

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

PROGRAMA DE POSTGRADO

**EVALUACIÓN DASOMÉTRICA TEMPRANA DE UNA
PLANTACIÓN AGROFORESTAL, DE TRES ESPECIES
INTRODUCIDAS, EN EL MUNICIPIO DE
HUEHUETLA, HIDALGO.**

T E S I S

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

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA:

MARIO CASTELÁN LORENZO

Chapingo, Texcoco, Edo. de México, junio de 2008.



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

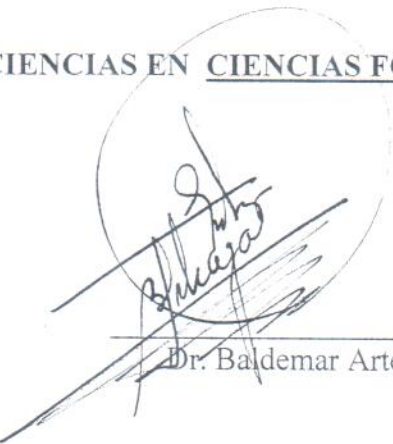


**EVALUACIÓN DASOMÉTRICA TEMPRANA DE UNA PLANTACIÓN
AGROFORESTAL, DE TRES ESPECIES INTRODUCIDAS, EN EL
MUNICIPIO DE HUEHUETLA, HIDALGO.**

Tesis realizada por MARIO CASTELÁN LORENZO 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:



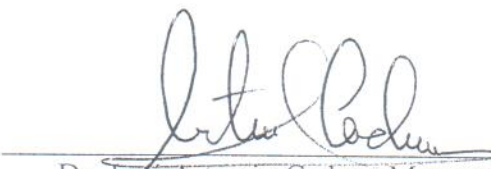
Dr. Baldemar Arteaga Martínez

ASESOR:



Dr. Aurelio Manuel Fierros González

ASESOR:



Dr. José Artemio Cadena Meneses

¡Lo que soy para ti!

Estoy sin poder moverme, siempre será este mi lugar
dónde tu me plantaste, pero escucha lo que voy a decirte:
cuando eras pequeñito, fui la tabla de tu cuna, la superficie
de tu mesa, las paredes y las puertas de tu casa, tus juguetes.

Hombre: yo soy el mango de tus herramientas, el bastón
de tu vejez, la leña que te calienta en el frío invierno
y que cuece tus alimentos, soy el fruto que te nutre,
la sombra que en los días calurosos te cobija y te protege
de los intensos rayos del sol, el refugio y hogar de los pájaros
que alegran tu vida con sus cantos.

Yo soy la hermosura del paisaje, el encanto de la huerta,
soy la señal en el cerro, el lindero de tu terreno y tu camino;
tu sabes lo que pasaría con la vida de todos los hombres
si yo no existiera.

Por último, soy la madera de tu ataúd.

Por todo lo que soy para ti, cuando me mires,
piensa que me plantaste con tus manos y me has dado
todos los cuidados que necesité para crecer fuerte y sano,
eres digno de llamarme ¡hijo! y si ya me contemplaste muchas
veces, síguelo haciendo pero... no me hagas daño.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de Posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, a través de la División de Ciencias Forestales, por permitirme lograr uno de mis grandes propósitos en la vida.

Al Dr. Baldemar Arteaga Martínez por su paciencia en la dirección del presente trabajo y sus sabios consejos para la conclusión del mismo.

Al Dr. José Artemio Cadena Meneses, por su gran apoyo brindado en la realización de los análisis estadísticos y su interés mostrado en el presente trabajo.

Al Dr. A. Manuel Fierros González, por sus observaciones muy valiosas sin las cuales no hubiera sido posible la culminación de este trabajo.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa por el apoyo brindado y observaciones oportunas desde los inicios del proyecto.

A Margarito Soriano Montero, por su gran apoyo en el análisis e interpretación de los resultados en la parte estadística.

A todos los profesores que me brindaron sus conocimientos y me apoyaron para culminar mis estudios de posgrado.

A las siguientes personas, Ing. Saúl B. Monreal Rangel, Lic. Rafael E. Riaño Massó y Lic. Herbert Menéndez, por las facilidades otorgadas para la donación de las plantas y en la información tan valiosa que proporcionaron y por el interés mostrado desde la etapa inicial del presente trabajo.

Al Sr. Rutilio García Solís y su apreciable familia y Sr. Ciro Rosas Tolentino, por permitirme establecer las parcelas experimentales en sus terrenos y por su apoyo en el establecimiento de la plantación y en la toma de datos.

DEDICATORIA

Al ser supremo que me dio la vida, Dios, por nunca abandonarme y estar conmigo en todos los momentos de mi vida, en las buenas y en las malas y por guiarme siempre por el camino del bien.

A mis padres Isaías y Agripina, a mi hijo Alejandro E. y demás familiares que, con su apoyo, me han demostrado un gran cariño en todo momento.

Los quiero mucho.

Especial dedicatoria merece el Dr. Miguel Ángel Musálem Santiago [†], por ser mi maestro en la Primavera de 2007, poco antes de partir de este maravilloso mundo y que nos dejó un gran legado de conocimientos, y en especial por el gran interés por las plantaciones forestales y la preocupación por la conservación de nuestros recursos forestales que siempre nos inculcó.

Gracias Maestro y siempre estará presente en mi memoria.

A mis amigos de la Maestría con quienes compartí momentos difíciles y alegres durante nuestros estudios. Y a todos mis demás amigos, sigan siempre como son y luchen siempre por conseguir sus metas.

Suerte a todos

A mis compañeros y amigos de la Academia de Sistemas de Producción Forestal y el Área de Agronomía de la UACH, por su apoyo brindado en el campo laboral y la motivación para concluir el presente trabajo.

Mario Castelán L.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació el 23 de diciembre de 1979 en San Guillermo, Municipio de Huehuetla, Hidalgo. Realizó sus estudios básicos en la misma comunidad, su educación media superior la realizó en el Centro de Estudios de Bachillerato de Huehuetla, concluyendo el Bachillerato Pedagógico en 1997; en este mismo año ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo egresando de la carrera de Ingeniero en Restauración Forestal en 2003.

Después de su egreso de la UACH, ha trabajado en evaluación de plantaciones forestales realizadas por el PRONARE en el Estado de México; con ejidatarios forestales en la instrumentación de proyectos de manejo forestal sustentable en el contexto del PROCYMAF en el Estado de Jalisco; así como en manejo de bosques urbanos en el Programa de Manejo y Conservación del Bosque de Chapultepec en el Distrito Federal.

En 2006 ingresa a la Maestría en Ciencias Forestales en la UACH, y actualmente labora en esta misma Institución, como Técnico Académico de las materias de Sistemas de Producción Forestal y Prácticas Pecuarias y Forestales en el Departamento de Preparatoria Agrícola.

**“EVALUACIÓN DASOMÉTRICA TEMPRANA DE UNA PLANTACIÓN
AGROFORESTAL DE TRES ESPECIES INTRODUCIDAS, EN EL
MUNICIPIO DE HUEHUETLA, HIDALGO”**

**“EARLY DASOMETRIC EVALUATION OF AN AGROFORESTRY
PLANTATION OF THREE INTRODUCED SPECIES, IN THE MUNICIPALITY
OF HUEHUETLA, HIDALGO”**

Mario **Castelán Lorenzo**¹ Baldemar **Arteaga Martínez**²

RESUMEN

Se estableció una plantación agroforestal en Huehuetla, Hgo., México, con tres especies tropicales de rápido crecimiento: cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn.), melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y teca (*Tectona grandis* L. f.), con el fin de realizar una evaluación temprana de la sobrevivencia y el potencial de crecimiento. El diseño experimental fue el de bloques en parcelas divididas; cada bloque consistió en un sitio, en el cual se establecieron nueve parcelas con 25 árboles de cada especie en cada una y a diferentes densidades de plantación, 3 X 3, 2.5 x 2.5 y 2 X 2 m. Se establecieron tres bloques (sitios), resultando en total 27 parcelas para los tres, quedando constituido cada sitio por 75 árboles de cada especie, 225 en total.

El ANOVA para las variables altura, diámetro basal y volumen mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tres sitios a un año de establecer la plantación agroforestal. Al realizar la prueba de comparación de medias por Mínima Diferencia Significativa (DMS) se obtuvieron los mejores crecimientos de las especies en el sitio tres, asociadas con café y con un nivel de significancia del 5%; melina tuvo el mayor crecimiento y una sobrevivencia del 95%, seguida de cedro rosado con 88%; teca registró los más bajos crecimientos y una sobrevivencia de 57%. Los sitios uno y dos, asociados con maíz, mostraron los menores crecimientos en las tres variables evaluadas y una baja sobrevivencia, lo cual se debió probablemente al efecto del herbicida FAENA aplicado como labor cultural al cultivo del maíz. En cuanto a espaciamientos, tanto para

ABSTRACT

An agroforestry plantation was established in Huehuetla, Hgo. with three fast growth tropical species: pink cedar (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn.), melina (*Gmelina arborea* Roxb.), and teak (*Tectona grandis* Lf), to conduct an early assessment on to the survival and growth potential. The experimental design was the split plot blocks, each block consisted on a single site, in which were established nine sites with 25 trees of the three species in each block and different planting densities, 3 x 3, 2.5 x 2.5 and 2 x 2 m. Three blocks were established (sites), resulting a total of 27 plots for the three blocks. Each site had 75 trees of each species, 225 overall.

The ANOVA test for the three variables: height, basal diameter and volume showed significant differences ($p \leq 0.05$) in the three sites, after one year of established the agroforestry plantation. According to the Least Significant Difference (LSD) test the best growths of the species were obtained on the site three, associated with coffee and using a level of significance of 5%; melina had the highest survival (95%) and growth, followed by pink cedar with 88%; teak recorded the lowest survival (57%) and growth. Sites one and two, associated with maize showed the least growths for the three evaluated variables and exhibited low survival. This was probably due to the effect of herbicide FAENA, applied as cultural labor during the cultivation of maize. In relation to spacing, both, melina and pink cedar had as the most appropriate 3 x 3 m. This agroforestry system or the combination of coffee with

¹ Tesista

² Director de Tesis

melina como para cedro rosado resultó ser el más adecuado el correspondiente a 3 X 3 m. El sistema agroforestal o combinación de café con melina y cedro rosado resultó mejor que la combinación de las mismas con maíz.

PALABRAS CLAVE: *Acrocarpus fraxinifolius*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, crecimiento, evaluación, sistema agroforestal, maíz, café.

melina and pink cedar resulted better than the combination of these two with maize.

KEY WORDS: *Acrocarpus fraxinifolius*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, growth, evaluation, agroforestry system, maize, coffee.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIAS.....	v
DATOS BIOGRÁFICOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
SUMMARY.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	xv
 1. INTRODUCCIÓN.....	 1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.2. HIPÓTESIS Y SUPUESTOS.....	3
1.2.1. Hipótesis.....	3
1.2.2 Supuestos.....	4
 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	 5
2.1. Las plantaciones forestales.....	5
2.2. Sistemas agroforestales.....	11
2.3. Proceso de establecimiento de la plantación.....	12
2.3.1. Preparación del terreno.....	13
2.3.2. Diseño de plantación.....	15
2.3.3. Método de plantación.....	18
2.3.4. Época de plantación.....	18
2.3.5. Selección de especies y procedencias.....	19
2.3.5.1. Homologación climática en la selección de especies.....	21
2.3.5.2. Adaptación ecológica aplicada a la selección de especies.....	23
2.3.5.3. Origen, tamaño y edad de la planta.....	25

CAPÍTULO	PÁGINA
2.3.6. Evaluación de plantaciones forestales.....	26
2.4. Descripción de las especies.....	27
2.4.1. Cedro rosado (<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et. Arn.)	28
2.4.1.1. Origen y distribución.....	28
2.4.1.2. Descripción botánica.....	28
2.4.1.3. Requerimientos ecológicos.....	29
2.4.1.4. Usos.....	30
2.4.1.5. Crecimiento.....	32
2.4.2. Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb.).....	33
2.4.2.1. Origen y distribución.....	33
2.4.2.2. Descripción botánica.....	34
2.4.2.3. Requerimientos ecológicos.....	35
2.4.2.4. Usos.....	36
2.4.2.5 Crecimiento.....	37
2.4.3. Teca (<i>Tectona grandis</i> L. f.).....	39
2.4.3.1. Origen y distribución.....	39
2.4.3.2. Descripción botánica.....	39
2.4.3.4. Requerimientos ecológicos.....	40
2.4.3.4. Usos.....	41
2.4.3.5. Crecimiento.....	42
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
3.1. Descripción del área de estudio.....	43
3.1.1. Localización.....	43
3.1.2. Clima.....	45
3.1.3. Orografía.....	45
3.1.4. Suelos.....	46
3.1.5. Hidrografía.....	47
3.1.6. Vegetación.....	48
3.1.7. Fauna.....	48
3.2. Procedencia de las especies utilizadas.....	49
3.3. Establecimiento de la plantación.....	50
3.4. Diseño experimental.....	51

CAPÍTULO	PÁGINA
3.5. Evaluación de la plantación.....	51
3.6. Análisis de datos.....	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1. Comportamiento del crecimiento.....	55
4.1.1. Crecimiento por especies incluyendo los tres sitios.....	55
4.1.2. Espaciamiento dentro de especies.....	58
4.1.3. Supervivencia de las especies.....	62
4.2. Comportamiento del crecimiento por sitio.....	64
4.2.1. Sitio 1: San Guillermo.....	64
4.2.1.1. Crecimiento de las especies.....	64
4.2.1.2. Comportamiento del crecimiento acumulado por espaciamiento..	65
4.2.1.3. Supervivencia.....	70
4.2.2. Sitio 2: El Cerro.....	70
4.2.2.1. Crecimiento de las especies.....	71
4.2.2.2. Comportamiento del crecimiento acumulado por espaciamiento..	73
4.2.2.3. Supervivencia.....	73
4.2.3. Sitio 3: Cantarranas.....	77
4.2.3.1. Crecimiento de las especies.....	77
4.2.3.2. Comportamiento del crecimiento acumulado por espaciamiento..	78
4.2.3.3. Supervivencia.....	84
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
6. LITERATURA CITADA.....	88
7. APÉNDICE.....	93

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Análisis de varianza general del crecimiento en altura, diámetro basal y volumen de las tres especies incluyendo los tres sitios, a los doce meses de establecida la plantación, en el Mpio. de Huehuetla, Hgo.....	55
2. Comparación de medias por Mínima Diferencia Significativa (DMS) de las variables altura, diámetro basal y volumen de las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., incluyendo los tres sitios.....	56
3. Comparación de medias por DMS de las variables altura, diámetro basal y volumen entre los distintos espaciamientos por especie.....	58
4. Supervivencia general, por sitio y por especie, en la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	62
5. Análisis de varianza del crecimiento en altura, diámetro basal y volumen a doce meses de establecer la plantación en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 1.....	64
6. Comparación de medias por DMS de las variables altura, diámetro basal y volumen entre especies en el sitio 1.....	65
7. Análisis de varianza del crecimiento en altura, diámetro basal y volumen a doce meses de establecer la plantación en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 2.....	70
8. Comparación de medias por DMS de las variables altura, diámetro basal y volumen entre especies en el sitio 2.....	71
9. Análisis de varianza del crecimiento en altura, diámetro basal y volumen a doce meses de establecer la plantación en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 3.....	77
10. Comparación de medias por DMS de las variables altura, diámetro basal, y volumen entre especies en el sitio 3.....	78

