.1.2 Toponimia**

El nombre de San Miguel el Grande fue dado en honor a San Miguel Arcángel. Este municipio se integra por la Cabecera Municipal (San Miguel el Grande) y 13 localidades: General Lázaro Cárdenas, Jayucu, Mexicalcingo, Miguel Hidalgo, Villa de Guadalupe Victoria, Lomas de Cocoyoc, Miguel Hidalgo, Iturbide, Morelos, Los Pinos, Ignacio Zaragoza, Madero y Vicente Guerrero (INEGI, 2005). El nombre en mixteco es Nucano que proviene de los vocablos ñuhu-pueblo o tierra y cano-grande y significa “pueblo grande” (SEGOB y Gobierno del estado de Oaxaca, 1988).

#### **4.1.3 Relieve**

El sistema orográfico está constituido por la continuación de la Sierra Madre del Sur (escudo Mixteco), entre las diferentes altitudes se encuentran zonas con lomeríos suaves, que permiten el aprovechamiento agrícola. Las partes más bajas registran alturas de 2,100 msnm, la parte central del Municipio, en la cual se localiza la cabecera Municipal tiene una altitud de 2,600 msnm. El territorio del municipio se puede subdividir en tres subcuencas; la primera se localiza en la llanura angosta que va de sur a norte, con altitudes que van de 2,250 a 2,300 msnm, hay cordilleras que se sitúan por ambos lados, las localidades que están en dicha subcuenca son: Benito Juárez y Francisco I. Madero; la segunda subcuenca corresponde el lado norte de la cabecera municipal en donde existe una cordillera montañosa denominada por los pobladores en la lengua originaria *yuku ninu* (cerro alto) a 3,100 msnm, en las faldas de esta, se ubica el poblado de San Miguel el Grande y la localidad de José María Morelos; la

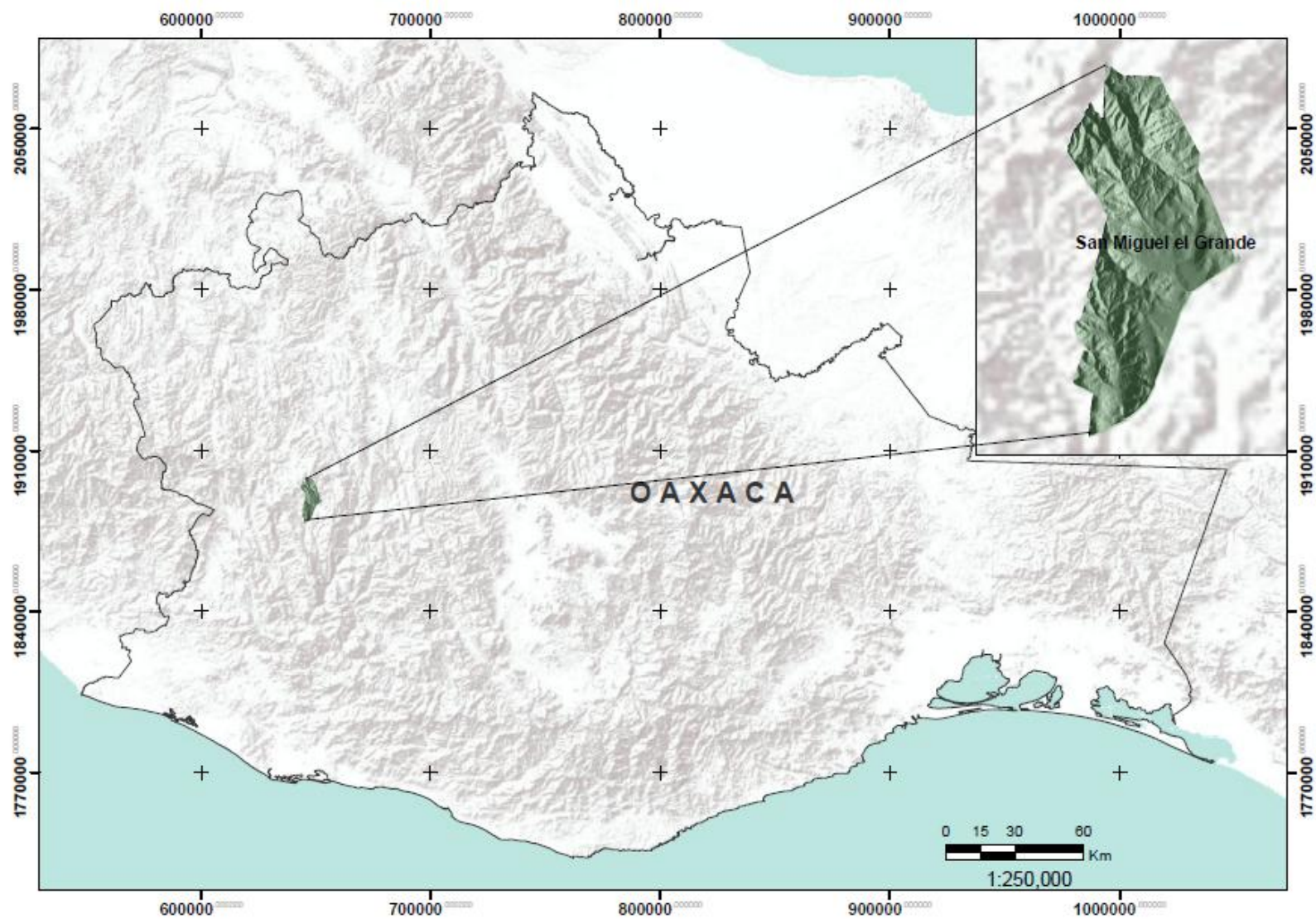


Figura 4. Ubicación geográfica del área de estudio. Municipio de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca

tercera subcuenca, la más grande, se ubica en las montañas y termina por el lado norte con la altitud más sobresaliente de 3,350 msnm en esta parte hay una llanura, en donde se encuentran las localidades: Ignacio Zaragoza Vicente Guerrero, Agustín de Iturbide, Miguel Hidalgo y Guadalupe Victoria. (GEO, 2012)

#### ***4.1.4 Rocas dominantes***

De acuerdo a los datos vectoriales a escala 1:250 000, del INEGI; los tipos de roca presentes en el municipio de San Miguel El Grande son los siguientes:

**Andesita:** es una roca de color gris medio, de grano fino y de origen volcánico, muchas de las estructuras volcánicas que rodean el océano Pacífico son de composición andesítica. La andesita muestra frecuentemente una textura porfídica, en este caso los cristales suelen ser claros y rectangulares de plagioclasa o cristales negros y alargados de anfíbol, contiene cantidades pequeñas de cuarzo (Tarbuk y Lutgens, 2005). La andesita es el tipo de roca con mayor superficie del municipio (4736.92 ha), se ubica en las localidades: Lázaro Cárdenas, Jayucu, Morelos, Lomas de Cocoyoc, Colonia Lindavista, la cabecera municipal de San Miguel El Grande y Benito Juárez.

**Toba intermedia:** tobas andesíticas de color gris verdoso que intemperizan en tonos de ocre, se encuentran en paquetes gravosos pseudoestratificados, líticos, deleznable y con fragmentos escoriáceos y esporádicas intercalaciones de derrames andesíticos de la misma edad (INEGI, 2007). La toba intermedia tiene una superficie de 235.45 ha, al norte del área de estudio, en la localidad Lázaro Cárdenas.

**Caliza:** existen muchos tipos de calizas que difieren en su textura, estructura, origen y minerales accesorios siempre, el mineral principal es calcita; sin embargo también están

compuestas de dolomita y aragonita. Puede llevar cuarzo, calcedonia y silicatos típicos de las arcillas. A veces hay hidrocarburos que proceden de las partes blandas de los animales cuyas partes duras originan la caliza. El color es muy variado, blanco, amarillento, rosa, rojo y de grisáceo a negro cuando lleva hidrocarburos. Cabe mencionar que todas las calizas presentan efervescencia con el ácido clorhídrico (HCL) diluido y en frío.

La roca caliza tiene una superficie de 2783.41 ha sobre el área de estudio principalmente en las localidades de Miguel Hidalgo, Iturbide y Lomas de Cocoyoc.

**Caliza-Lutita:** calizas de textura mudstone, nodulares y arcillosas, de colores gris verdoso y oscuro en estratos delgados y medianos, con impresiones de gasterópodos intercalados con lutitas calcáreas en capas medianas, de colores gris verdosos; e intrusiones que han generado zonas de mineralización. Probablemente esta unidad se depositó en un ambiente nerítico calcáreoarcilloso. Tiene una superficie de 495.98 ha en las localidades Vicente Guerrero y Benito Juárez.

**Caliza-Lutita-Arenisca:** este tipo de roca es una combinación de la roca caliza-lutita; sin embargo también está conformada de arenisca, la cual, es una roca clástica de grano medio, con abundantes granos de arena y limo grueso (0.05 mm a 2 mm) constituida principalmente por minerales de cuarzo y feldespato. Este tipo de roca tiene una superficie de 37.92 ha en la comunidad Benito Juárez (Aparicio, 2009).

**Conglomerado:** son rocas sedimentarias detríticas formadas por cantos (bloques de roca) procedentes de otras rocas (de detritus, desgastado) que quedan unidos mediante un cemento de naturaleza variada. Los cantos que la forman pueden proceder de muy diversas rocas y por tanto ser de naturaleza muy diferente. La matriz, cemento de unión, suele ser arcillosa, silícea,

calcárea o limonita. Son de color variable, puede haberlos de muchos colores en la misma roca si contiene cantos variados o ser de un color único si todos son del mismo origen. El cemento es gris o rojizo. Se pueden formar en cualquier acumulación de fragmentos de roca: laderas de montañas, cuevas con techo hundido, fallas y lugares en los que haya presencia de cemento. Este ultimo tipo de roca está presente en las localidades de Jayucu, Miguel Hidalgo, Guadalupe Victoria, Iturbide, Ignacio Zaragoza y Benito Juárez, suma una superficie de 1873.29 ha.

#### ***4.1.5 Suelos***

De acuerdo a los datos vectoriales escala 1:250 00 de INEGI, el municipio de San Miguel El Grande cuenta con cuatro unidades de suelo, las cuales se mencionan a continuación: rendzina, litosol, luvisol y gleysol.

**Rendzina (E):** son suelos con un horizonte A mólico que contiene o que esta de inmediato sobre material calcáreo con un equivalente de carbonato de calcio de más de 40%; carente de propiedades hidromórficas dentro de los primeros 50 cm de profundidad de la superficie; sin salinidad elevada. Se forman debido a la presencia de grandes cantidades de caliza en el material parental, están distribuidos en una amplia gama de climas y pueden sostener muchas comunidades de vegetación (FitzPatrick, 1980).

Las Rendzinas o Redolls se consideran suelos inmaduros que se desarrollan sobre material parental de yeso o de rocas calizas suaves o margas, tienen altos porcentajes de materia orgánica, de color negro, derivan generalmente de una vegetación de gramíneas, son suelos someros de 15 a 60 cm de profundidad. Sin horizonte B, con un epipedón mólico que descansa directamente sobre la caliza. Las rendzinas jóvenes tienen un perfil poco profundo con mucha

roca; en los maduros rara vez se alcanza una profundidad mayor de 50 cm. Son suelos en que se cultivan exitosamente algunos frutales y pastizales, debe cuidarse el manejo en caso de cultivos anuales (Aguilera, 1989).

**Litosol (I):** suelos que están limitados en profundidad por roca continua dura coherente dentro de los 10 cm de profundidad de la superficie. Se presentan principalmente en zonas montañosas pero pueden estar presentes en otras áreas como en superficies planas de roca dejadas desnudas por el hielo (Aguilera, 1989).

**Luvisol (Lc):** suelos que tienen un horizonte B agílico; carentes de un horizonte A mólico y de un horizonte E álbico; superpuesto a un horizonte lentamente permeable del patrón de distribución de arcilla, carentes de un régimen de humedad árido (Aguilera, 1989).

**Gleysol (Gv):** suelos formados de materiales no consolidados excluyendo depósitos aluviales recientes, que muestran propiedades hidromórficas dentro de los primeros 50 cm de profundidad; carentes de salinidad elevada (Aguilera, 1989).

**Feozem (HI):** suelos que se desarrollan sobre las planicies lacustres y fluvio-aluviales así como sobre los piedemontes formados por depósitos volcano-clásticos y depósitos aluvio-coluviales. La textura de estos suelos generalmente varía entre media a fina condicionando un drenaje interno moderado. Son suelos que pueden presentar contenidos medios a altos de materia orgánica y una buena aireación; pero suelen ser pobres en nutrientes. Tiene un horizonte B argílico en la cual ha habido acumulación de arcilla (Garrido *et. al.*, S/D).

Estos suelos existen en ladera y pendientes, tienen rendimientos muy bajos y se erosionan con mucha facilidad. La fertilidad de estos suelos es moderada, sin embargo se pueden utilizar para la ganadería (Aparicio, 2009).

El suelo que sustenta los bosques en el municipio de San Miguel El Grande, es de textura arcillosa en más del 50% de los terrenos, en menor medida se presenta la textura arenosa,

mientras que algunos sitios dejan ver un alto grado de pedregosidad. Los suelos actualmente están muy deteriorados (CDI, 2009), la erosión se observa muy difundida aún en áreas arboladas, de tipo laminar e hídrico y de cárcavas.

#### **4.1.6 Clima**

De manera general, la Mixteca Alta, región donde se encuentra el municipio de San Miguel el Grande, se caracteriza por tener gran variedad de climas, producto de la diversidad de su territorio. Los climas son cambiantes y extremosos, oscilan desde semicálido a seco en la zona baja, hasta el templado subhúmedo en los valles altos. La temperatura va de varios grados bajo cero, en invierno, hasta los 37 grados en verano. La precipitación varía mucho de una pequeña área a otra. La temporada de lluvias, que teóricamente es de abril a octubre, puede adelantarse o retardarse en su inicio o en su fin, y las lluvias pueden ser demasiado abundantes o escasas, lo que hace de la agricultura una actividad bastante riesgosa. (SEGOB, 1988).

En particular, San Miguel el Grande presenta dos tipos de clima: C(w2) templado subhúmedo, con lluvias de verano y Cb'(w2) templado semifrío con verano fresco largo, subhúmedo con lluvias de verano (García, 1988), tiene un rango de precipitación de 800 a 1,200 mm al año (INEGI, 2004). La temperatura media de la época de frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C; la temperatura media anual de la región es de 15 °C. La época de lluvias se acentúa en fines de mayo a finales de septiembre con un periodo seco dentro de la estación lluviosa (canícula) entre fines de julio a inicios de septiembre casi siempre con una duración que va de 15 días a un mes.

#### **4.1.7 Ríos**

El área de estudio se encuentra ubicada en dos regiones hidrológicas, la Región hidrológica Balsas, cuenca hidrográfica Río Atoyac, subcuenca del Río Mixteco (RH18Af) y la Región



Costa Chica- Río Verde, cuenca Río Atoyac, subcuenca del Río sordo (RH20Ad), (INEGI, S/D).

#### **4.1.8 Uso de suelo y vegetación**

La región mixteca se caracteriza por una gran diversidad de ambientes ecológicos, como resultado de su fisiografía particular (Centeno, 2004).

El 60% de los terrenos de San Miguel el Grande están cubiertos de bosques. En éstos bosques la asociación de encino-pino está presente en 2,450 ha, la de pino-encino en 2,221 ha y el bosque puro de pino, sólo se encuentra en 774 ha. Este municipio cuenta con superficies de bosques puros de *Pinus rudis* Endl. en un rango altitudinal de 2,500 a 3,000 msnm. Los bosques de *Pinus patula* Sch et. Cham; *P. pseudostrobus* Lindl., *P. ayacahuite* Schlechtendal y *P. pringlei* G. R. Shaw, se encuentran mezclados con especies de latifoliadas y se encuentran entre los 1,600 y 2,500 msnm. Por debajo de este último rango altitudinal se ubican los bosques de *Pinus oaxacana* (Lindley) Shaw; *P. leiophylla* Schlechtendal & Chamizo; *P. douglasiana* Martínez; *P. oocarpa* Schlechtendal; *P. tenuifolia* Bentham y *P. teocote* Schlechtendal & Chamisso, mezclados con especies de encino, y bosques puros de encino (Grupo Mesófilo, 2011).

Es importante señalar que a una altitud de 3,400 msnm pueden encontrarse individuos de *Abies hickelii* (GEO, 2012).

Las especies de encinos en San Miguel el Grande, se encuentran formando casi siempre el estrato bajo o arbustivo de los bosques de pinos. Las especies presentes del género *Quercus* son *Q. laeta*, *Q. Glaucescens*, *Q. Rugosa*, *Q. Crassifolia*, *Q. Castanea*; *Q. Laurina*. Estos encinos no tienen características comerciales y principalmente se utilizan para leña. Las

latifoliadas presentes en esos bosques son *Arbutus glandulosa* (madroño) y *Alnus acuminata* (aile).

Las especies más aptas para la producción de madera son *Pinus patula*, *Pinus douglasiana* y *Pinus pseudostrobus*, mientras que para la producción de resina se tiene al *Pinus oocarpa*. Algunas especies de latifoliadas se podrán seguir utilizando de forma controlada para uso doméstico, como leña, horcones, etc., (Grupo Mesófilo, 2011).

El Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande ha realizado un inventario forestal con un enfoque sobre los bosques de mayor potencial maderable y los de baja productividad maderable, segregando los que se encuentran deteriorados. Las categorías y superficies para el manejo las ajustaron de acuerdo a lo dispuesto por el artículo 28 del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, de modo que para San Miguel el Grande la superficie de alta productividad la reportan por el orden de 1,882.77 ha, la de baja productividad por 1,075.55 ha y la no apta para la producción por 2,964.48 has (Rojas, 2009).

Cabe mencionar que, la vegetación de la región mixteca ha disminuido drásticamente, los terrenos con notables grados de erosión se han incrementado en los últimos cien años, lo que obliga a plantear opciones viables para restaurar y conservar estos remanentes de vegetación. La vegetación de un territorio determinado es de gran importancia debido al aporte de materias primas y productos utilitarios a sus pobladores. También adquiere un gran valor en el balance hídrico de las cuencas hidrográficas, prevención de inundaciones, captura de carbono de la atmósfera y el control del avance en la erosión del suelo (Guizar, 2011).

Es importante tener información actualizada acerca de la gran variedad de agrupaciones de vegetación y del estado de conservación ya que constituyen herramientas fundamentales en la planeación del territorio sobre el uso y gestión de los recursos naturales, esto también

constituyen una herramienta significativa para la planeación económica y ecológica del desarrollo de una región dada (Guizar, 2011).

## **4.2 Medio Social y Económico**

De acuerdo al censo de población y vivienda INEGI 2010, actualmente viven 4,127 habitantes en el municipio de San Miguel El Grande, de los cuales 2,223 son mujeres y 1,904 son hombres (INEGI 2010).

### ***4.2.1 Educación***

Además de la infraestructura de educación básica, se cuenta con una escuela media superior, el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTA N° 77) y una institución de educación superior, el Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande (GEO, 2012).

### ***4.2.2 Población económicamente activa***

En general uno de cada dos habitantes realiza actividades productivas, entre las que destacan la agricultura, explotación forestal, ganadería, industria y comercio. Agricultura es la principal actividad económica. Los cultivos más importantes son el maíz, el frijol y el trigo. Las formas de tenencia de la tierra comprende tanto la propiedad comunal, (referida sobre todo a los bosques y las tierras de pastoreo), como la propiedad ejidal y la privada; esta última es la predominante. En la región prevalece el minifundismo originado por el sistema de herencia que usualmente favorece a todos los hijos. La producción agrícola, sin embargo, es suficiente para la subsistencia debido a lo aleatorio de las cosechas en tierras de temporal (96% de las cultivables). Las técnicas de cultivos son rudimentarias, utilizándose el sistema de roza y quema y como instrumentos básicos la coa y el azadón.

La erosión de los suelos es provocada por las prácticas agrícolas (monocultivos), tanto por la intensidad de las lluvias y la falta de descanso de la tierra. Todos estos factores han

contribuido para que el área sea una de las regiones más pobres del país y con un mayor índice de migración de la población a centros urbanos como Oaxaca, Puebla, la Ciudad de México y los Estados Unidos (INEGI, 2004).

**Explotación forestal** en las partes más altas se encuentran pequeños bosques de pináceas, impropios para la explotación forestal, pero que proporcionan material de construcción para casas; además de leña para la preparación de alimentos (INEGI, 2004).

### **Ganadería y comercio**

Esta actividad es practicada en menor grado dentro del municipio, el ganado es utilizado principalmente en labores agrícolas. El comercio se lleva a cabo por la población, en la venta de productos elaborados en el hogar (carne, hortalizas y productos básicos), (INEGI, 2004).

### **4.3 Criterios para la selección de especies**

Se eligieron dos especies forestales maderables nativas del área de estudio *P. patula* y *P. pseudostrobus* para el establecimiento de las plantaciones forestales. Estas especies han sido estudiadas para llevar a cabo acciones de restauración y aprovechamiento maderable en otros estados del país como Michoacán. En la actualidad ambas especies tienen relevancia ecológica, económica y social (Pérez, 2012).

## 5. MÉTODOLÓGIA

A continuación se presentan los métodos seguidos en la elaboración de la presente tesis:

### 5.1 Descripción de las especies de interés

Como se ha indicado, se trabajaron dos especies cuyas principales características se describen a continuación:

#### 5.1.1 *Pinus patula Schl. et Cham.*

##### Descripción de la especie

La especie *Pinus patula* fue descrita por Schlechtendal y Chamisso (Vela, 1980). Es una especie mexicana comercial conocida regionalmente como ocote, ocote colorado, ocote liso, ocote macho, ocote rojo, pino colorado, pino chino, pino de México, pino xalacote y pino triste (Monroy, 1995). Es llamado, internacionalmente, *Mexican weeping pine* o *patula pine* (Eguiluz, 1977) y es reconocido como fácil de cultivar en plantaciones forestales (Perry, 1991).

Es un árbol de hojas delgadas, péndulas, de corteza escamosa y roja sobre todo en la parte superior del tronco (Martínez, 1948), puede alcanzar 30 o más metros de altura, y el diámetro a la altura del pecho presenta valores comprendidos, generalmente, entre 30 y 40 cm; tiene ramas nudosas, curvadas hacia abajo, de color verde glauco que se torna moreno al segundo año, portando vainas con tres agujas (ocasionalmente cuatro o cinco), abiertas o péndulas, de 15-22 cm de longitud. Posee conos serótinos, es decir, se abren paulatinamente a medida que disminuye la humedad ambiental, de tal manera que la mayor cantidad de semilla se desprende en la temporada seca, previa a la estación lluviosa (Vela, 1976).



