

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE BIOLOGÍA

ENSAYO DE ESPECIES Y DE COBERTURAS PARA
RESTAURAR SITIOS CON DISTINTO GRADO DE
PERTURBACIÓN.

TESIS DE MAESTRÍA

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

BIOL. PEDRO ANTONIO ALVARADO SOSA

ASESOR:

DR. CUAUHTÉMOC SÁENZ ROMERO

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO DICIEMBRE DE 2006

DEDICATORIA

A mis padres, **Antonio Alvarado Hernández y Hortencia Sosa Tellitud**. Gracias por enseñarme el valor del pensamiento crítico y la trascendencia de las decisiones propias. ¡No pierdan la esperanza puede que no sea un caso perdido!

A mi carnal **Francisco Javier Alvarado Sosa**. Gracias carnal por tu paciencia, sin ella me hubiera tardado el doble en aprender algo de computación.

A mis amigos, quienes estuvieron y también aquellos que no, de ambos trataré de no desperdiciar las lecciones aprendidas. Suerte.

AGRADECIMIENTOS

A CONACyT, por el financiamiento de este trabajo mediante el proyecto CONACyT-SEMARNAT-2002-C01-0760.

Al personal de la Dirección Técnica Forestal de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, en particular a Rafael Echevarría y Manuel Echevarría por el apoyo en el establecimiento y mantenimiento de los ensayos.

Agradezco afectuosamente el apoyo brindado por el Dr. Cuauhtémoc Sáenz R. por la paciencia y el esmero en la dirección de este trabajo.

Agradezco la amable colaboración de mis sinodales: M.C. Arturo Carrillo Sánchez, Dr. Roberto Lindig Cisneros, Dr. Cuauhtémoc Sáenz Romero y al Dr. Diego Pérez Salicrup por la atención y el tiempo brindado para conmigo.

A la Facultad de Biología, la U.M.S.N.H., y todos aquellos profesores, que durante este postgrado se esforzaron honestamente para darme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

A mis amigos, no es necesaria su mención, la amistad no requiere esos formalismos.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE GRÁFICAS	v
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. ENSAYO DE DOS ESPECIES DE PINO EN UN ARENAL VOLCÁNICO CON TRATAMIENTOS DE MEJORAMIENTO DE SUELO	
2.1. INTRODUCCIÓN	5
2.2. METODOLOGÍA	8
2.2.1. ÁREA DE ESTUDIO	8
2.2.2. DISEÑO DE CAMPO	8
2.2.3. EVALUACIÓN DEL EXPERIMENTO	10
2.3. RESULTADOS	12
2.3.1. SUPERVIVENCIA	12
2.3.2. CRECIMIENTO	16
2.4. DISCUSIÓN	18
2.5. CONCLUSIONES	22
III. ENSAYO DE CUATRO ESPECIES DE CONÍFERAS Y TRATAMIENTOS DE COBERTURA PARA RESTAURACIÓN DE SITIOS PERTURBADOS DE BOSQUE TEMPLADO	
3.1. INTRODUCCIÓN	23
3.2. METODOLOGÍA	27
3.2.1. ÁREA DE ESTUDIO	27
3.2.2. DISEÑO DE CAMPO	29
3.2.3. EVALUACIÓN DEL EXPERIMENTO	32
3.3. RESULTADOS	36
3.3.1. ANÁLISIS CONJUNTO ENTRE LOS TRES SITIOS	36
3.3.1.1. CRECIMIENTO	36
3.3.1.2. SUPERVIVENCIA	38
3.3.2. ANÁLISIS CONJUNTO ENTRE LOS TRES SITIOS	40
3.3.2.1. CRECIMIENTO	40
3.3.2.2. SUPERVIVENCIA	41
3.4. DISCUSIÓN	44
3.5. CONCLUSIONES	47
IV. RECOMENDACIONES GENERALES	48
BIBLIOGRAFÍA CITADA	49

INDICE DE CUADROS

CAPÍTULO 2

Cuadro 1. Especie, edad a la plantación, sustrato y tamaño de bolsa de las plantas utilizadas en el experimento.

Cuadro 2. Análisis de la varianza para supervivencia entre especies y tratamientos al suelo después de dos años a la plantación.

Cuadro 3. Prueba múltiple de medias (Tukey) para la supervivencia entre los tratamientos de mejoramiento del suelo.

Cuadro 4. Análisis de varianza para el crecimiento entre especies y tratamientos al suelo dos años después de la plantación.

Cuadro 5. Prueba de Tukey para comparación crecimiento entre especies a dos años a la plantación.

CAPÍTULO 3

Cuadro 1. Gradiente de perturbación de los 3 sitios dentro del experimento.

Cuadro 2. Procedencia, edad y sustrato empleado en vivero de las especies ensayadas en campo.

Cuadro 3. Nivel de significancia del análisis de la varianza para el crecimiento, del análisis de devianza para la supervivencia, y grupos de la prueba múltiple de medias de Tukey. Análisis considerando los tres sitios de manera conjunta.

Cuadro 4. Nivel de significancia ($P \leq$) del análisis de varianza para el crecimiento, y grupos de Tukey para cada uno de los 3 sitios.

Cuadro 5. Nivel de significancia del análisis de devianza para la supervivencia, y grupos de Tukey para cada uno de los 3 sitios.

INDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO 2

Gráfica 1. Supervivencia a uno y dos años de la plantación para las tres especies. *P. pseudostrobus* de 8 meses (Ppseu8), *P. pseudostrobus* de 19 meses (Ppseu19), *P. montezumae* (Pmont).

Gráfica 2. Correlograma isotrópico para supervivencia, probando clases de lapso de intervalo de distancia de 1 metro.

Gráfica 3. Supervivencia de los individuos del tratamiento de plantación de leguminosas, al cabo de 9 periodos de evaluación.

Gráfica 4. Crecimiento de *Pinus montezumae* (Pmont), *P. pseudostrobus* de 8 meses (Ppseu8) y *P. pseudostrobus* de 19 meses (Ppseu19) al término del primer y segundo año después de la plantación.

CAPÍTULO 3

Gráfica 1. Organización de los tratamientos dentro de bloques completos al azar con arreglo de cuadro latino al interior de los tratamientos de cobertura. Al interior de los bloques los tratamientos de cobertura son (parte inferior del gráfico): C = acolchado de corteza, P = plantación de leguminosas y T = testigo (sin cobertura). Al interior del cuadro latino con restricción, aplicado en San Nicolás y Llano de Parío (parte superior del gráfico): C = *Pinus pseudostrobus* - 7 meses; M = *P. montezumae*; P = *P. pseudostrobus* - 19 meses A = *Abies religiosa*, en Llano de Parío: *P. greggii*.

Gráfica 2. Promedio de crecimiento general acumulado entre especies a un año a la plantación.

Gráfica 3. Crecimiento global acumulado entre sitios a un año a la plantación.

Gráfica 4. Supervivencia global acumulado por sitio a un año a la plantación.

Gráfica 5. Supervivencia promedio por especie a un año a la plantación.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los bosques han sido un recurso generoso a lo largo de la historia del hombre. En la actualidad, desafortunadamente, los modelos de aprovechamiento, el cambio de uso de suelo y los incendios, entre otros factores, están causando un fuerte impacto en las masas de bosque en México (Velázquez 2002; Magaña y Madrigal s/f) y el mundo. En México, para finales del siglo veinte, se estimaba que del bosque original con que contaba el país se había perdido el 50%, por la actividad humana directa o indirecta (Toledo 1989; Masera 1996).

A pesar de las altas tasas de destrucción de sus recursos naturales, México ocupa el cuarto lugar mundial en diversidad biológica, con entre el 8 y el 12% de las especies conocidas a nivel mundial, resaltando la destacada diversidad del género *Pinus*. Toda esta diversidad ha evolucionado debido principalmente a la compleja topografía, la amplia gama de climas, y a la función de México como un puente entre dos diferentes zonas biogeográficas, el Neártico y el Neotrópico (Chávez-Carmona s/f), lo que ha derivado en una historia evolutiva muy rica y particular.

El Estado de Michoacán es un buen ejemplo de la riqueza biológica y el conflicto que implica su buen manejo. En cuanto a biodiversidad, se ha calculado que cuenta con casi 6,000 especies descritas entre plantas, mamíferos, aves, reptiles y peces, lo que lo ubica en la quinta posición a nivel nacional (Chávez-Carmona s/f). Esta diversidad tiene un impacto

económico muy importante, un ejemplo destacado son los bosques, ya que según el Inventario Forestal Periódico (SARH, 1994) el Estado de Michoacán cuenta con 4.2 millones de ha con vocación forestal. El aprovechamiento de estos lo ubica como el tercer productor a nivel nacional de madera con alrededor de 1, 000, 000 m³ año⁻¹, no obstante ocupa el sexto lugar nacional en existencias maderables (COFOM 2001).

Siguiendo la tendencia del resto de país, el aprovechamiento forestal es la razón por la cual se pierden entre 40, 000 ha y 50, 000 ha promedio de bosque cada año, dejando alrededor de 704, 000 ha de bosque perturbado (Magaña y Madrigal s/f; Masera 1996), aunque la COFOM (2001) estima la deforestación en 35,000 ha año⁻¹.

La reforestación es el principal esfuerzo realizado para aminorar la tendencia negativa en la destrucción de los recursos forestales en el Estado. La mayor desventaja de la reforestación como técnica, es que la supervivencia de las plantas suele ser demasiado baja, lo que implica una pérdida importante de recursos económicos y humanos. En Michoacán particularmente, la supervivencia se ha calculado en 37.8% para el primer año de plantación (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros 2004).

La alta mortalidad, según reportes de la SEMARNAP (2000), se debe principalmente a la mala elección de especies (17%), sequía(15%), heladas (14%), fauna nociva (12%), pastoreo (11%), fechas inadecuadas de plantación (8%), competencia vegetal (7%), incendios (6%), vandalismo (5%) y pobre calidad de la planta (5%) (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros 2004).

En suma, 46% de la mortalidad registrada para las reforestaciones en el Estado de Michoacán se presenta por condiciones ambientales adversas para las especies utilizadas. Esto está ligado a la falta de información de la respuesta fisiológica de estas especies con respecto a los sitios y condiciones donde están siendo utilizadas para reforestación (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros 2004).

Zobel y Talbert (1999) recomiendan la elaboración de experimentos de prueba, denominados “ensayos de especies”, para poder determinar de mejor manera el potencial de las especies para adaptarse a las condiciones de los sitios de reforestación. Estos ensayos permiten reducir de manera importante los efectos negativos sobre la supervivencia y desarrollo de las especies elegidas para una reforestación, determinando *a priori* qué especies presentan mejores características para soportar y en dado caso aclimatarse a su nuevo ambiente.

La Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, ha aplicado un modelo forestal certificado que tiende a lograr un desarrollo sustentable (Torres, *et al.* en Velázquez *et al.* 2003). En un esfuerzo por continuar con estrategias de buen aprovechamiento, la Comunidad está apoyando el estudio de la restauración ecológica de arenales reminiscentes de la erupción del Volcán Parangaricutiro, que han quedado detenidos sucesionalmente como tales, además de otros sitios con una larga historia de uso agrícola.

A nivel mundial, la restauración ecológica está proporcionando alternativas importantes para el desarrollo de estrategias de manejo de recursos naturales, local y regionalmente, así como para conservación de biodiversidad (Hobbs y Norton 1996).

En lo respectivo al establecimiento de la vegetación nativa en arenales de origen volcánico existe un vacío de información. Entre los pocos trabajos, Lindig-Cisneros *et. al.* (2002) encontró que existe una correlación significativa entre la profundidad de arena volcánica y el área de las islas de vegetación presentes al interior de los arenales, existiendo islas de mayor extensión en las partes menos profundas. De forma simultánea, también fue evaluada la respuesta de una plantación de *Pinus pseudostrabus*, siendo evidente de forma experimental, que existe correlación inversa entre la profundidad de la arena y la tasa de supervivencia y crecimiento de la plantación.