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Terrenos aptos para plantaciones forestales. (SEMARNAT, 2001).....	10
2. Localización del área de estudio para el establecimiento de una plantación agroforestal experimental de tres especies forestales introducidas en el Municipio de Huehuetla, Hgo.....	44
3. Dimensiones y distribución de las parcelas en los sitios de plantación en el Municipio de Huehuetla, Hgo.....	52
4. Comparación general del crecimiento en las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo. de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, incluyendo los tres sitios.....	57
5. Comparación del crecimiento entre espaciamientos para cedro rosado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen; en el Mpio. de Huehuetla, Hgo.....	59
6. Comparación del crecimiento entre espaciamientos para melina de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen; en el Mpio. de Huehuetla, Hgo.....	60
7. Comparación del crecimiento entre espaciamientos para teca de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen; en el Mpio. de Huehuetla, Hgo.....	61
8. Comportamiento de la sobrevivencia general y por sitio de la plantación agroforestal establecida en el Municipio de Huehuetla, Hgo.....	63
9. Comportamiento de la sobrevivencia por especie de la plantación agroforestal establecida en el Municipio de Huehuetla, Hgo.....	63
10. Comparación del crecimiento en las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo. del Sitio 1, de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen.....	66
11. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 3 X 3 m de las especies introducidas en San Guillermo, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	67
12. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2.5 X 2.5 m de las especies introducidas en San Guillermo, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	68
13. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2 X 2 m de las especies introducidas en San Guillermo, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	69
14. Comparación del crecimiento en las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 2, de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen.....	72
15. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 3 X 3 m de las especies introducidas en El Cerro, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	74

16. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2.5 X 2.5 m de las especies introducidas en El Cerro, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	75
17. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2 X 2 m de las especies introducidas en El Cerro, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	76
18. Comparación del crecimiento en las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 3, de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen.....	79
19. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 3 X 3 m de las especies introducidas en Cantarranas, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	80
20. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2.5 X 2.5 m de las especies introducidas en Cantarranas, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	81
21. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2 X 2 m de las especies introducidas en Cantarranas, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	82

INDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

CUADRO	PÁGINA
1. Análisis de Varianza desglosado por variable de la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo, en los tres sitios.....	99
2. Análisis de Varianza para las variables del sitio 1: San Guillermo, de la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	100
3. Análisis de Varianza para las variables del sitio 2: El Cerro, de la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	101
4. Análisis de Varianza para las variables del sitio 3: Cantarranas, de la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo.....	102

1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales han ido aumentando en nuestro país, debido principalmente al interés de los productores forestales por el aprovechamiento maderable, empleando varias especies para tal fin, entre otras, *Eucalyptus spp.*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Pinus patula*.

Así mismo, son de sumo interés aquellas que se han efectuado con fines de protección y de restauración, que tienen como fin recuperar aquellas áreas que se han ido deteriorando por un mal manejo. Siendo necesario que éstas continúen fomentándose en todo el país.

En el Municipio de Huehuetla, Estado de Hidalgo, se ha visto que los campesinos de esta zona, no muestran un interés en realizar plantaciones forestales, a pesar de las campañas que se han realizado sobre este aspecto, debido al poco conocimiento que tienen respecto a ellas; además de que no cuentan con los apoyos técnicos para llevar a cabo algún tipo de plantación.

Por otra parte, no se han implementado sistemas de producción adecuados; basta mencionar que las pocas personas que se dedican al aprovechamiento forestal, lo hacen con técnicas rudimentarias, sin preocuparse por repoblar el monte, una vez que se ha

aprovechado el mismo; continúan talando los pocos reductos de selva nativa para la siembra del maíz y frijol, principalmente. Se han realizado algunos intentos por establecer plantaciones forestales a través de apoyos directos, tanto con árboles como con incentivos económicos (Procampo Forestal), pero los habitantes del lugar no muestran interés por plantarlos. Sólo reciben el incentivo económico, pero la mayoría de las personas no los plantan, dejándolos secar o simplemente los tiran.

Con base en lo anterior se consideró necesario realizar una plantación forestal con el fin de mostrar a los campesinos la importancia que representan las plantaciones con fines agroforestales, principalmente con especies de rápido crecimiento y con un alto potencial en zonas ecológicamente similares, a Huehuetla; lo cual funcionará como una fuente alterna para la obtención de ingresos, además de ser la opción más viable para abatir el problema que representa el café por los bajos precios, por ser el cultivo principal en la zona. El fin de la misma incluye la obtención de madera de calidad posiblemente para la venta; obviamente sin olvidar que los campesinos tienen otras necesidades como postes, madera para construcción, muebles y en general para otros usos locales.

1.1. OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

- 1). Evaluar el potencial de crecimiento y sobrevivencia de una plantación forestal de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*), melina (*Gmelina arborea*) y teca (*Tectona grandis*), en la región de Huehuetla, Hgo.
- 2). Determinar cuál es el espaciamiento más adecuado para el crecimiento de las tres especies.
- 3). Probar la efectividad de las tres especies como sistema agroforestal, asociadas con café y/o con maíz.

1.2. HIPÓTESIS Y SUPUESTOS

1.2.1. Hipótesis

1. Las tres especies tendrán una respuesta favorable al ambiente dada la similitud de requerimientos ecológicos de las mismas, con las del lugar de plantación.
2. Al menos una o dos de las tres especies responderán de manera diferente o favorable en el lugar de plantación.

1.2.2. Supuestos

1. En el Municipio de Huehuetla se hallan las condiciones medioambientales adecuadas para establecer plantaciones de cedro rosado, teca y melina, acorde con los datos sobre los requerimientos ecológicos de las especies consideradas.
2. El monocultivo a base del café, junto con los problemas que se derivan del mismo, se verá reducido en el mediano plazo con la asociación de café y/o maíz con las tres especies forestales.
3. Una vez evaluado el potencial de dichas especies en asociación con café y maíz, los productores campesinos se interesarán en combinar sus cultivos tradicionales con estas especies.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Las plantaciones forestales

La FAO (1982) define a las plantaciones forestales como: “rodales forestales establecidos mediante plantación o la siembra directa en el proceso de forestación o reforestación. Puede ser con especies introducidas o con especies nativas manejadas en forma intensiva, que cumplen con los siguientes criterios: una o dos especies plantadas, coetáneas y con espaciamiento regular”. Así como: 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.

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2003), las define como: el establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal en terrenos temporalmente forestales o preferentemente forestales, cuyo objetivo principal es la producción de materias primas forestales destinadas a su industrialización y/o comercialización. Tomando en cuenta que en México, de acuerdo a la Ley Forestal de 1997 (Artículo 19 Bis 3) “está prohibido establecer plantaciones comerciales en sustitución de la vegetación natural de los terrenos forestales”; por lo cual se parte del supuesto de que toda plantación comercial implica la reconversión de terrenos de baja o nula productividad agropecuaria a terrenos de uso forestal (SEMARNAP, 1998).

Las plantaciones forestales cumplen en forma precisa un objetivo de producción de bienes para la sociedad y aparte de influir positivamente en la calidad de vida del ser humano, ayuda también en muchas ocasiones a aliviar las presiones que la misma sociedad ejerce sobre los bosques naturales, que cada vez más están siendo reservados para la conservación de la biodiversidad y la regulación de otros recursos naturales como el suelo y el agua (Musálem, 2006).

Es de suma importancia que, al planear una plantación forestal, los objetivos de la misma sean realistas y claramente definidos (Evans, 1992; Sawyer, 1993). Las mismas se establecen con el fin de cumplir todos o cualquiera de los propósitos siguientes:

1. Uso industrial. Para la obtención de madera, pulpa para papel y celulosa en general, en construcciones, y otros productos como los no maderables.
2. Uso doméstico. Como fuente de energía, principalmente para leña en las zonas rurales, además para la obtención de postes y estacas, entre otros.
3. Protección ambiental. Para la protección de cuencas, reducción de la erosión de suelos, control de cárcavas, estabilización de dunas y/o rehabilitación, entre otros.
4. Sistemas agroforestales y forestación social. Sobre todo en las comunidades rurales, en donde, con la asociación de árboles y cultivos, se obtienen alimentos, frutos y forraje, así como enriquecimiento del suelo, a través de la fijación de nitrógeno.

Las plantaciones forestales han adquirido trascendencia mundial por haber resultado útiles para cubrir las crecientes necesidades de maderas de un mundo cada vez más poblado y consumidor, pero con menos bosques nativos aprovechables: una hectárea de aquellas puede compensar en rendimiento leñoso a 15 – 20 ha de estos otros y así salvarlos de su extinción. Primitivamente, plantar árboles, era objeto de paisajismo, aún agrupándolos en bosquetes; recién a finales del siglo XIX, en Austria y Alemania, se comenzaron a proveer maderas con especies de *Pinus*, en Portugal e Italia con *Eucalyptus* y en el otro extremo del mundo, Java – Burma, con Teca (*Tectona grandis*) (Cozzo, 2001).

El crecimiento poblacional, aunado a la vertiginosa disminución de las áreas forestales, trajo consigo un aumento en la demanda de productos forestales. Dicha demanda de productos forestales difícilmente podrá ser cubierta con la producción de bosques naturales. De alguna manera, la demanda de madera seguirá aumentando; con lo cual, la oferta no podrá cubrir dicha demanda si se tratara de cubrirla exclusivamente con la producción de bosques naturales, de ahí la necesidad de establecer plantaciones forestales (Musálem, 2006). En algunos países tropicales, las plantaciones son la principal fuente de productos madereros y en otros se consideran incluso como fuentes de suministro de madera alternativa al bosque natural, al que protegen así, de la sobreexplotación (FAO, 1995).

Las plantaciones forestales producen bosques homogéneos en cuanto a características del producto a cosechar, con grandes volúmenes de cosecha por unidad de área, bajos

costos de cosecha y total aprovechamiento de la potencialidad productiva del sitio, en muchos casos quintuplicando la producción maderable del bosque natural por su relativa simplicidad. Las plantaciones son más fáciles de manejar y tienen gran aceptación social.

En la actualidad las plantaciones forestales con fines maderables suman unos 30 millones de ha en regiones tropicales y 125 en todo el mundo, el 95 % de especies introducidas (en particular de *Eucalyptus* y *Pinus*), y si bien ellas representan el 6 – 7 % de los 3,400 millones de ha de bosques nativos que restan en el mundo, medidas en productividad equivalen al 20 – 30 %, con el agregado que están donde el hombre quiso tenerlas para proveerse de materias primas destinadas a la elaboración de celulosa, maderas de aserrío y tableros (Cozzo, 2001). Otro dato registra que las plantaciones corresponden al 3% de la superficie arbolada actual en el mundo, pero contribuyen a la producción mundial de madera en una proporción muy superior (FAO, 1995).

En México, desde hace varios años se introdujeron especies con el fin de aumentar la productividad en cuanto a la producción de madera y celulosa para papel, se han plantado especies de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*, principalmente, utilizándolas en plantaciones de gran extensión para abastecer a las industrias madereras; así como para otros fines como son la recuperación de áreas degradadas y sobre todo en las áreas urbanas con el fin de amortiguar la elevada contaminación. Entre las principales especies arbóreas que se han empleado están las maderables: eucalipto (*Eucalyptus spp*), cedro rojo (*Cedrela odorata*), melina (*Gmelina arborea*), teca (*Tectona grandis*), caoba

(*Swietenia macrophylla*), pino (*Pinus spp*), primavera (*Tabebuia donell-smithii*), roble (*Tabebuia pentaphylla*), huizache (*Acacia farnesiana*), mezquite (*Prosopis velutina*), nogal (*Juglans sp.*), caobilla (*Swietenia humilis*) y cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*) y las no maderables: hule (*Hevea brasiliensis*), bambú (*Bambusa spp*), palma camedor (*Chamaedorea spp.*) (SEMARNAT, 2001).

Hasta el año 2003, se contaba con poco más de 40 mil ha ya plantadas, a raíz de la aprobación de cerca de 500 proyectos de plantaciones forestales comerciales, avalados por el PRODEPLAN, existiendo 20,890 ha de plantaciones forestales comerciales con especies introducidas y 18,640 ha con especies nativas, siendo los principales participantes: agricultores, ganaderos, cafeticultores, productores forestales e industriales forestales, en ese orden (Monreal, 2003). González (2005), menciona que, hasta octubre del año 2005, existían aproximadamente 110 mil hectáreas plantadas, con 2183 proyectos aprobados por PRODEPLAN, creciendo los apoyos para las plantaciones forestales de manera exponencial.

Sin embargo, el dato más reciente es que, al concluir el año 2006 se contaba con 140 mil hectáreas de plantaciones forestales comerciales, de las cuales, 120 han sido apoyadas por PRODEPLAN a través de 6300 proyectos, y el 75% de ellas se encuentran en el Sureste Mexicano y, de las plantaciones establecidas, el 97% se encuentra en fase de crecimiento o pre-producción (Herrera, 2007). En la Figura 1 se indican las áreas con mayor potencial para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales.



Figura 1: Terrenos aptos para plantaciones forestales (SEMARNAT, 2001).

En la Declaración de París, a raíz del Décimo Congreso Forestal Mundial, se resumían así los objetivos de las plantaciones: “un aumento importante de las superficies forestales plantadas resulta ser una necesidad absoluta para satisfacer una demanda creciente de productos leñosos con objeto de limitar la presión sobre los ecosistemas forestales naturales y para fijar el dióxido de carbono” (FAO, 1995).

2.2. Sistemas agroforestales

Un sistema agroforestal es un complejo tecnológico en donde se hallan creciendo algún cultivo perenne o anual, asociado con algún árbol en la misma unidad de área pudiendo ser empleado para diversos fines (Evans, 1992).

Krishnamurthy y Ávila (1999) definen a la Agroforestería como el arte y la ciencia de cultivar árboles en combinación interactiva con cultivos y/o animales en la misma unidad de tierra con múltiples propósitos. Por lo que un sistema agroforestal siempre tiene dos o más productos, incluyendo dos o más especies de plantas (o plantas y animales) y por lo menos una de ellas es perenne leñosa.

Ospina (2006) define un sistema agroforestal como el conjunto de asociaciones o arreglos agroforestales donde se encuentran especies del componente vegetal leñoso y no leñoso, o componente vegetal leñoso, no leñoso y animal; comprendiendo el sistema agrosilvícola (leñosas y no leñosas) y agrosilvopastoril (leñosas, no leñosas y animales).