Figura 5. Tronco y acículas de *Pinus patula*

### **Flores, fruto y semillas**

Las flores masculinas y femeninas surgen separadamente en la misma planta. Los conos masculinos son de color amarillo y aparecen abundantemente en racimos en la región inferior de la copa del árbol. Los conos femeninos son de color púrpuro, crecen de manera solitaria o en grupos en la región superior de la copa del árbol. *P. patula* florece entre enero y abril, en su área de distribución natural. La producción de flores masculinas o la sincronización de flores femeninas y masculinas puede ser pobre a elevaciones menores, lo que puede resultar en una fertilización pobre de las semillas y una producción baja de las mismas. Los conos maduros son cónicos-ovoides y largos, ahusándose hacia el ápice, ligeramente curvos, de un color lustroso que va de gris a marrón, apareciendo en grupos de tres a seis, con una longitud de 4 a 12 cm y un ancho de 2.5 a 4 cm (Barnes and Mullin 1974; Ladrach, 1985; Wormald, 1975; Look, 1977), poseen un pedúnculo muy corto casi sésiles que los hace persistir en las ramas (Vela, 1976).

Las semillas son de tamaño pequeño, 3mm, de color marrón claro a negro con alas de color marrón de longitud 13 mm. La producción de semilla varía considerablemente, probablemente debido a la variación en la producción de polen y las condiciones climáticas durante el período de fertilización (Wormald, 1975).

### **Distribución geográfica**

*Pinus patula* se distribuye a lo largo de la sierra Madre Oriental, desde una latitud aproximada de 24° N hasta unos 17° N (Perry, 1991), en algunas elevaciones orientales del Eje Neovolcánico y de la Sierra Norte de Oaxaca (Del Castillo et. al., 2004)

### **Clima**

La precipitación anual donde crece varía entre los 1,800 y 2,900 msnm, en estaciones con normal de lluvia entre 1,020-1,520 mm, de régimen estival y frecuentes nieblas. *Pinus patula* crece mejor en lugares donde las lluvias tienen mayor frecuencia en verano, fenómeno que ocurre en su lugar de distribución natural. En general existen altos niveles de precipitación en toda el área de distribución de esta especie superiores a 1,000 mm anuales (sitios donde mejor crece), agregando neblinas constantes a lo largo del año. Los mayores niveles de precipitación ocurren entre los meses de mayo a diciembre, dependiendo de la estacionalidad de lluvias de cada zona (Velázquez, 2004).

Sin embargo, y aun cuando exista el régimen de precipitación adecuado, no crece satisfactoriamente en lugares donde la sequía es muy severa. Al parecer el crecimiento de la especie se retarda cuando la temperatura es tan baja como -10° C, a esta temperatura la especie entra en latencia. Por debajo de los 30° de latitud, *Pinus patula* crece adecuadamente sin que las bajas temperaturas que se registran en algunos lugares sean un factor limitante (Romero, 1993).

### **Suelo y topografía**

*Pinus patula* crece con éxito en una gran variedad de suelos, prefiriendo los suelos arcillosos, profundos, bien drenados, con frecuencia arenosos (Vidal, 1962). Se desarrolla en suelos con textura arenosa porosa, profundos, presentando su mejor desarrollo en planicies

húmedas bien drenadas y cañones con suelos francos poco arenoso Loock (1950). En general, los suelos favorables son los ácidos, húmedos y profundos (Romero, 1993).

De acuerdo a Vela (1980), el límite inferior de los bosques que conforman *P. patula*, se encuentra determinado por la zona escarpada de la Sierra Madre Oriental, razón por la cual no tiene un valor uniforme y varía entre 1,800 y 2,000 m. Por debajo del límite señalado, los individuos de la especie se hacen menos abundantes y por lo tanto deja de ser dominante para pasar a formar parte del bosque mixto de encinos y *Liquidambar* los lugares más bajos donde se ha observado a esta especie formando pequeños grupos o aislada fue a una altitud de 1 650 msnm. Los límites altitudinales de *P. patula* varían entre 1 600 y 3 000 m mientras que los bosques de dicha especie se localizan entre los 1 800 m y el límite superior 3 000 m.

Se le puede encontrar en laderas de barrancas o de cerros, orientadas en cualquier dirección y no se relaciona a este factor con aquellos sitios donde es remplazada por otras especies. Ocupa una franja más estrecha en la exposición Norte que sobre laderas orientadas al poniente, su distribución está limitada a las partes altas cubiertas por nieblas frecuentes, en estas zonas el factor edáfico tiene cierta influencia.

El grado de inclinación de la pendiente influye, en ciertos casos, en la distribución de la especie. Existen indicios de que no siempre se trata de una influencia directa; sin embargo se encuentra relacionada con la distribución de las masas boscosas.

Al hablar de los límites altitudinales, se señaló que el límite inferior lo marca el comienzo de la escarpa en donde la inclinación del terreno es de 60% o más; por debajo de éste se encuentran individuos aislados dentro del encinar o bosque mixto de *Quercus* y *Liquidambar*.

Por regla general, las masas puras se encuentran en terrenos de pendiente moderada o planos ya que, donde la inclinación es demasiado fuerte y el suelo se torna delgado y gravoso, son reemplazados por otras especies. Cuando se trata de pendientes expuestas a los vientos



húmedos del Golfo, al llegar la inclinación de aquellas a 60% o más, se desarrolla una vegetación arbustiva vigorosa en los estratos inferiores y el pinar deja el lugar a los encinos.

### **Cobertura forestal asociada**

El Pino pátula se encuentra asociado con pinos tales como *P. teocote* Schlecht & Cham., *P. greggii* Engelm., *P. montezumae* Lamb., *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. lawsonii* Roetzl y otras especies de coníferas como *Taxus globosa* Schlecht, *Podocarpus reichei* Buchh. & Gray, *Abies religiosa* (H.B.K.) Schelcht & Cham. y *Cupressus* spp., especies latifoliadas como *Fagus* spp., *Tilia* spp., *Cercis* spp., *Acer* spp., *Liquidambar* spp., *Quercus* spp. y *Alnus* spp. (Gillespie, 1992).

### **Usos**

*Pinus patula* es uno de los pinos nativos de México (en el estado de Oaxaca crece la variedad *longepedunculata*) su madera es de menor fortaleza y densidad a comparación de otras coníferas; sin embargo, es adecuada para la construcción (Gillespie, 1992). Esta especie es utilizada para la restauración de suelo, plantaciones industriales y madera de uso diverso.

#### **5.1.2 *Pinus Pseudostrobus* Lindl.**

### **Descripción de la especie**

Esta especie establecida por Lindley es variable, al grado que hay diferencias notables aun en una misma localidad: sus caracteres generales son: 5 hojas delgadas, cono ovoide o largamente ovoide (Martínez, 1948). Es una especie conocida comúnmente como Mocohtaj (lengua tojolobal), pacingo, pino blanco, pino ortiguillo y pino real (Martínez, 1979). Es un árbol de 30 a 40 metros, ocasionalmente 45 m de altura, con ramas extendidas y vertilicias; hojas con vainas persistentes, en fascículos de cinco; serradas de 15 cm a 30 cm de largo,

usualmente delgadas (Perry, 1991). Se distingue de todos sus asociados por el tronco gris suave de los árboles jóvenes, por sus largos entrenudos, y por su caída de follaje gris-verde (Rusell, 2008).



*Figura 6 Tronco y Acículas de Pinus pseudostrobus*

### **Flores, fruto y semillas**

La especie comienza su reproducción a los 6-7 años y florece en febrero y marzo (Patiño-Valera, 1973). Los conos son ovoides a cilíndricos color café claro miden de 10 a 15 cm de largo y 6 a 8 cm de ancho, planos, ápice elongado de hasta 15 cm de largo, curvados. Los conos se agrupan de dos a tres al final de las ramas, éstos maduran de noviembre a diciembre en México y América Central. Las semillas son pequeñas miden 6 mm de largo y son de color café oscuras, con un ala articulada de 20 a 23 mm de largo (Perry, 1991).

### **Distribución geográfica**

Es una especie de altitudes subtropicales y cálido-templadas de México y Centroamérica (Rusell, 2008). Se distribuye desde Sinaloa y Nuevo León hasta El Salvador. Es común en las sierras oaxaqueñas, principalmente la variedad *apulcensis*. Es muy variable, sobre todo en las dimensiones de las apófisis de las escamas de los conos femeninos que distingue a sus variedades, dos de ellas presentes en Oaxaca: *pseudostrobus* y *apulcensis*. Las variedades han

generado controversia, pero los caracteres de la acícula son poco variables y confirman que se trata de una especie. Es de hábitats semejantes a *P. patula*. (García-Mendoza, 1983).

### **Clima**

*Pinus pseudostrabus* crece en climas templados a templado-cálido, donde las temperaturas pueden caer al punto de congelación durante los meses más fríos de invierno. La especie se encuentra donde las temperaturas oscilan entre -9-40 ° C y la precipitación anual, de mayo a octubre es de 600 a 2000 mm (Eguiluz 1977, Martínez 1948, Perry 1991). En cambio, *P. pseudostrabus* var. *Apulcensis* prospera mejor en altitudes de 1800 a 2200 m y prefiere hábitats menos húmedos (Favela, 1991; Perry, 1991 citado en Viveros, 2006).

### **Suelo y topografía**

Esta especie lo mismo se desarrolla en ambientes de suelos ricos y húmedos que en suelos pobres y secos respetando sólo su rango de distribución natural (Mendizabal-Hernández *et. al.*, 2010). Los árboles crecen en elevaciones de 800 a 3250 msnm (Yañez, 2004) tiene su mejor desarrollo en una altitud de entre 2,400 y 2,800 m en suelos volcánicos profundos (CONAFOR, 2007). Este árbol también se puede encontrar en suelos calcáreos. No crece en suelos con problemas de drenaje.

### **Usos**

*Pinus pseudostrabus* es valorada para plantaciones comerciales, así como por sus cualidades ornamentales en campos deportivos y parques, debido a que su follaje desprende un aroma agradable a resina. (Gómez, 2009). Es buen productor de resina ampliamente explotada en los estados del centro y sur del país y su madera se destina al aserrío, triplay, chapa, cajas de empaque, molduras, así como a la industria de la construcción, fabricación de ventanas, muebles finos, artesanías, ebanistería y pulpa de papel (Viveros *et al.*, 2006).

## 5.2 Requerimientos ecológicos de las especies

A continuación se presentan los requerimientos de las especies estudiadas:

### 5.2.1 *Pinus patula* Schl. et Cham.

Para *Pinus* se definió la siguiente matriz de requerimientos:

Cuadro 2. Matriz de requerimientos ambientales para *Pinus patula*

Especie	variable	Categoría de aptitud			
		adecuada	moderadamente adecuada	Marginalmente adecuada	No adecuada
<i>Pinus patula</i>	precipitación media anual (mm)	1000-2000	800-1000 >2000	600-800	<600
	Temperatura media anual (°C)	10-16	9-10,16-20	8-9,20-24	<8 >24
	Mes más frío (°C)	08-12	7-8, 12-14	6-7,14-20	<6 >20
	Mes más caluroso (°C)	14-16	12-14,16-20	10-12,20-26	<10 >26
	Período de lluvias (meses)	0-3	4	5-6	7-12
	Altitud (msnm)	1900-2400	1600-3100	S/D	>3200
	pendiente	1-5,5-10%	>10-60%	65%	>65%
	Tipo de suelo y fertilidad	Acrisoles y Luvisoles	S/D	S/D	S/D
	profundidad de suelo (m)	1-2	0.4-0.6	0.4-0.6	<0.4
	pH	4	5	6	>6
	Exposición	Norte Zenital	Noreste/Este	S/D	S/D
	textura y color del suelo	Arenosos, franco-arenosos. Café diferentes tonalidades.	Francos, migajones arcillosos, arcillosos migajones arcillosos. Con estructura granular o terrosa. Margas arenosas, arcillas arenosas. Café, amarillo y rojo.	areno-arcillosos y migajones	Pedregosos, gravosos
	Materia orgánica	En el horizonte A hasta 78%, en el horizonte B y C alrededor del 1% disminuyen al aumentar la profundidad.			

**Fuente:** Dvorak y Donahue (1992); Gillespie (1992); Eguluz (1978); Look (1977); Monroy (1995); Muñoz *et.al.* (2010); Perry (1991); SIRE: CONABIO-PRONARE (S/D); Vela (1976; 1980).

**S/D:** sin dato

### 5.2.2 *Pinus pseudostrobus* Lindl.

En el caso de *Pinus pseudostrobus* se definió la siguiente matriz;

Cuadro 3. Matriz de requerimientos ambientales para *Pinus pseudostrobus*

Especie	Variable	adecuada	Categoría de adecuación		
			moderadamente adecuada	Marginalmente adecuada	No adecuada
<i>Pinus pseudostrobus</i>	precipitación media anual (mm)	700-1800	500-700 >1800	400-500	<400
	Temperatura media anual (°C)	11-20	9-11, 20-24	8-9, 24-26	<8, >26
	Mes más frío (°C)	10-14	4-10, 14-18	2-4, 18-24	<2, >24
	Mes más caluroso (°C)	16-20	12-16, 20-24	10-12, 24-28	<10, >28
	Período de lluvias (meses)	0-3	4-5	6-7	8-12
	Altitud (msnm)	2500	2600	2800	>3000
	Pendiente	>10%	70%	80-85%	<10%
	Tipo de suelo y fertilidad	Derivados de material volcánico bien drenados. Característicos del tipo andosol.	suelos como regosol, cambisol, acrisol y luvisol		S/D
	profundidad de suelo (m)	1	2	3	>3
	pH	4	5	6	>7
	Exposición	Oeste	Noroeste	Este/Zenital	S/D
	textura y color del suelo	migajón-arenosa, areno-arcillosa. De color pardo o café amarillento de buen drenaje.	S/D	S/D	S/D
Materia orgánica	Con una capa de humus de 10-30 cm				

**Fuente:** López-Upton (2003); Muñoz *et al.* (2007); Gómez *et al.* (2010); SIRE: CONABIO-PRONARE (S/D); Yañez (2004).

**S/D:** sin dato

### **5.3 Criterios para identificar las áreas aptas a plantar**

La identificación de las áreas aptas para el establecimiento de plantaciones forestales se basa en los requerimientos ecológicos de las especies de interés. Esto con el fin de lograr el correcto aprovechamiento del sitio, propiciarle a la planta las características necesarias y así maximizar el éxito de las plantaciones forestales. El clima, suelo y topografía; fungen como los factores importantes (criterios que, a su vez se dividen en subcriterios). Éstos, no son los únicos que influyen en el éxito de las plantaciones forestales; sin embargo se han considerado en varios estudios para delinear áreas para plantaciones de árboles (Ortíz *et al.* 2008; Mashayekhan y Salman, 2011; Muñoz *et al.* 2011;). Los subcriterios principales son: precipitación y temperatura (Musálem, 2006), pH, textura y pendiente del suelo (Pritchett, 1990; Brady and Weil, 1998).

### **5.4 Información Cartográfica**

Una vez identificados los criterios y subcriterios se recopiló la información cartográfica y se homogenizó en cuanto a la proyección y datum (WGS 84-UTM) utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis 10.2 para posteriormente, realizar la modelación cartográfica.

A continuación se describen los mapas criterio utilizados:

#### ***5.4.1 Actualización de información de vegetación y uso de suelo en el área***

Con el objetivo de obtener un mapa útil en el análisis de vegetación y uso de suelo del municipio de San Miguel El Grande; además de actualizar a detalle la composición y la distribución de la cobertura forestal, y otros usos de suelo en la zona, se utilizó una imagen SPOT 6 del año 2014 con resolución espacial de 1.5 m, proporcionada por el

gestor autorizado ERMEXng, a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA).

Se hizo uso de la composición color real la cual es posible por el uso de las bandas 1,2 y 3 de la imagen. Posteriormente se definió la vegetación y otros usos de suelo en el área de estudio, además de la imagen SPOT se requirieron las clasificaciones (uso de suelo y vegetación del área) de CONABIO, INEGI y la de Aparicio (2009). Sobre las bases anteriores, se crearon los polígonos y se digitalizaron en una categorización detallada, se hizo una clasificación con doce categorías. Aunado a esto, se realizó un recorrido en el municipio para respaldar y cotejar los diferentes usos del terreno.

#### *Precipitación*

Se utilizaron los datos vectoriales de la precipitación total anual a escala 1:1,000,000 de Enriqueta García. Donde, el trazo de isoyetas se realizó tomando en cuenta el relieve, la dirección del viento, el efecto de sombra pluviométrica y de embalse, además del descenso y ascenso orográfico (CONABIO, 2008).

#### *Temperatura*

Se utilizaron los datos vectoriales de la Temperatura Media Anual a escala 1:1,000,000 de Enriqueta García (1998). Se calcularon gradientes térmicos según las diferentes vertientes de las sierras, así mismo se calcularon las altitudes a las que pasan las isotermas (CONABIO, 2008).

### *Tipo de suelo*

El mapa se elaboró con base en el conjunto de datos vectorial edafológico escala 1:250 000 serie I del INEGI en el que se muestran los diferentes tipos de suelo. Este producto se generó a partir de la conversión digital de la información contenida en 122 cartas edafológicas impresas a escala 1:250 000. Se observan cinco tipos de suelo la Rendzina tiene mayor distribución dentro del municipio.

### *Textura del suelo*

Elaborado con base en el conjunto de datos vectorial edafológico escala 1:250 000 serie I del INEGI en el que se muestran las dos categorías que predominan en el área de estudio: fina (suelos con mucha arcilla) y media (suelos con equilibrio de arcilla, limo y arena).

Se puede observar que más del 50% de la superficie del municipio posee suelos de textura fina.

### *Altitud*

Se obtuvo del Modelo de Elevación Digital (MDE), un producto raster, con resolución de 15 m, extraído del Continuo de Elevaciones Mexicano versión 3.0 (CEM-INEGI), proporciona elevaciones del país en un continuo nacional, sin divisiones cartográficas (INEGI, 2005). El rango altitudinal va de los 2100 a los 3400 msnm, los puntos más bajos se concentran en la parte sur y los más altos en la parte norte del municipio.



### *Pendientes*

Las pendientes se generaron a partir del MDE. De acuerdo con los rasgos observados en el relieve se definieron seis categorías de pendiente: ligeramente inclinada (1-5 %), inclinada (5-10%), fuertemente inclinada (10-15%), moderadamente escarpada (15-30%), escarpada (30-60%) y muy escarpada (>60%), (FAO, 2009). El municipio de San Miguel El Grande presenta pendientes moderadamente escarpadas y escarpadas en más del 50% de su superficie, es decir las pendientes predominantes van de 15 a 60%.

### *Exposición de la pendiente*

Un mapa de exposición del relieve permite conocer, la orientación con respecto a los puntos cardinales de las caras de las laderas que lo conforman. Con esto se puede inferir sobre la cantidad de luz y radiación que recibe cierta área; así como de la humedad del sitio. Por estas razones es importante considerar este factor.

El mapa de exposición de la pendiente se obtuvo con el MDE definiendo la dirección de cara de la ladera de cada dato y sus vecinos, para ser presentado en un raster expresado en grados (0°-360°) con base en los puntos cardinales, con un valor de -1 para la zona zenital.

### *pH del suelo*

El mapa de pH del suelo fue elaborado a partir de la extrapolaron las los datos de pH de las muestras de suelo obtenidos en laboratorio.

## 5.5 Aplicación de aptitudes

Para elaborar los mapas de aptitud de *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*, se hizo uso de los mapas subcriterio (variables) en archivo vector y de las tablas de requerimientos ecológicos de las especies.

Se realizó un modelo con fundamento en análisis multicriterio, convirtiendo los valores de los diversos mapas subcriterio utilizados en unidades comparables, asignándose la siguiente escala: 1, 2, 3 y 5. Cada uno de estos valores se estableció a cada variable o requerimiento ecológico, se asignó un valor a cada polígono en la capa, es decir, se definieron los niveles de adecuación o aptitud como sigue:

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
No Adecuado	Moderadamente Adecuado	Marginalmente Adecuado	Adecuado

Con base en lo anterior se elaboraron tablas en el SIG, para cada especie, como se muestra en los anexos 1 y 2.

Posteriormente, se sumaron los valores obtenidos de cada variable, el resultado se ordenó y reclasifico, elaborando intervalos, los datos más altos corresponden a las áreas o superficies más adecuadas o con condiciones ambientales apropiadas para la especie que se desea plantar; mientras que los datos con menor puntaje son áreas no adecuadas para las especies de interés (anexos 3 y 4). Con lo anterior se elaboraron los mapas finales de aptitud de las especies.

### **Muestreo de campo, caracterización del suelo**

Con el objetivo de constatar la información recabada del área de estudio y obtener información verídica edafológica de la misma, se realizaron perfiles de suelo y recorridos de campo. La selección de los sitios de muestreo se realizó con base en los siguientes criterios: cinco diferentes tipos de suelo que describe el Instituto de Estadística y Geografía (INEGI) para el municipio: Luvisol, Litosol, Gleysol, Rendzina y Feozem. Los sitios debían estar desprovistos de vegetación para poder ser considerados a plantar. De igual forma, se consideraron sitios referidos, por las autoridades comunales, como áreas con problemas para reforestar (se han realizado labores de reforestación; sin embargo, no se ha tenido éxito en las mismas) o con interés a reforestar (son áreas en donde la población tiene interés para introducir vegetación arbórea).

Con base en lo anterior se realizaron siete perfiles de suelo (Lázaro Cárdenas, Campo experimental, Morelos, Iturbide, Vicente Guerrero I, Vicente Guerrero II y Pie del Mogote) realizando un corte vertical del terreno a una profundidad de 1.5 m. Se diferenciaron y delimitaron los horizontes, atendiendo los siguientes aspectos: diferencia de color, diferencia en las propiedades morfológicas, textura mediante el método del tacto, estructura y elementos gruesos. Se anotaron los límites entre horizontes y se midió el espesor de los mismos; de igual manera se anotaron características como color y presencia de raíces y fauna. Diferenciados los horizontes de cada perfil, se tomaron muestras de 1 kg aproximadamente para realizar el análisis físico y químico correspondiente. De igual manera se tomaron dos muestras superficiales de suelo (15 cm

de profundidad) en sólo dos puntos del área de estudio (Bosque de *P. patula* y Benito Juárez).