El presente trabajo se divide en dos secciones: la primera, es un ensayo preliminar de especies para *Pinus pseudostrabus* de dos edades y *Pinus montezumae*. En este ensayo se probó también el efecto de tres tratamientos de mejoramiento del suelo: 1) acolchado de corteza de pino, 2) sulfato de amonio como fertilizante y, 3) ausencia de tratamiento. En la segunda sección, se realiza un ensayo de cuatro especies de coníferas: *Pinus pseudostrabus* de dos edades, *Pinus montezumae*, *Pinus greggii* y *Abies religiosa* en tres sitios con distinto grado de perturbación. En este ensayo fue probado el efecto de tres tratamientos de mejoramiento del suelo: 1) acolchado de corteza de pino, 2) introducción de leguminosas fijadoras de nitrógeno, y 3) ausencia de tratamiento.

CAPÍTULO 2

ENSAYO DE DOS ESPECIES DE PINO EN UN ARENAL VOLCÁNICO CON TRATAMIENTOS DE MEJORAMIENTO DE SUELO

2.1 INTRODUCCIÓN

Durante nueve años de actividad, el volcán Parícutín expulsó grandes cantidades de ceniza volcánica, dispersándola en vastas extensiones de tierra en la región de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. La deposición de esta arena se fue acumulando en áreas donde formó lo que hoy se conoce como arenales. Los arenales presentan condiciones microclimáticas muy agrestes para el establecimiento de la vegetación, debido a la rápida pérdida de la humedad, a amplias variaciones de temperaturas del suelo y a la falta de nutrimentos (Frenzen y Franklin 1985; Horn 1968; Lindig-Cisneros *et al.* 2002).

La Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro es reconocida internacionalmente por su manejo certificado del bosque. A partir del aprovechamiento que hacen de éste, están intentando buscar alternativas para restaurar aproximadamente 121 ha de arenales que se encuentran dentro de los terrenos de la Comunidad (Lindig-Cisneros *et al.* 2002). El aprovechamiento forestal que realiza la Comunidad, está basada en dos especies de pino presentes de manera natural en la región: *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae* (Medina *et al.* 2000). Debido a la falta de nutrimentos en los arenales, las plantas de dichas especies muestran un pobre desempeño en reforestaciones en los arenales. Por ejemplo, en una reforestación con *P. pseudostrobus* de 4 años de plantada en estos arenales, en el periodo de enero de 2002 a enero de 2003, la supervivencia fue de 54.6% y

el promedio de crecimiento para el mismo periodo fue de 19.2 cm (Alejandre-Melena 2004).

Estudios realizados por Lindig-Cisneros *et al.* (2002) y Alejandre-Melena (2004) para definir los factores que limitan el establecimiento de *P. pseudostrobus* en sitios afectados por ceniza volcánica, encontraron que existe una relación inversa entre la profundidad de la capa de ceniza volcánica, y la supervivencia y el desempeño de estos árboles.

Whisensant *et al.* (1995) y Alejandre-Melena (2004), concuerdan en que cuando se logran mejores condiciones microclimáticas en el suelo que propicien la acumulación de materia orgánica y nutrimentos, se facilita el establecimiento de las plantas en estas condiciones. Las leguminosas juegan un doble papel, pues además del mejoramiento en las condiciones microclimáticas, acumulan hojarasca que integra cantidades importantes de nitrógeno al suelo (Parrota 1995; Mislevy *et al.* 1990; Ashton *et al.* 1997; Vázquez Yanez 1997), por esto, actualmente están representando una opción importante para la restauración.

Los extremos de temperatura en los arenales presentes durante el año, son otra de las causas importantes por las que existe poca supervivencia. Una técnica utilizada en otros campos para mejorar las condiciones del suelo, como la jardinería, es el acolchado. El acolchado consiste en el establecimiento sobre el suelo de materiales orgánicos e inorgánicos que por su baja conductividad térmica ayudan a evitar o reducir la evapotranspiración, conservar la humedad del suelo, amortiguar o disminuir la temperatura en el suelo y la erosión tanto hídrica como eólica (Barradas 2000 en Blanco-García 2005).

Los tratamientos de acolchado tienen importantes repercusiones en disminuir las diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas, y por ende en la supervivencia de los pinos (Blanco-García 2005).

Por otra parte, en los viveros gubernamentales en Michoacán y a nivel nacional, existe la tendencia a disminuir el tamaño de envase y el tiempo de permanencia de la planta en vivero, con el objetivo de disminuir el costo de producción por planta en los programas de reforestación (como el PRONARE). Sin embargo, aún queda por determinar cual es el impacto de esta medida en la supervivencia de la planta en campo, particularmente en sitios muy perturbados, considerando que la supervivencia de las reforestaciones en México es de 36% para el primer año y probablemente del 10% para el quinto año después de la plantación (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros 2003).

Con la finalidad de restaurar arenales de origen volcánico en la Comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México, se montó un experimento para probar el comportamiento de dos especies de pino nativas, *Pinus pseudostrabus* (de dos edades) y *Pinus montezumae* y seis tratamientos de mejoramiento al suelo.

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 Área de estudio

El experimento se encuentra ubicado en un arenal de origen volcánico en el paraje Mesa de Cutzato (19° 30' 42.4'' N, 102° 12' 03'' O, a 2450 m de altitud) en los bosques de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Al exterior, el arenal se encuentra rodeado por bosque de pino-encino en donde domina *Pinus pseudostrobus*, mientras que al interior la mayor parte del área es un arenal desnudo de vegetación, con algunas islas de vegetación de diferentes tamaños, dominadas por arbustos, principalmente de las especies *Eupatorium glabratum* y *Lupinus elegans* (Lindig-Cisneros *et al.* 2002).

La acumulación de arena en el área se presenta de forma heterogénea, con diferentes profundidades de arena que varían entre los 0 y 74 cm de profundidad. La temperatura puede variar a extremos de -1 a 50° C, dependiendo de la época del año.

2.2.2 Diseño en campo

Con el fin de probar si el mejoramiento de las condiciones del suelo antes descritas, podrían favorecer la supervivencia y el desempeño de las dos especies de pino, se estableció un experimento donde se combinan las dos especies de pino (una de ellas con dos edades), con seis tratamientos de mejoramiento del suelo.

Para el experimento se decidió probar las especies de pino: *Pinus pseudostrobus* de dos edades, 8 y 19 meses, y *Pinus montezumae* de 19 meses. Para efectos del diseño experimental y el análisis estadístico, nos referiremos a estos tratamientos como si fueran

tres especies. La planta provino de viveros de la Comunidad , y fueron producidas a partir de semillas de árboles de rodales naturales de sus bosques (cuadro 1).

Cuadro 1. Especie, edad a la plantación, sustrato y tamaño de bolsa de las plantas utilizadas en el experimento.

Especie	Edad a la plantación (meses)	Sustrato	Tamaño de bolsa
<i>Pinus pseudostrobus</i>	8	Topori*	10x20 cm
<i>Pinus pseudostrobus</i>	19	Topori	25x35 cm
<i>Pinus montezumae</i>	19	Topori	25x35 cm

Los seis tratamientos aplicados en el experimento son una combinación de los factores de fertilización y acolchado: (a) Sulfato de amonio (6 g por parcela en una sola aplicación), (b) sulfato de amonio y acolchado de corteza, (c) plantación de leguminosas (*Lupinus elegans*), (d) plantación de leguminosas y acolchado de corteza, (e) acolchado de corteza y (f) ausencia de tratamiento al suelo (testigo).

Para el tratamiento de cobertura con leguminosas, la semilla se colectó en sitios aledaños al lugar de estudio, durante el periodo de enero a marzo de 2003. La siembra se realizó en junio 2003. Se plantaron 4 plantas de *L. elegans* por parcela de 3 meses de edad.

El diseño utilizado para el experimento fue completamente al azar, en donde cada combinación de especies y tratamientos tuvo cuatro parcelas o réplicas. Se establecieron un total de 72 parcelas. Cada parcela tuvo dos pinos, a una distancia de 1 metro. La distancia

entre los árboles más próximos de dos parcelas diferentes es de dos metros.

El experimento se montó en julio de 2003. No fue necesario realizar ninguna preparación del terreno, ya que el experimento se ubicó en un área del arenal completamente desnudo de vegetación. Se plantó con cepa común.

Para proteger el experimento de la depredación de pequeños herbívoros se colocó una malla de 1 cm de luz y aproximadamente 60 cm de altura, enterrada en el suelo casi 5 cm, rodeando el experimento. Adicionalmente, en un perímetro exterior, se cercó con alambre de púas para evitar el paso de ganado.

2.2.3 Evaluación del experimento

Las variables evaluadas fueron la supervivencia y el crecimiento, entendido éste como el incremento en altura con respecto a la altura de la planta inicial. Las evaluaciones se hicieron en agosto del 2004 y junio de 2005 (1 y 2 años después de la plantación, aproximadamente).

Para evaluar si existieron diferencias significativas en la supervivencia y crecimiento entre especies y entre los tratamientos de mejoramiento del suelo, con los datos de 2 años después de la plantación se realizó un ANOVA con el procedimiento GLM de SAS (SAS 1998), y una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey). Para verificar el análisis de supervivencia se realizó adicionalmente un análisis de devianza con el procedimiento GLM binomial en SPLUS 2000 (Statistical Sciences 1998).

El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + T_j + ET_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = observación, μ = media general, E_i = efecto de especie (considerando a *P. pseudostrobus* de 8 meses como una tercera especie), T_j = efecto de tratamiento, ET_{ij} = interacción especie- tratamiento y ε_{ijk} = error.

Adicionalmente, se realizó un análisis de autocorrelación espacial “I” de Moran con el software GS+ (Robertson 1988), para determinar si se habían presentado patrones espaciales de mortalidad ajenos a los tratamientos en prueba. El lapso de la distancia activa fue de 25.8 metros, equivalente al 80% de la mayor longitud del experimento, mientras que las clases de lapso de los intervalos de distancia (CLID) fueron de 1 metro. Para el cálculo de la significancia estadística de los coeficientes de autocorrelación se utilizó el software DIVA-GIS 4 (DIVA-GIS 2004).

2.3 RESULTADOS

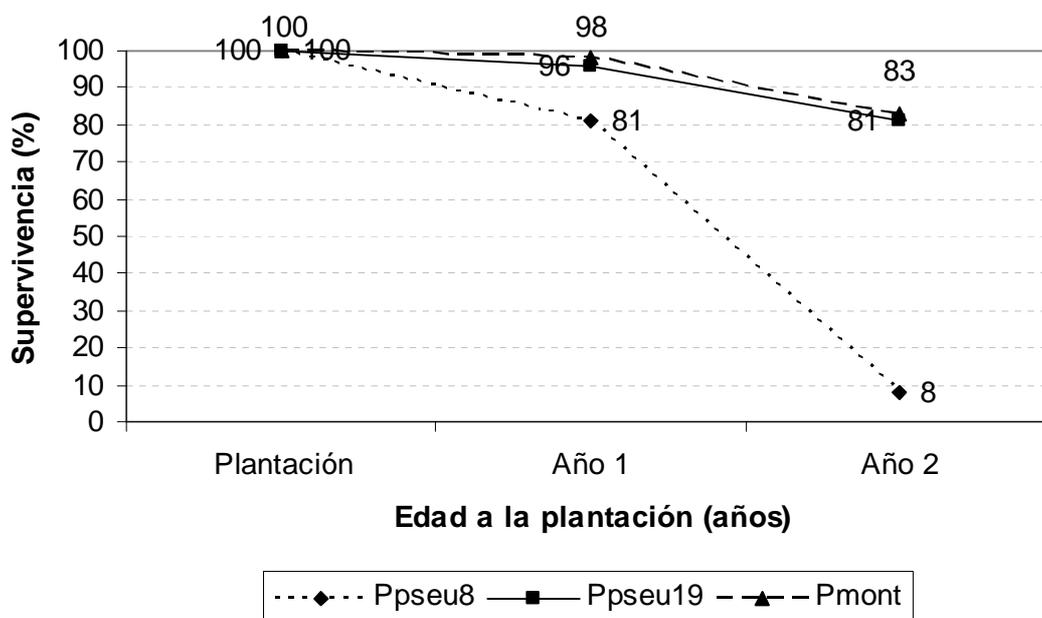
2.3.1 Supervivencia

A los dos años de evaluación, el ANOVA muestra que existen diferencias significativas tanto entre especies ($P < .0001$) como entre tratamientos al suelo ($P < .0134$, cuadro 2). El análisis de devianza corroboró estos resultados, en donde tanto especies como tratamientos al suelo resultan significativos ($P < .0001$ y $P < .0054$ respectivamente).