En las regiones tropicales se han plantado con éxito especies como *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrela mexicana*, *Cordia alliodora*, *Tectona grandis*, *Grevillea robusta*, con maíz y frijol, dando buenos resultados, así como con pastizales. Se han utilizado árboles de uso múltiple que tienen como fin, producir una gran variedad de productos tales como madera y sus derivados, frutos, forraje, sombra para el café, fijadores de nitrógeno y control de la erosión, incluyéndose varias especies de la familia

Leguminosae como: *Leucaena leucocephala*, *Inga spuria*, *Prosopis spp.* y *Gliricidia sepium*, entre otros (Evans, 1992).

La función principal es mantener o mejorar la productividad del sistema mediante la protección de los cultivos del intenso calor y lluvias, disminuir la evapotranspiración y aumentar el reciclaje de nutrientes. Adicionalmente el sistema brinda otros productos y servicios (frutas, madera, leña, plantas aromáticas y medicinales, almacenamiento de CO₂, liberación de oxígeno, conservación del suelo, diversificación del paisaje, alimento y refugio de fauna silvestre) (Ospina, 2006).

Los árboles asociados con cultivos permanentes es una tecnología agroforestal que presenta un arreglo temporal simultáneo. La disposición horizontal del componente vegetal leñoso es mezclada o zonal (tresbolillo o marco real). La disposición vertical es multiestratificada. Las exigencias productivas de los cultivos permanentes generalmente condicionan espacios para el desarrollo de cultivos transitorios y semipermanentes (plátano, maíz, frijol) y árboles y arbustos. El aprovechamiento de la luz, humedad y nutrientes del suelo constituyen los secretos del manejo eficiente de esta tecnología agroforestal (Ospina, 2006).

2.3. Proceso de establecimiento de la plantación

Durante el proceso de establecimiento de plantaciones forestales de cualquier tipo, deben procurarse áreas que tengan suelos apropiados y dadas las condiciones de la mayoría de los terrenos forestales, la plantación podría ser manual, debiendo cuidar la

aplicación de los tratamientos silvícolas para favorecer la calidad de la madera como son podas y fertilización, entre otros; dentro de los límites económicos (Arteaga, 2004).

2.3.1. Preparación del terreno

El objetivo de la preparación del terreno es crear condiciones favorables para el establecimiento de la planta; esto permitirá aumentar las probabilidades de supervivencia, un crecimiento rápido y el árbol estará en condiciones de competir ventajosamente con las malezas a más temprana edad (Musálem, 2006).

La preparación del sitio es una labor muy costosa, pero muy necesaria para favorecer la supervivencia y desarrollo de las plantas, especialmente en las etapas iniciales. Los objetivos pueden sintetizarse como sigue (Fierros, *et al.* 2001).

a) Mejoramiento de las condiciones físicas del suelo para:

- Mejorar la retención de humedad
- Mejorar la aireación
- Facilitar el crecimiento y la penetración de las raíces
- Remover obstáculos para el desarrollo de los árboles y
- Promover la disponibilidad de nutrientes

b) Reducir la competencia de la vegetación natural “indeseable” (recordar que la Ley Forestal prohíbe la eliminación de vegetación arbórea densa para establecer plantaciones forestales comerciales), y

c) Eliminar obstáculos superficiales que dificulten la plantación (rocas y otros).

Cuando se están plantando especies tropicales de rápido crecimiento, especialmente las especies latifoliadas, la diferencia entre el éxito y el fracaso de una plantación radica en hacer una preparación del sitio bien hecha y no una mediocre. Sin el control adecuado de la competencia, el potencial total del crecimiento de los árboles no se realiza. Cuando la competencia por maleza y pasto es alta, debe controlarse primero en forma mecánica, manual o por medio de la quema e incluso debe aplicarse algún herbicida (Ladrach, 1994).

Cualquier tipo de preparación del terreno, sea manual o mecanizada, debe realizarse cuidando evitar al máximo efectos dañinos en él. En general, para las plantaciones forestales, se usa preparación mecanizada en terrenos planos o de poca pendiente que no rebasen el 10% y, en donde no es posible la mecanización, después de este rango, se debe emplear la preparación manual u otro método. Si es mecanizada, puede realizarse la preparación en contorno (siguiendo curvas de nivel) cuando la pendiente general del terreno sea mayor de 8 ó 10 %; en la mayoría de los casos va a depender de los recursos económicos disponibles (Fierros, 2001).

Arteaga (2007) menciona que en la preparación del terreno para plantaciones forestales comerciales rara vez se siguen curvas de nivel y dicha actividad se realiza sólo cuando el suelo sea areno-arcilloso y/o susceptible de erosionarse.

La preparación mecanizada supone las siguientes formas: laboreo total o en líneas, subsolado, terrazas; y la preparación manual: a pico y pala, cepa común, sistema español, sistema gradoni, zanja ciega, zanja trinchera, cada uno con sus propias especificaciones (Fierros, 2001, Musálem, 2006).

Si se emplea el sistema cepa común, la apertura de capas tiene por objeto remover la tierra para la colocación de los árboles. Las cepas se deben realizar de 40 X 40 X 40 cm o aún más, teniendo un buen espacio de tierra removida y con ello permitir una mejor penetración de raíces, y por lo tanto, un establecimiento más exitoso (Galoway y Borgo, 1984). Aunque debe aclararse que esto depende básicamente de la preparación del terreno; en algunos casos, sólo basta la apertura del suelo con una coa, implemento que tenga la forma del tubete u otro implemento llamado hacha plantadora (Arteaga, 2007).

2.3.2. Diseño de plantación

Un factor importante en el establecimiento de la plantación es el espaciamiento entre planta y planta. Este factor influye en la sobrevivencia, crecimiento en altura y diámetro, dependiendo de la especie y condiciones de las que se trate. La densidad determina el número de árboles que va a crecer durante el ciclo productivo, influye en el crecimiento en diámetro, en la forma de los fustes, y en el crecimiento en altura en menor grado, y por consecuencia en el volumen de la cosecha (Fierros, 2001). La densidad depende de varios factores, como son la especie, su velocidad de crecimiento, el clima, el objetivo de la plantación y la posibilidad o conveniencia de realizar aclareos.

El trazo de la plantación se realiza con el fin de garantizar una distribución proporcional de los recursos del sitio entre los árboles (suelo, agua, luz, nutrientes). González (1978), menciona que el espaciamiento utilizado en plantaciones con fines de restauración forestal (3 X 3, 2.5 X 2.5 y 2 X 2 m), con especies como *Eucalyptus camaldulensis*, *E. resinífera*, *Pinus michoacana* y *P. montezumae*, no afectó la supervivencia de los árboles.

En la Sierra Norte de Puebla se han establecido plantaciones de cedro rosado asociados con café con espaciamientos de 3 X 3, 4 X 4, 5 X 5, 5 X 7.5 y 10 X 10 m, mostrando buenos índices de crecimiento, con fustes casi cilíndricos y ramificaciones por arriba de los 15 m (Quintanar, 2002). Para melina se han probado espaciamientos de 2 X 2, 2.5 X 2.5, 3 X 3 y 3.5 X 3.5m, esto en una plantación en el Campo Experimental Forestal “Ing. Eduardo Sangri Serrano” en las cercanías de Escárcega, Campeche, encontrándose que el espaciamiento no influyó en la sobrevivencia, altura, diámetro y volumen, esto en los primeros años de establecida la plantación, después de siete años, se encontró que a menor espaciamiento, los fustes fueron rectilíneos y bien conformados, a mayor espaciamiento hubo un número mayor de ramas gruesas y una mayor bifurcación (Sánchez, 1989).

El tipo de producto que desea obtenerse, así como la fertilidad, clase de suelo y la intensidad del manejo, definen el espaciamiento o diseño de plantación a utilizar. Así se tiene que, para cedro rosado, si se quiere obtener madera en plantaciones puras el espaciamiento inicial debe ser de 3 X 3 m, aplicando aclareos a los 4 y 8 años para un

turno de 12 años; por el contrario, si se establece en asociación agroforestal el espaciamiento inicial debe ser de 4 X 4 m, aplicando raleos a los 4 y 6 años, igual para un turno de 12 años (Musálem, 2006).

Gmelina arborea se ha asociado con cultivos anuales como maíz y frijol y se ha encontrado que aumenta la disponibilidad de N y P en el suelo, resultando idónea para utilizarla en programas de uso múltiple del suelo. Se ha asociado además en plantaciones de café y té en todo Centroamérica, siendo muy utilizado en plantaciones forestales bajo el sistema taungya, con espaciamientos de 2 X 3 m. Los cultivos pueden ser incorporados a la vez o en forma escalonada en el tiempo, en un lapso de 5 a 10 meses (Sánchez, 1989; Murillo y Valerio, 1991). En México se ha plantado en los estados de Campeche, Quintana Roo, Oaxaca y Tabasco, algunas veces asociadas con cultivos anuales en donde se han obtenido resultados favorables en cuanto a crecimiento (Musálem, 2007a).

En el caso de la teca se han probado espaciamientos de 2 X 2.5, 3 X 3 y en general de 1.5 X 1.5 hasta 3 X 6 m, siendo más utilizado el de 3 X 3 m, el cual ha favorecido más al desarrollo de los árboles en la zona de Nayarit (Parada, 2000). En el Estado de Campeche se han probado espaciamientos de 4 x 2 y 3.5 x 3.5, empleándose más comúnmente esta última por su facilidad de manejo (Musálem, 2007b).

2.3.3. Método de plantación

En las plantaciones forestales se conocen varias formas de plantar un árbol, muchas de las veces esto está influido por las características de la estación y la preparación del sitio, el tipo de planta, su tamaño, época de plantación y su distribución en el terreno. Entre las formas de plantación se reconocen dos formas de plantación dependiendo de la presentación de la raíz, plantas con cepellón y a raíz desnuda. Las plantaciones con cepellón, tradicionalmente se han realizado en forma manual y las plantaciones a raíz desnuda generalmente se realizan en forma manual o mecanizada (Musálem, 2006).

2.3.4. Época de plantación

En el establecimiento de plantaciones forestales, este factor es importante para obtener buenos resultados en la sobrevivencia, pues la planta debe establecerse en el momento en que se presente el balance hídrico más adecuado, es decir, cuando se presentan condiciones de alta humedad atmosférica, que el suelo esté mojado y libre de heladas y el coeficiente de evaporación sea mínimo y, si es posible, cuando los tallos de la planta están en reposo vegetativo (FAO, 1978; Fierros, 2001).

Debido a que no hay una estación fría en los trópicos, la mayor parte de las plántulas arbóreas forestales no tienen una verdadera etapa de reposo que es la mejor época para plantarlas en los climas fríos. La mayor parte de las plantaciones a gran escala en los trópicos se establecen en el clima de monzón, o sea, húmedo/seco, a diferencia del clima húmedo en donde no hay una estación de sequía o ésta es muy corta. El error que más comúnmente se comete es el de demorar la plantación hasta casi el comienzo de la época

de sequía. La clave es hacer la plantación al comienzo de las lluvias continuas, con el fin de que tengan tiempo de desarrollar su sistema radicular antes de que comience la época de sequía. Al final del primer año, las especies latifoliadas que se plantan al comienzo de las lluvias, tienen el doble de la altura, que aquellas que fueron plantadas a mitad de la estación o justo antes de la sequía, y tienen una tasa de supervivencia mucho más alta al final de la primera estación de sequía (Ladrach, 1994).

Las zonas tropicales húmedas presentan alguna ligera ventaja sobre las templadas, ya que en las primeras se puede plantar durante gran parte del año. En México, la mayoría de las plantaciones se realizan cuando inicia la temporada de lluvias y, una vez que el suelo está lo suficientemente húmedo (Musálem, 2006). Es necesario conocer bien el comportamiento de la precipitación; en general, la plantación debe iniciarse una vez que el suelo se encuentre a “capacidad de campo”, lo cual ocurre después de que han llovido 100 mm o más por varios días (Fierros, 2001).

2.3.5. Selección de especies y procedencias

La selección de la especie y procedencia idóneas para el desarrollo de un proyecto de plantaciones forestales es una de las decisiones más importantes del proceso y resulta del análisis de tres factores: el objetivo de la plantación, las características del medio ambiente del área de ubicación del proyecto, condiciones de clima y edáficas del sitio, y las especies potenciales que se adapten al medio y puedan cumplir con el objetivo (Fierros, 2001). De manera general, estos factores, se pueden dividir en cuatro grupos fundamentales (García, 2002):

- a) Factores ecológicos
- b) Factores biológicos
- c) Factores económicos
- d) Otros factores

En buenos sitios pueden plantarse un gran número de especies, lo cual permite considerar diversas alternativas de producción, en cambio en sitios pobres o con alguna limitación particular (inundación, salinidad, suelos poco profundos) la selección se ve limitada a una o pocas especies.

El estudio de procedencias se establece cuando se ha descartado la posibilidad de uso de especies locales, dado que no pueden producir la cantidad y calidad de los productos deseados. Procedencia se refiere a un lugar de origen de unas semillas o árboles; también puede referirse a un árbol individual; sin embargo, debe restringirse a la población de árboles que viven en un lugar y no a un solo ejemplar. Por lo que, de acuerdo con Callaham, (1964); seleccionar la procedencia idónea significa seleccionar la localidad idónea. Es decir, la zona geográfica y ambiental, dentro de la cual crecieron los árboles progenitores y dentro de la cual se ha desarrollado su constitución genética por selección artificial y/o natural, resultando una población local característica (Burley y Wood, 1979).

Los ensayos de procedencias permiten incrementar la producción de madera por unidad de superficie, acortar los ciclos de producción, mejorar la calidad, aumentar la resistencia a plagas y enfermedades y a los factores ambientales adversos, así como para ocupar sitios improductivos (Evans, 1992).

2.3.5.1. Homologación climática en la selección de especies

El proceso selectivo en la elección de la especie utilizando la información climática es el siguiente: conociendo los valores de cada uno de los parámetros climáticos que definen el clima y, así mismo, los valores límite tolerables por cada especie, podemos considerar la posibilidad, desde el punto de vista climático, de plantar una especie en un sitio determinado (García, 2002).

Una forma de conocer y determinar los mejores individuos para cada sitio es a través de la evaluación de la progenie de las mismas familias pero en diferentes ambientes; entonces las diferencias del fenotipo serán el resultado de las diferencias del ambiente y por lo tanto del grado de plasticidad de las características en estudio, entendiéndose como plasticidad al grado en el cual un carácter de un genotipo determinado puede ser modificado por las condiciones ambientales (Spurr y Barnes, 1982).