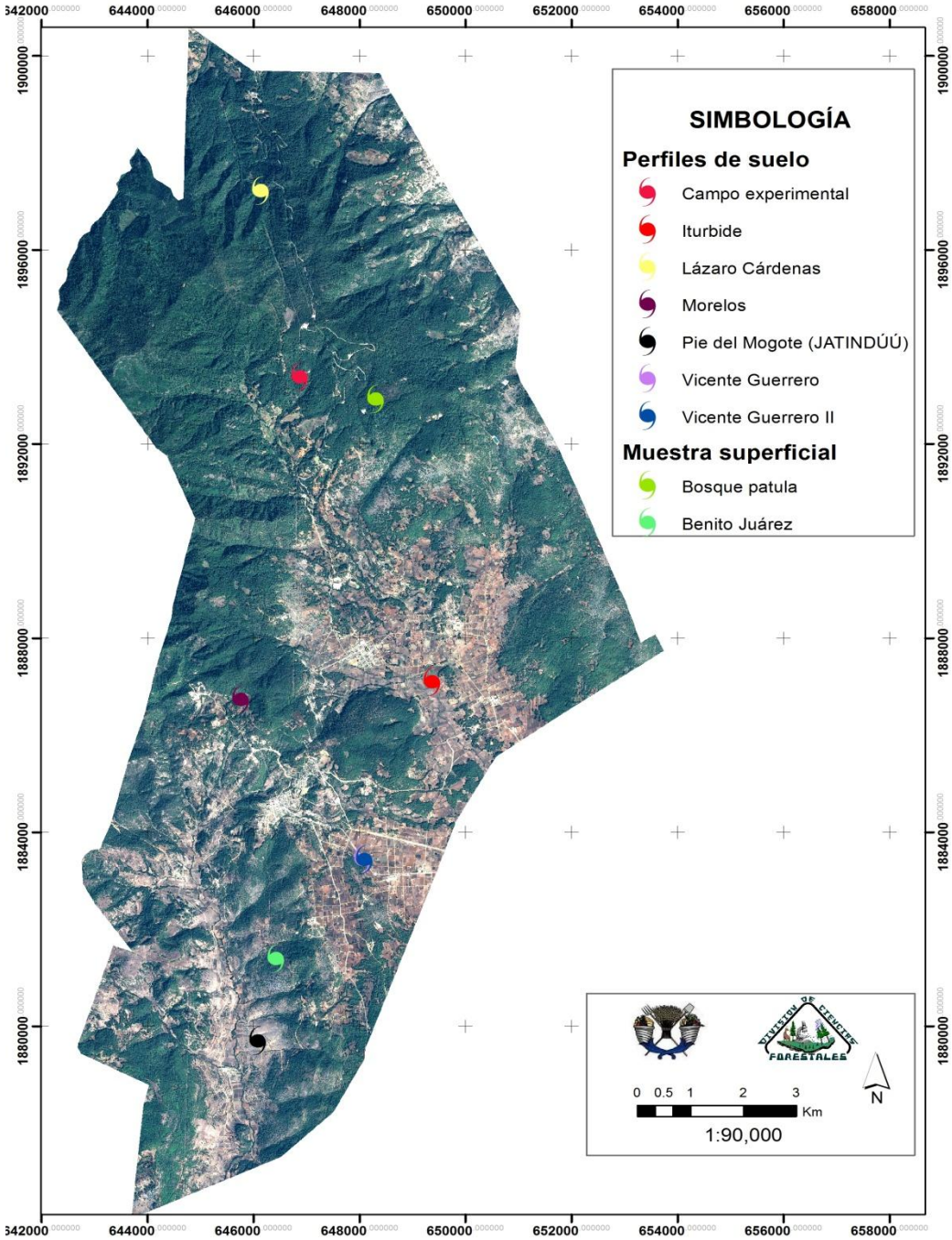


Figura 7 Puntos de muestreo en el municipio de San Miguel El Grande

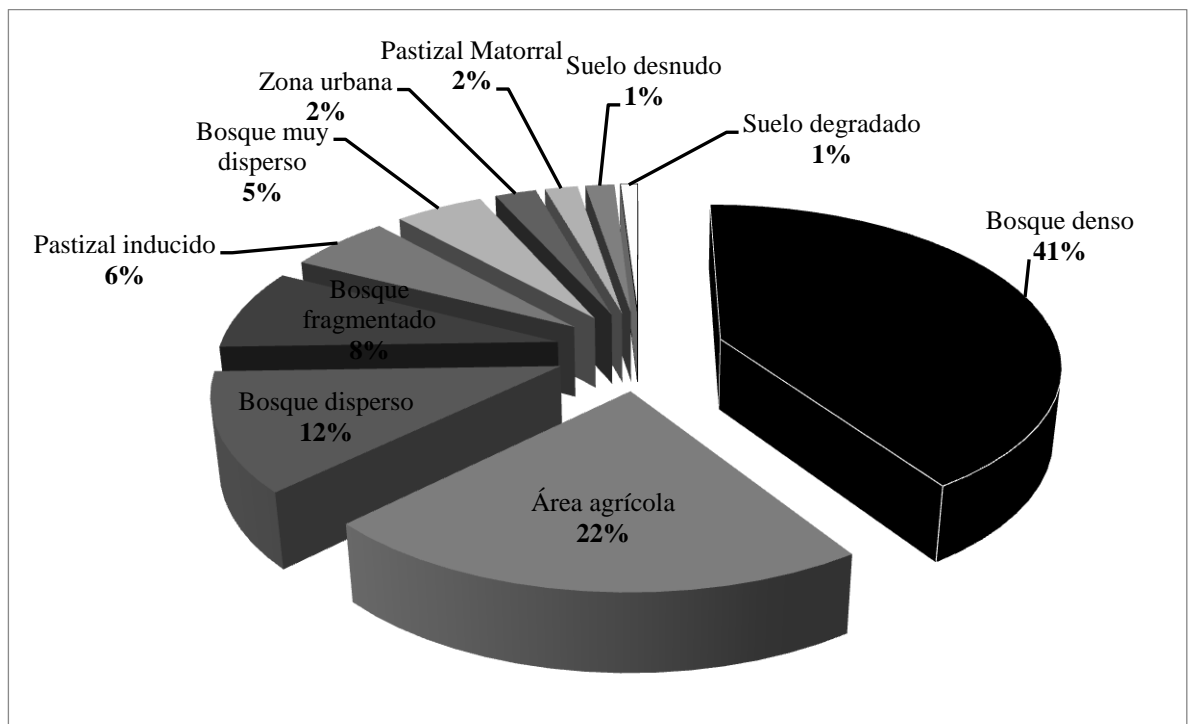
## **Análisis de laboratorio**

Las propiedades físicas del suelo consideradas fueron, color en seco y húmedo, textura al tacto y reacción al ácido clorhídrico (HCl). Mientras que las propiedades químicas analizadas fueron, el pH mediante la relación 1:2, porcentaje de Materia Orgánica por el método Walkley-Black con 0.5g de suelo tamizado, Conductividad Eléctrica (C.E.), Nitrógeno Total por el método Kjeldahl, Nitritos y Nitratos, Fósforo por los métodos Bray-Kurtz (para suelos con pH <7) y Olsen (para suelos con pH >7), Potasio, Calcio, Sodio, Magnesio (mediante absorción atómica) y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), (determinación de sodio por absorción atómica). Todas las determinaciones se realizaron en el laboratorio de Génesis, Morfología y Clasificación de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, bajo la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis (Anexo 7 ), (DOF, 2002).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Actualización de la información de vegetación y uso de suelo en el área

Con base en una imagen SPOT 6 del año 2014 con resolución espacial de 1.5 m, proporcionada por el gestor autorizado ERMEXng, a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA), se elaboró un mapa detallado y útil en el análisis de vegetación y uso de suelo del municipio de San Miguel El Grande, en éste se observa con suficiente detalle la composición del mismo. Se determinó que 74% de la superficie del municipio presenta cobertura con diferentes tipos de vegetación forestal y no forestal, 22% de la superficie es de uso agrícola y 2% del territorio está ocupado por asentamientos urbanos (Fig. 8 y 9).



*Figura 8 Porcentaje de vegetación y uso de suelo en el Municipio de San Miguel El Grande*

Se crearon doce clases, en una reclasificación, para el mapa de uso de suelo y vegetación, considerando la información cartográfica de CONABIO, INEGI y Aparicio 2009 (16 clases), esta última tuvo mayor peso para la elaboración del mapa final (Anexo 6).

Los resultados indican un aumento en las superficies de las categorías: Bosque muy disperso (510.389 ha), zona urbana (238.967 ha) y suelo degradado (100.115 ha). Estos datos se han comparado con los resultados del Plan de Desarrollo Forestal Sustentable para el municipio, realizado por Aparicio (2009), en el cual se reportaron 116.08 ha, 64.7 ha y 16.30 ha, respectivamente.

Por otro lado, la superficie de las categorías: Agricultura (2269.658 ha), Pastizal Matorral (189.999 ha) Pastizal inducido (590.291 ha), Bosque disperso (510.389 ha), Bosque denso (4192.908 ha), Bosque fragmentado (829.305 ha) no muestran cambio, esto probablemente se deba al tipo de imágenes utilizados en la elaboración de la cartografía, ya que para el estudio modelo se utilizaron imágenes LANSAT TM (1989) Y ETM (1999 y 2003) con resolución de 15 m, mientras que para la presente tesis se utilizaron imágenes SPOT 6 (2014) con resolución de 1.5 m.

Otra causa que marca la diferencia entre las superficies cartografiadas pudo ser la reclasificación realizada en este estudio, en la que algunas clases incluyen a otras consideradas en Aparicio (2009), por ejemplo aquí la categoría agricultura, incluye de riego y temporal, Bosque denso circunscribe a bosque muy denso, Bosque disperso incluye bosque muy disperso. Cabe mencionar, que se creó la categoría suelo desnudo (167.629 ha) y que los hallazgos anteriores no impidieron el cumplimiento de los objetivos de la presente.

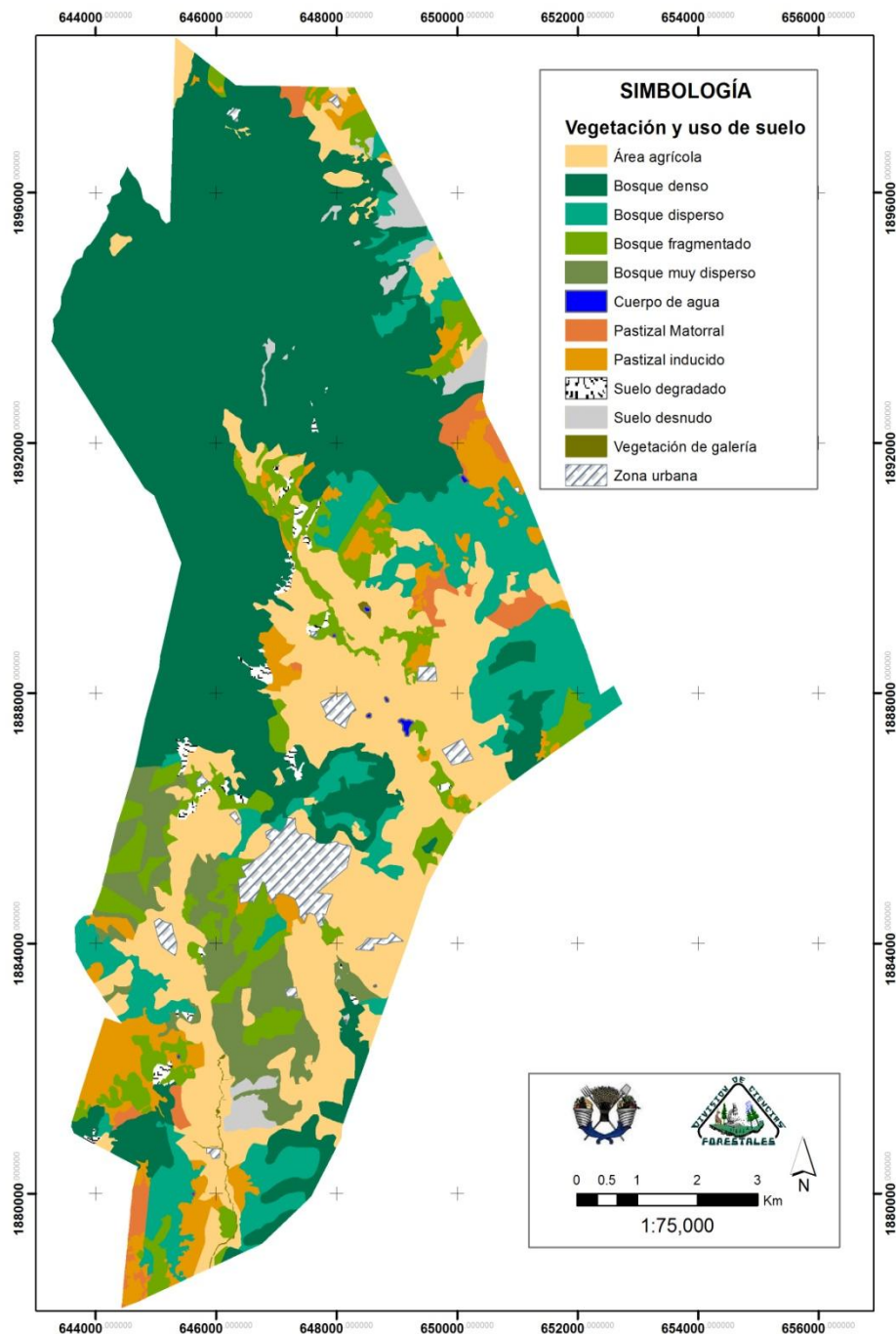


Figura 9 Mapa de actualización de uso de suelo y vegetación del Municipio de San Miguel El Grande



## 6.2 Mapas subcriterio y aptitud por variable para las especies forestales

Con base en los requerimientos ecológicos de las especies forestales se obtuvieron 9 mapas subcriterio para cada una. Los mapas de aptitud por variable (subcriterios) para las especies *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus* se muestran en las figuras 10 y 12, respectivamente. Los resultados se presentan en cuatro categorías, tal como se clasificaron los requerimientos de las especies de interés: adecuado, marginalmente adecuado, moderadamente adecuado y no adecuado.

Los mapas de las variables temperatura y precipitación son similares para ambas especies, estas variables son adecuadas en toda la superficie del municipio ya que su distribución cumple con los requerimientos de estas coníferas. En los mapas de la variable altitud se pueden apreciar áreas adecuadas muy restringidas donde crece la especie *P. patula* de los 1900 a los 2400 msnm, las cuales se encuentran al sur del municipio, las áreas moderada y marginalmente adecuadas tienen altitudes que van de 1600 a 3100 msnm, altitudes predominantes en todo el municipio, las altitudes mayores a 3200 msnm al norte del municipio, corresponden a zonas no adecuadas para esta especie. Al contrario, la especie *P. pseudostrobus* puede llegar a habitar altitudes bajas y altas a lo largo del área, su distribución no es tan restringida y podría ser plantada en mayor superficie del municipio según esta variable.

La variable exposición puede ser una de las más restrictivas en este estudio, no por la ausencia de exposiciones adecuadas en el área para las especies, más bien por la falta de conocimiento de la influencia de esta variable en el crecimiento de la vegetación arbórea. La distribución de las dos especies de interés se restringe a exposiciones Norte/Zenital (adecuado) y Noreste/Este (moderadamente adecuado) para *P. patula*; mientras que *P. pseudostrobus* se distribuye en

exposiciones Oeste (adecuado) Noroeste (moderadamente adecuado) y Este/Zenital (marginalmente adecuado).

En lo que respecta a la pendiente, la cartografía elaborada refleja la distribución adecuada de *P. pseudostrobis* en pendientes mayores al 10% de inclinación, la superficie del municipio está caracterizada por la predominancia abrupta del terreno. Al contrario de *P. patula* que se distribuye adecuadamente en pendientes de 1-10% de inclinación.

En cuanto a textura y tipo de suelo la distribución de ambas especies es similar al comportamiento de la temperatura y precipitación ya que ambas variables de suelo suelen ser adecuadas en su composición para los requerimientos de *P. patula* como de *P. pseudostrobis*, demandando texturas con balance de arcillas, limo y arena; así como suelos derivados de material volcánico bien drenados como los andosoles o suelos como luvisoles, acrisoles, rigosoles y cambisoles característicos del área de estudio.

Los mapas de la variable pH de suelo describen al norte del municipio como moderadamente adecuado y adecuado para *P. patula* y *P. pseudostrobis* respectivamente, en ambos casos el sur del municipio no es apto en este aspecto para poblar con las especies de interés.

Finalmente, cartografiar el uso de suelo y la vegetación existente en el municipio permite identificar las áreas destinadas a poblar y repoblar, para ambas especies resultan áreas desprovistas de vegetación, suelo degradado, superficie con pastizal inducido y bosque fragmentado, disperso y muy disperso; sin embargo las áreas adecuadas finales a plantar serán resultado de la combinación o análisis multicriterio.

### **6.3 Localización, distribución y superficie de las áreas potenciales con *P. patula* y *P.***

#### ***pseudostrobis***

El análisis multicriterio permitió obtener dos mapas que muestran las áreas potenciales de *P. patula* y *P. pseudostrobis* así como la distribución de las mismas. En la actualidad, el uso de SIG ha permitido la elaboración de trabajos con base en análisis multicriterio tales como los de Pakrash (2003), Pozzobon y Gutiérrez (2003), Bustillos *et. al.*, (2007), Caballero *et. al.*, (2010), Mashayekhan y Mahhiny (2011), entre muchos otros, los cuales obtuvieron resultados satisfactorios para el cumplimiento de sus objetivos. El análisis simple realizado en este estudio permitió alcanzar los objetivos de la misma manera y con resultados convincentes para su aplicación.

En las figuras 11 y 13 pueden verse las áreas potenciales para plantaciones de *P. patula* y *P. pseudostrobis*, respectivamente, en la zona sur del municipio predominan las áreas adecuadas y moderadamente adecuadas, forman una franja extensa y continua, para la primera, y en la superficie norte se extienden áreas de menor superficie para esta especie. Por el contrario *P. pseudostrobis* puede plantarse a lo largo del municipio pero en superficies de menor extensión.

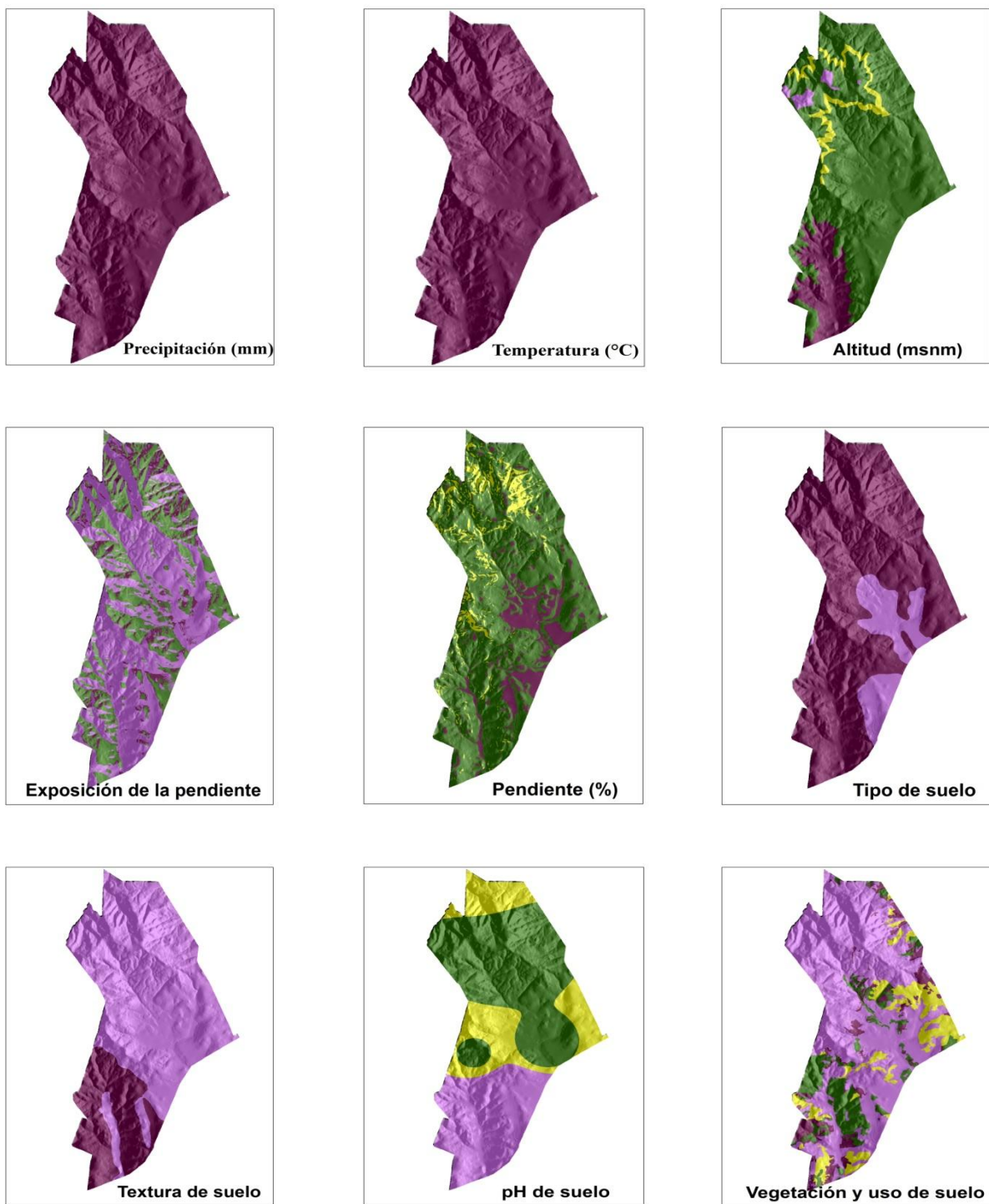
Además de la distribución de las especies, fue posible calcular el área total por aptitud de la siguiente manera: 498 ha adecuadas, 6,019 ha marginalmente adecuadas, 2,251 ha moderadamente adecuadas para plantar a *P. patula* y 1,406 ha no adecuadas para ésta; mientras que para la especie *P. pseudostrobis* se calcularon 642 ha adecuadas, 2,736 marginalmente adecuadas, 6,362 moderadamente adecuadas; así como 434 no adecuadas.

Lo anterior permite conocer que la especie *P. pseudostrobus* puede distribuirse con mayor éxito sobre la superficie del municipio, las diferencias en superficie apta y moderadamente apta para la especie son un indicador de mejores condiciones ambientales para el desarrollo de ésta. Características como las pendientes que predominan en el municipio o el amplio rango de altitud existente en el área son la respuesta a la distribución y superficie encontradas para esta especie al respecto Gómez- Romero *et. al* (2012) sugieren plantar esta especie en pendientes de 70%, lo cual es posible en este municipio ya que más del 50% de su superficie tiene pendientes que van de 15% a mayores de 60%.