Cuadro 2. Análisis de la varianza para supervivencia entre especies y tratamientos al suelo después de dos años a la plantación.

Fuente de variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr (F)
Especie	2	17.42	8.7132	<.0001
Tratamiento	5	1.93	0.3877	0.0134
Esp*trat	10	0.75	0.0756	0.7794
Error	126	14.95	0.1187	

Al primer año a la plantación hubo una alta supervivencia de las tres especies. En cambio, para el segundo año se presentó una fuerte mortalidad de las plantas de *P. pseudostrobus* de 8 meses (supervivencia de sólo 8%), en contraste con la alta supervivencia de *P. pseudostrobus* de 19 meses y *P. montezumae* (gráfica 1).



Gráfica 1. Supervivencia a uno y dos año de la plantación para las tres especies. *P. pseudostrobus* de 8 meses (Ppseu8), *P. pseudostrobus* de 19 meses (Ppseu19), *P. montezumae* (Pmont).

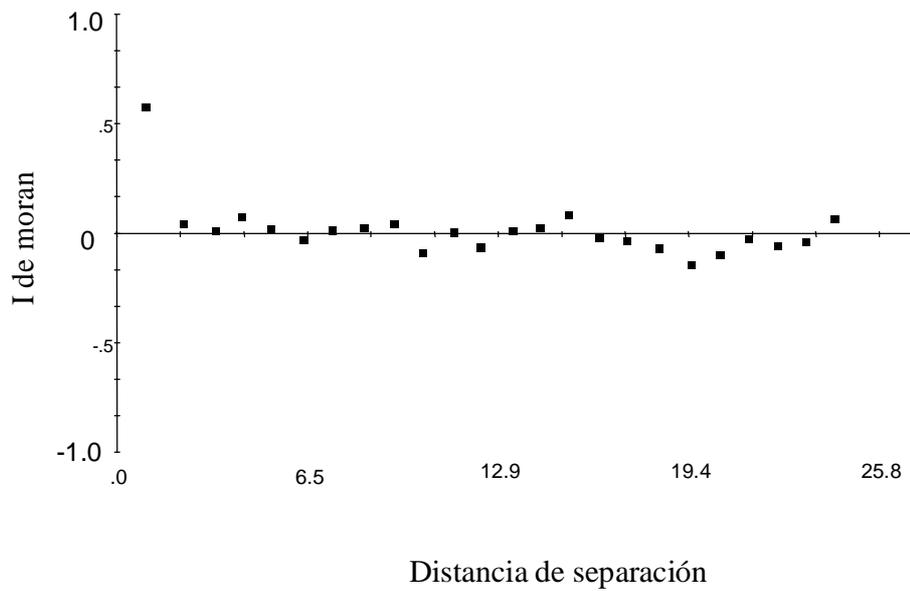
En cuanto al efecto de los tratamientos al suelo en la supervivencia, la prueba múltiple de medias (Tukey) muestra dos grupos: el grupo con mayor supervivencia correspondió a los tratamientos de sulfato de amonio con acolchado de corteza, acolchado de corteza y testigo, mientras que el grupo con la menor supervivencia correspondió a los tratamientos plantación de *L. elegans*, plantación de *L. elegans* con acolchado de corteza y sulfato de amonio, en donde el tratamiento de sulfato de amonio fue el peor tratamiento, con una supervivencia (37.5%) de aproximadamente la mitad de la supervivencia del mejor tratamiento, que fue sulfato de amonio con corteza (70.8%) (cuadro 3).

Cuadro 3. Prueba múltiple de medias (Tukey) para la supervivencia entre los tratamientos de mejoramiento del suelo.

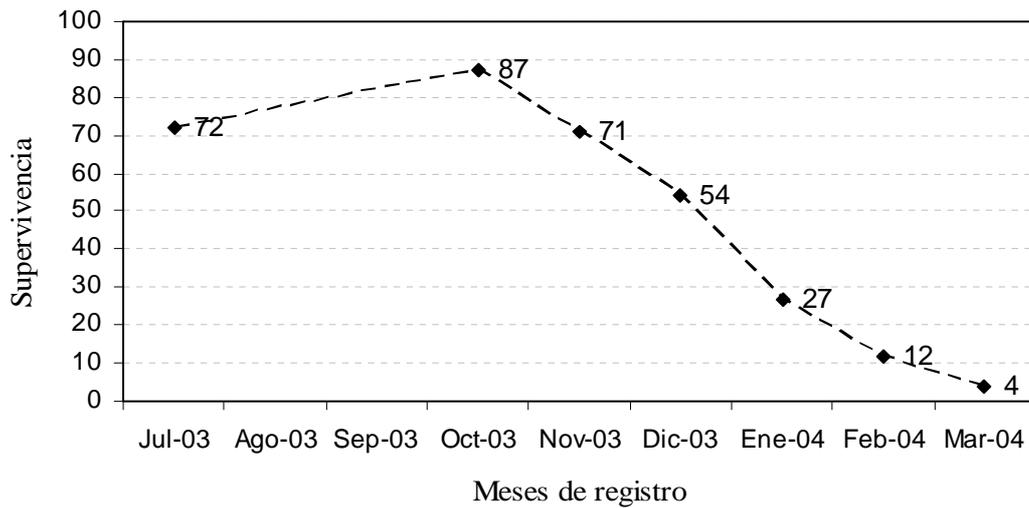
Grupos Tukey	Media de supervivencia (%)	N	Tratamiento al suelo
A	70.83	24	Sulfato de amonio con acolchado de corteza
A	66.66	24	Acolchado de corteza
A	66.66	24	Testigo
A –B	58.33	24	Plantación de <i>L. elegans</i>
A –B	45.83	24	Plantación de <i>L. elegans</i> con acolchado de corteza
B	37.50	24	Sulfato de amonio

El análisis de autocorrelación de la “T” de Moran identificó que existe autocorrelación positiva ($I = 0.573$) sólo entre los individuos con clases de lapso de intervalo de distancia de 1 metro de distancia ($CLID = 1$), mientras que el resto de las distancias probadas muestran correlaciones casi nulas (gráfica 2). La prueba de significancia da un valor de $Z = 4.9$, lo que hace significativa la prueba ($P < 0.0001$).

Por otra parte, las plantas de *Lupinus elegans* establecidas como el tratamiento de plantación de leguminosas (como fuente de sombra y aporte de nitrógeno), tuvieron una baja supervivencia, sobre todo en el transcurso del segundo año (gráfica 3).



Gráfica 2. Correlograma isotrópico para supervivencia, probando clases de lapso de intervalo de distancia de 1 metro.



Gráfica 3. Supervivencia de los individuos del tratamiento de plantación de leguminosas, al cabo de 9 periodos de evaluación.

2.3.2 Crecimiento

Para el crecimiento, al cabo de dos años después de la plantación, el ANOVA muestra que existe únicamente diferencia significativa ($P < 0.0001$) entre especies, pero no entre tratamientos al suelo (cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza para el crecimiento entre especies y tratamientos al suelo dos años después de la plantación.

Fuente	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Probabilidad
Especie	2	29986	14993	<.0001
Tratamiento	5	1570	314	0.7987
Esp*trat	8	5231	654	0.5900
Error	67	53606	800	

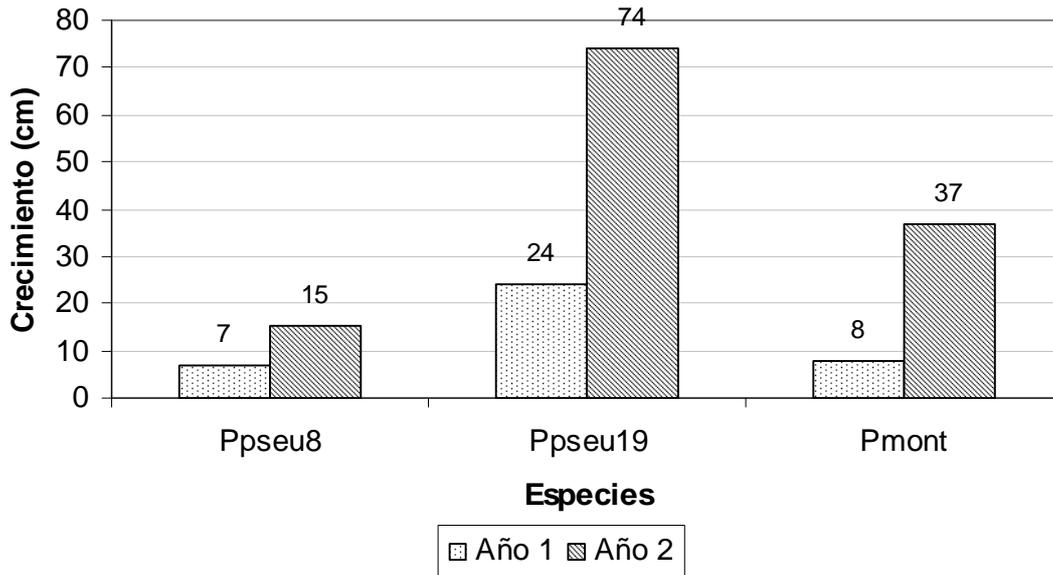
La prueba múltiple de medias (Tukey) para el crecimiento entre especies muestra que *P. pseudostrobus* de 19 meses de edad inicial fue significativamente superior a *P. montezumae* de 19 meses y al de *P. pseudostrobus* de 8 meses (Cuadro 5).

Cuadro 5. Prueba de Tukey para comparación crecimiento entre especies a dos años a la plantación.

Media de crecimiento (cm)	Grupos Tukey	N	Especie
74.88	A	40	<i>P. pseudostrobus</i> 19 meses
37.46	B	39	<i>P. montezumae</i>
15	B	4	<i>P. pseudostrobus</i> 8 meses

En la primera evaluación, al año de plantación, *P. pseudostrobus* de 19 meses creció aproximadamente tres veces más que las otras dos especies (Gráfica 4), tendencia que se

mantiene al segundo año a la plantación.



Gráfica 4. Crecimiento de *Pinus montezumae* (Pmont), *P. pseudostrobus* de 8 meses (Ppseu8) y *P. pseudostrobus* de 19 meses (Ppseu19) al término del primer y segundo año después de la plantación.

Para los tratamientos al suelo, el ANOVA no encontró diferencia significativa entre los tratamientos (cuadro 4). Sin embargo existe un gradiente de crecimiento que se presenta de la siguiente manera: sulfato de amonio (64.88 cm), acolchado con corteza (64.81 cm), plantación de leguminosas (55.71 cm), testigo (52.12 cm), sulfato de amonio con acolchado de corteza (48 cm) y plantación de leguminosas con acolchado de corteza (42.27 cm).

2.4 DISCUSIÓN

De entre los dos factores experimentales, especies y tratamientos al suelo, después de dos años a la plantación, el factor especies tuvo las diferencias más acentuadas de en cuanto a supervivencia: las especies *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* de 19 meses, tuvieron una supervivencia sustancialmente mejor en comparación con *P. pseudostrobus* de 8 meses. Este resultado fue evidente hasta que transcurrieron dos años después de la plantación. Durante el primer año, se observa que no existe una diferencia de supervivencia tan marcada entre las especies. Esto se debe probablemente al subsidio de nutrientes y disponibilidad de agua que representa el sustrato del cepellón. En el caso de *P. pseudostrobus* de 8 meses, es posible que dicho subsidio aún no se hubiera agotado durante el primer año, lo que le permitió soportar mejor las condiciones del arenal. Sin embargo en el transcurso del segundo año, la cantidad de subsidio que representa el cepellón en la planta de 8 meses, debido al tamaño de las bolsas (10 x 20 cm) podría ser insuficiente para garantizar la supervivencia de la planta (Alejandre-Melena 2004). En contraste, el comportamiento de *P. pseudostrobus* de 19 meses indica que el subsidio contenido en una bolsa de vivero más grande (25 x 35 cm) y probablemente las mayores reservas en la planta misma, disponibles por su mayor tamaño, permitieron un mayor crecimiento y mejor supervivencia.