En lo que se refiere a la introducción de especies exóticas, tanto en los programas de mejoramiento genético como en la práctica forestal, lo lógico es empezar con aquellos “orígenes” que viven en condiciones climáticas similares. Como primera aproximación, esta homologación es útil, sobre todo si se han incluido los “orígenes” procedentes de

climas extremos: mucho más duros o más suaves que el del sitio a introducir. Queda, a pesar de ello, un amplio rango de variación climática y sólo los resultados experimentales pueden ayudar a la formación de un juicio, este rango puede referirse al fotoperiodo, al régimen térmico, las precipitaciones y la altitud (García, 2002).

En los sitios donde no existe una suficiente experimentación, el silvicultor puede escoger las especies, indagando si existe alguna analogía entre el área de origen de las mismas y el nuevo ambiente. De ambas regiones, tanto la original de la especie a introducir como el lugar donde se va a introducir, se deberán considerar los siguientes factores: cantidad y distribución estacional de las lluvias; valores medios de temperatura, anuales, mensuales y extremos; humedad relativa, duración de los períodos húmedos y secos, duración e intensidad de la luz solar; profundidad, textura, drenaje, pendiente y reacción de los suelos; condiciones bióticas (fauna y tipo de vegetación). Cuando no sea posible reunir la información suficiente sobre el hábitat de ciertas especies, podemos limitarnos a examinar tres factores fundamentales estrictamente relacionados entre sí: el tipo de distribución de las lluvias, su volumen medio anual y la amplitud de la temperatura (Golfari, 1963).

García (2002), menciona los factores más importantes para tener éxito, en la introducción de especies a un nuevo hábitat y éstos son:

- 1). La temperatura mínima absoluta.
- 2). La duración del periodo vegetativo.

- 3). Las precipitaciones anuales y especialmente las del período vegetativo, por cuanto indican la efectividad de las mismas.
- 4). La latitud, por ser el factor que controla el fotoperiodo y, asimismo, porque está asociada con muchos de los factores anteriores.
- 5). Diferencias de plasticidad. La plasticidad es la capacidad para prosperar en condiciones diferentes de aquellas que prevalecen en el “hábitat” natural. Las especies más plásticas son las de mayor probabilidad de éxito al plantarlas fuera de su hábitat.

2.3.5.2. Adaptación ecológica aplicada a la selección de especies

La situación actual de las áreas de distribución de las especies está ligada a la historia de las glaciaciones cuaternarias; por lo que no se sabe si puede considerarse como terminado el proceso de adaptación, aún después de varias generaciones. El responsable de la selección forestal tiene la ventaja de trabajar sobre especies genéticamente muy variables y de poder reconocer, a través de la historia de los bosques, las formaciones autóctonas, pudiendo de este modo relacionar las variaciones de características genéticas con los de las condiciones ecológicas del lugar de origen. Debiendo aprovechar esta ventaja, al menos con las especies, y en las regiones, en que la repoblación artificial con semillas de origen incierto cobra importancia, pudiendo llegar a crear una gran confusión en lo que concierne al carácter autóctono o no de las masas forestales; la selección de especies forestales tiene, pues, que aprovechar en primer lugar esta variabilidad genética y después analizarla (Pesson, 1978).

A nivel de la especie, las diferencias en cuanto a adaptabilidad a ambientes son mayores, hay especies que poseen un amplio espectro de adaptación, de tal manera que la detección de interacción necesita de pruebas sobre condiciones más amplias de ambientes. Al reducir el espectro genético, tales como los niveles de procedencias y progenies, las pruebas de interacción resultan más sensibles, por cuanto los rangos de tolerancia se hacen menores y se refleja en diferentes reacciones ante pequeñas variaciones del medio (FAO, 1980).

Para estudiar la variabilidad genética es necesario que las procedencias escogidas representen un buen muestreo del área natural de la especie. Los árboles de los que se tomará la semilla o las parcelas de estudio deberán ser suficientes y bien distribuidos sobre la masa forestal elegida, de modo que representen fielmente las características medias de toda la masa (Pesson, 1978).

La interacción genotipo-ambiente puede definirse como la falta de uniformidad en la respuesta de dos o más grupos de plantas cultivadas en dos o más ambientes, un grupo puede demostrar el mejor crecimiento en un ambiente, pero no en otro. La presencia de la interacción genotipo-ambiente refleja la existencia de variaciones ambientales, aún sobre distancias relativamente pequeñas, y de variaciones en las exigencias de diferentes genotipos, tanto a macro como a micro ambientes. Esta es la razón fundamental de la necesidad de replicación de experimentos en espacio y en tiempo (FAO, 1980).

El éxito de una plantación forestal a partir del fenotipo, expresado como ganancia genética, depende de varios factores, entre los cuales destacan el tipo y número de caracteres en la selección (alta o baja heredabilidad), la intensidad de selección (variabilidad de la especie) y el método de propagación (sexual y asexual). Por lo que, un recorrido inicial por las áreas de distribución (plantación o regeneración) ayudan a establecer un criterio de exigencias para diversas características (FAO, 1980).

2.3.5.3. Origen, tamaño y edad de la planta

Lo que caracteriza las grandes repoblaciones de los últimos años es la transferencia de especies de unas regiones a otras. La flora forestal de Europa Occidental se ha visto enriquecida por las grandes coníferas del Oeste Americano: *Picea* es hoy la conífera más importante utilizada en Gran Bretaña. El pino californiano, *Pinus radiata*, es el que produce la mayor cantidad de madera en Nueva Zelanda y Chile. Las mesetas de Madagascar desnudas a principios de siglo, están hoy cubiertas de bosques con los eucaliptos australianos y el pino mexicano *Pinus patula*. Por lo que, a través de la experiencia obtenida por la introducción de especies, se ha llegado a saber con bastante exactitud cuáles son las especies que pueden dar mejores resultados en distintas condiciones ecológicas (Pesson, 1978).

En cuanto al tamaño de la planta para realizar plantaciones, éste varía de acuerdo a la estación, la especie y de si se trata de una planta con cepellón o a raíz desnuda. La determinación de la calidad de las plántulas producidas es decisiva para el buen desarrollo futuro de la plantación. Lo que representa un buen material para la plantación

es una relación bien proporcionada entre tallo y raíz, en cuanto a longitud, el balance adecuado varía de 1.0 a 1.4, aunque una relación de biomasa entre tallo y raíz, sería más importante. La selección se realiza utilizando el diámetro de la altura del cuello de la planta, como uno de los indicadores de alta calidad, el cual debe tener no menos de 1 cm de diámetro y una altura de 30 a 40 cm, deberán además ser plantas vigorosas y en buen estado sanitario (FAO, 1980).

En general, el tamaño de la planta, así como el sistema de producción, debe atender a circunstancias particulares y sólo la investigación experimental dará luz en este asunto (Musálem, 2006).

2.3.6. Evaluación de plantaciones forestales

Tanto los bosques naturales, como las plantaciones forestales, manejados en forma sustentable, toman en cuenta cuestiones de carácter ambiental y socioeconómico, cumpliendo con un valioso papel para satisfacer las necesidades de productos forestales, y de bienes y servicios ambientales de la sociedad, así como para ayudar a conservar la diversidad biológica de los ecosistemas. Así también, los costos, beneficios y perjuicios de diferentes tipos de manejo forestal, incluyendo las plantaciones forestales, deben ser evaluados bajo diferentes condiciones sociales, culturales, económicas y ecológicas; debiendo reconocer el papel de las plantaciones forestales como un elemento importante del manejo forestal sustentable y como un complemento de los bosques naturales (Torres y Magaña, 2001).

La evaluación de una plantación consiste en aplicar cierta técnica para recopilar información de algunas características particulares de la misma. Tal información es sometida a un análisis, que posteriormente se usará para escoger apropiadamente un plan eficiente de acciones a llevar a cabo en la plantación, tanto en el manejo de la masa arbolada, como en la administración de la misma. Torres y Magaña (2001) señalan que toda evaluación debe tener un objetivo bien definido, siendo generalmente, determinar el estado actual de la plantación y el potencial del arbolado, centrándose en la estimación de árboles jóvenes, su número, distribución y calidad, así como las condiciones de la vegetación competitiva, tasa de crecimiento y la composición de cada rodal o estrato de plantación; o incluso la estimación de variables que afectan indirectamente la plantación, como podrían ser la evaluación de contaminantes, disturbios o la presencia de fauna silvestre. Con esto, debe tratarse de obtener la información requerida al costo y tiempo mínimos posibles, de tal manera que se cumpla el objetivo planteado.

2.4. Descripción de las especies

Las especies que se plantaron fueron introducidas a México en diferentes épocas y se seleccionaron con base en la similitud de condiciones medioambientales que requieren, a través del Programa Forestry Compendium GM de CAB International; en el cual se ingresaron los datos climatológicos y ecológicos del Municipio de Huehuetla, Hidalgo, seleccionando las que resultaron mejor para establecerlas en esta zona.

El cedro rosado fue introducido en la época de los años treinta en la Península de Yucatán y la Sierra Norte de Puebla. La teca fue introducida a México en la década de

los años setenta por la CONAGUA en Tabasco y el INIF al Campo Experimental “El Tormento”, en Campeche. La melina fue introducida en la misma época por el INIF en Campeche y Veracruz (Menéndez, 2006; Riaño, 2006).

2.4.1. Cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight et. Arn.)

2.4.1.1. Origen y distribución

El cedro rosado es originario de las colinas del Sur y del Este de la India y de Birmania, donde se le conoce con el nombre de “mundani”. Se le ha considerado como nativo de la India, Bangladesh, Bhután, China, Indonesia, Laos, Myanmar, Nepal y Tailandia. Se ha introducido en varios países como Colombia, Guatemala, Honduras, Kenia, Malawi, México, Nicaragua, Panamá, Tanzania, Uganda, Taiwán y Zimbabwe. En países como la India, se le ha asociado con teca (*Tectona grandis*) y en Kenia se ha empleado para sombra de café. En México se le conoce además por el nombre de “lazcar”; poco se sabe de su cultivo en México (INIF, 1985; González, 2002; Niembro, 2003; Honorato *et al.*, 2005).

2.4.1.2. Descripción botánica

De la familia Leguminosae (subfamilia Caesalpinioideae), el cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight *et. Arn.*) es un árbol que alcanza alturas de 30 a 35 metros en México y hasta 60 m en otros lugares del mundo, de tallo cilíndrico, presenta un solo fuste de base reforzada, con corteza de color marrón grisáceo y fina, libre de ramas en el 75% de su altura total, de copa liviana y redondeada, alcanzando diámetros de 0.90 a 2 m (Whitmore y Otárola, 1976; Honorato *et al.*, 2005).

Las ramas son delgadas y se despliegan horizontalmente con corteza de color gris. Hojas compuestas, largas, hasta de un metro; presenta flores de color rojo escarlata en racimos colgantes. Florece de marzo a mayo fructificando de mayo a agosto, permaneciendo los frutos en el árbol de 5 a 6 semanas (Niembro, 2003). Mantiene su follaje durante todo el año y siempre mantiene brotes nuevos de color bronceado. Su fruto es una vaina aplanada de 6 a 16 cm de largo con aproximadamente 10 a 18 semillas (Whitmore y Otárola, 1976; ICRAF, 2002; citado por González, 2002). Niembro (1986) menciona que en México, sólo alcanza alturas de 20 a 25 metros, debido posiblemente a su carácter de introducido, produciendo de 5 a 7 semillas por vaina.

2.4.1.3. Requerimientos ecológicos

El cedro rosado es una especie de clima tropical húmedo y sub-húmedo, creciendo en altitudes que van de 0 a 1500 msnm. Se ha plantado con éxito desde el nivel del mar hasta los 2000 m siempre y cuando la humedad sea suficiente, 1500 mm de precipitación como mínimo y que no haya una estación seca prolongada. Sus límites biofísicos para su óptimo desarrollo son: lluvia media anual entre 1500 – 2000 mm, temperatura anual promedio entre 19 y 28° C y de 0 – 1500 msnm. Es demandante de mucha luz, pero cuando joven puede tolerar sombra ligera. No resiste las heladas (Niembro, 2003; Menéndez, 2006).

En México, se ha plantado desde los 0 hasta los 1700 msnm, en climas con una precipitación que varía entre los 500 y 3,000 mm y a temperaturas promedio de los 15 a los 26° C. Crece en suelos ácidos y calcáreos, los prefiere profundos, bien drenados,

franco-arcillosos con pH entre 4 y 7, aunque también prospera en suelos poco profundos y compactados. Para un buen desarrollo, específicamente requiere de suelos profundos, con buen drenaje y pH de 6.9 a 7.5 (Honorato *et al.*, 2005).

2.4.1.4. Usos

Su principal producto es la madera, la cual se utiliza para fabricar muebles, en construcciones rurales, combustible (leña) y cajas para empaques (Niembro, 1986). Se emplea además para la construcción de pisos, escaleras, puertas, marcos de colmena de abejas, y después de ser impregnada, para durmientes del ferrocarril. La madera es de gran utilidad, dura pero fácil de labrar, su peso específico es de 0.55 y 0.7 gcm⁻³.

La sombra ligera lo hace ideal para la producción de madera asociado con cafetales, como árbol de sombra para el té, funcionando excelentemente como cortina rompevientos. Así también, el follaje puede usarse como forraje, siendo además excelente melífera, recomendándose también para el control de la erosión, reforzando taludes y estabilizando terrazas, así como para reforestaciones y sombra de cultivos perennes, sin olvidar los beneficios ambientales que proporcionan los árboles, sobre todo en la captura de CO₂ (Gautam, 2002).

Avendaño (2002) menciona que el mayor beneficio está en que el cedro rosado tiene la capacidad de fijar nitrógeno. Cuando hay una tempestad, por ejemplo, se libera nitrógeno en el ambiente; este árbol tiene la capacidad de captarlo, de llevarlo a sus

raíces y de fijarlo en el suelo; y proporciona alimento a todas las plantas que están alrededor de ella, a la vez que lo almacena para utilizarlo.

El sistema cedro rosado-café, es una tecnología agroforestal que intercala como componente arbóreo para sombra y obtención de madera al cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* W.) y como cultivo de importancia económica al café (*Coffea arabica* L.) (González, 2002).

Se ha plantado con éxito en varios países de clima tropical, principalmente de Centroamérica, tan sólo en Guatemala en los últimos tres años varios terrenos de Coatepeque, Malacatán, San Marcos, Retalhuleu, Santa Lucía, Escuintla, Huehuetenango, Izabal, Petén, Cobán y Jutiapa han sido cubiertos con tres millones de árboles de cedro rosado, en donde ha sido considerado generador de oxígeno, donde además de conservar el medio ambiente, sirve para generar ingresos económicos (Avendaño, 2002).

En México, el cedro rosado, a pesar de que se introdujo en los años treinta, comenzó a plantarse desde 1992 en los estados de Puebla y Veracruz como árbol de doble propósito, con la idea de tener sombra en muy poco tiempo en los cafetales, además de ser aserrado en el mediano plazo que, dependiendo del lugar, puede ser entre los 8 y 10 años de edad (Menéndez, 2006).