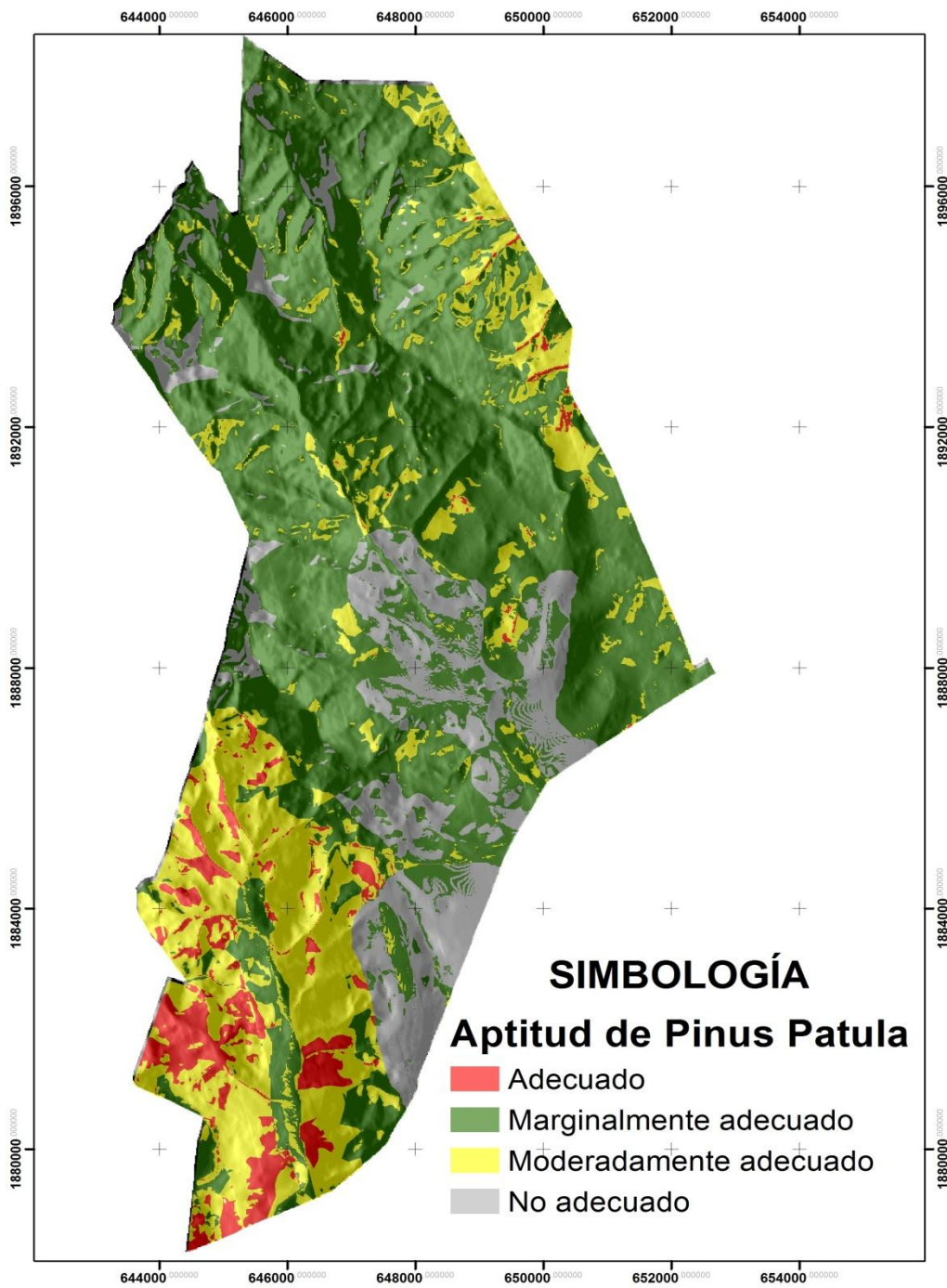
A pesar de lo anterior cabe decir que existen áreas con aptitud para ambas especies que convergen en el sur y norte del municipio. Por lo tanto cabe la posibilidad de plantar ambas o cualquiera de las dos especies en las áreas señaladas.

Para evitar el monocultivo, el *Pinus patula* puede ser empleado como especie complementaria en reforestaciones, plantaciones forestales comerciales y de protección en el municipio

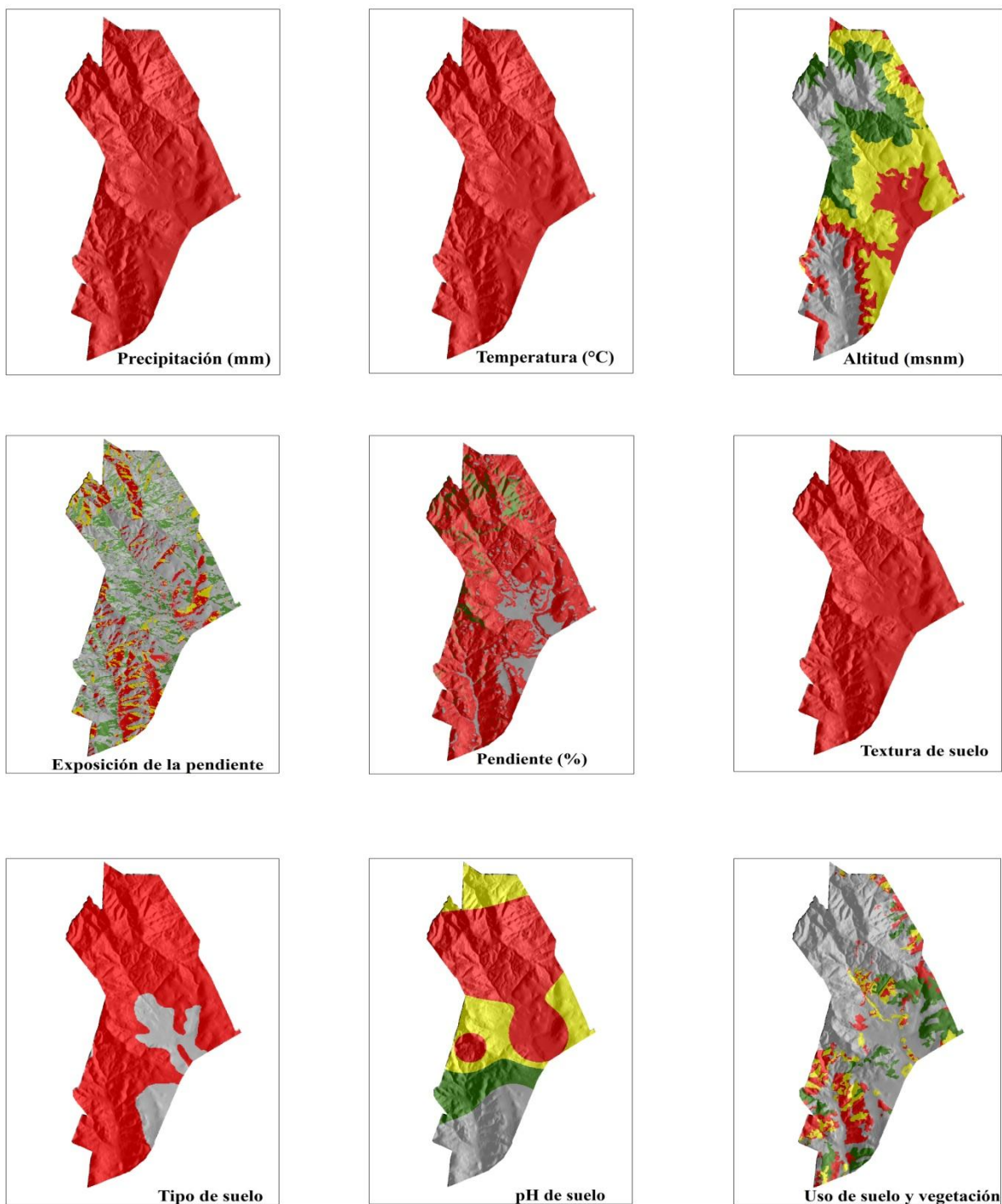
El *Pinus patula* tiene un empleo extensivo en América, Australia, África y Asia, siendo nativo de México, además presenta buena plasticidad y capacidad de producir madera como lo demuestran los índices en la totalidad de las áreas plantadas (Flores *et. al* 2010).



*Figura 10 Aptitud por variable para la especie P. patula*



*Figura 11 Áreas potenciales para la especie P. patula*



■ Adecuado 
 ■ Moderadamente adecuado 
 ■ Marginalmente adecuado 
 ■ No adecuado

*Figura 12 Aptitud por variable para la especie P. pseudostrobus*

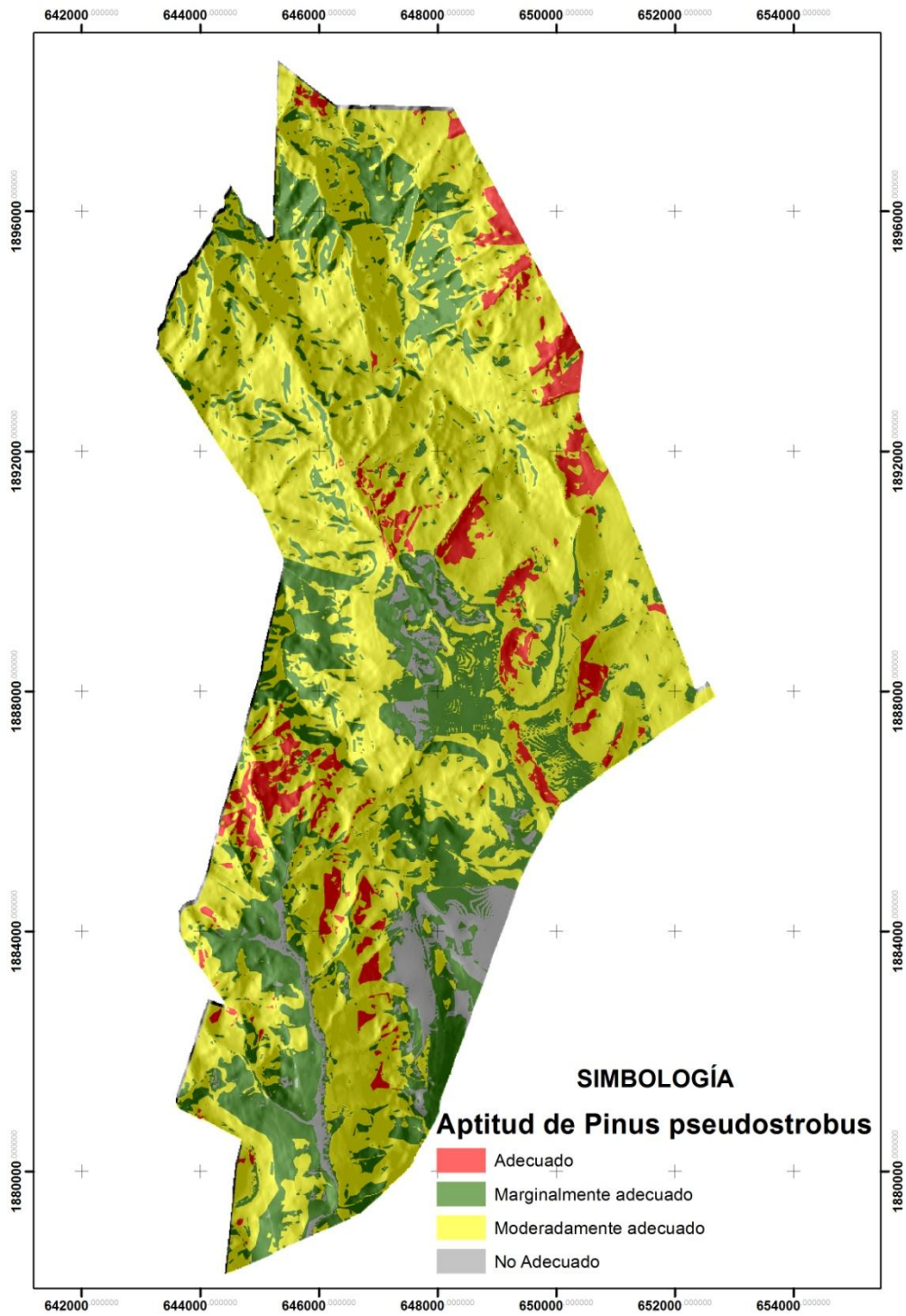


Figura 13 Áreas potenciales para la especie *P. pseudostrobus*



#### **6.4 Plantaciones forestales con fines de restauración de suelo con *P. patula***

Se identificaron las áreas con características evidentes de degradación (cárcavas o canalillos); las zonas de interés por la comunidad para reforestar y restaurar el suelo; así como las áreas desnudas o sin vegetación forestal, cartográficamente como en los recorridos de campo.

El área cartografiada correspondiente a suelo desnudo y degradado suma 267.744 ha es una superficie relativamente pequeña pero importante para recuperar. Se sabe que mientras las áreas sean de baja erosión habrá mayor posibilidad de éxito en la rehabilitación de las mismas y el costo de esto será menor. El 39.5 % del territorio se encuentra dentro de la categoría de erosión moderada, el 13.2% dentro de erosión ligera (Aparicio, 2009) por lo que es importante darle atención a éstas áreas. En el Anexo fotográfico (anexo 8) se presentan algunas áreas en las que se ejecutaron acciones de reforestación con especies nativas y otras con suelo desnudo y erosión consideradas en la presente tesis.

Entre los puntos muestreados y de interés por recuperar se encuentran Benito Juárez, Vicente Guerrero y el Campo experimental del Instituto Tecnológico Superior del municipio. Estas áreas tienen una superficie de 52.86 ha, 4.18 ha y 8.46 ha, respectivamente.

La figura 14 muestra el contraste entre el suelo degradado y el suelo desnudo con el mapa de aptitud de *P. patula* lo que permite observar las áreas a restaurar con esta especie y el grado de aptitud de las mismas. En el mapa se han resaltado las tres zonas mencionadas anteriormente, Benito Juárez es adecuadamente apto para la plantación, en lo que respecta a Vicente Guerrero es marginalmente apto; mientras que la superficie del Campo experimental es adecuada y moderadamente adecuada. Como se puede observar el resto de polígonos con suelo degradado y desnudo se ubican al norte y sur del municipio, los cuales tienen superficie moderadamente adecuada para *P. patula*, esto significa la posibilidad de restaurar con éxito estas superficies ya que poseen los requerimientos de la especie.

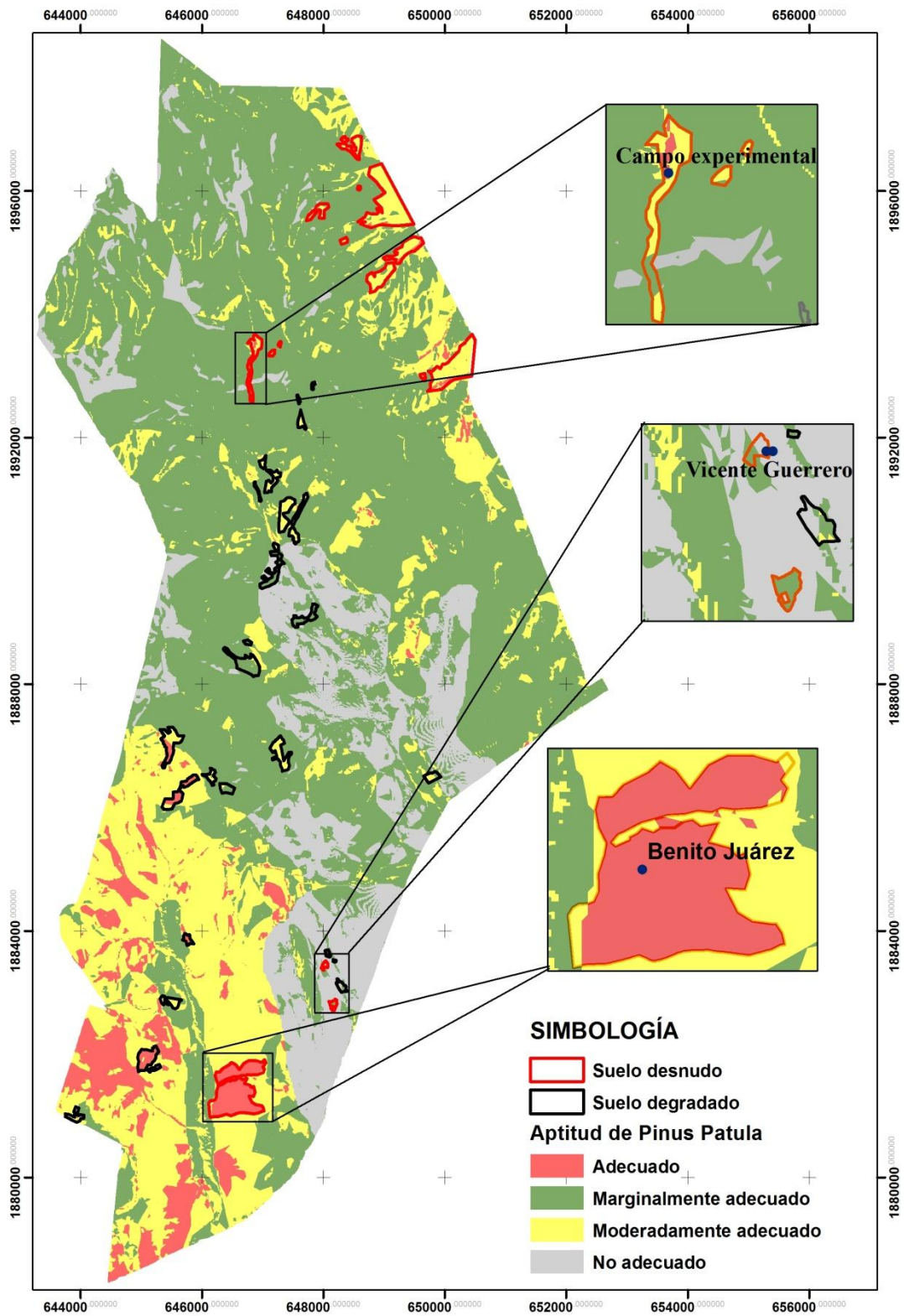


Figura 14 Áreas a reforestar con fines de restauración con la especie *P. patula*

### **6.5 Plantaciones forestales con fines de restauración con *P. pseudostrobus***

Respecto a los resultados obtenidos en torno a las áreas aptas para plantaciones con *P. pseudostrobus* para restaurar suelo, se observó que el suelo desnudo y el suelo degradado se sobrepone a las áreas moderadamente adecuadas para plantar esta conífera.

La figura 15 muestra el contraste entre el suelo degradado y el suelo desnudo con el mapa de aptitud de *P. pseudostrobus* lo que permite observar las áreas a restaurar con esta especie y el grado de aptitud de las mismas. Al igual que en la figura anterior, en el mapa se han resaltado tres zonas: Benito Juárez la cual es moderadamente adecuada para plantar este pino, Vicente Guerrero también moderadamente adecuada y la superficie del Campo experimental la cual tiene aptitud adecuada y moderadamente adecuada para el uso de esta especie.

En cuanto al resto de las áreas, se pueden observar superficies de aptitud adecuada al norte del municipio; así como suelo degradado con la misma aptitud en la zona centro del área. Las cuales son ideales para llevar a cabo restauración con esta especie ya que está asegurando el éxito de la misma.

Como se mencionó anteriormente esta especie puede plantarse en áreas con aptitud adecuada y moderadamente adecuada que tiene todo el municipio pero con una distribución espacial de forma fragmentada. Ésta especie podría ser la mejor opción para restaurar estos sitios

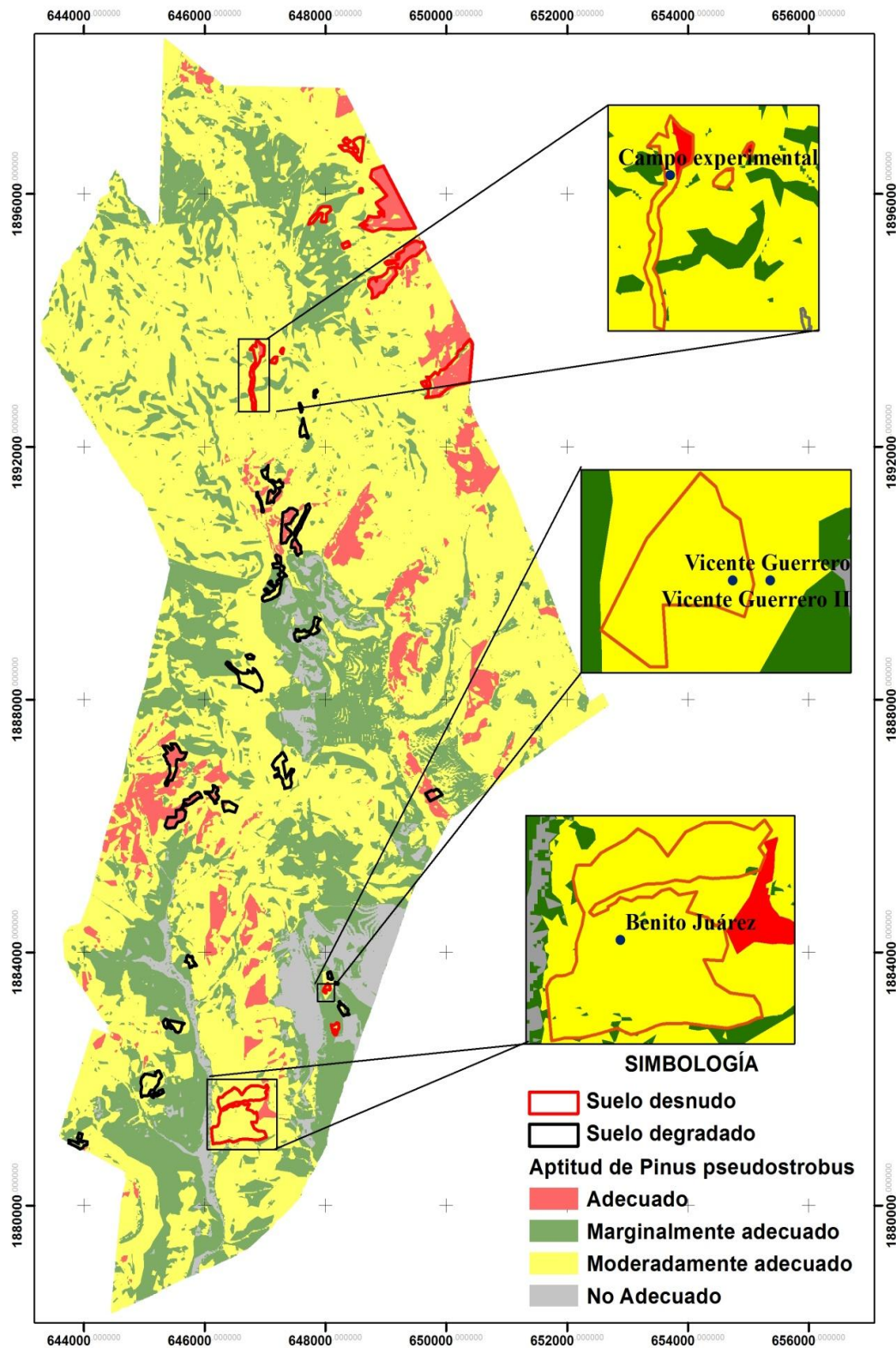


Figura 15 Áreas a reforestar con fines de restauración con la especie *P. pseudostrobus*

## **6.6 Áreas de reforestación, conservación y protección con *P. Patula***

La figura 16 muestra la sobreposición de aptitud de *Pinus patula* con la delimitación del la condición del bosque en el municipio. En el mapa se pueden observar las áreas de Bosque disperso, fragmentado y muy disperso, al sur del municipio, con aptitud moderadamente adecuada y adecuada para llevar a cabo reforestaciones con la especie *P.patula*. Los puntos de interés para la comunidad se encuadran y resaltan en el mapa, éstos son zonas de bosque fragmentado con aptitud adecuada para reforestar con esta conífera, lo que permitirá restaurar la cobertura forestal de estas zonas.