Dadas las condiciones de los arenales, y considerando los resultados de supervivencia en *P. pseudostrobus* de 8 meses (contenedor de 10 x 20 cm), la sugerencia de los paquetes tecnológicos del Sistema de Información para la Reforestación de la CONAFOR, ofrece pocas probabilidades de supervivencia bajo condiciones similares, ya que recomiendan el uso de bolsas de polietileno de 7 x 16 cm para el manejo de las plantas

de esta especie (SIRE 2005a). Aunque las condiciones extremas de los arenales no se encuentran en todos los sitios de reforestación, algunas condiciones limitantes para las reforestaciones, como la falta de humedad y baja concentración de nutrientes, son constantes en los sitios muy degradados (Wood y Morris 1990, Brown *et al.* 1917, Del Moral 1983).

P. montezumae tuvo un buen desempeño: la supervivencia fue similar a la de *P. pseudostrobus* de 19 meses, y un crecimiento de 37 cm, lo que es aceptable, considerando que esta especie mantiene un estado cespitoso de dos a cinco años, periodo en el que el mayor esfuerzo de crecimiento se enfoca a raíces, dejando en la parte aérea crecimientos moderados (alrededor de 30 cm año⁻¹) (SIRE 2005b). Por esto, debe considerarse que *P. montezumae* podría mostrar mayor crecimiento en algunos individuos que rompan el estado cespitoso.

El efecto de los tratamientos al suelo no fue consistente en sus efectos en la supervivencia y el crecimiento. El caso más extremo fue el sulfato de amonio (SA), cuyo promedio de crecimiento fue el más alto, pero también fue el de menor supervivencia. El aporte en exceso del nitrógeno pudo causar daño a las plantas, lo que apoya a Saldivar-Castillo (1982), que reporta el exceso de nitrógeno como un factor negativo para la supervivencia. Este ensayo realizado con *P. greggii*, probó que los tratamientos que aportaban las mayores cantidades de este elemento resultaron ser las de menor supervivencia. Contrario al tratamiento anterior, el sulfato de amonio con acolchado de corteza (SAC), fue el tratamiento con el mejor promedio de supervivencia, pero de forma contrastante tuvo uno de los promedios más pobres de crecimiento. El efecto positivo de la

corteza para evitar el calentamiento de la arena, y su papel de amortiguador de temperatura que incrementa la retención de humedad, son propiedades que ayudan a una mayor supervivencia (Blanco-García y Lindig-Cisneros 2005). A esto se suma la función de la corteza como un posible dosificador de la humedad, lo que probablemente hace que el fertilizante esté disponible de forma más paulatina para la planta, esto evitaría los daños que se observan cuando el sulfato de amonio es aplicado directamente.

En contraste, el acolchado de corteza (C) dio buenos resultados para ambas variables de respuesta, destacando que para ambas tuvo el segundo mejor promedio. El tratamiento testigo (T) tuvo un registro igual en supervivencia al acolchado de corteza, esto pudiera parecer contradictorio, pero es muy probable que se deba a que las temperaturas registradas para este periodo en el sitio no fueron tan extremas como las registradas para periodos como 2002-2003, cuando hubo una supervivencia en el mismo sitio de sólo 21% de una plantación de un año de edad de *P. pseudostrobus* de 8 meses (Blanco-García y Lindig-Cisneros 2005).

Por otra parte, la autocorrelación resulta significativa en el intervalo de distancia de 1 m puede ser explicada por el hecho de que la distancia a la que se encuentran los pinos dentro de las parcelas es de un metro, y por tanto la respuesta de los pinos al efecto de un mismo tratamiento al suelo y una misma especie, hacen que el desempeño de ambos individuos sea muy similar. En cambio, las distancias superiores a un metro muestran autocorrelación casi nula, implicando la ausencia de un patrón espacial externo de mortalidad ajeno al efecto de los tratamientos al suelo.

A pesar de las características positivas de *Lupinus elegans* como una especie enriquecedora del suelo, es posible que ésta no pueda desarrollarse sin una estrategia de plantación adicional, que le permita enfrentar las temperaturas extremas característicos de los arenales. A reserva de un ensayo de mayores dimensiones en el que se integren variables como: densidad de plantación, para crea un microambiente y poder aceptar una elevada mortalidad, o la preparación del terreno con corteza previo a la plantación de esta leguminosa, no sería viable el uso de *L. elegans* en un sito de esta naturaleza.

2.5 CONCLUSIONES

Pinus pseudostrobus de 19 meses de edad inicial tuvo el mejor crecimiento y una supervivencia similar a la de *P. montezumae* de 19 meses de edad inicial, mientras que *P. pseudostrobus* de 8 meses de edad inicial tuvo la supervivencia y el crecimiento más bajo, por lo que éste último no se recomienda para reforestar los arenales. En base a los resultados de este ensayo, *P. pseudostrobus* de 19 meses sería la mejor opción para la restauración de estos arenales. Esta recomendación va en la dirección contraria a la tendencia actual de los viveros gubernamentales de disminuir el tamaño de envase y tiempo de estadía en el vivero. Se debe considerar que *P. montezumae* probablemente muestre mayor crecimiento en algunos individuos que rompan el estado cespitoso, por lo que se recomienda tomar estos resultados como preliminares. Los tratamientos de mejoramiento de suelo, sólo hasta los dos años a la plantación empiezan a mostrar alguna influencia en la supervivencia, mientras que el crecimiento aparentemente no se vio influenciado por estos tratamientos. Los extremos de temperatura en los dos años del ensayo no alcanzaron niveles tan altos como en años anteriores, razón por la cual existe una supervivencia poco diferenciada entre tratamientos de mejoramiento de suelo.

CAPÍTULO 3

ENSAYO DE CUATRO ESPECIES DE CONÍFERAS Y TRATAMIENTOS DE COBERTURA PARA RESTAURACIÓN DE SITIOS PERTURBADOS DE BOSQUE TEMPLADO

3.1. INTRODUCCIÓN

Los ensayos de especies son experimentos de prueba que permiten determinar el potencial de las especies para afrontar las condiciones de determinados sitios de reforestación (Zobel y Talbert 1999). Los sitios perturbados que se intenta recuperar mediante reforestaciones, en muchas ocasiones carecen de este tipo de estudios preliminares, lo que reduce las posibilidades de éxito de manera sustancial (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros 2004). Mientras la degradación del área es mayor, las condiciones microambientales por lo general son de mayor estrés para el establecimiento de la vegetación. Estas condiciones son llevadas al extremo en sitios como los arenales volcánicos, donde se acumula arena formando capas de grosores variables y que por lo general se encuentran desprovistos de una cubierta vegetal. Ambas condiciones provocan que exista una rápida pérdida de humedad y bajo contenido de nutrientes, lo que ocasiona una alta mortalidad y poco crecimiento de los pinos debido al alto estrés hídrico y de nutrientes (García-Salmerón 1993 en Castro 2004).

Después del suceso volcánico de nueve años del volcán Parícutín (1943 – 1952), Michoacán, México, grandes cantidades de arena fueron dispersadas en áreas próximas a éste. A más de cincuenta años de que cesó su actividad, aún existen arenales que presentan

una muy baja cobertura de vegetación. La Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), fue afectada por este suceso dejando entre 121 y 500 ha de sus tierras convertidos en arenales (Lindig-Cisneros *et al.* 2002; Velázquez *et al.* 2003). La Comunidad, debido al aprovechamiento sostenible que hacen de su bosque, busca nuevas opciones para restaurar e integrar al manejo forestal productivo estas áreas.

Las especies utilizadas en ensayos de especies con el objetivo de seleccionar las mejores especies para reforestación o plantaciones comerciales, deben tener características que permitan suponer un desempeño exitoso. En este ensayo, las especies *Pinus pseudostrobus* y *P. montezumae* son especies que han sido especialmente útiles para reforestar, recuperar zonas erosionadas, y para plantaciones comerciales en la región. Estas especies ocurren de manera natural en la región de la CINSJP y tienen una distribución relativamente amplia en el Eje Neovolcánico, en donde crecen en sitios de origen volcánico. En el centro de México crece en suelos profundos, de textura media derivados de ceniza volcánica (Rodríguez-Franco y Ortiz-Selorio, 1982).

Pinus pseudostrobus es una especie distribuida en el trópico y sub-trópico de México, aunque está mejor adaptada a áreas con climas fríos y con lluvias en verano. Su rango de distribución altitudinal va desde los 1600 a los 3250 m (SIRE 2005a, López-Upton 2002). Tiene resistencia a las heladas y soporta temperaturas muy bajas, entre los -2° C y -9° C (CAB 2003, SIRE 2005a). Esta especie se encuentra de manera natural en el área de experimentación y además es reproducida de manera importante en viveros del Estado de Michoacán, lo que representa una ventaja operativa.

Pinus greggii es una especie nativa del noreste de México y es la sexta especie forestal más plantada en el país, con uso importante en restauraciones en el Valle de México, (PRONARE 2000, Anónimo 1998). Fue incluida debido a su potencial en condiciones limitantes de humedad, además de que es una especie con una gran adaptabilidad genética que se encuentra en una gran diversidad de suelos y tipos de vegetación (Anónimo 1998; López-Upton *et al.* 2000; Vargas y Muñoz 1988; Pérez-Hernández 2001).

Abies religiosa es la especie de abeto de mayor distribución en México. Altitudinalmente se distribuye de los 1200 a los 4100 m, aunque se encuentra más comúnmente de los 2100 a los 3600 m. Crece en climas húmedos y necesita una alta humedad en suelos y en el aire. Generalmente crece en suelos bien drenados de origen volcánico con un pH de 5 a 6.5 (SIRE 2005c, Madrigal Sánchez, 1982; Ávila Bello, 1994). Las ventajas más importantes para su uso en reforestación son que soporta heladas de hasta -12° C y tiene una buena habilidad para regenerarse rápidamente (Manzanilla 1974, CAB 2003).

La capacidad de las especies para superar las condiciones negativas presentes en sitios degradados es determinante, más aún cuando se planean plantaciones sujetas a aprovechamiento. Sin embargo, dadas ciertas condiciones ambientales negativas, pueden inhibirse características como el crecimiento apropiado de las plantas debido a un nivel de estrés muy alto. Los tratamientos de cobertura o acolchado, han sido ampliamente utilizados para mejorar las condiciones del sustrato y evitar el impacto negativo de la pérdida excesiva de agua o las elevadas temperaturas (Luken 1990, Brofas y Vareledes 2000, Callaway 1995). Algunos como el acolchado de aserrín y corteza, también se han utilizado para evitar la competencia por agua y nutrimentos entre los pinos y la maleza

circundante (Novelo-González 1994).

Aunque existen muchos tipos de tratamientos de cobertura, la selección del uso de la corteza como tratamiento de cobertura, obedece en parte a que existe producción de ésta en el aserradero de la Comunidad, lo que facilita que pueda ser asequible a un costo relativamente bajo (derivado únicamente del costo de transporte y aplicación en campo). La integración de las leguminosas como tratamiento de cobertura por otra parte, tiene como propósito integrar nitrógeno al sustrato (Rzedowski 2001, Halvorson *et al.* 1991), de manera que no sólo se creen mejores condiciones físicas, sino también de nutrientes disponibles en el suelo para las especies de reforestación (Castro *et al.* 2004).

Para poder identificar la mejor especie y tratamiento para mejorar las condiciones del suelo para restaurar arenales en la Comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México, se montó un experimento para seleccionar la mejor especie entre *Pinus pseudostrobus* Lindl (con dos edades a la plantación), *P. montezumae* Lamb, *P. greegii* Englem y *Abies religiosa* (HBK) Schltdl. & Cham, en tres sitios con distinto grado de perturbación, además de seleccionar el mejor tratamiento de cobertura que incremente la supervivencia y el crecimiento de las plantas, comparando tratamientos de: a) plantación de leguminosas, b) acolchado de corteza y c) testigo.

3.2.METODOLOGÍA

3.2.1. Área de estudio

Para evaluar la supervivencia y el crecimiento de las cuatro especies (*P. pseudostrobus* de dos edades, *P. montezumae*, *P. greggii* y *Abies religiosa*) se montaron tres experimentos en campo dentro de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan. Se eligieron tres sitios que representan un gradiente de perturbación. A continuación se describen tales sitios en orden de menor perturbación a mayor perturbación (cuadro 1).