Esta especie se ha empleado por ser de rápido crecimiento y porque permite diversificar la producción al obtener madera en el mediano plazo. Se ha plantado con éxito en la región de la Sierra Norte de Puebla para dar sombra al café, donde existen aproximadamente 261.5 ha de cedro rosado principalmente en los municipios de Venustiano Carranza, Xicotepec y Zihuateutla (Honorato *et al.*, 2005).

2.4.1.5. Crecimiento

En muchos ensayos y en condiciones adecuadas de clima, el cedro rosado ha sido una de las especies de más rápido crecimiento, de 3.0 a 3.5 m por año durante los primeros años, llegando a los 16 – 18 m a los 7 años. La producción de madera varía de 30 – 45 m³ ha⁻¹. En sitios favorables puede presentar un incremento medio anual de 10 m³ ha⁻¹. Por ejemplo en Malawi árboles de 2 años de edad generaron 33 t ha⁻¹ de biomasa (ICRAF, 2002; citado por González, 2002).

El crecimiento es excepcionalmente rápido, observándose un desarrollo vertical, en los mejores sitios, de hasta 8.50 m en los primeros 12 meses, con un crecimiento normal entre los 5 y 7 m al año de sembrado. A los 2 años pueden alcanzar, en promedio, 12.75 m de altura y 11.5 cm de diámetro normal con un rendimiento de 47.5 m³/ha/año (Menéndez, 2006). El crecimiento mayor se ha registrado en suelos húmedos y con buena exposición al sol. En México se han observado incrementos anuales promedio en altura de 2.3 m, en diámetro de 3 cm y en volumen 44.62 m³/ha, esto en plantaciones experimentales de Bacalar, Quintana Roo; Escárcega, Campeche y Huimanguillo, Tabasco (INIF, 1985).

En menos de diez años, el árbol alcanza altura y grosor suficientes como para producir cuatro docenas de tablas, algo que llevaría 20 años a un pino, 30 años a un cedro común y entre 40 y 50 años a una caoba. A ese beneficio se suma que, una vez cortado, el árbol retoña, ofreciendo nuevamente —diez años después— madera utilizable y producción de oxígeno, sucediendo hasta en tres ocasiones (Avendaño, 2002). El crecimiento del cedro rosado asociado con café en la zona de Xicotepec, Puebla, se ha visto excepcional en los primeros 3 años, alcanzando una altura de 16 metros, con un diámetro normal de 16 cm. Se tienen datos de algunos sitios en donde el primer año hubo un crecimiento de 7.5 metros de altura y un DAP de 11 cm (Menéndez, 2006).

En México, existen plantaciones comerciales de cedro rosado en Xicotepec de Juárez, Puebla, La Huacana, Michoacán. La superficie total plantada con cedro rosado se estima en 2,500 ha, aún no hay plantaciones en cosecha (Monreal, 2006).

2.4.2. Melina (*Gmelina arborea* Roxb.)

2.4.2.1. Origen y distribución.

Gmelina arborea es un árbol originario del este del Asia Tropical, Indomalasia y Australia, el género comprende 35 especies. En la India se conoce con los nombres de “gumhar”, “sewan”, “gomari” y “shewan”. En Birmania se conoce como “melina” y “yemane”, entre otros. En los países de América en los que se ha introducido, se le conoce con los nombres comunes de “melina” y “yemane”. Crece en forma natural en todo el sureste asiático, comprendiendo países como Pakistán, India, Nepal, Malasia, Bangladesh, Sri Lanka, Birmania, Tailandia, Laos, Camboya, Vietnam y el Sur de

China. Se encuentra ampliamente distribuido en varios países a nivel mundial, siendo introducidos en África y América y en la propia Asia, en países como Borneo, Malasia, Nigeria, Gana, Kenia, Malawi, Sudáfrica, Tanzania, Uganda, Senegal, Gambia y Costa de Marfil, en América en países como Brasil, Colombia, Venezuela, Centroamérica y desde luego en México (Sánchez, 1989).

2.4.2.2. Descripción botánica

El género *Gmelina* abarca 35 especies de árboles y arbustos, pertenece a la familia Verbenaceae. Melina es un árbol caducifolio de tamaño medio, generalmente de 15 a 20 m de altura, llegando a alcanzar hasta 30, no presenta contrafuertes y en forma general no tiene un fuste muy recto, de corteza color marrón pálido a gris en árboles jóvenes y de color café amarillento a café claro, con manchas blanquecinas, en árboles maduros; si crece en grandes espacios, se hace un árbol muy ramificado y de amplia copa (Sánchez, 1989; Murillo y Valerio, 1991).

Las hojas son simples, opuestas, sin estípulas, de borde liso pudiendo ser dentado, el ápice es acuminado, son de forma ovada, glaucas por el envés y de nervadura pinnada. La inflorescencia es una panícula; corola de las flores de forma tubular, irregular y de color pardo. Las flores caen rápidamente, por lo que cubren el suelo de los alrededores del árbol. El fruto es una drupa carnosa, esférica, ovoide u oblonga de tamaño 2 a 5 cm, fuertemente adherida a la semilla protegiéndola de manera eficaz. La semilla varía de 12 a 25 mm de tamaño y presenta de 1 a 4 lóculos (Patiño *et al.*, 1982; Murillo y Valerio, 1991).

2.4.2.3. Requerimientos ecológicos

Melina es una especie de clima tropical que puede soportar un amplio rango de condiciones, presentando su óptimo desarrollo en temperaturas que oscilan entre 18 y 35 °C. Crece en áreas que van de los 90 a los 900 msnm, pero se le ha encontrado hasta los 1500. En América se ha plantado desde los 0 hasta arriba de 800 m, con relación a la precipitación, crece óptimamente en rangos que van de 1760 a 2300 mm anuales. En general el viento no causa daños en las plantaciones de melina, ya que tiene cierta resistencia a huracanes y soporta medianamente las heladas (Sánchez, 1989).

Se adapta a muchas condiciones edáficas, pero su desarrollo óptimo se presenta en suelos profundos y con buen drenaje y con pH de 6.5; se desarrolla muy pobremente en pendientes pronunciadas y en suelos deficientes y con largos períodos de sequía presenta muerte regresiva y enanismo. No crece bien en suelos arcillosos, pesados o de mal drenaje, en terrenos con pendientes superiores al 30% y con problemas de baja fertilidad, bajo contenido de materia orgánica y a poca profundidad del suelo. El crecimiento también se ve afectado en suelos superficiales, con capas endurecidas, impermeables y pedregosas, así como en suelos ácidos muy lixiviados o arenas secas (Patiño *et al.*, 1982; Murillo y Valerio, 1991; Rojas *et al.*, 2004).

Se ha encontrado que el viento afecta negativamente el crecimiento, y que la especie crece mejor en sitios ubicados en terrenos planos, al pie de las lomas, donde hay mayor disponibilidad de agua y nutrientes. Además, la preparación del terreno previo a la

plantación es un factor importante para el éxito de la plantación (Rojas *et al.*, 2004). Melina es una especie heliófita, que no tolera la sombra (Murillo y Valerio, 1991).

2.4.2.4. Usos

Su principal producto es la madera, la cual se utiliza en ebanistería, fabricación de instrumentos musicales y para obtener celulosa para papel. Asimismo la madera puede usarse en construcciones rurales ligeras, es fácil de trabajar con herramientas manuales y maquinaria; se usa en carpintería, muebles, tableros contrachapados y de partículas, embalajes, artesanías y postes, así como para leña y carbón. Actualmente está siendo usada para la fabricación de diversas pastas papeleras (IRENA, 1993; citado por Downs, 2003). Se obtienen postes empleados como cercos vivos y en combinación con cultivos agrícolas como planta melífera, ya que las flores producen néctar en abundancia. La madera tiene un peso específico de $0.4 - 0.6 \text{ gcm}^{-3}$.

Por ser de rápido crecimiento, es una especie de uso múltiple que presenta gran potencial agroforestal, puede emplearse como postes vivos, cortina rompevientos y linderos maderables. Por su ritmo de crecimiento tan acelerado no permite asociarla con cultivos, a no ser que estos sean establecidos bajo la modalidad taungya, esto es que se siembren junto a la especie y por única vez, entre ellos destacan el maíz y el frijol. Su leña es buena, quema sin humo pero deja muchas cenizas, su carbón es de calidad aceptable y es uno de los mejores árboles para pulpa y papel; sus hojas dan un forraje apreciado por el ganado, la corteza, raíces y frutos presentan propiedades medicinales, es una excelente especie melífera, y se puede plantar como ornamental (Rojas *et al.*, 2004).

2.4.2.5. Crecimiento

Varios autores confirman el rápido crecimiento inicial que presenta esta especie, siendo muy marcado entre los seis y siete años, para posteriormente moderar su velocidad de crecimiento. Para una zona del Sureste de Sierra Leona, con una precipitación de 305 mm anuales, en plantaciones de tres años, se reporta un incremento medio anual de 3.4 m en altura; para plantaciones de seis años, 2.20 m, para plantaciones de siete años, 2.0 m y para plantaciones de diez años, 1.5 m. En una plantación en Guatemala, a los dos años de edad, tuvo una sobrevivencia del 90 %, con un diámetro normal de 5.9 cm y una altura de 7.8 m (Sánchez, 1989; Rojas *et al.*, 2004).

En Escárcega, Campeche, se han observado crecimientos de hasta 4.3 m de altura, durante los primeros seis meses de plantada; se han obtenido rendimientos en volumen que van de 17.1 m³ / ha / año, en espaciamientos de 3 X 3 m, a 35.1 m³ /ha/año, en espaciamientos de 2.5 X 2.5 m; en ambos casos, a la edad de 7.9 años (Sánchez, 1989). Se recomienda usar cepas de 30 x 30 x 30 ó 40 x 40 x 40 cm.

Una plantación de **Gmelina** después de 8 años puede dar 200 m³ por ha, lo que puede proporcionar utilidades equivalentes a las de varios cultivos agrícolas. Las ventajas adicionales son de tres clases: (i) los ingresos se hacen regulares, (ii) los aprovechamientos pueden continuar durante largo tiempo con el sistema de monte bajo y (iii) se mantiene la fertilidad del suelo (Musálem, 2007a).

En 1996, Smurfit Cartón y Papel de México comenzaron a establecer plantaciones de *Gmelina* en escala comercial, en terrenos degradados dedicados al pastoreo cerca de Candelaria, Campeche. Se establecieron aproximadamente 920 ha, en un período de tres años. Perteneciente a la empresa PetroCam, que es una compañía de productos forestales, han establecido hasta 2003, 1300 ha de *Gmelina arborea* y anualmente establece 300 ha de plantaciones con un período de rotaciones de 8 años. Han establecido las plantaciones con un espaciamiento de 3 X 3 metros y fertilizando los árboles 15 días después de su establecimiento. La semilla es de una raza local originaria de la India, y se ha obtenido una productividad de 25 m³/ha/año (Sánchez y Romero, 2003).

Actualmente se están impulsando las plantaciones forestales con melina en el Sureste Mexicano, donde ya ha demostrado su alto potencial para producir madera de buena calidad manejada a turnos cortos. Por lo que se espera que en un mediano plazo esta especie proporcione un importante volumen del aprovechamiento forestal maderable en nuestro país (Musálem, 2007a).

En México, existen plantaciones forestales comerciales de melina en: Juchique de Ferrer (1995), Las Choapas (1996) y Rodríguez Clara (2001), Veracruz. Balancán (1999), Emiliano Zapata (2001) y Tenosique (2002), Tabasco. El Carmen, Campeche (2002) y Escárcega (2005), Campeche. La superficie total plantada con melina se estima en 25 mil ha, de las cuales unas 500 ha están en cosecha, el volumen producido para el año 2006 se estima en 11 mil m³ (Riaño, 2006).

2.4.3. Teca (*Tectona grandis* L. f.)

2.4.3.1. Origen y distribución.

La distribución natural de la teca se extiende desde Birmania (de donde es originaria), la Península India y el Oeste de Tailandia hasta Indonesia; siendo reportada también para el Ecuador, Java y algunas pequeñas islas del archipiélago Indonesio y Malayo. Así también en Laos, Cambodia y Filipinas. En América, se ha extendido a través de Trinidad y Tobago, que fue el primer país donde se introdujo, actualmente se encuentra en Belice, Jamaica, Costa Rica (identificado como el principal productor de teca en América), Cuba, Colombia, Venezuela, Haití, Puerto Rico, Ecuador, Guayana Francesa y México. Se ha plantado en los estados de Nayarit, Veracruz y Tabasco, entre otros (Beard, 1943; Parada, 2000; Musálem, 2007b).

2.4.3.2. Descripción botánica.

Es una especie de la familia Verbenaceae. Teca es el nombre común con el que se conoce en la mayoría de los países donde se ha introducido. Alcanza una altura de más de 30 m, en su lugar de origen, puede alcanzar hasta 50 m. Árbol de fuste recto, con corteza áspera, delgada (12 mm) y fisurada de color café claro que se desprende en placas grandes y delgadas, sin olor o sabor característico. El fuste forma frecuentemente pequeños contrafuertes en la base. Presentan una dominancia apical que se pierde con la madurez o cuando florecen a temprana edad, con una copa amplia con ramas numerosas (Beard, 1943; Streets, 1962; Parada, 2000).

Las hojas son grandes, ovaladas, opuestas, de 11 a 85 cm de largo y de 6 a 50 cm de ancho, con peciolo gruesos; de color verde oscuro en el haz, verde claro y tomentosas en el envés y de consistencia áspera al tacto. Las hojas caen durante los meses de enero y febrero y el nuevo follaje aparece con las primeras lluvias. El follaje tierno posee un color rojizo que desaparece poco a poco. La inflorescencia es terminal, erecta y ramificada de 40 cm hasta 1 m de largo. Las flores tienen cáliz campanulado, de color amarillo verdoso, estilo blanco amarillento más o menos pubescente con pelos ramificados; las flores son hermafroditas, la época de floración es de junio a agosto. Su fruto es subgloboso, aplanado, tetragono, exocarpo delgado, algo carnoso, tomentoso que mide de 1 a 3 cm de diámetro pudiendo tener en su interior de 1 a 4 semillas. Las semillas son oleaginosas y pequeñas de 5 a 6 mm de largo (FAO, 1969; Keogh, 1979; Chávez y Fonseca, 1991; Parada, 2000).

2.4.3.4. Requerimientos ecológicos

La teca es heliófila y sólo admite alguna sombra lateral cuando las plantas son jóvenes desarrollándose óptimamente en climas tropicales cálidos y húmedos, con precipitación media anual de 1250 a 3800 mm, aunque puede existir en sitios donde las lluvias no pasan de 760 mm y en los que alcanzan los 5000 mm anuales. Requiere de climas con estación seca bien definida, de tres a cinco meses, lo cual es ideal para su óptimo desarrollo. En cuanto a altitudes, la teca crece desde el nivel del mar hasta los 1000 msnm. En Centroamérica, se distribuye desde el nivel del mar hasta los 600 msnm, un ejemplo en México, en Nayarit, crece a 900 msnm. Requiere de temperaturas que

oscilen entre 25 y 28°C (Beard, 1943; Bauer, 1985; Chávez y Fonseca, 1991; Parada, 2000).