Al norte del municipio se encuentran la mayor superficie de bosque denso, estas son zonas por arriba de los 2900 msnm con aptitud marginalmente adecuada y moderadamente adecuada (superficies más pequeñas) para la especie en cuestión, que pueden ser consideradas como áreas potenciales para conservación. El bosque disperso en esta parte del municipio no cumple con los requerimientos de esta especie resultando marginalmente adecuado para reforestación, sin embargo las pequeñas áreas de bosque fragmentado se encuentran sobre superficies de aptitud moderadamente adecuada, lo cual las hace susceptibles de reforestación con *P. patula*.

El municipio cuenta con áreas que presentan suelos adecuados, con pendiente menor al 15% y con precipitación mayor a los 1000 mm. De acuerdo con Muñoz *et al.* (2010) estas áreas con tales características son apropiadas para el establecimiento de reforestaciones, plantaciones de protección y comerciales con esta especie.

Considerando que esta especie ha presentado buenos resultados en otros países, y en otra ubicación geográfica muy diferente, se puede establecer que dentro del área que ocupa es posible obtener buenos resultados.

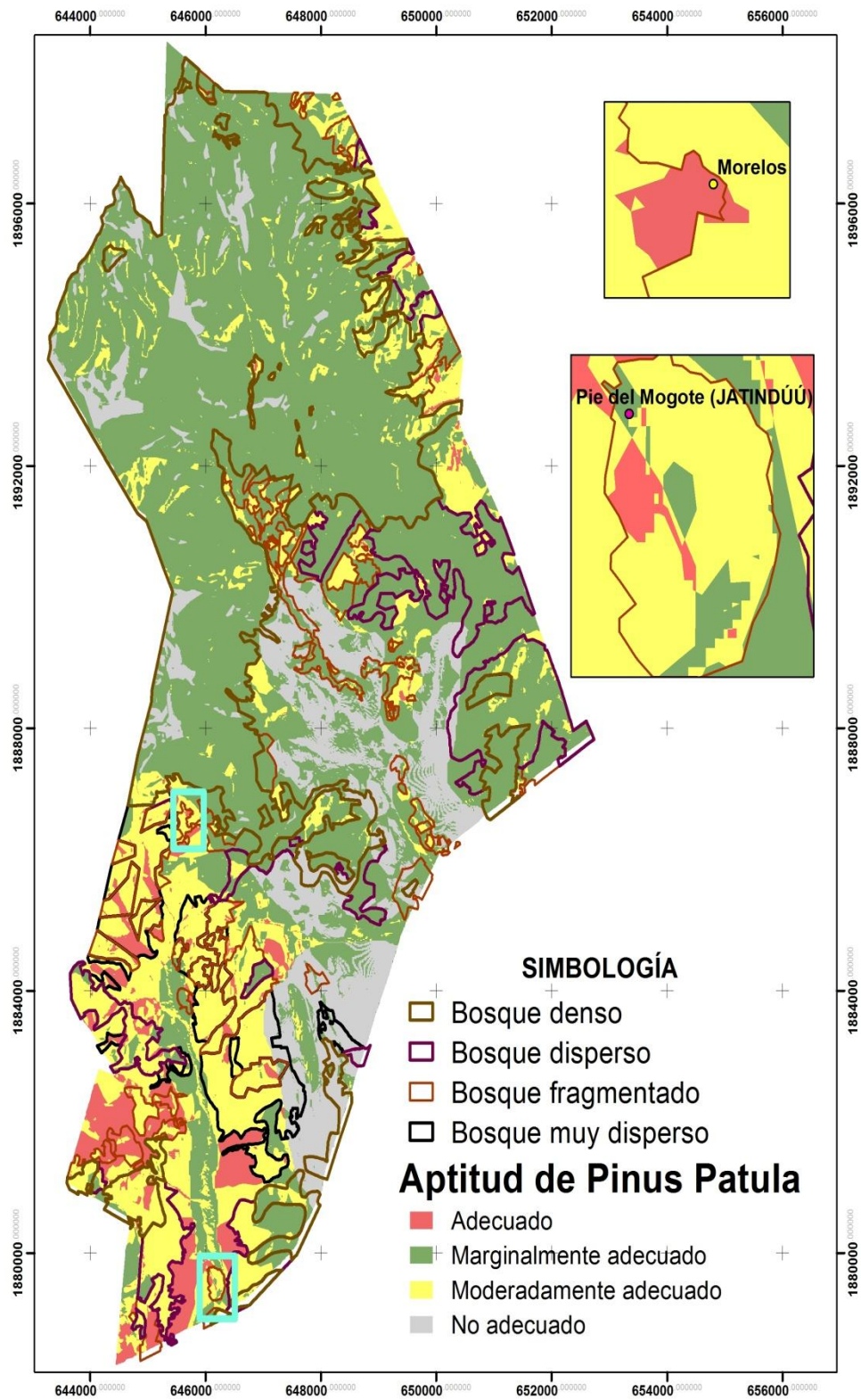


Figura 16 Áreas a reforestar y conservar con la especie *P. patula*

### **6.7 Áreas de reforestación, conservación y protección con *P. pseudostrobus***

La especie *P. pseudostrobus* ha resultado mejor beneficiada con las cualidades ambientales que posee el municipio de San Miguel El Grande ya que cumple con los requerimientos de la misma. La figura 17 muestra lo anterior, las zonas norte, centro y sur del municipio, las cuales tienen aptitud adecuada, se han sobrepuesto a las delimitaciones de bosque fragmentado, contrariamente a la especie *P. patula* que sólo se puede usar para reforestar al sur del municipio, adecuadamente y en este rubro.

Cabe destacar el área que se encuadra en la figura 17, esta zona corresponde a bosque fragmentado con características adecuadas para la especie *P. pseudostrobus*, como se vio en los mapas de las figuras 14 y 15 esta zona de bosque limita con áreas degradadas que pueden ser restauradas con la misma especie y cambiar la condición del bosque fragmentado.

En cuanto a la superficie de bosque denso, se cuenta con áreas marginalmente adecuadas y moderadamente adecuadas para la especie, lo cual las hace zonas de conservación o de uso restringido (Aparicio, 2009).

El bosque muy disperso es marginalmente adecuado para *P. pseudostrobus*; sin embargo pueden realizarse plantaciones de *P. patula* como se mencionó con anterioridad, en este caso esta especie es una alternativa ante *P. pseudostrobus*.

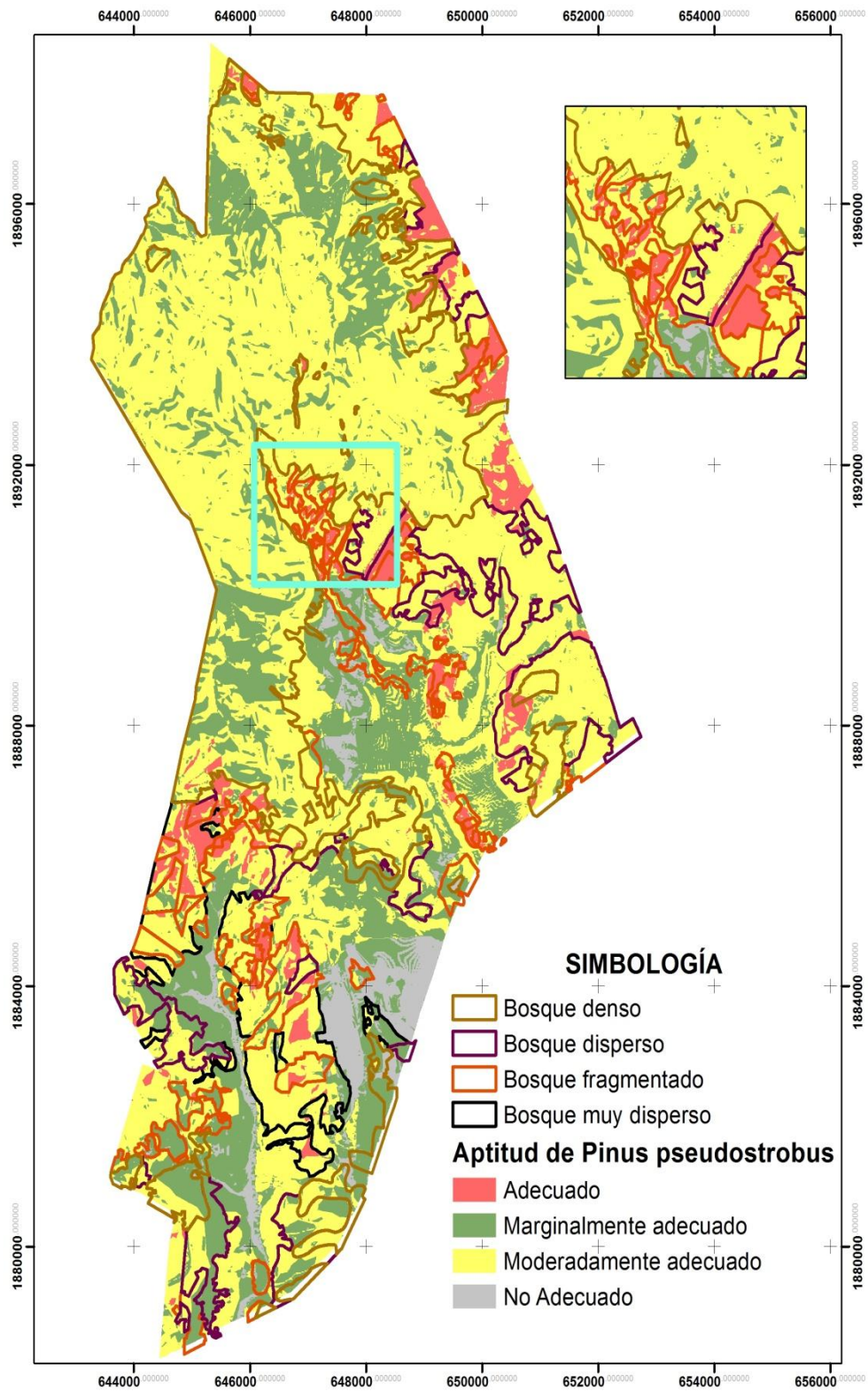


Figura 17 Áreas a reforestar y conservar con la especie *P. pseudostrobus*



## **6.8 Áreas destinadas a mejoramiento de suelo con *P. patula* y *P. pseudostrobus***

Finalmente se muestran los mapas de mejoramiento de suelo en las figuras 18 y 19 en éstos se consideró delimitar el área agrícola y el pastizal inducido y contrastarlo con la aptitud de cada una de las especies para determinar áreas potenciales a mejorar ya sea porque resulten de terrenos agrícolas abandonados y con aptitud para introducir cualquiera de estas coníferas o pastizales resultado de la perturbación por el uso de suelo para ganadería extensiva; así como bosque desmontado.

En primer lugar, la zona sur del municipio de la figura 18 muestra que las áreas de pastizal inducido se sobreponen a la aptitud moderada y adecuada de *P. patula*, por tanto si se planta con esta especie se puede poblar el suelo de esta zona y mejorar el suelo de la misma, de igual forma las áreas agrícolas abandonadas o sin uso podrían cubrirse con esta especie por ser consideradas como moderadamente adecuadas para su uso. Al respecto, la zona norte presenta condiciones moderadamente adecuadas en las áreas con pastizal inducido, mientras que las áreas agrícolas de esta parte del municipio resultan ser marginalmente adecuadas; aquí debe evaluarse con mayor énfasis el mejoramiento de suelo por la limitación de requerimientos.

Por otro lado, en el mapa de la figura 19 puede verse que la zona norte del municipio es la que presenta aptitud adecuada para las áreas de pastizal inducido, mientras que la zona sur del municipio con este mismo uso de suelo se encontró marginalmente adecuado para poblar con *P. pseudostrobus*, lo que no resulta inconveniente alguno, ya que estas áreas pueden ser pobladas con *P. patula* como se mencionó anteriormente. En lo que respecta al uso agrícola suele ser en su mayoría moderadamente adecuada al sur y centro del municipio; sin embargo al igual que en el caso de *P. patula*, se debe prestar atención en la disposición de los terrenos agrícolas con aptitud para cualquiera de las dos especies. Es decir sólo suelo agrícola abandonado o sin uso.

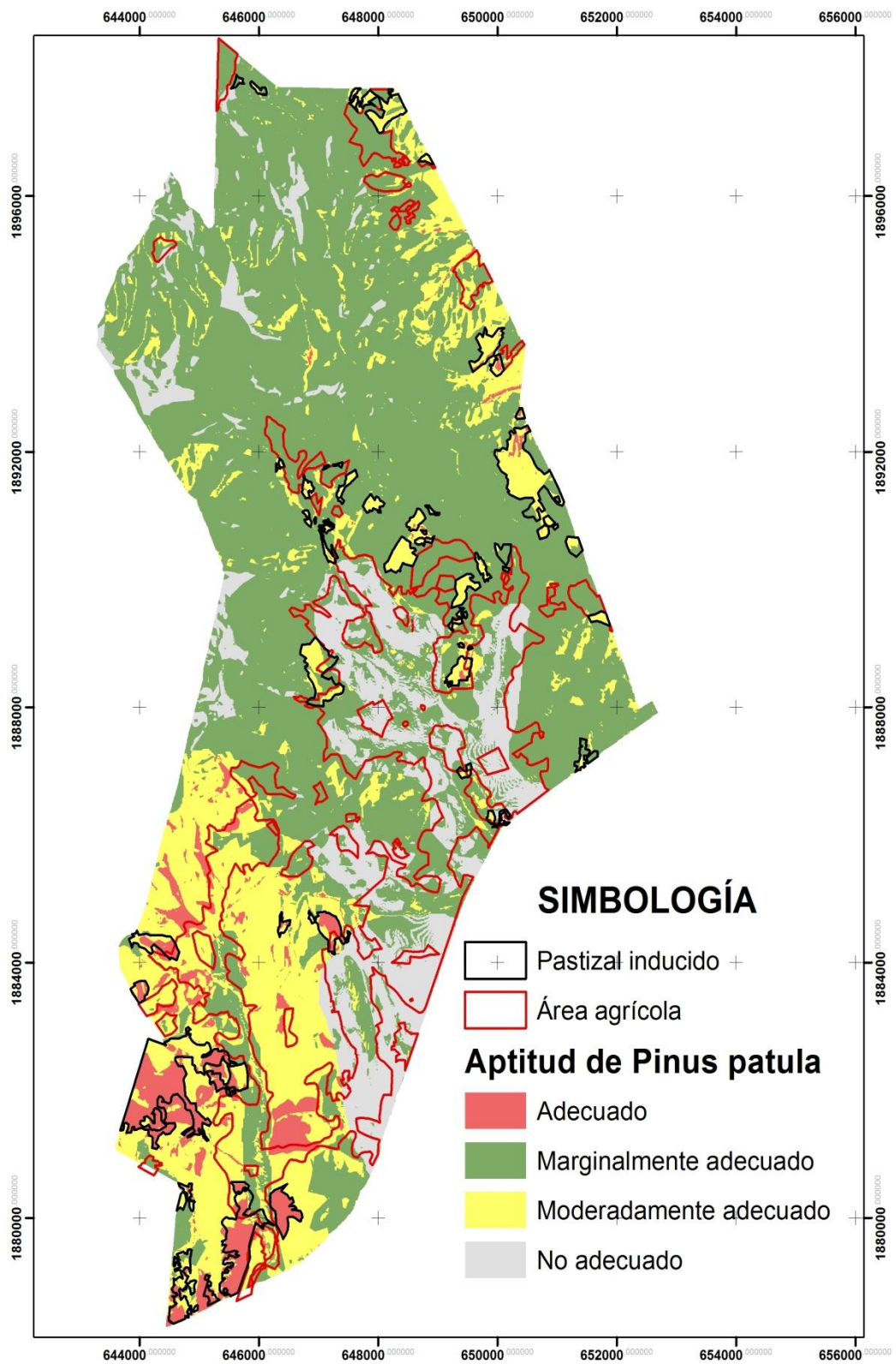


Figura 18 Áreas destinadas a mejoramiento de suelo con *P. patula*

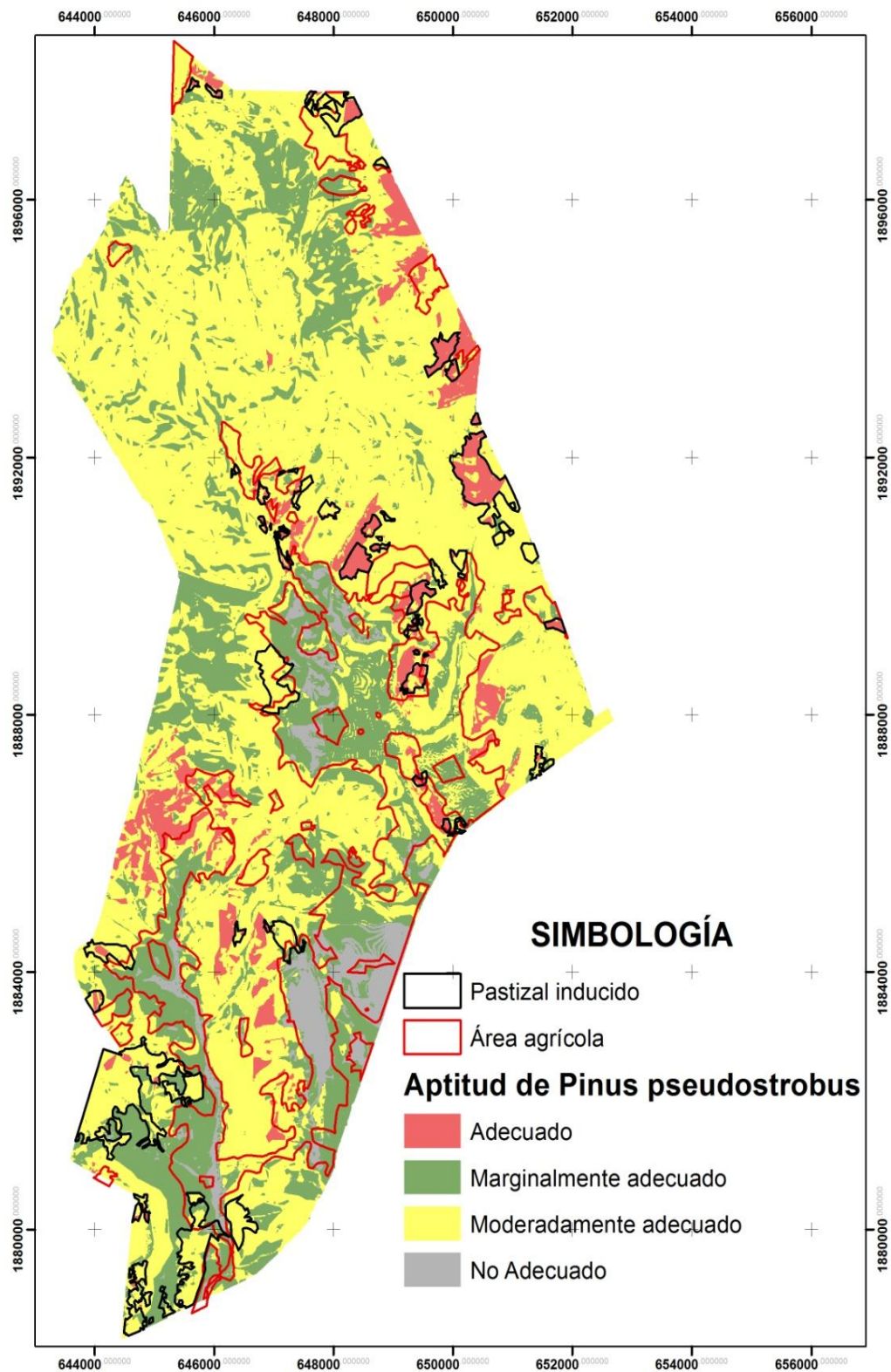


Figura 19 Áreas destinadas a mejoramiento con *P. pseudostrobus*

## 6.9 Propuesta: áreas a reforestar

La superficie total con aptitud adecuada para reforestar el municipio de San Miguel El Grande es de 498 ha y 642 ha con *P. patula* y *P. pseudostrobus* respectivamente. Es importante encontrar la especie adecuada para realizar una plantación en el campo experimental del Tecnológico Superior del Municipio; por lo cual se determinaron 7 ha moderadamente adecuadas para ambas especies, este campo tiene 8.4 ha de superficie aproximadamente; el resultado se debe a la sobreposición de superficie con clasificación moderada, por lo que se considera la posibilidad de plantar cualquiera de las dos especies o individuos alternados en las áreas donde estas coinciden. El suelo degradado y suelo sin vegetación suman 41 ha moderadamente adecuadas para ser plantas con *P. patula* mientras que con *P. pseudostrobus* se calculó una superficie de 68 ha para estos rubros. La superficie total a plantar en el municipio es de 1, 264 ha, la superficie para cada una de las especies es de 547 ha para *P. patula* y 717 ha para *P. pseudostrobus* (cuadros 4 y 5; figuras 20, 21 y 22).