Como primer sitio de experimentación, se eligió un sitio agrícola abandonado en la localidad de San Nicolás, en un paraje denominado "El Tepamal" a 2750 m. Este sitio tiene un largo historial de uso agrícola, que en nuestro diseño representa el sitio con menor perturbación. La plantación se realizó el 22 de Junio de 2004. Debido a la elevada altura del sitio, se buscó que las especies presentes tuvieran la capacidad de resistir a las condiciones de temperatura y elevada altitud. En esta localidad se decidió poner a prueba *P. pseudostrobus* (con dos edades a la plantación: 7 y 19 meses), *P. montuzumae* y *Abies religiosa*.

El segundo experimento se encuentra en la localidad denominada Llano de Pario, ubicado a una altitud de 2200 m, y es un arenal que actualmente se encuentra bajo explotación. Llano de Pario representa el sitio con perturbación media-alta, ya que presenta varios sucesos de perturbación: primero fue un área destinada a la agricultura, cubierto después por una capa de ceniza volcánica durante la erupción del volcán Parícutín (de 1943 a 1952). El último factor de perturbación es el aprovechamiento del que está siendo objeto y que consiste en la extracción de arena hasta prácticamente llegar al suelo original con el

uso de maquinaria pesada. Los factores más condicionantes del lugar son: 1) falta de humedad, 2) variaciones importantes de temperatura (entre más de 50° C y temperaturas bajo cero) (Lindig-Cisneros 2005), y 3) falta de nutrientes debida a la arena y el sustrato subyacente con historial agrícola. Dadas estas condiciones, en este sitio se ponen a prueba *P. pseudostrobus* (con dos edades a la plantación : 7 y 19 meses), *P. montuzumae* y *P. greggi*.

El tercer experimento se encuentra cercano al Cerro de Pario, en un paraje denominado Mesa de Cutzato, a 2450 m de altitud. El sitio es un arenal remanente de la erupción del volcán Parícutín, que ha quedado detenido sucesionalmente como tal. La capa de arena oscila entre los 0 y 74 cm de profundidad. La vegetación se encuentra agregada en islas de diferentes tamaños, dominadas por arbustos, principalmente *Eupatorium glabratum* y *Lupinus elegans* (Lindig-Cisneros *et al.* 2002). Los principales factores condicionantes en el sitio son las temperaturas extremas, alrededor de -1° a 50° C en el suelo, durante el día y la noche (Lindig-Cisneros *et al.* 2006), y la falta de humedad. Dadas estas condiciones, en este sitio se ponen a prueba *P. pseudostrobus* (con dos edades a la plantación : 7 y 19 meses), *P. montuzumae* y *P. greggi*.

Cuadro 1. Gradiente de perturbación de los 3 sitios dentro del experimento.

Gradiente de perturbación	Sitio experimental
Bajo	San Nicolás
Medio	Llano de Pario
Alto	Mesa de Cutzato

3.2.2. Diseño en campo

Las plantas de *Pinus pseudostrobus* que fueron utilizadas en los experimentos, proceden de los viveros de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), y fueron producidas a partir de semillas de árboles de rodales naturales de sus bosques. Para los experimentos se seleccionaron dos diferentes edades de esta especie al momento del sembrado: 7 y 19 meses. De igual manera, las plantas de *Pinus montezumae* se originaron de semilla procedente de la misma CINSJP, mientras que la edad de la planta al momento del sembrado fue de 19 meses.

Las plantas de *Pinus greggi* proceden de semilla originada en el Estado de Hidalgo y la edad al sembrado fue de 17 meses (cuadro 2). Por último, las plantas utilizadas de *Abies religiosa* fueron producidas en el vivero forestal de Angangueo de la Comisión Forestal de Michoacán (COFOM), en la región occidente del Estado de Michoacán, con semilla originada en El Rosario, Santuario de la Mariposa Monarca en el municipio de Ocampo. La edad de las plantas fue de 22 meses (cuadro 2).

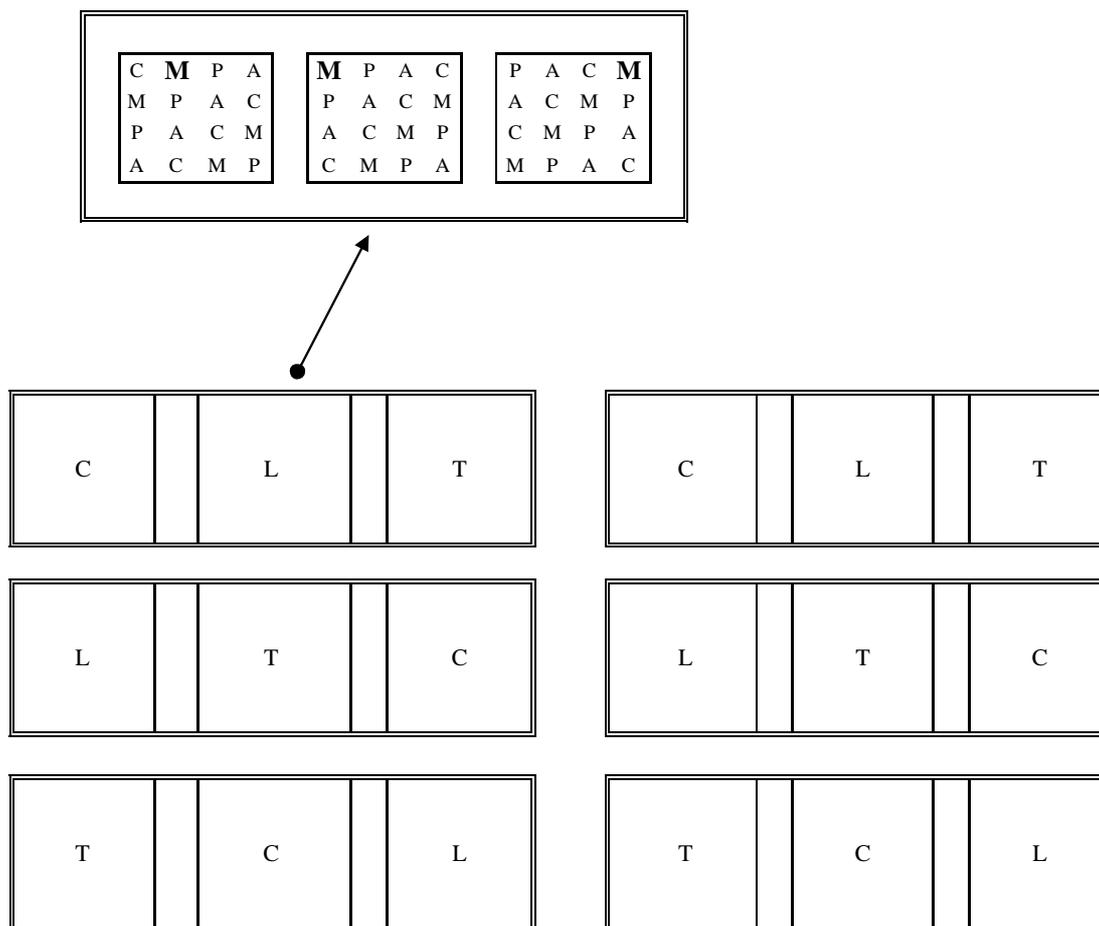
Para el diseño experimental se decidió utilizar bloques completos al azar con parcelas divididas, utilizando un diseño de cuadro latino con una restricción para la colocación de las especies. En cada bloque se encuentran los tratamientos de cobertura que se ponen a prueba (corteza, leguminosas y testigo-ausencia de tratamiento) (gráfica 1). En Llano de Pario y San Nicolás se ensayaron 12 bloques. En la Mesa de Cutzato, por razones de espacio y recursos disponibles, se ensayaron únicamente 2 bloques.

Cuadro 2. Procedencia, edad y sustrato empleado en vivero de las especies ensayadas en campo.

Espece	Procedencia	Edad a la plantación (meses)	Sustrato	Observaciones (cm)
<i>Pinus greggii</i>	Xodhe, Yerbabuena, Agua Zarca y Laguna Seca, Hidalgo	17	Topori	Reembolsado de 10x20 a 25x35 en dic 2003
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán	7	Topori	Bolsa 10x20
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán	19	Topori	Reembolsado de 10x20 a 25x35 en mar 2004
<i>Pinus montezumae</i>	Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán	19	Topori	Reembolsado de 10x20 a 25x35 en dic 2003
<i>Abies religiosa</i>	Santuario de la Mariposa Monarca El Rosario (2700 m), Ocampo, Michoacán	22	Suelo local	Bolsa 10x20

La separación entre distintos tratamientos de cobertura es de cuatro metros de ancho, en el centro de este espacio se plantó una hilera de pinos. Al interior de cada tratamiento de cobertura se encuentran las especies a probar, representada cada una de las cuatro especies por cuatro individuos (16 plantas en total). Al interior de los tratamientos de cobertura, la separación entre individuos fue de 2 x 2 m en marco real. La organización de las especies al interior de cada tratamiento fue bajo un diseño de cuadro latino con una restricción, con la

finalidad de que ninguna especie se repita por hilera o columna al interior de los tratamientos. La restricción en el cuadro latino permite que ningún tratamiento comience con la misma especie que el inmediato anterior, por lo que cada tratamiento comienza con la segunda especie con respecto a la que inicio en el tratamiento anterior (gráfica 1).



Gráfica 1. Organización de los tratamientos dentro de bloques completos al azar con arreglo de cuadro latino al interior de los tratamientos de cobertura. Al interior de los bloques los tratamientos de cobertura son (parte inferior del grafico): C = acolchado de corteza, P = plantación de leguminosas y T = testigo (sin cobertura). Al interior del cuadro latino con restricción, aplicado en San Nicolás y Llano de Parí (parte superior del grafico): C = *Pinus pseudostrobus* - 7 meses; M = *P. montezumae*; P = *P. pseudostrobus* - 19 meses A = *Abies religiosa*, en Llano de Parí: *P. greggii*.

De esta manera, se integran 576 plantas para cada uno de dos sitios de experimentación, Llano de Parí y San Nicolás; sin embargo en la Mesa de Cutzato, en donde se ensayaron sólo 2 bloques con el mismo diseño experimental, se plantaron sólo 96 individuos. Esto resulta en un total de 1248 individuos para los tres experimentos.

3.2.3. Evaluación del experimento

Las variables evaluadas fueron: crecimiento con respecto a la altura inicial de la planta y supervivencia. La evaluación del experimento se realizó bimestralmente con excepción de la primera evaluación que fue realizada al mes de la plantación.

Para determinar si existieron diferencias significativas al cabo de un año a la plantación, para el crecimiento entre especies y tratamientos al suelo, se realizó un análisis de la varianza utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS 1988). Igualmente, para analizar la supervivencia al cabo de un año a la plantación, se aplicó un análisis de devianza con el procedimiento GLM binomial en S-PLUS 2000 (Statistical Sciences 1998). También se realizó una comparación múltiple de medias de Tukey en ambos casos (a partir del análisis de la varianza utilizando el procedimiento GLM de SAS).

Para analizar el conjunto de los tres sitios sólo se tomó en cuenta las especies compartidas por los tres sitios (*P. psuedostrobis* de dos edades y *P. montezumae*), mientras que para el análisis por sitio, se utilizaron las especies presentes en cada uno de ellos.

Para el análisis conjunto de los tres sitios, el modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + B(S)_j + E_k + T_l + SE_{ik} + ST_{il} + B(S)_j E_k + B(S)_j T_l + ET_{kl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = observación, μ = media general, S_i = efecto de sitio, $B(S)_j$ = efecto de bloque anidado en sitio, E_k = efecto de especie, T_l = efecto de tratamiento, SE_{ij} = interacción sitio-especie, ST_{ik} = interacción sitio-tratamiento, $B(S)_j E_k$ = efecto de la interacción bloque-especie, $B(S)_j T_l$ = efecto de la interacción bloque-tratamiento, ET_{jk} = efecto de la interacción especie-tratamiento y ε_{ijkl} = error.