En cuanto a suelos, prefiere los de textura franco-arenosos, profundos, fértiles, bien drenados y con un pH ácido hasta neutro. Los suelos compactados, duros, arcillosos o arcillo-limosos así como los planos y con una capa superficial de arena, no son aptos para la teca; así como los profundos secos y arenosos o con bajo contenido de calcio o magnesio (Keogh, 1979; Chávez y Fonseca, 1991; Parada, 2000).

2.4.3.4. Usos

La madera de teca tiene numerosas aplicaciones. Resiste al ataque de termitas, a los hongos y a la intemperie; tiene un aceite antiséptico que la hace muy resistente y la protege del ataque de diversos organismos, siendo una de las maderas más valiosas del mundo. Se emplea en toda clase de construcciones navales y rurales, ebanistería, artesanía, carpintería en general, decorado en interiores y exteriores, carrocería, puentes y toda clase de obras que requieran de madera de excelente calidad. Puede usarse como energético, ya sea leña o carbón, sobre todo las partes no aprovechables como madera. Se pueden obtener postes de líneas de conducción eléctrica. La madera posee un alto poder calorífico (5000 kcal/kg), por lo que se puede utilizar para leña y carbón, sin embargo, por ser una madera de alto valor se utiliza poco en este rubro. Se puede emplear para sistemas agroforestales en asociación con cultivos agrícolas (taungya) y en cercos vivos (Parada, 2000; Musálem, 2007b). Otros usos: Chapas decorativas,

revestimientos, suelos y parquets, frisos, escaleras, tarimas, mobiliario y ebanistería, lambrín, puentes, tornería, postes, vigas, traviesas, piezas curvas.

2.4.3.5. Crecimiento

Al igual que las dos especies anteriores, la teca es una especie de rápido crecimiento con incrementos medios anuales de hasta 97.4 m³ en un estudio reportado para Imperio Verde, Soná Veraguas, Panamá (Parada, 2000).

En México, existen plantaciones forestales comerciales de teca en: Juchique de Ferrer (1995), Las Choapas (1996), Rodríguez Clara (2001) y San Andrés Tuxtla, Veracruz. Balancán (1999), Emiliano Zapata (2001) y Tenosique (2002), Tabasco. San Blas (2001), Nayarit. Tapachula (2003), Chiapas. Campeche (2002) y Escárcega, Campeche (2005), Nueva Italia, Michoacán (2005). La superficie total plantada con teca se estima en 25 mil ha, aún no hay plantaciones en cosecha (Riaño, 2006).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Localización

El Municipio de Huehuetla se localiza entre los paralelos 20°23' a 20°41' de Latitud Norte y 97°59' a 98°10' de Longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich, ubicándose hacia la parte Noroeste y Este del Estado de Hidalgo. Dicho municipio forma parte de la región Tuxpan-Nautla; en la zona cafetalera denominada Otomí-Tepéhua, con una superficie de 262 km², representa el 1.34 % de la superficie del estado; contando con un total de 42 comunidades en donde están distribuidos aproximadamente 23,000 habitantes.

Colinda al Norte con el Estado de Veracruz, al Sur con el Estado de Puebla y el Municipio de Tenango de Doria, Hgo., al Este con el Estado de Puebla y Veracruz y al Oeste con el Municipio de San Bartolo Tutotepec y Tenango de Doria, Hgo. Con una altitud promedio de 658 msnm (INEGI, 1998; Figura 2).

La plantación se estableció en tres sitios ubicados dentro del Municipio de Huehuetla. Sitio 1: San Guillermo; Sitio 2: El Cerro; Sitio 3: Cantarranas. Es importante mencionar que la plantación se realizó sólo en terrenos en donde se había plantado café y maíz, respetando las áreas naturales de vegetación nativa.

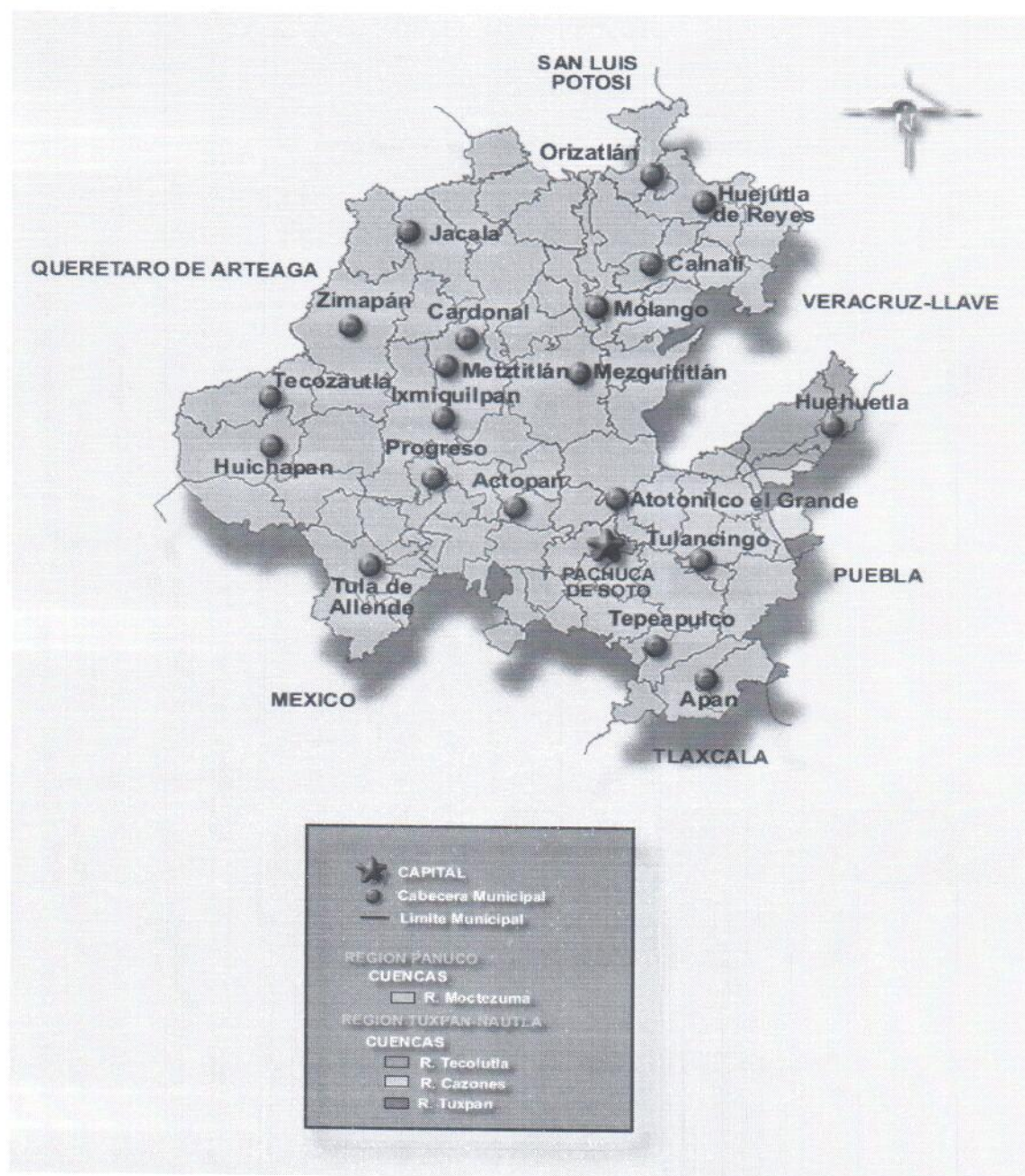


Figura 2. Localización del área de estudio para el establecimiento de una plantación agroforestal experimental de tres especies forestales introducidas en el Municipio de Huehuetla, Hgo. Fuente: INEGI. 2006.

3.1.2. Clima.

En el municipio se presentan tres tipos de clima: cálido húmedo con lluvias todo el año (Af), semicálido húmedo con lluvias todo el año (ACf) y el templado húmedo con abundantes lluvias en verano (Cm); con temperaturas medias anuales de 16 a 22° C y una precipitación pluvial media de 2000 mm. Las comunidades de Huehuetla, Barrio Aztlán, Juntas Chicas, Zicatlán, Chicontla y Río Blanco presentan el primer tipo de clima. Las comunidades de Santa Ursula, Ocotál, San Antonio, San Gregorio, San Guillermo, El Paraíso, Santa Inés, Chapingo, Cerro de Chapingo, tienen el segundo tipo con precipitaciones de hasta 2,422 mm, siendo este el tipo de clima que predomina (82.97%). Los meses más lluviosos son julio, agosto y septiembre y los menos lluviosos son: marzo, abril y mayo. El tercer tipo de clima se reduce a una parte pequeña en los límites con el Municipio de Tenango de Doria (3.13%) (INEGI, 1998).

Los ascensos máximos de temperatura se registran en los meses de marzo, abril y mayo y los descensos en los meses de diciembre, enero y febrero.

3.1.3. Orografía

Todo el territorio del municipio es muy accidentado, con laderas abruptas, pues forma parte de la Sierra Madre Oriental que comprende la franja desde la Sierra de Puebla, Acaxochitlán, la Sierra de Tenango, Molango, Tlahuiltepa, Tepehuacán de Guerrero, Chapulhuacán, Pisaflores, hasta limitar con la Sierra de Querétaro. Esta franja tiene las mismas características en su relieve, vegetación, fauna, etc., Huehuetla forma parte de la Sierra de Tenango, llamada así porque Tenango es la población más importante de la región y cabecera del distrito (INEGI, 1998).

Dentro de sus elevaciones principales están: el Cerro El Tomate con 1620 msnm, el Cerro Nanjuai de 1600 m, el Cerro El Padni con 1480 m, el Cerro El Chamisal de 1300 m, el Cerro La Luna de 1260 m, el Cerro Chapingo de 1100 m y el Cerro El Jabalí de 840 m. A medida que se avanza de Huehuetla hacia San Lorenzo Achioteppec, va disminuyendo la altura, así se tiene que la Esperanza 2 y Juntas Chicas, alcanzan una altura de 300 msnm (INEGI, 1998).

3.1.4. Suelos

El tipo de suelo es de origen residual somero y de desarrollo moderado e incipiente; por sus características físicas corresponden a los tipos de suelo Feozem y Acrisol. Debido a la accidentada topografía, el suelo es variado, en las partes altas es de tipo Chernozem, de textura tipo migajón, con óptimas condiciones físico-químicas para el desarrollo de la vegetación; por lo general el color de la tierra es negro. En las partes más bajas el suelo es amarillo y rojo laterítico, siendo propio este tipo de suelo para los agostaderos. Pero en general, los suelos del municipio están clasificados como de aptitud preferentemente forestal, ya que el 82.07% del suelo destinado para agricultura está clasificado como no apto para la agricultura, y el 73.10% del suelo destinado para uso pecuario tampoco es apto para esta actividad (INEGI, 1998).

Suelos acrisoles: tienen acumulación de arcilla en el subsuelo, son ácidos o muy pobres en nutrientes, de zonas tropicales a templadas muy lluviosas. En condiciones naturales tiene vegetación de selva o bosque. De colores rojos o amarillos claros susceptibles a la erosión.

Suelos Feozem: tienen una capa superficial, obscura suave y rica en materia orgánica y nutrientes, se encuentra desde zonas semiáridas hasta templadas o tropicales. En condiciones naturales tiene casi cualquier tipo de vegetación, se encuentra en terrenos planos hasta montañosos y a la susceptibilidad a la erosión depende del tipo de terreno donde se encuentren (SPP, 1991)

3.1.5. Hidrografía

El Municipio de Huehuetla pertenece a la cuenca hidrológica del Río Tuxpan, con dos subcuencas, Río Vinazco y Río Pantepec, pertenecientes a la región Tuxpan-Nautla. Cuenta con ríos de escaso caudal que se alimentan de pequeños arroyos que bajan de las montañas; en orden de importancia se mencionan: Río Chiflón, que sirve de límite entre el Estado de Veracruz y el Municipio. Río Huehuetla o Pantepec que pasa por la cabecera municipal desembocando en el Río Tuxpan. En su recorrido pasa por Zicatlán lugar que resulta ser un atractivo para los visitantes. Río Blanco que sirve de límite entre el municipio y el Estado de Puebla. Río Beltrán, que pasa por la población del mismo nombre (INEGI, 1998).

Últimamente las autoridades se han preocupado por vigilar qué dichos ríos no sean explotados irracionalmente, porque hubo una época en que con mucha frecuencia, los pescadores utilizaban cal o bombas de dinamita para pescar, provocando el exterminio de las especies, como lo son la mojarra, la trucha, la huevina, el xolote y las acamayazas.

3.1.6. Vegetación

El tipo de vegetación es del tipo Selva Mediana Subperennifolia, en donde se hallan especies como: *Cedrela odorata* (cedro rojo), *Ceiba pentandra* (ceiba), *Pouteria sapota* (mamey), *Persea sp.* (pahua), *Ficus spp.* (chalame), *Juglans sp.* (nogal), *Bursera simaruba* (chacá), *Guazuma ulmifolia* (guacima), *Quercus spp.* (tezmol y encino), *Heliocarpus donnell-smith* (jonote), *Stemmadenia donell-smith* (cojón de toro), entre otros. En las áreas de establecimiento de los sitios se hallan además del café (*Coffea arábica*), el chalahuite (*Inga spuria*) y el naranjo (*Citrus sp.*) (Pennington y Sarukhán, 2005).

3.1.6. Fauna

Como producto de una variada y abundante flora, la fauna silvestre también lo es, contando con especies como: *Dasyus novemcinctus* (armadillo), *Nasua narica* (tejón), *Procyon lotor* (mapache), *Mepbitis macroura* (zorrillo), *Felis wiedii* (tigrillo), *Lynx rufus* (gato montés), *Didelphys marsupiales* (tlacuache), *Cuniculus paca* (tepezcuintle o tuza real), *Geomys bursarius* (tuza terrestre), *Mazama americana* (temazate o “cuachacal”), *Urocyon cinereoargenteus* (zorra), *Mustela frenata* (comadreja), *Felis yagouaroundi* (onza), martagua, conejo y diversas especies de ardilla, entre otros (Leopold, 2000). Así mismo se haya infinidad de aves, entre las más importantes están: chachalaca, codorniz, perdíz, torcaza, cojolite, jilguero, calandria, el pico de canoa, tucán, águila, gavilán, loro huasteco, guacamaya, clarines, diversos colibríes, gallina de monte, varias especies de carpinteros, paloma morada y de otras clases, papán real, zopilote, primavera, cenizote, entre otros.