*Cuadro 4 Superficie total y por aptitud para reforestar con Pinus patula*

<b>Aptitud</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Área</b>
Adecuado	498	Municipio
Moderadamente adecuado	7	campo experimental
Moderadamente adecuado	29	Suelo degradado
Moderadamente adecuado	12	Suelo desnudo
<b>Total</b>	547	

*Cuadro 5 Superficie total y por aptitud para reforestar con Pinus pseudostrobus*

<b>Aptitud</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Área</b>
Adecuado	642	Municipio
Moderadamente adecuado	7	Campo experimental
Moderadamente adecuado	56	Suelo degradado
Moderadamente adecuado	12	Suelo desnudo
<b>Total</b>	717	

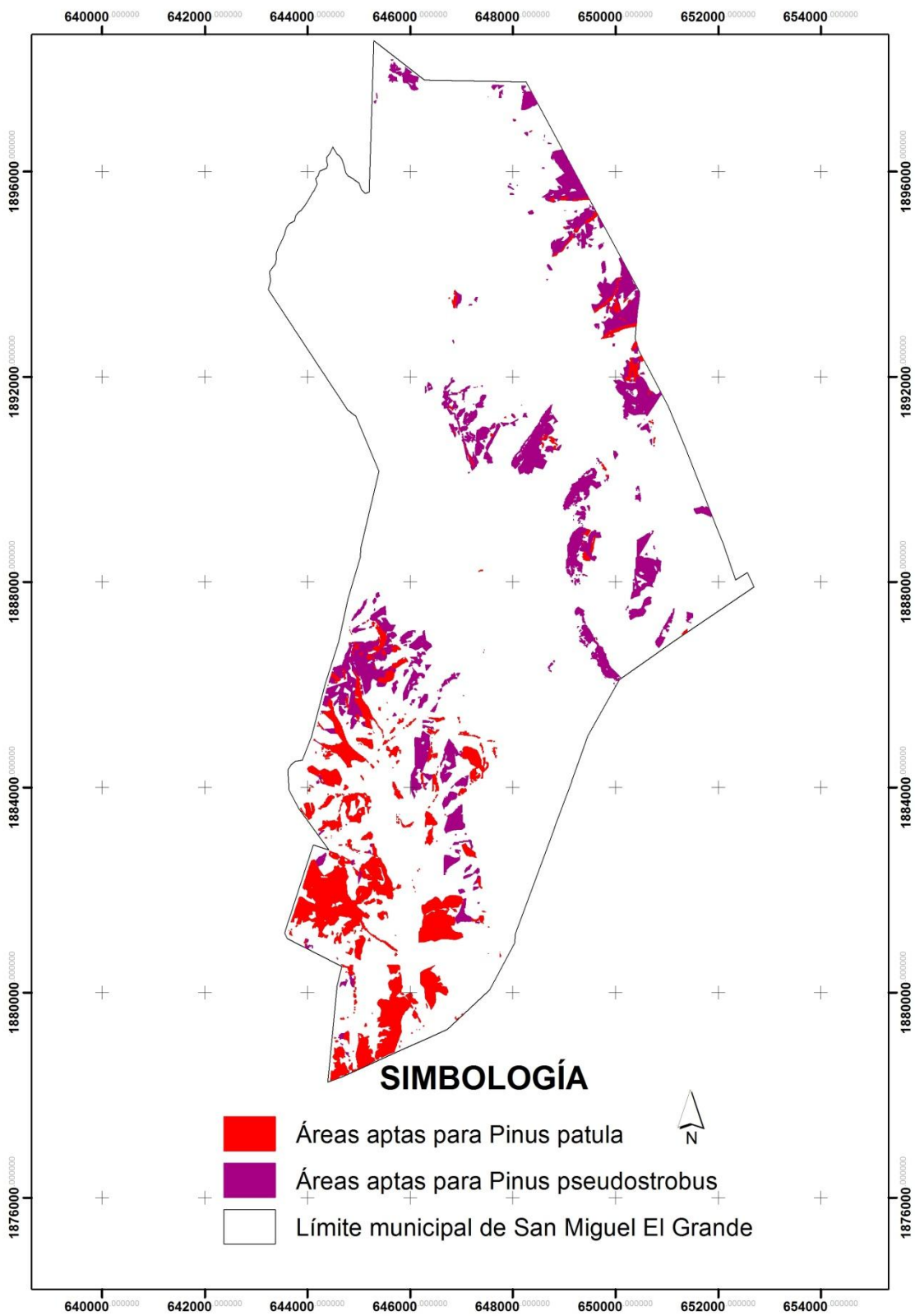


Figura 20 Áreas con aptitud adecuada para *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*

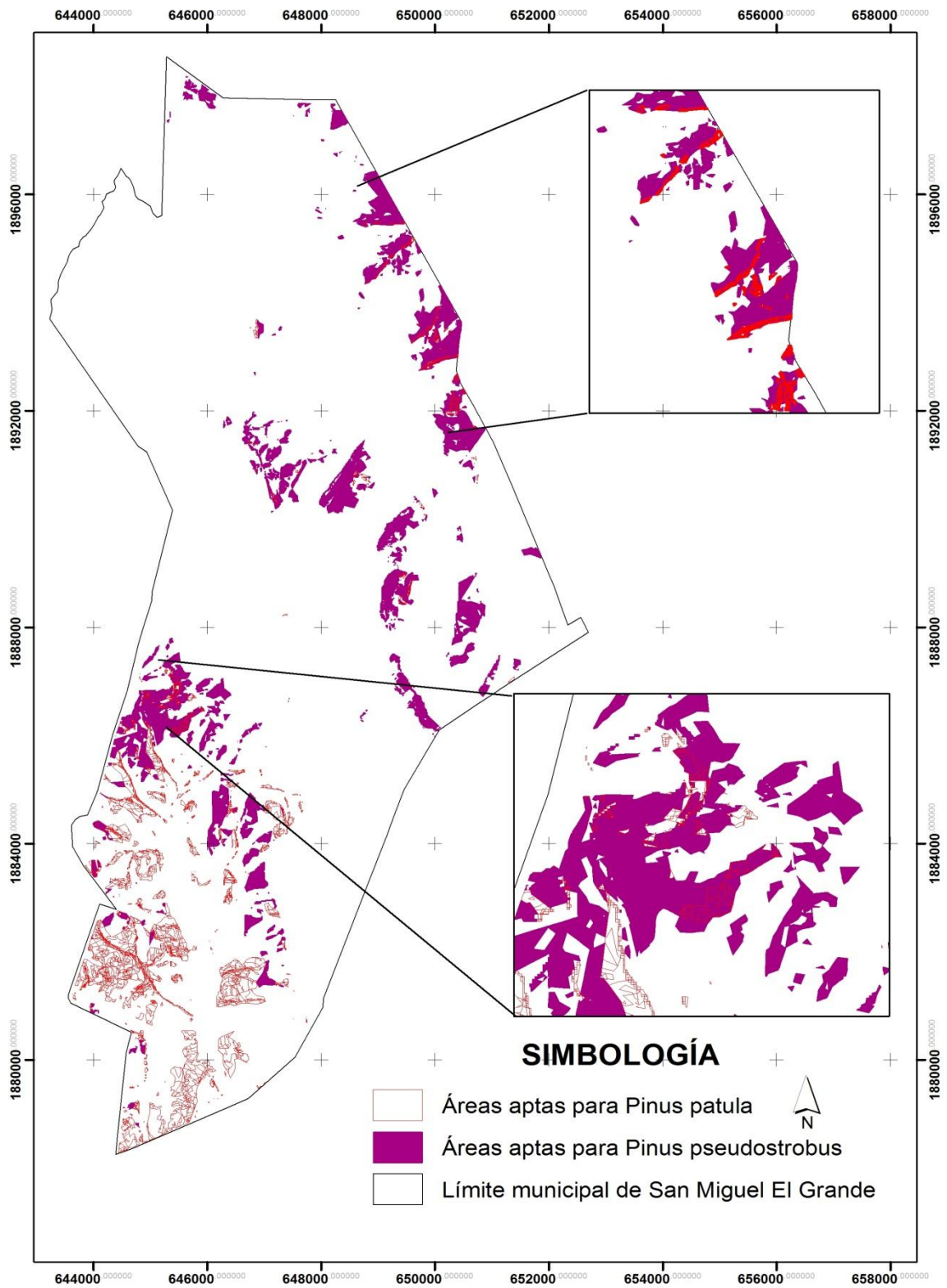


Figura 21 Áreas para reforestar con *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*

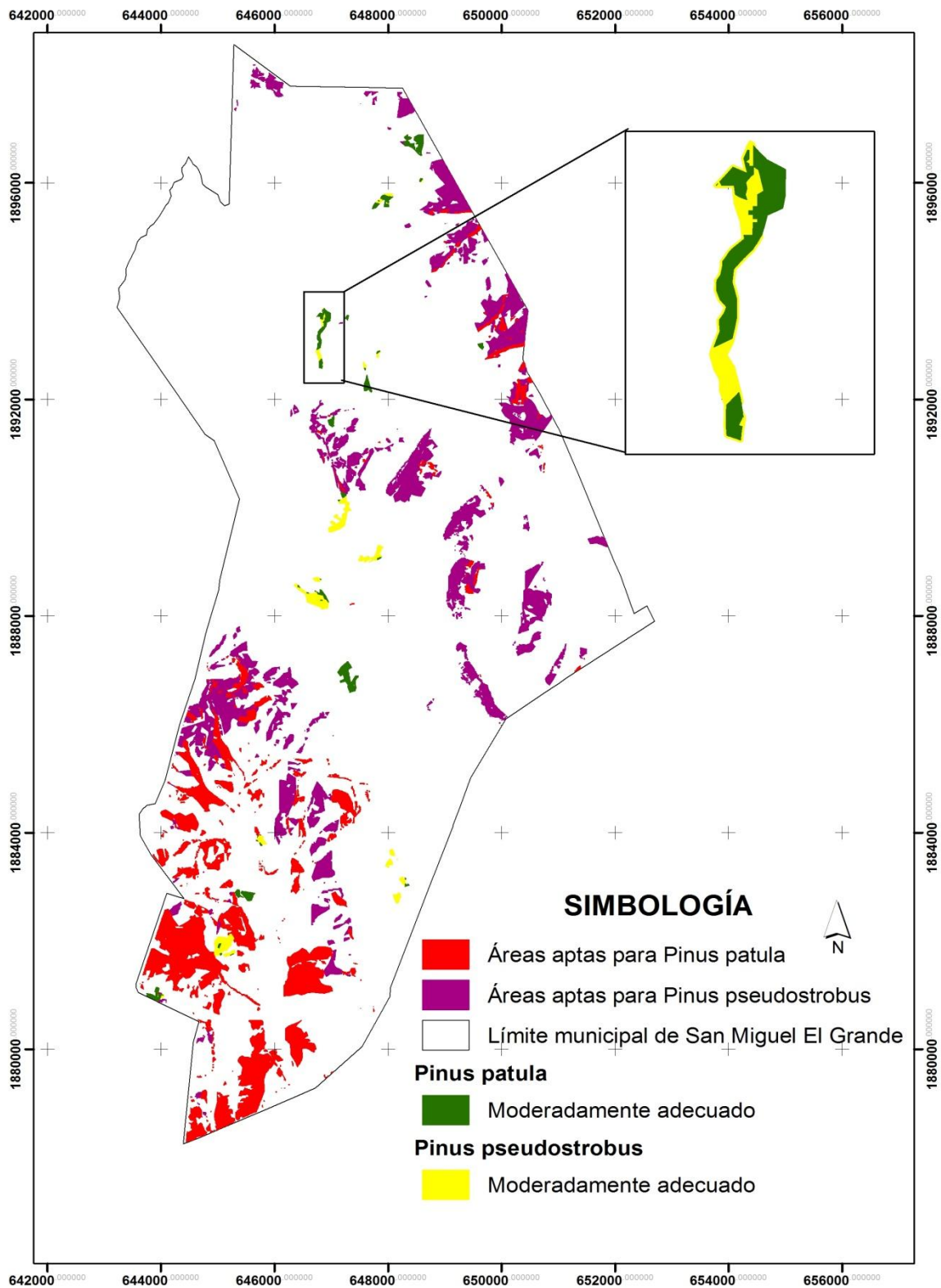


Figura 22 Superficie para reforestar con *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*

Se propone comenzar las reforestaciones en la zona sur del municipio, ya que es la zona más cercana a la cabecera municipal y al vivero del Tecnológico Superior de San Miguel, el cual es fundamental para la producción de planta. También es la zona con áreas a restaurar en comunidades como Benito Juárez, Iturbide y Vicente Guerrero.

Se propone utilizar los métodos y técnicas de plantación adecuadas a cada tipo de área; tales como el de tresbolillo con curvas de nivel y terrazas con achura variable, siguiendo los contornos del sitio, poniendo atención en la extracción y depósito de material. Todo esto, empleando las técnicas de cepa común (hoyos de 30x30x30 cm), esto porque el terreno es generalmente, escarpado.

Posteriormente, se reforestará la zona norte del municipio ya que ésta, está más alejada del área de infraestructura y con acceso más restringidos.

La distancia entre curvas a nivel depende de la pendiente, por tanto la distancia entre estas será de 20, 15 o menor a 10 m ya que predominan pendientes mayores al 10%. La distancia entre árboles para *P. patula* será: 2.5 x 2.5 y para *P. pseudostrabus* 3.5 x 3.5 m. Las dimensiones anteriores permitieron realizar el cálculo del número total de planta a utilizar en la superficie final calculada a reforestar. En una superficie de 547 ha se utilizaran 757,923 árboles de *P. patula* mientras que para *P. pseudostrabus* se utilizarán 506,875 plantas en 717 ha. El número de árboles por hectárea es de 1,382 y 707 árboles por especie respectivamente.

Se dará tratamiento al suelo con base en los resultados del análisis de laboratorio y según los requerimientos de la especie en el área a reforestar.



## **7. CONCLUSIONES**

El planteamiento y utilización de un modelo cartográfico; así como el análisis multicriterio resultó ser muy eficiente para determinar las áreas potenciales

Este tipo de investigaciones que incluyen análisis multicriterio e involucran al medio con la especie, permite tener mayor aprovechamiento de la vegetación forestal si se presta atención en los requerimientos específicos de las mismas. Qué factores se encuentran mejor correlacionados y que puedan asegurar éxito en el desarrollo de la especie en cuestión. Cuál es la mejor adecuación respecto a los rangos de distribución.

De igual forma, es importante conocer las características del medio ambiente o el hábitat de las especies, que sea de nuestro conocimiento los requerimientos ecológicos y ambientales para realizar toma de decisiones acertada en relación a las especies a plantar.

## **LITERATURA CITADA**

- Aparicio, S.E.B.2009. Propuesta de plan de manejo forestal en el municipio de San Miguel El Grande Oaxaca. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. 122 p.
- Aguilera H. N. 1989.Tratado de edafología de México. Tomo I. UNAM. 222 p.
- Bennett, H. 1965. Elementos de conservación del suelo. Fondo de cultura económica. México. D.F. 427 p.
- Bustamante B. y S. Figueroa. 1974. Manual de prácticas de conservación de suelo. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de suelos. Chapingo, México. 15-25 p.
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 1998. The Nature and Properties of Soil.12th.Edition.Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey 07458.
- Bravo M.A. 2007. Estimación maderable y evaluación financiera de plantaciones forestales comerciales de cedro y caoba en Oaxaca, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. México.
- Céspedes F., S.E. y S.E Moreno. 2010. Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. Investigación ambiental. 2 (2): 5-13 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Informe Nacional México, 2010 (FRA, 2010) presentado ante la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). México.
- Cotler H. 2003. Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña. En: Sánchez O., Vega E., Peters E. y Monroy-Vilchis O. (Edits.). 2003. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. INE-SEMARNAT.
- Del Castillo, R.F., J.A. Pérez de la Rosa, G. Vargas Amado y R. Rivera García. 2004. Coníferas. En: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.),

- Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM. Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, México, pp. 141-158.
- Dvorak, W. S. y J. K. Donahue. 1992. Research review 1980-1992. *Central American and Mexico Coniferous Resources Cooperative*. Raleigh, N.C. U.S.A. pp: 37-52.
- Díaz F.V.H. y B.G. Díaz H. 2007. *Paulownia elongata*: Una alternativa para el establecimiento de plantaciones forestales en las áreas tropicales y subtropicales del Estado de Oaxaca.
- Eguiluz Teobaldo Eguiluz Piedra. 1977. Los pinos del mundo. Escuela Nacional de Agricultura Chapingo, México. Folleto No. 1. Pag 60. 74 p. Departamento de enseñanza Investigación y servicio en bosques
- Evans, J. 1982. *Plantation Forestry in the Tropics*. Clarendon, Oxford. 472 p.
- FAO (*Food and Agriculture Organization*), 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Informe principal. FAO, Roma.
- FAO (*Food and Agriculture Organization*), 2009. Guía para la descripción de suelos. Roma, Italia 99p.
- FitzPatrick E. A. 1980. Suelos. Su formación, clasificación y distribución. Longman Group limited. 430 p.
- Fierros A. y F.A. Domínguez. S/D. Las plantaciones Forestales comerciales: Tecnología o fracaso.
- García, M.E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köpen. Editado por la autora. México.
- García-Mendoza, A.J. 1983. Estudio ecológico-florístico de una porción de la Sierra de Tamazulapan, Distrito de Teposcolula. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 112 pp.

- Gillespie, A. J. R. 1992. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Patula pine. Pinaceae. Pine family. USDA. SO-ITF-SM-54. Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. New Orleans, LA. 5 p.
- González D. 1995. Uso potencial del suelo en zonas semiáridas. México. D.F. Editorial Alfaomega.
- González R. 2009. Los bosques de Oaxaca: una visión de fin de siglo, En: V.R. Martínez (Coord.), Oaxaca: escenarios del nuevo siglo, (pág.15). Oaxaca-SIBEJ-SAI-IISUABJO.
- Gómez-Romero M., Soto-Correa J., Blanco-García J., Sáenz-Romero C., Villegas J., Lindig-Cisneros R. 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia* 46: 795-807.
- Grupo Mesófilo A.C. 2010. Estudio de Ordenamiento Territorial Comunitario en San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca. 186 p.
- Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Barcelona, España. Editorial Reverté. 335 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2004. Síntesis de Información Geográfica del estado de Oaxaca. 160 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). S/D. Red hidrográfica, escala 1:50000 edición 2.0.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. Edafología. Conjunto de datos vectoriales de la carta edafológica escala 1:250000. Serie I. Oaxaca, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. Geología. Conjunto de datos vectoriales de la carta edafológica escala 1:250000. Serie I. Oaxaca, México.
- Kaplán A., Labella S., Rucks L., Durán A. y Califra A. 2011 Guía para la descripción e interpretación del perfil de suelo. FAO.

- Krasilnikov P. 2011. Distribución espacial de los suelos y los factores que la determinan. En: Geografía de suelos de México. Editores: Pavel Krasilnikov; Jiménez Nava Fco. Javier; Trujillo Reyna Teresa y García Calderón N. Eugenia. Facultad de Ciencias UNAM. México, D.F. p.3
- Leal-Nares O., M. E Mendoza, D. Pérez-Salicrup, D. Geneletti, E. López-Granados y E. Carranza. 2012. Distribución potencial de *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. Revista Mexicana de Biodiversidad 83:1152-1170 p. doi: 10.7550/RMB.27199
- Loock, E.E.M. 1950. The Pines of México and British Honduras. Bull. No. 35 Union of South Africa Dept. For. Pretoria 244 pp. con mapas.
- Lokman A., E. Z. Baskent, A. Gunlu y A.I. Kadiogullari (2007). Classification and mapping forest sites using geographic information system (GIS): a case study in Artvin Province. Environ Monit Assess. doi: 10.1007/s10661-007-9735-x
- López F.R. 2002. Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. Suelos y Climas. CIDIAT. Segunda edición. 273 p.
- López-Upton, Javier. 2003. *Pseudostrobus* Pinus. Descripción de la especie en el *Manual de Semillas de Árboles Tropicales*.
- Macías A. L. 1951. Reforestación. Teoría y Práctica. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Dirección General Forestal y de Caza.
- Martínez, M. 1948. Los pinos Mexicanos. *P. pseudostrobus*. Edit. Botas. México. 184-186 p.
- Martínez, M. 1979. Catalogo de Nombres Vulgares y Científicos de Plantas Mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México.

- Mashayekhan A. y A.S Mahiny. 2011. A Multi-Criteria Evaluation approach to Delineation of Suitable Areas for Planting Trees (Case Study: *Juglans regia* in Gharnaveh Watershed of Golestan Province. *Journal of Rangeland Science*, 1(2). 225-234.
- Monroy C.M. 1995. *Pinus patula* SCHL. Et CHAM., en México. INIFAP, folleto técnico No.29
- Monterroso-Rivas, Alejandro I.; Gómez-Díaz, Jesús D.; Tinoco-Rueda, Juan A. 2013 Bosque. Mesófilo de montaña y escenarios de cambio climático: una evaluación en Hidalgo, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 19, núm. 1, pp. 29-43 Universidad Autónoma Chapingo, Edo. de México.
- Musálem M. Á., A.M Fierros, J. de Dios Bermúdez, M. R. Ruíz y G.E Rojo. 2006. Elección de especies. En: M. Á. Musálem (Comp.), *Silvicultura de plantaciones forestales comerciales* (pp. 19-32). México, Edo. De México.: UACh.
- Munsell color co. Munsell Soil Colour Charts. USA, 1954. Detenal. claves para la descripción de perfiles de suelos.
- Muñoz F.H. J., Orozco G. G., Coria A.V. M., García M. J. J., 2010. Factores ambientales de *Pinus patula* Schl. et Cham. y su adaptación a las condiciones de la Sierra Purépecha, Michoacán. *Foresta Veracruzana*, vol. 12, núm. 2. pp. 27-33,
- Muñoz F.H. J.T. Jesús, R. Sáenz, J. J. García S., E. Hernández M. y J. Anguiano C. 2011. Áreas potenciales para establecer plantaciones forestales comerciales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. en Michoacán. *Revista Mexicana Ciencias Forestales*. 2(5). 29-44p.
- Muñoz F. H. V.M. Jesús, A. Coria, J. J. García S., E. Velazco B. y G. Martínez M. 2012. Evaluación de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. Con dos espaciamientos. *Revista Mexicana Ciencias Forestales*. 3(11). 57-70p.