Debido a que algunas interacciones no resultaron ser significativas, se decidió reducir el modelo eliminando aquellos términos que no fueron significativos. De tal forma que el modelo para el análisis entre sitios fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + B(S)_j + E_k + T_l + SE_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = observación, μ = media general, S_i = efecto de sitio, $B(S)_j$ = efecto de bloque anidado en sitio, E_k = efecto de especie, T_l = efecto de tratamiento, SE_{ij} = interacción sitio-especie, y ε_{ijkl} = error.

Para el análisis de cada uno de los sitios por separado, el modelo completo fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + E_j + T_k + B(S)_i E_j + B(S)_i T_k + ET_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijkl} = observación, μ = media general, B_j = efecto de bloque, E_k = efecto de especie, T_1 = efecto de tratamiento, $B(S)_i E_j$ = interacción bloque-especie, $B(S)_i T_k$ = interacción bloque-tratamiento y ε_{ijkl} = error.

Como en el modelo anterior, se decidió reducir el modelo eliminando aquellos términos que no fueron significativos. De tal forma que el modelo para el análisis entre sitios fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + E_j + T_k + B(S)_i T_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijkl} = observación, μ = media general, B_j = efecto de bloque, E_k = efecto de especie, T_1 = efecto de tratamiento, $B(S)_i T_k$ = interacción bloque-tratamiento y, ε_{ijkl} = error.

Debido al poco espacio disponible, en la Mesa de Cutzato no se pudo replicar el número de bloques en la misma cantidad que en los otros dos sitios. De forma que mientras en San Nicolás y Llano de Pario se ensayaron 12 bloques en cada uno, en la Mesa de Cutzato se ensayaron sólo 2 bloques. Para analizar Mesa de Cutzato, se decidió utilizar un modelo sin interacciones, por lo que el modelo utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + E_j + T_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijkl} = observación, μ = media general, B_j = efecto de bloque, E_k = efecto de especie, T_1 = efecto de tratamiento y ε_{ijkl} = error.

Por otra parte, en los análisis por sitio se aplicó un análisis de supervivencia no

paramétrico para comparar el comportamiento en la supervivencia entre las especies ensayadas en el transcurso del año después de la plantación. Este análisis se aplicó en Llano de Pario y San Nicolás. También se aplicó un análisis de riesgos proporcionales de Cox para las especies con la supervivencia más baja, utilizando las covariables: altura inicial y tratamientos de cobertura del suelo. En ambos análisis se utilizó el paquete S-PLUS 2000 (Statistical Sciences 1998).

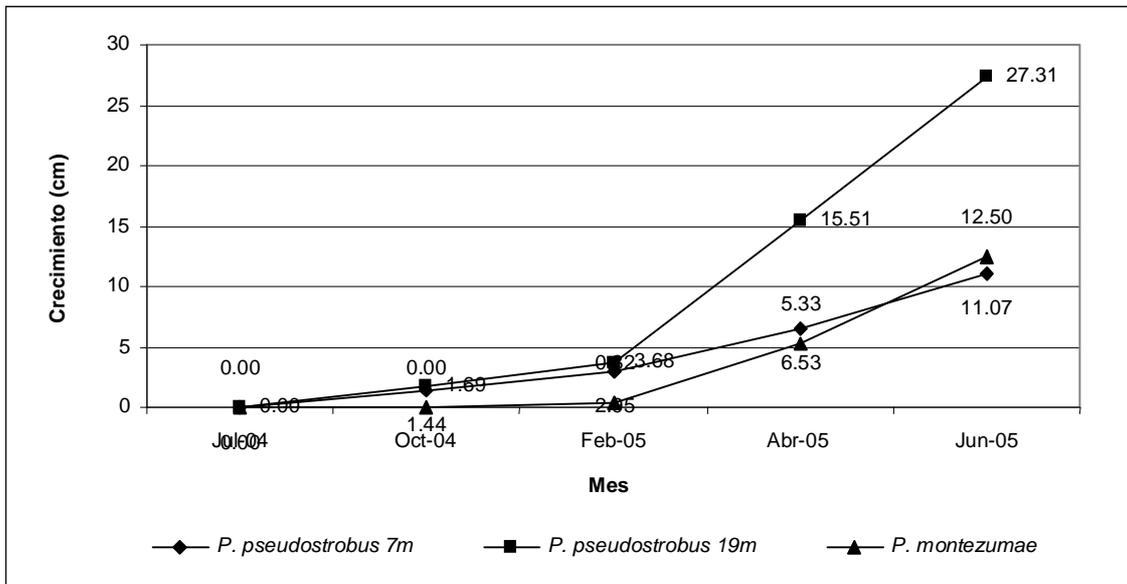
Debido a alta mortalidad de *Lupinus elegans* en Mesa de Cutzato durante los primeros meses, en los análisis para este sitio se omitió este tratamiento de cobertura.

3.3.RESULTADOS

3.3.1. Análisis conjunto entre los tres sitios

3.3.1.1.Crecimiento

Las diferencias significativas en crecimiento al finalizar el primer año a la plantación se presentaron entre especies y la interacción sitio-especie (cuadro 3). Entre las primeras, *P. pseudostrabus* de 19 meses fue la que presentó mejor crecimiento, con alrededor del doble que *P. montezumae*, y *P. pseudostrabus* de 7 meses (gráfica 2). La interacción sitio-especie, se revisará en la sección de 3.3.2 de variación por especies dentro de sitios.



Gráfica 2. Promedio de crecimiento general acumulado entre especies a un año a la plantación.

Por otro lado, aunque no hubo diferencias significativas entre los sitios, se muestra una tendencia que sigue el gradiente de perturbación, en donde en los sitios de menor perturbación se da el mayor crecimiento. Sin embargo, al cabo de un año a la plantación todavía es mínima la variación de crecimiento entre el sitio con menor grado de

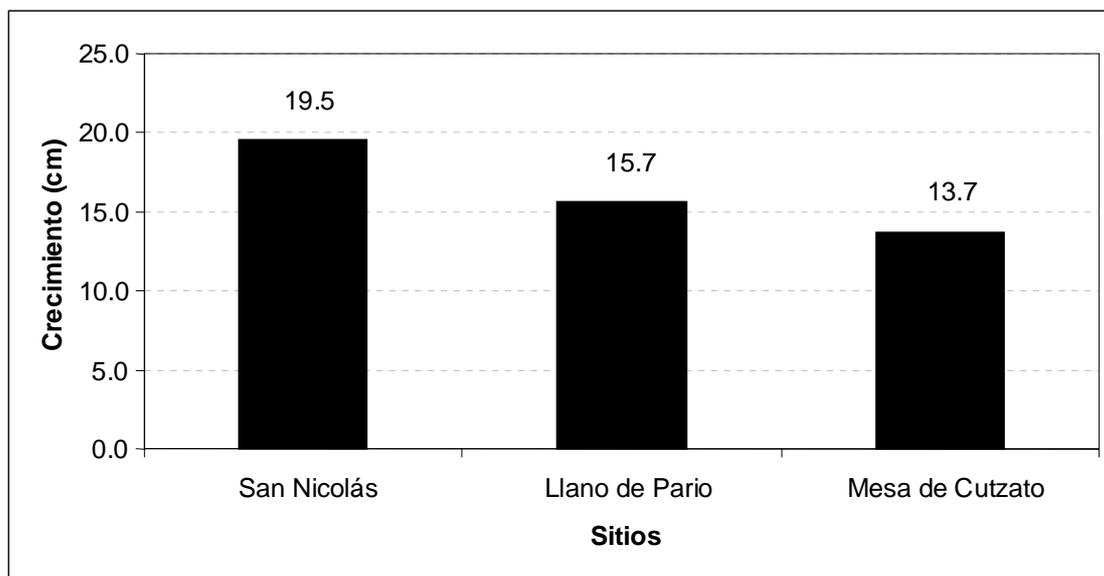
perturbación (San Nicolás) y el sitio más perturbado (Mesa de Cutzato) (gráfica 3).

Cuadro 3. Nivel de significancia del análisis de la varianza para el crecimiento, del análisis de devianza para la supervivencia, y grupos de la prueba múltiple de medias de Tukey. Análisis considerando los tres sitios de manera conjunta.

Fuente de variación	Crecimiento		Supervivencia	
	ANOVA		Análisis de Devianza	
Sitio	0.3241		0.0005	
Bloque (sitio)	0.0829		0.0002	
Especie	0.0029		<0.0001	
Tratamiento	0.1074		0.0673	
Sitio*Especie	<0.0001		0.0052	

Sitio	Media	Grupos de	Media	Grupos de
	(cm)	Tukey	(cm)	Tukey
San Nicolás	19.5	A	81.3	B
Llano de Pario	15.6	A	91.7	A
Mesa de Cutzato	13.7	A	81.7	B

Tratamiento	Media	Grupos de	Media	Grupos de
	(cm)	Tukey	(cm)	Tukey
Plantación de leguminosas	18.4	A	90.3	A
Ausencia de tratamiento	17.7	A	84.9	A
Acolchado de Corteza	15.9	A	84.6	A

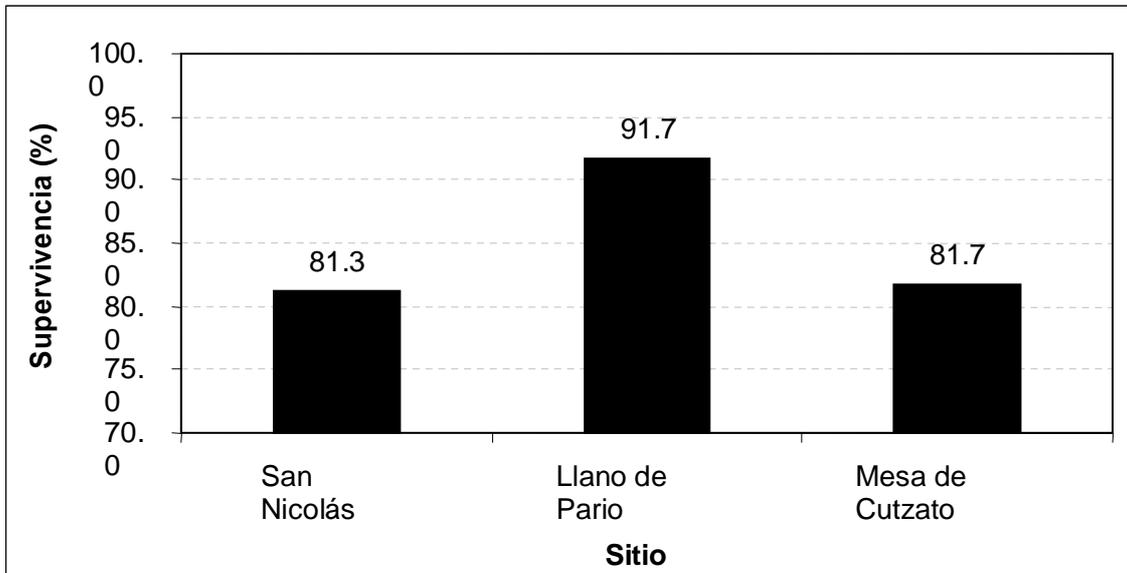


Gráfica 3. Crecimiento global acumulado entre sitios a un año a la plantación.