En lo que se refiere a reptiles, se encuentran infinidad de éstos, que difícilmente se podrían mencionar todos, tenemos que el coralillo, el “mahuaquite”, “petatillo”, “metlapil”, son las serpientes que más asustan a los campesinos, por la peligrosidad que representan.

3.2. Procedencias de las especies utilizadas

La procedencia de la planta fue de semilla colectada de rodales semilleros ubicados en el Municipio de Juchique de Ferrer, Veracruz, para el caso de melina y teca, y el Municipio de Xicotepec de Juárez, Puebla, para el caso del cedro rosado. Melina y teca se produjeron a través del sistema Jiffy y sólo tenían 15 días de haber germinado cuando se llevaron al campo, se cuidó que las plántulas tuvieran buen color y no presentaran deformaciones. Respecto al cedro rosado, a diferencia de las anteriores, éste se produjo en bolsa de polietileno en un vivero tradicional y tenían un mes de haber germinado cuando se llevaron al campo.

La producción de planta de melina y teca se realizó a través de la recolección directa de semilla en rodales semilleros establecidos para este fin; para el caso de melina, la semilla fue recolectada en el mes de mayo de el rodal semillero ubicado en el Rancho El Chaparral, en el Municipio de Juchique de Ferrer, Veracruz (este rodal esta inscrito en la Red Nacional de Germoplasma Forestal). Los árboles fueron plantados en 1994, en este momento tienen una altura de aproximadamente 26 metros y un diámetro normal promedio de 48 cm, es un rodal de 3 ha con 260 individuos. La semilla con la que se estableció este rodal fue traída de Costa Rica, proporcionada por el CATIE con

procedencia de Stone Forestal; originalmente se plantaron 1,100 árboles por hectárea, de los cuales se han escogido los mejores 250 por hectárea, éstos tienen un fuste recto, con ramas a mayor altura, con una mejor conformación y vigorosidad (Riaño, 2006).

Para el caso de teca la semilla fue recolectada en el mes de febrero de un rodal semillero ubicado en el mismo rancho. Los árboles fueron plantados en 1992, en la actualidad tienen una altura de aproximadamente 20 metros y un diámetro normal promedio de 37 cm, es un rodal de 1.2 ha con 320 individuos. La semilla con la que se estableció este rodal fue traída de Costa Rica, proporcionada por el CATIE con procedencia de Ojancha; originalmente se plantaron 1,320 árboles, de los cuales se han escogido los mejores 320, éstos tienen un fuste recto, con ramas a mayor altura, con una mejor conformación y vigorosidad (Riaño, 2006).

3.3. Establecimiento de la plantación

Se utilizó el sistema cepa común, por ser más económico y fácil de realizar. Por otra parte, la tierra de la zona de plantación es blanda y se facilitó más el manejo del material de trabajo. Como la estación de lluvias es muy marcada en la zona de estudio, la plantación se realizó a finales del mes de junio de 2006 (el período de lluvias en la región comienza a mediados del mes de junio). Con esto se buscó que hubiera buena disponibilidad de humedad para los árboles al momento de la plantación y aprovechar el resto de la temporada. Los árboles fueron plantados con cepellón, en forma manual.

3.4. Diseño experimental

El espaciamiento entre plantas (densidad de plantación) que se probó en el presente trabajo consistió en tres diferentes 2 X 2, 2.5 X 2.5, 3 X 3 m para las tres especies. El diseño experimental fue el de bloques en parcelas divididas. La parcela grande fueron los sitios con los distintos espaciamientos y las parcelas chicas las especies. Cada bloque consistió en un sitio, en el cual se establecieron 9 parcelas con 25 árboles de cada especie en cada una y a diferentes densidades de plantación. Se establecieron 3 bloques (sitios), resultando en total 27 parcelas para los tres. Cada sitio quedó constituido por 75 árboles de cada especie, 225 en total. Quedando distribuidos como se muestra en la Figura 3.

El modelo estadístico empleado fue: $Y_{ijkl} = \mu + Blq_i + \tau_{j(i)} + \delta_{ij} + Esp_k + (\tau Esp)_{jk} + \epsilon_{ijkl}$

$$i= 1,2,3; j= 1,2,3; k= 1,2,3 \text{ y } l= 1,2,\dots 25.$$

Donde: μ es la media global; Blq_i , representa el bloque general; $\tau_{j(i)}$ es la distancia entre plantas; δ_{ij} es el error de parcela grande; Esp_k es la especie (parcela chica); $(\tau Esp)_{jk}$ es la interacción espaciamiento–especie y ϵ_{ijkl} es el error de parcela chica.

3.5. Evaluación de la plantación

Se realizó una evaluación temprana de la plantación. es decir, la respuesta de la plantación a un año de establecida; tomando datos cada tres meses; esto para cuantificar la sobrevivencia, vigor y calidad, a través de las variables altura total, diámetro de la base y volumen.

Sitio 1. San Guillermo	E1	E2	E3	Espaciamiento de 2.0 X 2.0 m
	E2	E3	E1	Espaciamiento de 2.5 X 2.5 m
	E3	E1	E2	Espaciamiento de 3.0 X 3.0 m
Sitio 2. El Cerro	E1	E3	E2	Espaciamiento de 3.0 X 3.0 m
	E2	E1	E3	Espaciamiento de 2.0 X 2.0 m
	E3	E2	E1	Espaciamiento de 2.5 X 2.5 m
Sitio 3. Cantarranas	E2	E1	E3	Espaciamiento de 3.0 X 3.0 m
	E3	E1	E2	Espaciamiento de 2.5 X 2.5 m
	E1	E3	E2	Espaciamiento de 2.0 X 2.0 m
E1: cedro rosado E2: melina E3: teca				

Figura 3. Dimensiones y distribución de las parcelas en los sitios de plantación en el Municipio de Huehuetla, Hgo.

Para estimar el porcentaje de sobrevivencia se realizó un conteo de los árboles en cada parcela registrando el número de árboles presentes por parcela y para todos los sitios; la medición de la altura se realizó con una regla graduada y para el diámetro basal se midió con un vernier a la altura del cuello de la base.

Para estimar el volumen primeramente se calculó el área basal diamétrica por especies, a un año de establecida la plantación, con la siguiente fórmula:

$$AB = \pi/4 (D^2) \text{-----} 1$$

Donde:

AB: área basal en cm^2

D: diámetro basal en cm.

A su vez, el volumen se calculó con la fórmula:

$$\text{Vol} = AB \cdot H \cdot \text{cm} \text{-----} 2$$

Donde:

AB: área basal cm^2

H: altura en cm

cm: coeficiente mórfico. Se consideró como constante un c. m. de 0.5.

Para el Análisis de Varianza se restaron de los datos de la lectura final la lectura inicial, $L_f - L_i$; es decir, a 12 meses después de haber plantado.

3.6. Análisis de datos

Se crearon archivos en el Programa EXCEL (2003) con el fin de realizar la concentración total de los datos. Posteriormente se sometieron a un Análisis de Varianza con el Programa SAS (1999-2001) V8 para Windows, empleando el Programa GLM de análisis de datos estadísticos; se realizó la comparación de medias por la prueba de rangos múltiples de la diferencia mínima significativa (DMS). Así mismo, se solicitó al programa la estimación de las medias corregidas por mínimos cuadrados (LSMEANS) (least squares means) y la significancia de la diferencia entre dos medias (PDIFF), la cual usa la prueba de t para las comparaciones (Steel y Torrie, 1985).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comportamiento del crecimiento

4.1.1. Crecimiento por especies incluyendo los tres sitios

El análisis de varianza realizado para el crecimiento, tomando en cuenta las variables altura, diámetro basal y volumen, muestra que existen diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre las especies, en los tres sitios, durante el primer año de establecida la plantación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza general del crecimiento en altura, diámetro basal y volumen de las tres especies incluyendo los tres sitios, a los doce meses de establecida la plantación, en el Mpio. de Huehuetla, Hgo.

Variable	Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
ALTURA	Modelo	10	1976770.733	197677.073	63.99	<.0001
	Error	432	1334560.039	3089.259		
	Total	442	3311330.772			
DIÁMETRO	Modelo	10	31636.54159	3163.65416	54.03	<.0001
	Error	432	25295.47220	58.55433		
	Total	442	56932.01379			
VOLUMEN	Modelo	10	43169843.6	4316984.4	21.34	<.0001
	Error	432	87396940.5	202307.7		
	Total	442	130566784.1			

En el Apéndice se desglosan los valores del ANOVA para cada variable a fin de observar la significancia entre especies, espaciamientos y la interacción especie – espaciamiento.

La especie que mejor se adaptó a las condiciones medioambientales de Huehuetla fue melina, seguida de cedro rosado, y finalmente teca que mostró el crecimiento más bajo (Figura 4) en todas las variables consideradas.

El Cuadro 2 muestra la comparación de medias donde se puede observar a melina como la especie que mejor crecimiento tuvo de las tres, esto con una significancia del 5%.

Cuadro 2. Comparación de medias por Mínima Diferencia Significativa (DMS) de las variables altura, diámetro basal y volumen de las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., incluyendo los tres sitios.

Especie	Altura (cm)	Media Diámetro (mm)	Volumen (cm³)	No. de obs.	Grupo
Melina	131.6	19.8	447.5	181	a
Cedro rosado	83.0	11.1	151.1	163	b
Teca	8.3	3.0	1.2	99	c

Nota: Medias con la misma letra no muestran diferencias significativas. $\alpha=0.05$

Se observa que las mejores especies fueron melina y cedro rosado, teca mostró un crecimiento muy bajo respecto a las demás (Figura 4).

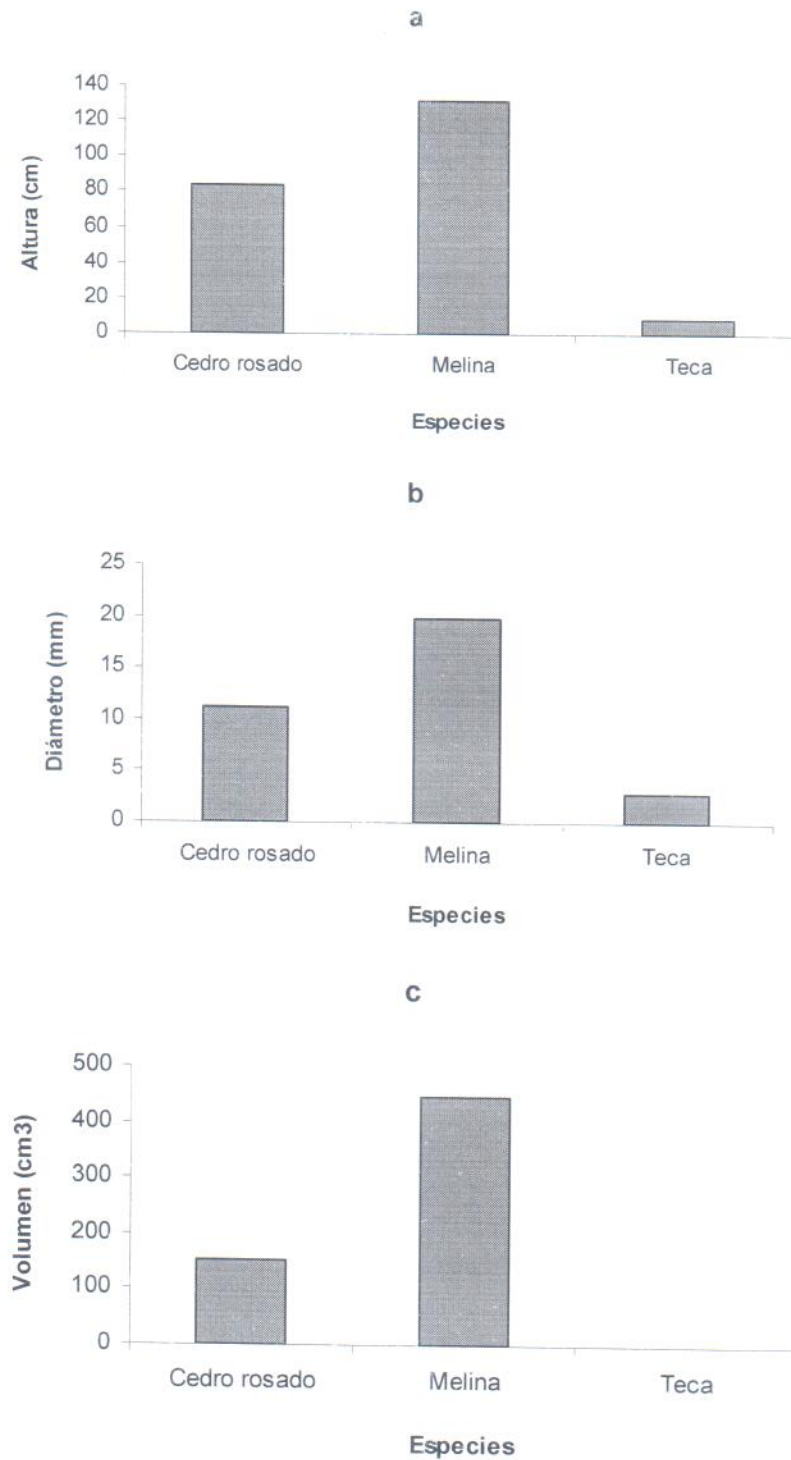


Figura 4. Comparación general del crecimiento en las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo. de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, incluyendo los tres sitios.

4.1.2. Espaciamiento dentro de especies

El espaciamiento tuvo influencia en el crecimiento de los árboles, al encontrar diferencias significativas ($P < 0.05$), lo que indica que las especies plantadas respondieron de manera diferente en los distintos espaciamientos empleados. Así, para cedro rosado, el espaciamiento donde se mostró el mejor crecimiento fue el correspondiente a 3 X 3 m, seguido de 2.5 X 2.5 m; para melina fue igualmente el de 3 X 3 m seguido del de 2.5 X 2.5 m, y para teca el de 2.5 X 2.5 m; se muestran las figuras para cada especie y espaciamiento (Figuras 5, 6 y 7). La prueba de comparación de medias entre los espaciamientos se muestra en el Cuadro 3, en el cual se observa cual fue el mejor espaciamiento para cada especie con una significancia del 5%.

Cuadro 3. Comparación de medias por DMS de las variables altura, diámetro basal y volumen entre los distintos espaciamientos por especie.

Especie	Espaciamiento (m)	Media			No. de obs.	Gpo.
		Altura (cm)	Diámetro (mm)	Volumen (cm ³)		
Cedro rosado	3 X 3	93.4	12.1	151.2	57	a
	2.5 X 2.5	80.7	10.8	115.0	53	a
	2 X 2	74.0	10.2	98.7	53	b
Melina	3 X 3	144.1	21.2	586.7	56	a
	2.5 X 2.5	141.8	21.4	552.2	68	a
	2 X 2	107.0	16.3	185.8	57	b
Teca	2.5 X 2.5	10.6	3.8	2.7	29	a
	2 X 2	9.3	3.0	1.0	31	a
	3 X 3	5.9	2.2	0.2	39	b

Nota: Medias con la misma letra no muestran diferencias significativas. Las tres variables tuvieron el mismo comportamiento en los grupos en las tres especies. $\alpha = 0.05$.