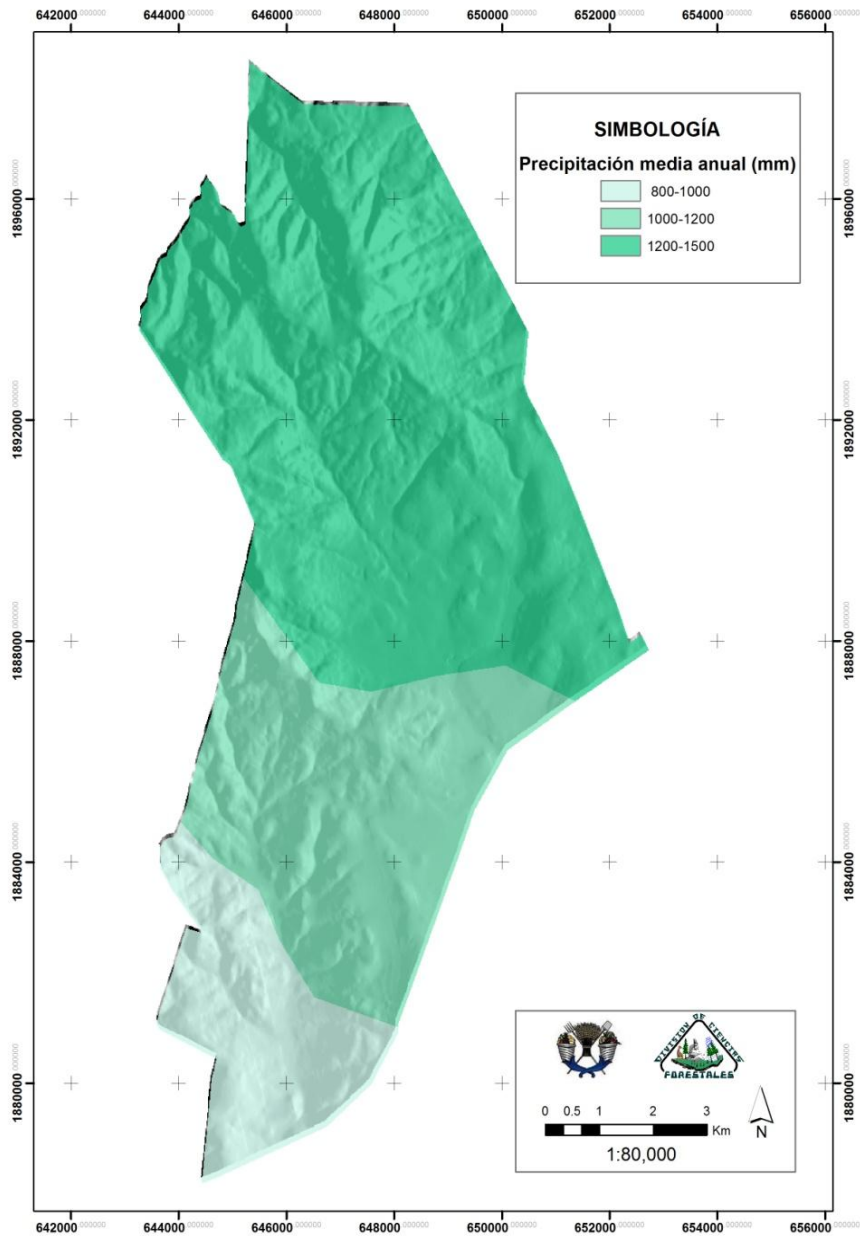
- Negrete-YanKelevich S yBarois Boullard I. 2012. La vida en el suelo. CONABIO. Biodiversitas. 105: 6-9.
- Ordóñez G. C. y Martínez A. R. 2003. Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales. Editorial Alfaomega-RaMa. México
- Ortíz, S., G.M. Anaya, y B.W. Estrada.1991. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. COLPOS, UACH y CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas). Edo de México.161p.
- Pérez M.R. F.S. Moreno, A.G. Hernández y V.A. Padilla. 2012. Escenarios de la Distribución Potencial de *Pinus patula* Schltld. et Cham.y *Pinus pseudostrabus* Lindl. con Modelos de Cambio Climático en el Estado de México. Rev. Mex. Cien. For. Vol. 4 Núm. 15 pp.73-83.
- Perry, J.P.,1991. The Pines of México and Central América. Timber Press. Portland, Oregon. U.S.A. 231 p.
- Pritchett, W. (1990). *Suelos forestales: Propiedades, conservación y mejoramiento*. México D.F.: Limusa.
- Pozzobon E. y Gutiérrez J. 2003. Utilización de un Sistema de Información Geográfica para la selección y priorización de áreas a reforestar en los alrededores de la ciudad de Mérida, Venezuela. Revista Forestal Venezolana 47 (2). 61-72 p. ISSN: 0556-6606.
- Rubio B. A. y Gutiérrez P. J. 1997. *Revista General de Información y Documentación*, Vol. 7, n °1. Servicio de Publicaciones Universidad Complutense. Madrid
- Rojas L. J. M. 2010. Diagnóstico Integral Comunitario de Benito Juárez, San Miguel el Grande, Oaxaca. Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande, Oaxaca.
- SEGOB y Gobierno del Estado de Oaxaca. 1988. Los municipios de Oaxaca. Enciclopedia de los municipios de México. 282 p.

- SIRE (Sistema de Información de Reforestación): CONABIO–PRONARE. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Paquetes tecnológicos. 7 p.
- Stallings, J.H. 1985. El suelo. Su uso y mejoramiento. Editorial Continental. México. 480 p.
- Tarbut, E. J.; Lutgens, F.K., y Tasa, D. Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la geología Física. 8ª edición. Pearson Educación S. A., Madrid, 2005.
- Torres R.J.M. y O.S Magaña. 2001. Evaluación de plantaciones forestales editorial México. Limusa.
- Vela, G. L. 1976. Contribución a la ecología de *Pinus patula* Schl. Et. Cham. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. 171 p.
- Vela, G. L. 1976. *Pinus patula*, Una importante especie mexicana de pino. Ciencia Forestal. Revista del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Vol. 1 No. 1 12-20 p.
- Vela, G. L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula* Schl. Et. Cham. Pub. Esp. 19. INIF. México. 107 p.
- Yañez, E.L. 2004. Las principales familias de árboles en México. UACH. 189 p.

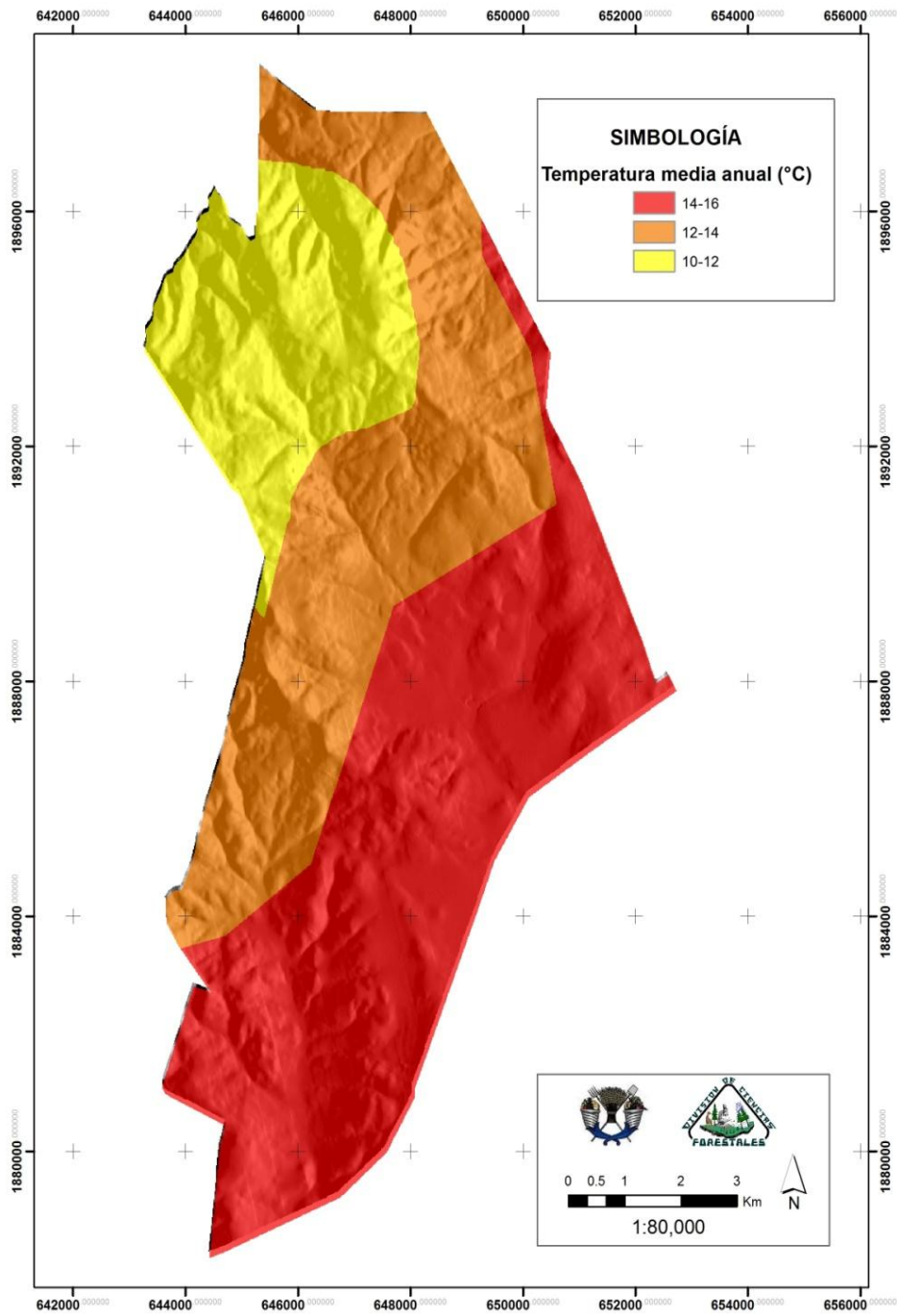


# ANEXOS

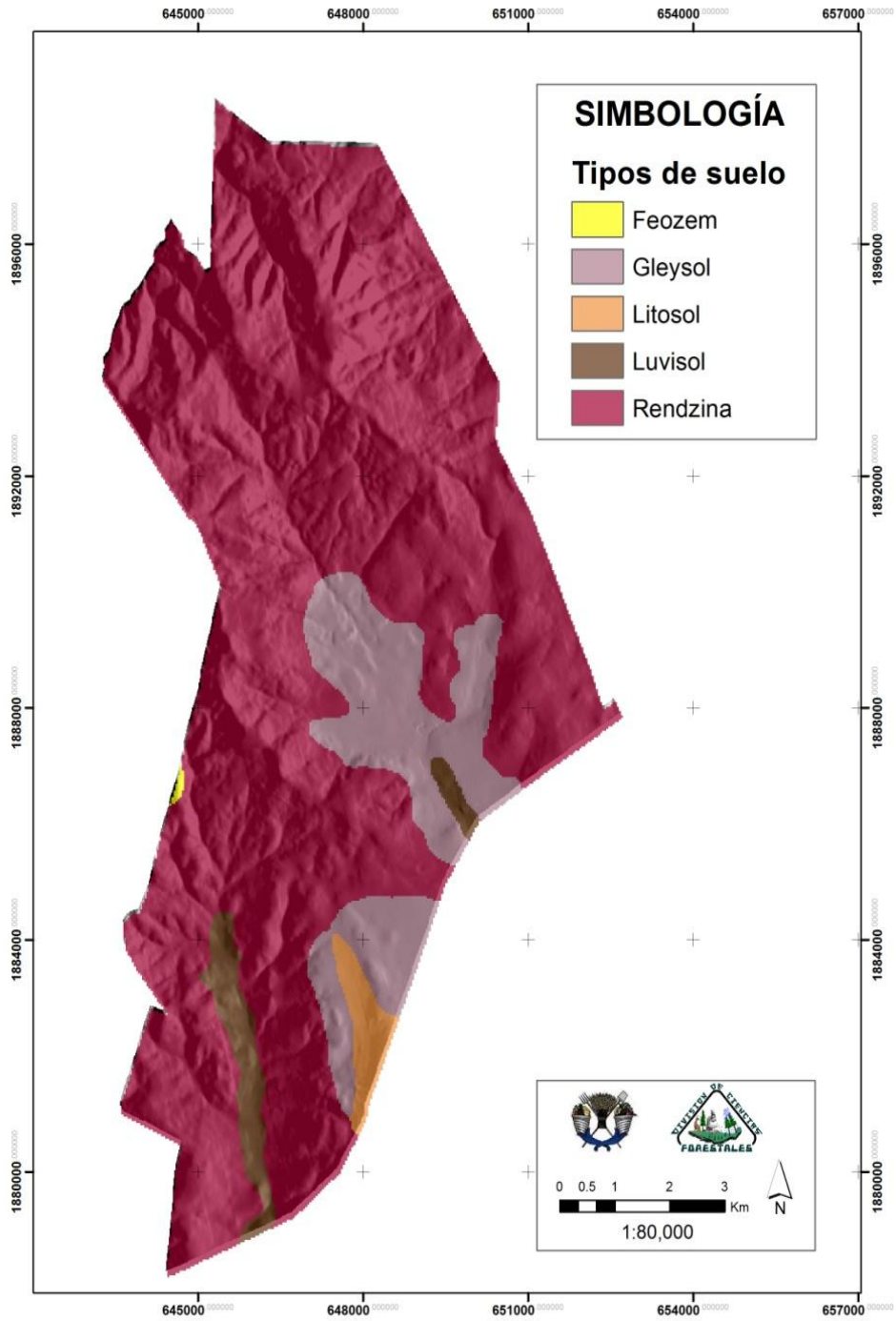
## ANEXO 1. Cartografía detallada y temática para la zona de estudio



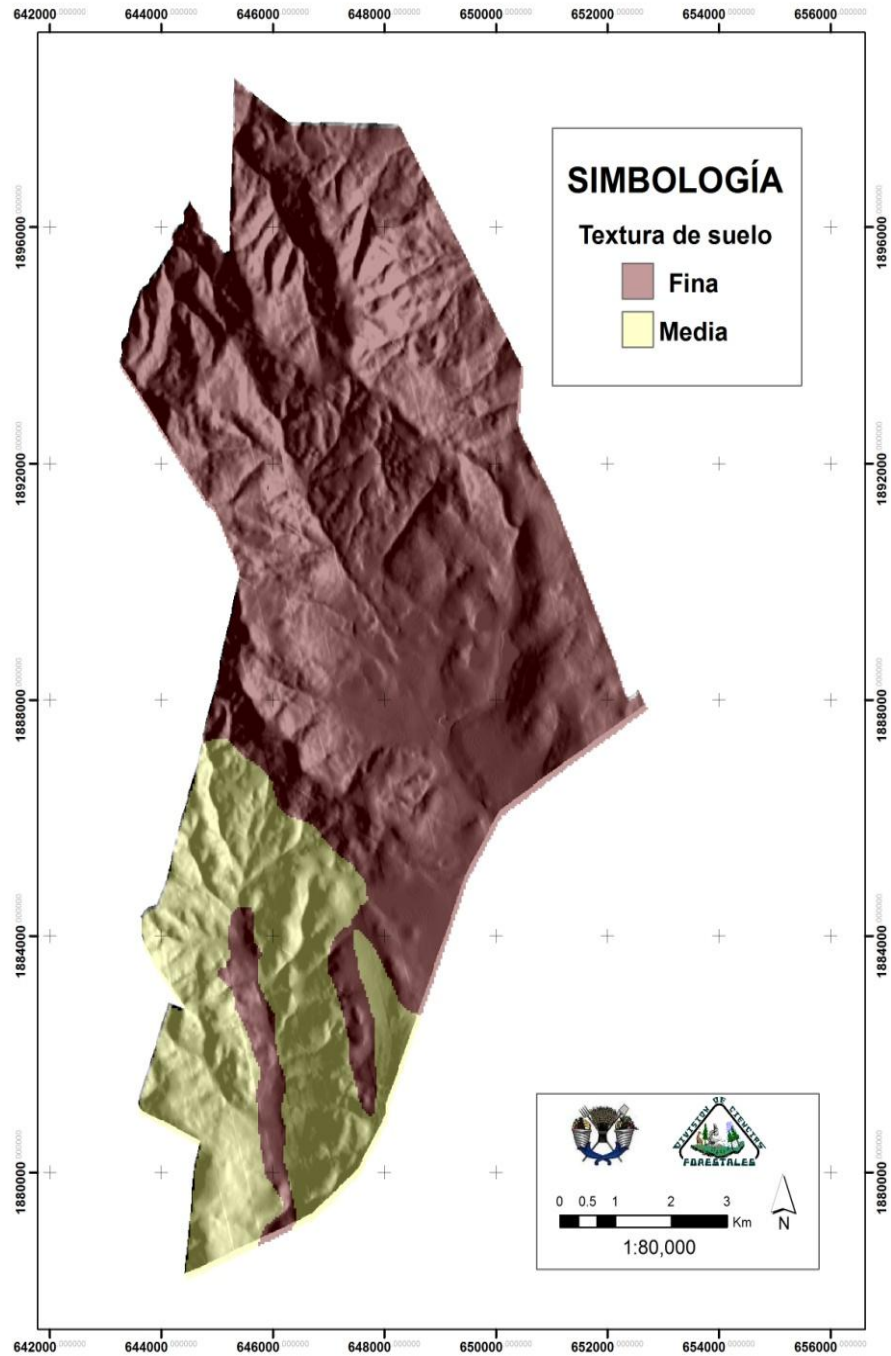
Precipitación media anual del municipio de San Miguel El Grande



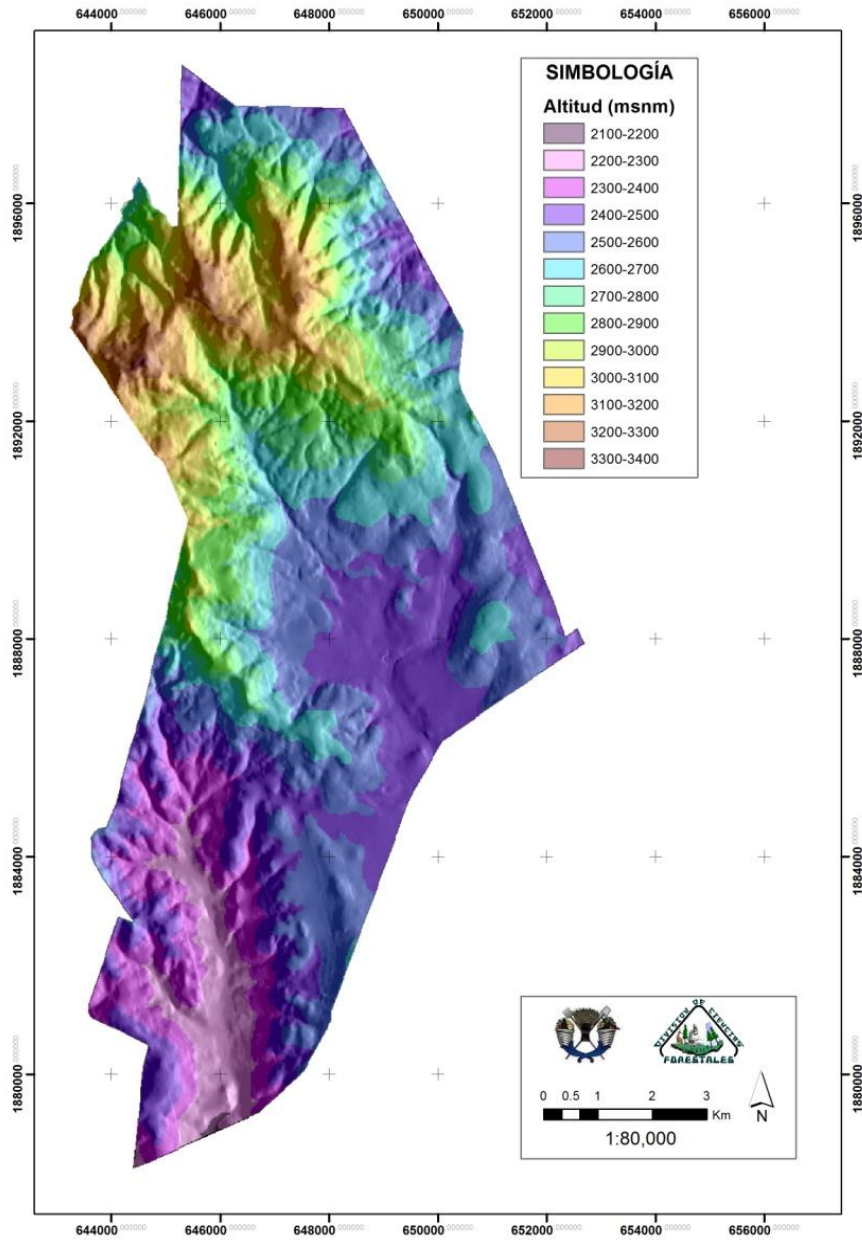
Temperatura media anual del municipio de San Miguel El Grande



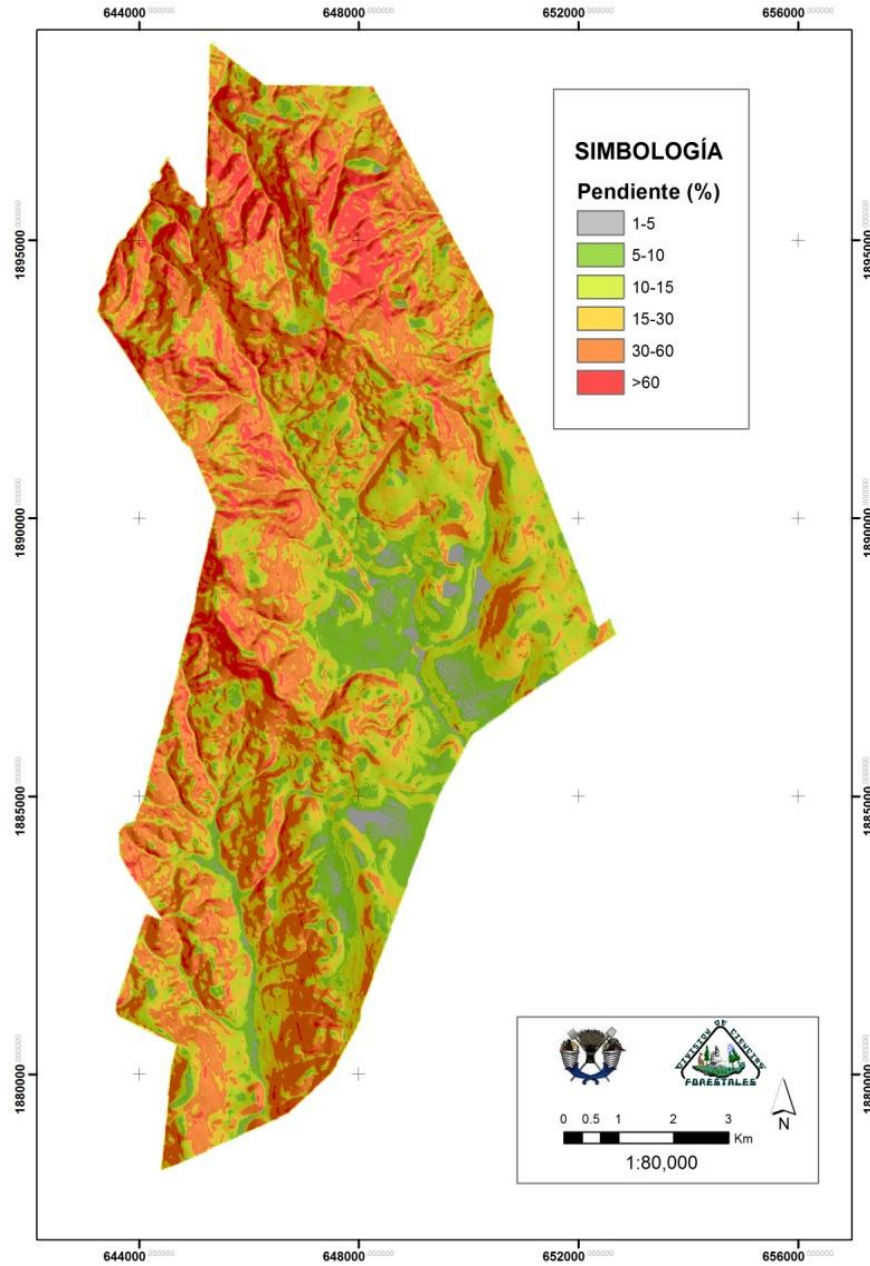
Tipos de suelo del municipio de San Miguel El Grande



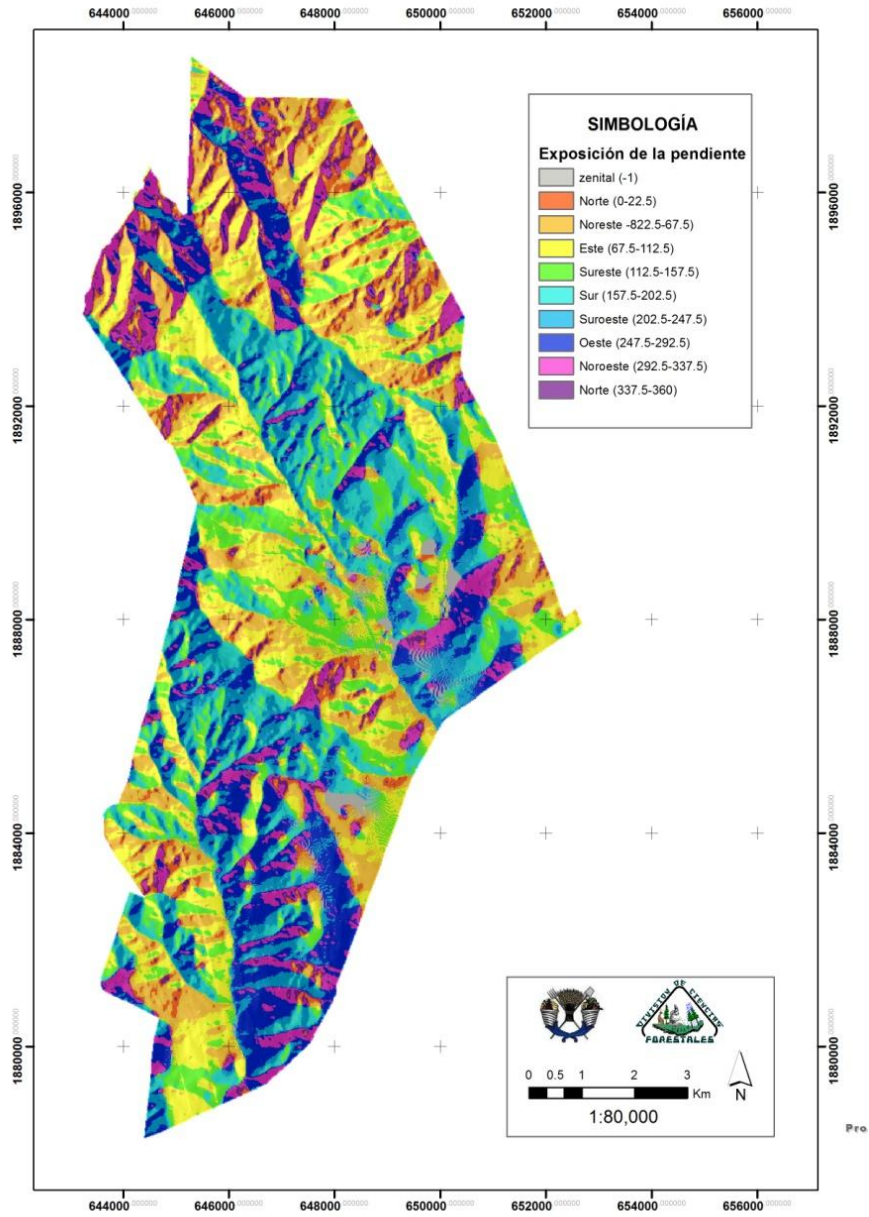
Tipos de suelo del municipio de San Miguel El Grande.