3.3.1.2. Supervivencia

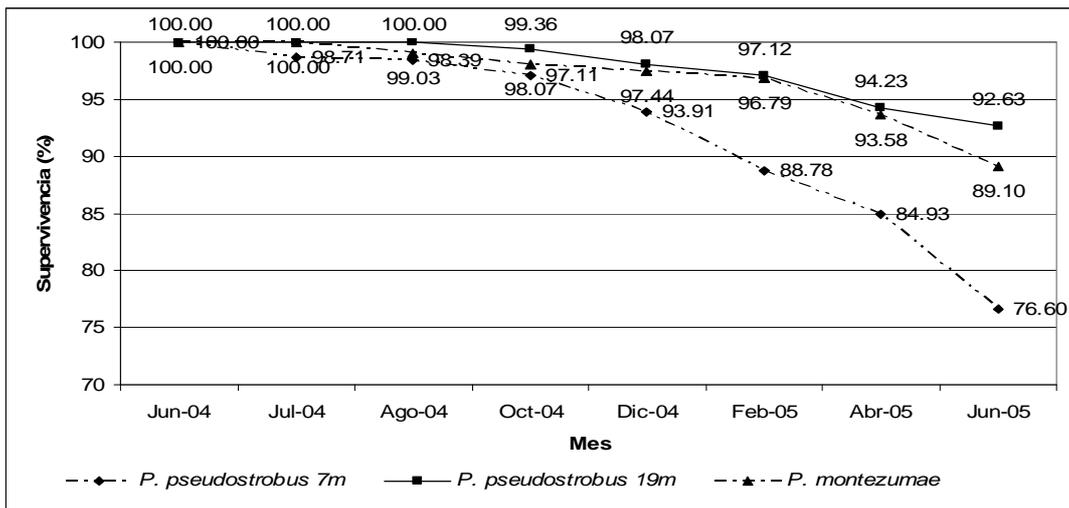
Para la supervivencia al primer año a la plantación, hubo diferencias significativas entre los sitios, los bloques, las especies y la interacción sitio-especie (cuadro 3). Los sitios presentaron diferencias altamente significativas, esto debido a la mejor supervivencia de Llano de Parí con respecto a los otros dos sitios (gráfica 4). La mejor supervivencia de Llano de Parí, es probable que esté relacionada con la remoción de la capa de arena, lo que permite tener un sustrato que proporciona mayor humedad, y por lo tanto permite soportar mejor las condiciones de sequía, en contraste con la Mesa de Cutzato y con San Nicolás.

De igual manera, la heterogeneidad de condiciones entre sitios y su impacto en la supervivencia de los pinos se ve reflejada en la diferencia significativa entre bloques (cuadro 4).



Gráfica 4. Supervivencia global acumulado por sitio a un año a la plantación.

Las diferencias más acentuadas se presentaron entre las especies. De estas, las que mostraron mejor supervivencia entre los tres sitios a un año a la plantación fueron *P. pseudostrabus* de 19 meses y *P. montezumae*, mientras que *P. pseudostrabus* de 7 meses presentó menor supervivencia a partir de diciembre del 2004 (gráfica 5).



Gráfica 5. Supervivencia promedio por especie a un año a la plantación.

3.3.2. Análisis por sitio

3.3.2.1. Crecimiento

El análisis del crecimiento para cada uno de los sitios mostró que las diferencias significativas más acentuadas se dieron entre especies, aunque en Llano de Pario también se hubo diferencia en la interacción boque-tratamiento (cuadro 4).

Cuadro 4. Nivel de significancia ($P \leq$) del análisis de varianza para el crecimiento, y grupos de Tukey para cada uno de los 3 sitios.

Fuente de variación	Mesa de Cutzato	Llano de Pario	San Nicolás
Bloque	0.9306	0.1774	0.3242
Especie	0.0021	<0.0001	<0.0001
Tratamiento	0.5343	0.1010	0.5219
Blo*Trat	-	0.0217	0.2432

Especie	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
	(cm)	Tukey	(cm)	Tukey	(cm)	Tukey
<i>Pinus greggii</i>	14.5	A	39.4	A	-	
<i>Pinus pseudostrobus</i> 19 m	24.6	A – B	26.1	B	28.6	A
<i>Pinus montezumae</i>	8.1	B	13.1	C	12.0	B
<i>Pinus pseudostrobus</i> 7 m	9.8	B	7.3	D	16.5	B
<i>Abies religiosa</i>	-		-		1.5	C

Tratamiento	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
	(cm)	Tukey	(cm)	Tukey	(cm)	Tukey
Plantación de leguminosa	-	-	22.3	A	18.5	A
Ausencia de tratamiento	15.1	A	23.5	A	16.3	A
Acolchado de corteza	12.6	A	19.7	A	16.6	A

El mejor crecimiento de las diferentes especies dentro de la Mesa de Cutzato, lo

tuvieron *P. pseudostrobus* de 19 meses y *P. greggii*, con una marcada diferencia con respecto a las otras dos especies ensayadas. En el caso de Llano de Pario, aunque son las mismas especies las que presentan mejor desarrollo, el orden jerárquico se invierte: *P. greggii* creció de manera mucho más importante que *P. pseudostrobus* de 19 meses, de forma que la primera especie conforma un grupo de Tukey por sí misma. Las especies con el crecimiento menos pronunciado fueron *P. pseudostrobus* de 7 meses y *P. montezumae* (cuadro 4).

El ensayo en San Nicolás muestra diferencias importantes, subrayando el pobre crecimiento de *A. religiosa* de 1.5 cm al primer año a la plantación. En contraste, *P. pseudostrobus* de 19 meses tuvo el mejor crecimiento, mientras que *P. pseudostrobus* de 7 meses y *P. montezumae* tuvieron un crecimiento intermedio (cuadro 4).

3.3.2.2. Supervivencia

En Mesa de Cutzato, el análisis no paramétrico de supervivencia no detectó diferencias en la tendencia de mortalidad durante el año de ensayo entre especies ($P = 0.0818$). Al cabo de cumplido un año, el análisis de devianza sí encontró diferencias de supervivencia entre especies (cuadro 5). *Pinus greggii* y *P. montezumae* fueron las especies con el mejor promedio de supervivencia, mientras que los *P. pseudostrobus* de 7 y 19 meses, se vieron más afectados por las condiciones del sitio.

Por otra parte, en Llano de Pario se detectó diferencia en la tendencia de mortalidad entre especies, aunque de forma marginal ($P = 0.0503$). Esta tendencia se reflejó en el análisis de devianza realizado al finalizar el primer año después de la plantación, donde se detectó que

existió diferencia entre las especies (cuadro 5). Es de notar que de los tres sitios bajo experimentación, Llano de Pario es el sitio que muestra la menor variación de supervivencia entre las cuatro especies ensayadas, con un 7% (cuadro 5). Las dos especies que registraron la supervivencia más baja fueron *P. pseudostrobus* de 7 meses junto con *P. montezumae*. El análisis de riesgos múltiples de Cox detectó que en el caso de *P. pseudostrobus* de 7 meses, la altura inicial jugó un papel determinante en la supervivencia ($P = 0.021$), mientras que los tratamientos al suelo no aparecieron como factores determinantes. En el caso de *P. montezumae* ninguno de las dos covariables resultó significativa para la tendencia de supervivencia de la especie.

Por último, San Nicolás fue el sitio con las diferencias de supervivencia entre especies más importantes, tanto en las tendencias de supervivencia durante el año a la plantación ($P = 0.0001$) como al finalizar el mismo (cuadro 5). En este sitio *P. pseudostrobus* de 19 meses y *P. montezumae* tuvieron la más alta supervivencia en comparación con *P. pseudostrobus* de 7 meses y *Abies religiosa* (cuadro 5). En el caso de *P. pseudostrobus* de 7 meses, el análisis de riesgos múltiples de Cox determinó que la covariable altura inicial fue significativa ($P = 0.0083$), mientras que los tratamientos al suelo no lo fueron. Por último, para *Abies religiosa* el análisis de riesgos múltiples de Cox detectó que de las variables tratamientos al suelo y altura inicial, sólo esta última fue significativa para la supervivencia ($P = 0.0001$).

Los tratamientos sólo fueron significativos en Llano de Pario al cabo de un año a la plantación, donde el tratamiento de plantación de leguminosas permitió una mejor supervivencia de los pinos, seguida por el tratamiento testigo, quedando último el

acolchado de corteza (cuadro5).

Cuadro 5. Nivel de significancia del análisis de devianza para la supervivencia, y grupos de Tukey para cada uno de los 3 sitios.

Fuente de variación	Mesa de Cutzato	Llano de Pario	San Nicolás
Bloque	0.0653	0.0141	0.0066
Especie	0.0281	0.0278	<0.0001
Tratamiento	0.2643	0.0099	0.5123
Blo*Trat	-	0.0050	<0.0001

Especies	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
	(%)	Tukey	(%)	Tukey	(%)	Tukey
<i>P.greggii</i>	100.0	A	97.2	A	-	
<i>P.montezumae</i>	93.8	A - B	90.2	A	86.7	A
<i>P.pseudostrobus</i> 19 m	80.0	B - C	94.4	A	93.0	A
<i>P.pseudostrobus</i> 7 m	75.0	C	90.2	A	65.0	B
<i>Abies religiosa</i>	-		-		37.5	C

	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
	(%)	Tukey	(%)	Tukey	(%)	Tukey
Plantación de leguminosas	-	-	96.4	A	73.4	A
Ausencia de tratamiento	90.6	A	93.2	A	70.3	A
Acolchado de corteza	83.3	A	89.5	A	68.2	A

3.4. DISCUSIÓN

El promedio de crecimiento por sitio de las especies ensayadas al cabo de un año, reflejó el gradiente de historial perturbación existente entre sitios, en donde entre menor es el grado de perturbación, mayor fue el crecimiento promedio de las plantas (gráfica 3). San Nicolás, el sitio agrícola y menos perturbado respecto a los otros dos sitios, permitió mejores tasas de crecimiento; esto probablemente debido a las características del suelo, cuya cubierta vegetal y mayor contenido de materia orgánica es superior al de los arenales. Por esto, el sitio agrícola en comparación con los arenales, seguramente permite una mejor retención de humedad, cambios menos pronunciados de temperatura y mayor disponibilidad de nutrientes.

El comportamiento de las dos especies de *P. pseudostrabus*, de 7 y 19 meses, es muy contrastante, lo que refleja que a pesar de ser la misma especie, la combinación del efecto del tamaño de bolsa (10 x 20 cm vs. 25 x35 cm) y por lo tanto de subsidio disponible en forma de un sustrato rico en nutrientes contenido en el cepellón, y la edad de la planta (7 meses vs. 19 meses), son determinantes para los resultados, en donde *P. pseudostrabus* de 7 meses tuvo un crecimiento y una supervivencia muy inferior respecto al *P. pseudostrabus* de 19 meses. El tamaño del envase es determinante en las posibilidades que tiene la planta para desarrollarse (Lumis y Chong 1996), además la cantidad de sustrato cumple con un doble papel, al proporcionar nutrimentos a la planta y un medio que conserva mejor la humedad disponible, lo que explicaría porqué combinado con un sistema radicular probablemente menos desarrollado, *P. pseudostrabus* de 7 meses sufre un mayor estrés hídrico, y por consecuencia en condiciones como los arenales, un menor crecimiento y supervivencia que el resto de las especies (Alejandre-Melena 2004, Beeson 1993).

A lo antes mencionado, hay que considerar que a pesar de que *P. pseudostrobus* es una especie que soporta hasta -9 °C (López-Upton 2002, SIRE 2005a), la edad de 7 meses seguramente es una edad muy susceptible al estrés por sequía, a la falta de nutrientes y al daño por heladas, que son condiciones características de los arenales.

Del total de las especies ensayadas, *Abies religiosa* fue la especie que obtuvo menor crecimiento y supervivencia promedio, esto posiblemente ocasionado por las duras condiciones de poca humedad y constante exposición solar presentes en San Nicolás, ambos factores de fuerte impacto para el buen desarrollo de la especie (Manzanilla 1974).

Por el contrario al cabo de un año a la plantación, *P. greggii* tuvo un comportamiento muy aceptable dentro de los arenales, mostrando el mejor promedio de supervivencia del ensayo y el segundo mejor crecimiento después de *P. pseudostrobus* de 19 meses. Los buenos resultados obtenidos por *P. greggii* concuerdan con lo mencionado por Hernández-Martínez (2003), Vargas-Hernández (1988) que reportan que esta especie muestra una alta adaptabilidad, así como alta resistencia a sequía y heladas.

Aunque en general los tratamientos al suelo no fueron significativos, la tendencia denota que el acolchado de leguminosas brinda buenas condiciones a los pinos, permitiéndoles mejores condiciones, de manera más clara en crecimiento que en supervivencia (cuadro 3, 4 y 5). Es probable que se necesite implementar nuevas estrategias para que el efecto sea de mayor magnitud. Entre las posibles estrategias, se sugiere el establecimiento previo de *Lupinus elegans* uno o varios años antes de la plantación de coníferas, lo que podría

proveer de sombra (que disminuiría el estrés por sequía) y de un aporte de nitrógeno, al incorporarse la hojarasca al suelo.