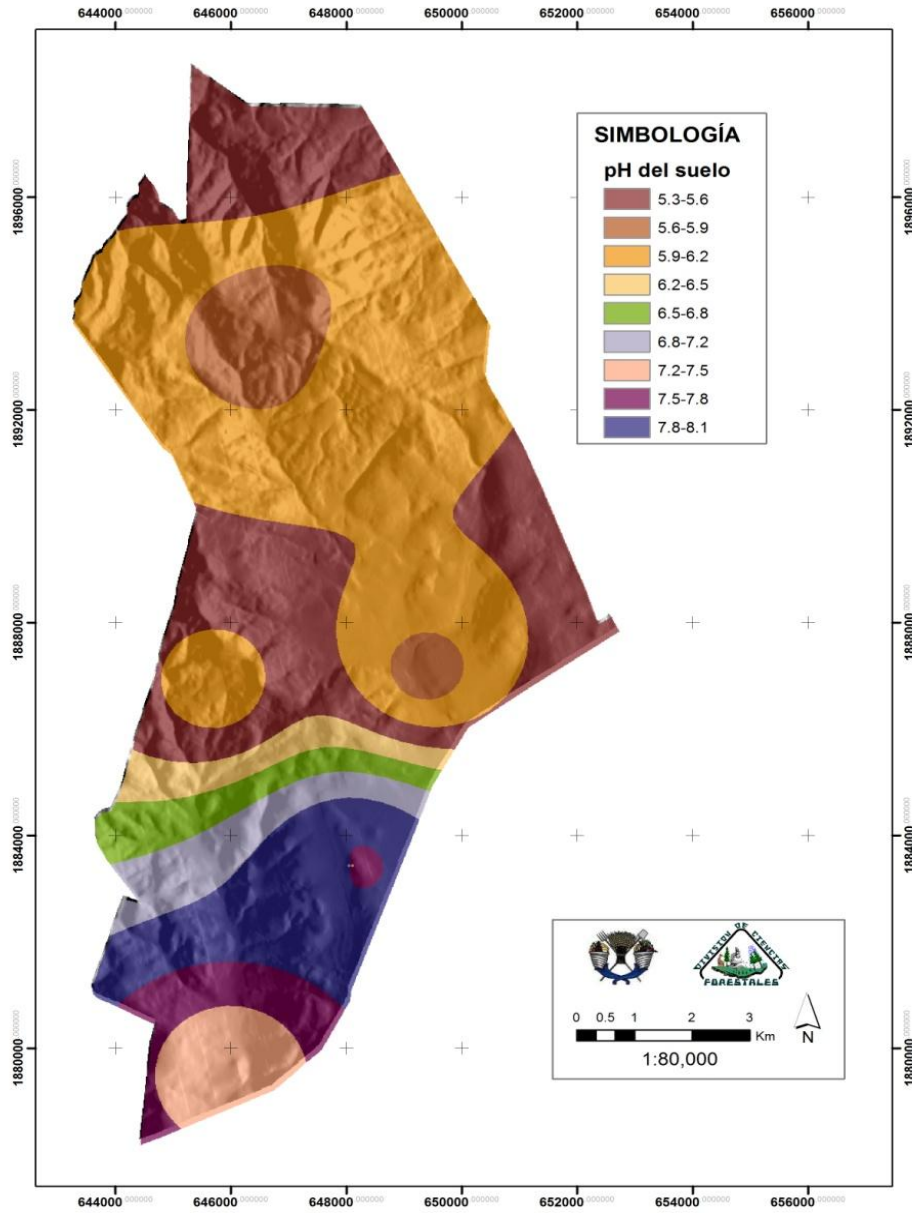
Mapa de Altitudes del municipio de San Miguel El Grande



Mapa de pendientes del municipio de San Miguel El Grande



Exposición de la pendiente del municipio de San Miguel El Grande



pH de suelo del municipio de San Miguel El Grande







#### ANEXO 4. Análisis multicriterio y aptitud de *Pinus patula*

ApPrec	ApTemp	ApPend	ApAltitud	ApExp	ApSuelo	ApTextura	ApPh	ApUsoyVeg	Suma	Aptitud
5	5	1	1	3	5	5	2	1	28	Marginalmente adecuado
5	5	1	1	1	5	5	2	1	26	No Adecuado
5	5	5	1	1	5	5	2	1	30	Marginalmente adecuado
5	5	1	1	1	5	5	2	2	27	No Adecuado
5	5	1	1	3	5	5	2	2	29	Marginalmente adecuado
5	5	1	1	2	5	5	2	2	28	Marginalmente adecuado
5	5	5	1	1	5	5	2	2	31	Marginalmente adecuado
5	5	5	1	1	5	5	2	1	30	Marginalmente adecuado
5	5	5	1	2	5	5	2	1	31	Marginalmente adecuado
5	5	5	5	1	5	5	2	5	38	Moderadamente adecuado
5	5	5	1	1	5	5	2	5	34	Moderadamente adecuado
5	5	5	1	2	5	5	2	5	35	Moderadamente adecuado
5	5	2	1	2	5	5	2	5	32	Marginalmente adecuado
5	5	2	1	2	5	5	2	5	32	Marginalmente adecuado
5	5	5	5	1	5	5	2	5	38	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	2	5	5	2	5	35	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	1	5	5	2	5	34	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	5	5	5	2	5	38	Moderadamente adecuado
5	5	2	1	2	5	5	2	3	30	Marginalmente adecuado
5	5	5	1	1	5	5	2	3	32	Marginalmente adecuado
5	5	1	1	1	5	5	1	1	25	No Adecuado
5	5	5	1	1	5	5	1	1	29	Marginalmente adecuado
5	5	5	1	2	5	5	1	1	30	Marginalmente adecuado
5	5	5	1	1	5	5	1	5	33	Moderadamente adecuado
5	5	5	1	5	5	5	1	5	37	Moderadamente adecuado
5	5	1	1	2	5	5	1	5	30	Marginalmente adecuado
5	5	5	3	5	5	5	5	1	39	Adecuado
5	5	5	3	5	1	5	5	1	35	Moderadamente adecuado
5	5	5	5	5	5	5	5	1	41	Adecuado
5	5	1	5	5	1	5	5	1	33	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	3	1	5	5	1	31	Marginalmente adecuado
5	5	1	5	1	1	5	5	1	29	Marginalmente adecuado
5	5	1	5	3	1	5	5	3	33	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	1	1	5	5	3	31	Marginalmente adecuado
5	5	1	5	5	1	5	5	1	33	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	1	1	5	5	1	29	Marginalmente adecuado
5	5	5	3	2	5	5	3	1	34	Moderadamente adecuado
5	5	5	3	1	5	5	3	5	37	Moderadamente adecuado
5	5	5	3	1	5	5	3	1	33	Moderadamente adecuado
5	5	5	3	2	5	5	3	3	36	Moderadamente adecuado
5	5	5	3	1	5	5	3	3	35	Moderadamente adecuado
5	5	5	3	1	5	5	3	1	33	Moderadamente adecuado
5	5	1	3	1	5	5	5	2	32	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	2	5	5	5	2	33	Moderadamente adecuado
5	5	1	3	2	5	5	3	2	31	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	1	5	5	3	2	30	Marginalmente adecuado
5	5	5	3	2	5	5	3	5	38	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	1	1	5	5	1	29	Marginalmente adecuado
5	5	1	5	1	1	5	5	1	29	Marginalmente adecuado

**ANEXO 5. Análisis multicriterio y aptitud de *Pinus pseudostrobus***

ApPrec	ApTemp	ApPend	ApAltitud	ApTextura	ApExp	ApSuelo	ApPh	ApUsoyVeg	Suma	Aptitud
5	5	1	5	5	5	5	1	1	33	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	5	3	5	1	1	31	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	3	3	5	1	1	29	Marginalmente adecuado
5	5	5	5	3	1	5	1	5	35	Adecuado
5	5	5	5	5	5	5	1	5	41	Adecuado
5	5	5	5	3	1	5	1	5	35	Adecuado
5	5	5	5	3	1	5	1	5	33	Adecuado
5	5	5	5	3	1	5	1	5	33	Moderadamente adecuado
5	5	5	5	3	1	5	1	5	35	Adecuado
5	5	5	5	3	1	5	1	1	31	Moderadamente adecuado
5	5	5	3	3	3	5	1	5	35	Adecuado
5	5	5	3	3	1	5	1	5	33	Moderadamente adecuado
5	5	5	3	3	5	5	1	5	37	Adecuado
5	5	1	5	5	1	5	1	3	31	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	3	1	5	1	3	29	Marginalmente adecuado
5	5	1	5	5	3	5	1	3	33	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	5	1	5	1	3	31	Moderadamente adecuado
5	5	1	5	5	5	5	1	3	35	Adecuado
5	5	1	5	5	1	5	1	3	31	Moderadamente adecuado
5	5	5	5	3	5	5	1	2	36	Adecuado
5	5	5	5	3	3	5	1	2	34	Moderadamente adecuado
5	5	5	5	2	1	5	1	2	31	Moderadamente adecuado
5	5	5	3	3	1	5	1	2	30	Marginalmente adecuado
5	5	1	5	3	1	5	1	1	27	Marginalmente adecuado
5	5	1	5	5	1	5	1	1	29	Marginalmente adecuado
5	5	5	3	5	1	5	1	1	31	Moderadamente adecuado
5	5	5	5	3	1	5	1	1	31	Moderadamente adecuado
5	5	5	3	3	1	1	1	5	29	Marginalmente adecuado
5	5	5	5	3	1	5	1	5	35	Adecuado
5	5	1	3	3	1	1	3	5	27	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	3	1	1	1	5	25	No adecuado
5	5	1	3	5	1	1	3	5	29	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	3	1	1	3	5	27	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	3	3	1	1	3	25	No adecuado
5	5	1	3	3	1	1	1	3	23	No adecuado
5	5	1	3	3	1	1	1	3	23	No adecuado
5	5	1	3	5	1	1	1	3	25	No adecuado
5	5	1	3	3	5	1	1	3	27	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	3	1	1	1	3	23	No adecuado
5	5	1	3	5	1	5	3	1	29	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	5	5	5	3	1	33	Moderadamente adecuado
5	5	1	3	3	1	5	3	1	27	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	5	5	5	3	1	33	Moderadamente adecuado
5	5	1	3	3	1	5	1	1	25	No adecuado
5	5	1	3	3	5	5	3	1	31	Moderadamente adecuado
5	5	1	3	3	3	5	3	1	29	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	3	1	5	3	1	27	Marginalmente adecuado
5	5	1	3	3	5	5	3	1	31	Moderadamente adecuado
5	5	1	3	3	3	5	3	1	29	Marginalmente adecuado

**ANEXO 6. Reclasificación de uso de suelo y vegetación y clasificación Aparicio (2009).**

<b>Vegetación y uso de suelo</b>	<b>Superficie total (ha)</b>	<b>Superficie (%)</b>
Área agrícola	2269.66	21.98
Bosque denso	4192.91	40.61
Bosque disperso	1211.33	11.73
Bosque fragmentado	829.31	8.03
Bosque muy disperso	510.39	4.94
Vegetación de galería	16.42	0.16
Pastizal inducido	590.29	5.72
Pastizal/Matorral	190.00	1.84
Cuerpo de agua	6.93	0.07
Zona urbana	238.97	2.31
Suelo degradado	100.11	0.97
Suelo desnudo	167.63	1.62
<b>Total</b>	<b>10323.93574</b>	<b>100</b>

<b>Comunidad</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Superficie (%)</b>
Agricultura de riego	62.1	0.61
Agricultura de temporal	2638.17	25.95
Bosque denso	4014.88	39.49
Bosque disperso	765.46	7.53
Bosque fragmentado	949.86	9.34
Bosque muy denso	196.7	1.93
Bosque muy disperso	122.69	1.21
Vegetación de galería	55.79	0.55
Vegetación secundaria	247.03	2.43
Matorral	50.48	0.5
Pastizal	563.9	5.55
Pastizal Natural	42.03	0.41
Pastizal/Matorral	375.39	3.69
Cuerpo de agua	3.1	0.03
Zona urbana	60.74	0.6
Suelo degradado	17.67	0.17
<b>Total</b>	<b>10165.98</b>	<b>100</b>

## ANEXO 7 Perfiles de suelo

Variable	Vicente Guerrero I			Vicente Guerrero II			Iturbide		
Altitud	2584			2579			2483		
Perfil/Horizonte	1	2	1	2	3	1	2	3	
profundidad (cm)	1-50	50-150	1-35	35-95	95-150	1-35	35-70	60-150	
pH	7.4	6.5	8.1	8	8.5	5.6	5.4	5.6	
%MO	2.478	5.218	1.696	1.304	0.783	23.153	3.261	1.174	
Na (Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup> )	0.349	0.328	0.349	0.371	0.263	0.349	0.349	0.349	
K (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	0.312	0.424	0.186	0.186	0.036	1.076	0.612	0.324	
Mg (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	1.048	3.3568	1.3296	1.536	1.1264	4.0864	1.9424	2.2944	
Ca (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	216.69	143.68	228.77	245.30	70.75	215.201597	96.862275	115.35329	
CIC (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	51.73	33.21	40.74	64.92	4.32	121.4395	56.7555	61.1515	
% N total	3.621	2.324	2.85	4.54	0.30	8.501	3.973	4.281	
N inorgánico mg Kg <sup>-1</sup>	0.5495	1.4287	0.77	0.33	-0.33	4.8356	0.7693	0	
P (Ppm)	7.44	34.74	1.78	1.58	1.16	8.1965	3.9497	-14.0992	
Textura del suelo	R-arcillosa	R-arcillosa	R-arcillosa	Cr, Franco-arcillosa	Ac, Areno Francosa	R-arcillosa	R-arcillosa	R-arcillosa	
Da	1.1	1.0	1.2	1.1	1.5	sd	1.1	1.1	
Conductividad (dSm <sup>-1</sup> )	0.08	0.11	0.17	0.14	0.08	0.21	0.04	0.01	
color/seco	10YR	5YR	10 YR	5YR	2.5Y	10YR	10YR	10YR	
	6/3	5/4	4/8	4/6	7/4	3/2	5/6	5/6	
color/húmedo	2.5YR	2.5YR	5YR	2.5YR	10YR	5YR	5YR	5YR	
	4/2	3/3	4/6	5/8	7/4	2.5/1	3/2	4/6	
reacción al HCl	SI			NO			NO		
pendiente	30%			35%			10%		

<b>Variable</b>	<b>Pie del Mogote</b>					<b>Benito Juárez</b>
Altitud (msnm)	2267					2264
Perfil/Horizonte	1	2	3	4	5	<b>área a reforestar</b>
profundidad (cm)	1-10	10-30	30-60	60-98	98-130	(30 cm)
pH	6.2	6.6	7	8	8	8.1
%MO	16.305	5.218	5.087	2.217	0.913	7.174
Na (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	0.328	0.328	0.393	0.393	0.415	0.306
K (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	1.245	0.825	0.763	0.475	0.299	0.838
Mg (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	3.0368	2.2432	2.3984	1.1008	2.2048	0.688
Ca (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	321.93	217.10	320.40	368.42	108.74	403.16
CIC (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	65.55	58.01	73.71	42.63	100.09	48.91
% N total	4.588	4.061	5.160	2.984	7.006	3.423
N inorgánico mg Kg <sup>-1</sup>	4.84	0.99	1.32	0.44	2.97	-0.11
P (Ppm)	8.20	34.74	12.89	12.89	1.16	2.83
Textura del suelo	R-arcillosa	R-arcillosa	R-arcillosa	R-arcillosa	R-arcillosa	R-arcillosa
Da	0.7	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0
Conductividad (dSm <sup>-1</sup> )	0.22	0.15	0.1	0.18	0.18	0.19
color/seco	10 YR	10 YR	10 YR	10 YR	10 YR	10 YR
	4/10	5/2	5/2	6/3	5/6	4/2
color/húmedo	5YR	5YR	5YR	5YR	5YR	5YR
	2.5/1	3/3	4/4	4/4	6/8	2.5/1
reacción al HCl			NO			NO
pendiente			15%			32%

Variable	Campo experimental			Morelos	
Altitud (msnm)	3137			2573	
Perfil/Horizonte	1	2	1	2	3
profundidad (cm)	1-45	45-100	55-80	1-55	80-120
pH	5.7	5	6.1	6.1	5.4
%MO	1.174	2.217	1.696	2.870	1.044
Na (Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup> )	0.284	0.328	0.393	0.436	0.545
K (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	0.149	0.399	1.496	1.013	0.512
Mg (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	0.6304	0.48	3.704	0.9568	3.3248
Ca (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	70.26	65.36	167.15	214.90	143.33
CIC (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	54.24	50.79	72.77	76.85	47.02
% N total	3.797	3.555	5.094	5.380	3.292
N inorgánico mg Kg <sup>-1</sup>	0.99	-0.33	1.10	1.21	0.88
P (Ppm)	trz	7.1348	19.8752	trz	trz
Textura del suelo	R-arcillosa	Cr, Franco-arcillosa	Cr, Franco-arcillosa	Cr, Franco-arcillosa	Cr, Franco-arcillosa
Da	1.0	1.0	1.3	0.4	2.8
Conductividad (dSm <sup>-1</sup> )	0.05	0.05	0.19	0.11	0.09
color/seco	10YR	5YR	10YR	10YR	10YR
	6/3	7/2	5/4	4/2	4/4
color/húmedo	10YR	5YR	5YR	5YR	5YR
	3/4	4/3	4/3	2.5/1	2.5/2
reacción al HCl	NO			NO	
pendiente	5%			5%	



Variable	Lázaro Cárdenas					bosque de <i>P. pátula</i> y <i>P. pseudostrabus</i>
Altitud (msnm)	2660					3132
Perfil/Horizonte	1	2	3	4	5	área a reforestar
profundidad (cm)	1-45	45-82	82-102	102-137	137-157	30 cm
pH	5.9	6	6.4	6.4	6.4	5.9
%MO	6.783	8.087	4.304	2.609	1.696	32.609
Na (Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup> )	0.349	0.328	0.415	0.349	0.415	0.284
K (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	0.475	0.324	0.725	0.487	0.650	0.274
Mg (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	4.296	2.3888	3.1856	2.7984	2.232	0.8688
Ca (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	127.47	141.94	228.90	151.43	107.90	96.69
CIC (Cmol(+)Kg <sup>-1</sup> )	79.0495	88.4695	50.4755	47.3355	62.7215	61.7795
% N total	5.533	6.193	3.533	3.313	4.391	4.325
N inorgánico mg Kg <sup>-1</sup>	1.2089	1.7584	1.6485	0.4396	1.099	10.0009
P (Ppm)	-4.54	3.95	43.23	-6.67	-14.10	-14.10
Textura del suelo	Cr, Franco-arcillosa	R-arcillosa	Cr, Franco-arcillosa	R-arcillosa	C, Francosa	Ac, Areno Francosa
Da	0.9	0.9	1.0	1.1	0.9	0.8
Conductividad (dSm <sup>-1</sup> )	0.06	0.07	0.05	0.03	0.02	0.03
color/seco	5YR	5YR	5YR	5YR	5YR	10YR
	5/4	5/4	4/4	4/4	5/6	3/4
color/húmedo	5YR	7.5YR	7.5YR	7.5YR	7.5YR	7.5YR
	4/4	3/3	3/4	4/6	3/3	2.5/1
reacción al HCl	NO					NO
pendiente	30%					35%

## ANEXO 8 Anexo Áreas degradadas y superficies a reforestar

### Benito Juárez



### Morelos





**Iturbide**



## Campo Experimental



Bosque de *Pinus patula*