3.5. CONCLUSIONES

Se recomienda *Pinus greggii* junto con *Pinus pseudostrabus* de 19 meses para la restauración de los arenales, debido a que tienen los mejores valores de supervivencia, y son las especies con mejor crecimiento en estas condiciones. La especie *Pinus pseudostrabus* de 7 meses no se recomiendan para reforestar estos sitios.

Para el sitio agrícola (San Nicolás), con los datos resultado de este trabajo, se recomienda *Pinus pseudostrabus* de 19 meses debido al mayor crecimiento e igual supervivencia que *Pinus montezumae*. No se recomienda el uso de *Pinus pseudostrabus* de 7 meses y *Abies religiosa* para restaurar estos sitios, por tener una pobre supervivencia y crecimiento.

Dadas las tendencias en crecimiento y supervivencia, se sugiere probar otras estrategias de restauración ecológica, como el establecimiento anticipado de leguminosas (previo al establecimiento de las coníferas), para asegurar el papel protector de la sombra y una fuente de nitrógeno que se encuentre disponible para las plantas de coníferas al momento de la plantación de éstas.

4. RECOMENDACIONES GENERALES

Con los resultados de los dos capítulos anteriores, y dadas las condiciones de los sitios de experimentación en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), Michoacán, se observó que tanto el crecimiento como la supervivencia de las coníferas ensayadas, están determinados fuertemente por las características propias de las especies. El comportamiento de las especies a un año de la plantación sugiere que:

- *Pinus pseudostrobus* de 19 meses y *P. greggii* son las especies más recomendables para la restauración de los arenales en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro.
- Para la restauración del sitio agrícola en San Nicolás, se sugiere la utilización de *P. pseudostrobus* de 19 meses.
- Continuar la evaluación de *P. montezumae* debido al estado cespitoso, propio de la especie.
- El tamaño de la bolsa, debido a la cantidad de sustrato, y la edad de la planta son determinantes en el comportamiento de las especies durante la restauración.
- Continuar la evaluación del acolchado de leguminosas como una técnica de restauración ecológica sobre las coníferas utilizadas, para determinar si se acentúan las tendencias observadas durante este periodo.

BIBLIOGRAFÍA

Alejandre-Melena, N. 2004. Estudio sobre el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* Lindl en sitios afectados por deposición de ceniza volcánica en las inmediaciones del volcán Parícutín, Michoacán, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México. pp: 41 – 44.

Anónimo. 1998. Ficha técnica N° 2 de especies forestales estratégicas. Gaceta de la red mexicana de germoplasma forestal, 1: 58-62.

Ashton, P. M. S., S. J. Samarasinghe, I. A. U. N. Gunatilleke y C. V. S. Gunatilleke. 1997. Role of legumes in release of successional arrested grasslands in the central hills of Sri Lanka. *Restoration Ecology*. 5 : 36 – 43.

Avila Bello CH, 1994. Los oyameles de Veracruz especies importantes en la reforestación. Folleto técnico No. 24. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

Beeson, R.C. Jr. 1993. Benefits of progressively increasing container size during nursery production depend on fertilizer regime and species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 118(6): 752-756

- Blanco-García, A. 2005. Efecto del esfuerzo de restauración de de la vegetación nativa aledaña al volcán Paricutín, Michoacán, México. pp. 24 - 34.
- Brofas G. y C. Varelides. 2000. Hydroseeding and mulching for establishing vegetation on mining spoils in greece. *Land Degradation and Development* 11:375-382.
- Brown, W.H., E.D. Merrill y H.S. Yates. 1917. Revegetation of Volcano Island, Luzon, *Philippine Journal of Science* 12 : 177 - 148.
- Callaway, R. M. 1995. Positive interactions among plants. *The Botanical Review* 61 : 306 - 349.
- Castro J., R. Zamora, J. A. Hódar, J. M. Gómez, y L. Gómez-Aparicio. 2004. Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: A 4-year study. *Restoration Ecology* 12 (3): 352-358.
- CAB International, 2003. Forestry Compendium. Wallingford, UK: CAB International.*
- Chávez Carmona, A. FALTA AÑO. Las regiones geocológicas. Catálogo de la Biodiversidad en Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Morelia, Michoacán, México. pp. 1 - 36.
- Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). 2001. Atlas Forestal del Estado de Michoacán. Morelia, Michoacán, México. COFOM. 97 p.

Del Moral, R. y D. M. Wood. 1993. Early primary succession on a Barren Volcanic Plain at Mount St. Helens, Washington. *American Journal of Botany*. Vol. 80, No. 9., pp 981 – 991.

DIVA-GIS 4. 2004. <http://www.diva-gis.org/>

Frenzen, P. M. y J. F. Franklin. 1985. Establishment of Conifers from Seed on Tephra Deposited by the 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington. *American Midland Naturalist*. Vol. 114, No. 1., pp 84 – 97.

Gómez-Romero, M. 2004. Estudio del establecimiento de *Lupinus elegans* y *Eupatorium glabratum* especies natias para restauración ecológica de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 89 pp.

Halvorson J.J., R.A. Black, J.L. Smiths y E.H. Franz. 1991. Nitrogenase activity, growth and carbon and nitrogen allocation in wintergreen and deciduous lupin seedlings. *Functional Ecology* 5 : 554 – 561.

Hernández-Martínez, J. 2003. Zonas semilleras de *Pinus greggii* Engelm en el Estado de Hidalgo. Universidad Autónoma de Chapingo, UACH. División de ciencias forestales, Chapingo, México. 89p.

- Hobbs, R. J. y D. A. Norton. 1996. Comentario: Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration ecology*. Vol 4. No. 2., pp 93-110.
- Horn, E. M. 1968. Ecology of the Pumice Desert, Crater Lake National Park. *Northwest Sci.* 42: 141-149.
- Lindig-Cisneros, R., C. Sáenz-Romero, N. Alejandro Melena, E. Aureoles Celso, S. Galindo vallejo, M. Gómez Romero, R. Martínez Maldonado y E. I. Sánchez Medina. 2002. Efecto de la profundidad de los depósitos de arena volcánica en el establecimiento de vegetación nativa en las inmediaciones del volcán Parícutín, México. *Ciencia Nicolaita*. 31: 47 - 54.
- Lindig-Cisneros, R., A. Blanco-García, C. Sáenz-Romero, y P. Alvarado-Sosa. 2006. Restauración adaptable y variación interanual en bosques de pino en la Meseta Purépecha. En revisión en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*.
- López-Upton, J. 2002. *Pinus pseudostrobus* Lindl. In: Vozzo, J. A. (ed). *Tropical Tree. Seed Manual*. United States Department of Agriculture. Forest Service. USA. pp: 636-637.
- Luken, J.O. 1990. *Directing ecological succession*. Editorial Chapman and Hall. New York, EUA. pp 141.

- Lumis, G.P., Chong, C. 1996. Fertilizer method and container size effects on shade trees grown in in-ground containers. *Canadian-Journal-of-Plant-Science*. 76(3): 507-513
- Madrigal Sánchez X, 1982. Claves para la identificación de las coníferas silvestres del Estado de Michoacán. Boletín divulgativo No. 58. México D.F., México: Instituto Nacional de Investigación Forestales.
- Manzanilla, H. 1974. Investigaciones Epidométricas y Silvícolas en Bosques Mexicanos de *Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Publicas de la SAG. México, D.F.
- Masera, O. 1996. Deforestación y degradación forestal en México. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada. GIRA. Pátzcuaro.
- Medina, C., F. Guevara, M.A. Martínez, P. Silvia-Sáenz, M.A. Chávez-Carvajal y I. García. 2000. Estudio florístico en el área de la Comunidad Indígena de San Juan Parangaricutiro. *Acta Botánica Mexicana*. 52: 31.
- Medina-Sánchez, E.I. 2003. Determinación de los requerimientos de germinación de semillas de tres especies de leguminosas del Estado de Michoacán, con potencial para restauración. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 40 pp.
- Mislevy, P., W. G. Blue, y C. E. Roessler. 1990. Productivity of clay tailings from phosphate mining: II. Forage crops. *Journal of Environment Quality*. 19: 694 – 700.

- Novelo-González, R. 1994. Mulch para el control de maleza en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 116 p.
- Parrota, J. A. 1995. Influence of overstory composition on understory colonization by native species in plantations on a degraded tropical site. *Journal of Vegetation Science*. 6: 627 – 636.
- Pérez-Hernández, C. 2001. Variación geográfica en la respuesta a la sequía en plántulas de *Pinus greggii* Engelm. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. 89 p.
- Programa Nacional de Reforestación (PRONARE). 2000. Evaluación de la reforestación 1999 del Programa Nacional de Reforestación. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. D.F. n.p.
- Robertson, G.P. 1998. *GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences*. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA.
- Rodríguez Franco C. 1980. Estudio Epidométrico de *Pinus montezumae* Lamb. mediante análisis troncales en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, Puebla. Tesis Profesional. Chapingo, Mexico: Universidad Autónoma Chapingo.

Rodríguez Franco C, y C.A. Ortiz Selorio. 1982. Survey of soils in the San Juan Tetla experimental forest, Puebla. *Ciencia Forestal*, 7(40):25-47.

Rzedowski. G.C. y J. Rzedowski. 2001. "Flora fanerogámica del Valle de México". 2da edición. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. pag. 1406.

Sáenz-Romero, C. y R. Lindig-Cisneros. 2004. Evaluación y propuestas para el programa de reforestación en Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita*. 37: 107-122.

SAS INSTITUTE INC.. 1988. SAS/ STAT Guide for personal computers. Version 6.03. Raleigh, North Carolina, USA. 1028 p.

Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Subsecretaría de Recursos Naturales, Programa Nacional de Reforestación (SEMARNAP). 2000. Evaluación de las reforestaciones de 1999 en el Estado de Michoacán. Reporte interno. México. D.F., SEMARNAP, 18 p.

Sistemas de Información para la Reforestación. 2005a. Fichas Tecnológicas *Pinus pseudostrobus*. Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO) y Comisión Forestal Nacional (CONAFOR). http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/sire.htm

Sistemas de Información para la Reforestación. 2005b. Fichas Tecnológicas *Pinus montezumae*. Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO) y Comisión Forestal Nacional (CONAFOR). http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/sire.htm

Sistemas de Información para la Reforestación (SIRE). 2005c. Fichas Tecnológicas *Abies religiosa*. Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO) y Comisión Forestal Nacional (CONAFOR). http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/sire.htm

Sistemas de Información para la Reforestación (SIRE). 2005d. Fichas Tecnológicas *Pinus greggii*. Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO) y Comisión Forestal Nacional (CONAFOR). http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/sire.htm

Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico. México, D.F.

Statistical Sciences 1998. *S-Plus 4 Guide to statistics*. Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle.

Toledo V. M. 1989. La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo* 14 (81): 17-30.

- Vargas-Hernández, J. J. y A. Muñoz O. 1988. Resistencia a sequía: crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. *Agrociencia* 72: 197 - 208.
- Vazquez-Yanes, C. 1998. *Threma micrantha* (L.) Blume (Ulmaceae): A promising neotropical tree for site amelioration of deforested land. *Agroforestry Systems*. 40: 97 - 104.
- Velázquez, A., J. F. Mas, R. Mayorga-Saucedo, J. R. Díaz, C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, J. L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna-González, I. Trejo, J. López-García, M. Palma, A. Peralta, J. Prado-Molina, y F. González-Medrano. 2002. Estado Actual y Dinámica de Los Recursos Forestales de México. *Biodiversitas* 41: 8-15.
- Velázquez, M. A., A. Torres y G. Bocco. 2003. Las enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales. INE- SEMARNAT, México. 595 pp.
- Whisensant, S.G., T. L. Thurow y S.J. Maranz. 1995. Initiating autogenic restoration on shallow semiarid sites. *Restoration ecology* 3: 61 - 67.
- Wood, D.M. y W.F. Morris. 1990. Ecological constraints to seedling establishment on the pumice plains, Mount St. Helens, Washington. *American Journal of Botany*. 77 : 1411 - 1418.

Zobel, B. y Talbert, J. 1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales.

Editorial Limusa. Primera reimpresión. México. 95-138 pp.