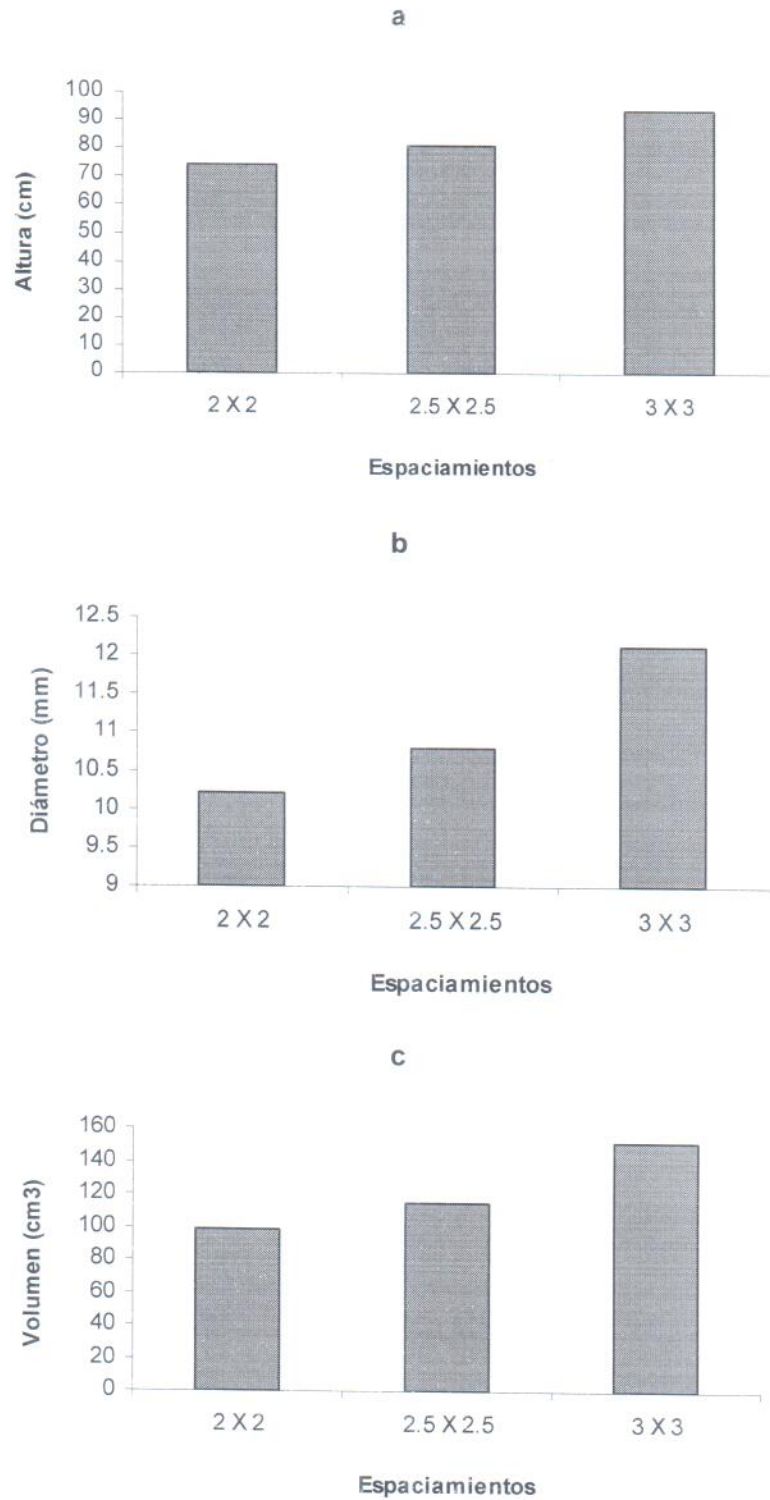


Figura 5. Comparación del crecimiento entre espaciamientos para cedro rosado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen; en el Mpio. de Huehuetla, Hgo.

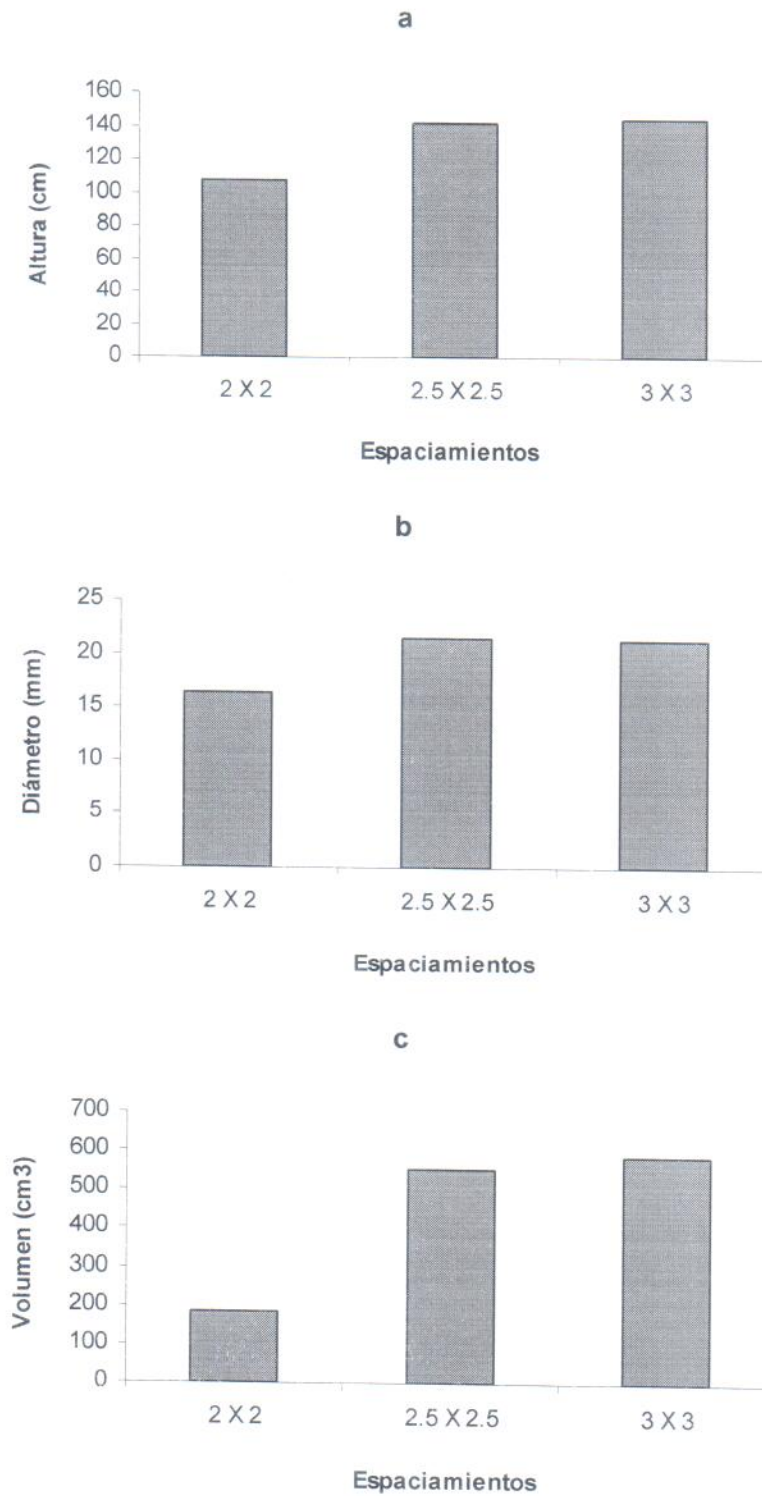


Figura 6. Comparación del crecimiento entre espaciamientos para melina de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen; en el Mpio. de Huehuetla, Hgo.

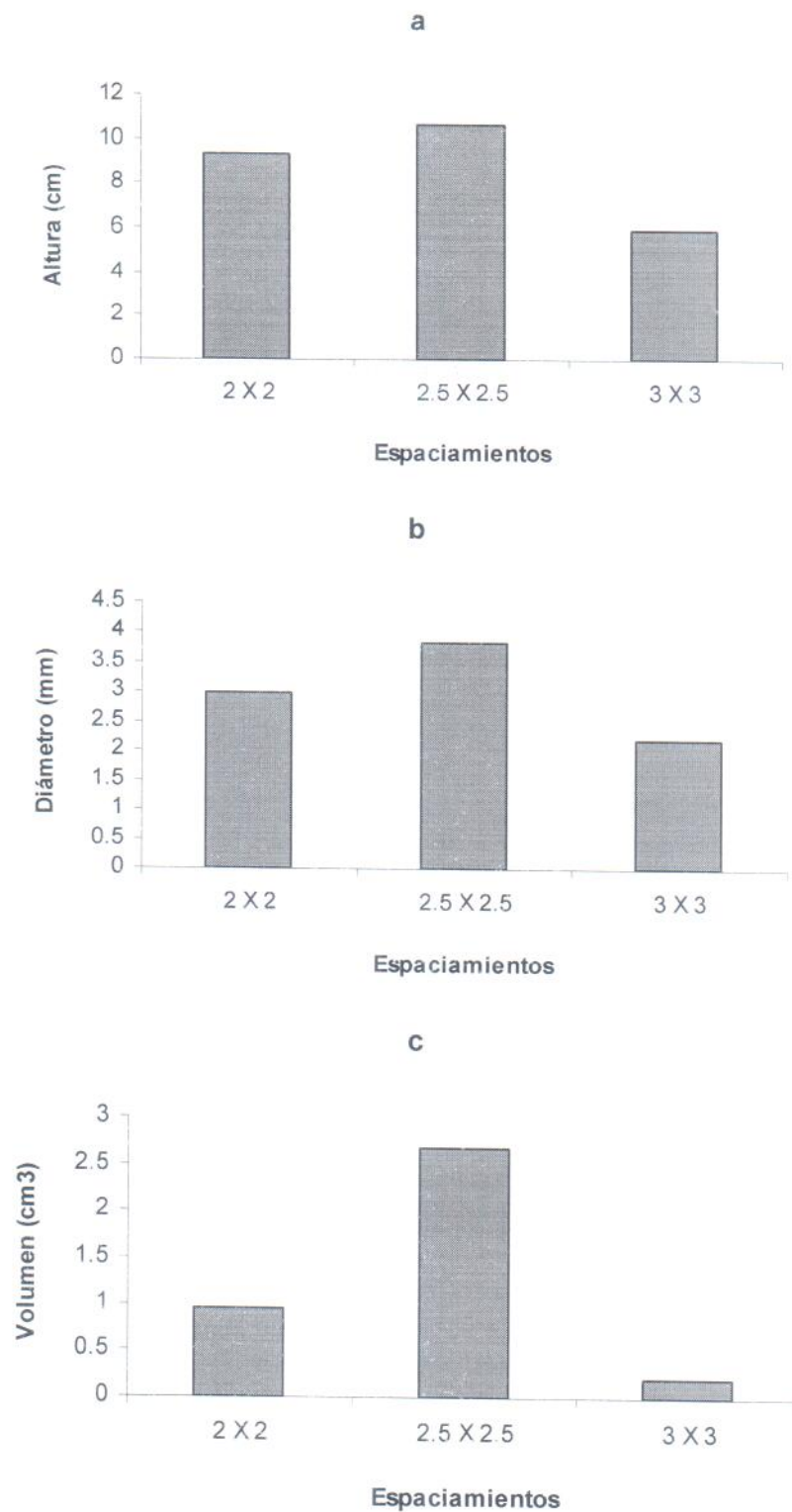


Figura 7. Comparación del crecimiento entre espaciamientos para teca de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen; en el Mpio. de Huehuetla, Hgo.

4.1.3. Supervivencia de las especies

La supervivencia de las especies fue de 83.72 % a los tres meses de haber plantado, que fue cuando se hizo la primera lectura, esto, considerando el total de árboles plantados en los tres sitios y con las tres especies. El sitio donde se mostró la tasa más alta de supervivencia fue en el sitio 3, seguido del sitio 1 y finalmente el sitio 2 que presentó la tasa más baja. Los porcentajes de supervivencia generales por especie fueron mayores para cedro rosado en los primeros tres meses, siendo superada por melina en los siguientes registros. En el cuadro 4 se muestran los porcentajes de supervivencia registrados durante cada período evaluado y en las figuras 8 y 9, se observa el comportamiento de la supervivencia general, por sitio y por especie.

Cuadro 4. Supervivencia general, por sitio y por especie, en la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

Supervivencia por sitio (%)	Período de evaluación (meses)			
	3	6	9	12
General	83.72	72.15	67.12	65.5
1	82.2	76.0	69.33	68.0
2	76.45	53.78	50.22	48.4
3	92.5	86.67	81.81	80.1
Supervivencia por especie (%)				
Cedro rosado	97.04	93.34	91.41	90.82
Melina	95.71	93.93	93.48	93.5
Teca	90.97	84.89	82.23	81.19

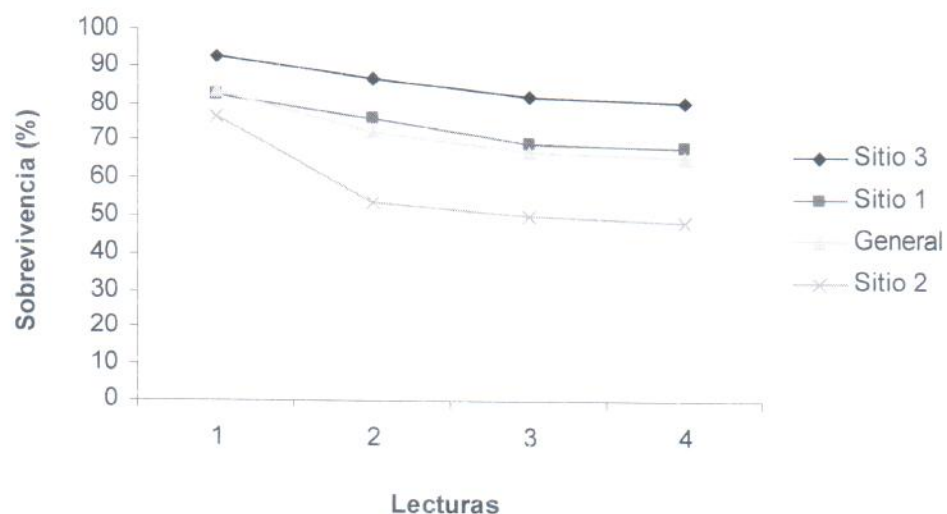


Figura 8. Comportamiento de la sobrevivencia general y por sitio de la plantación agroforestal establecida en el Municipio de Huehuetla, Hgo.

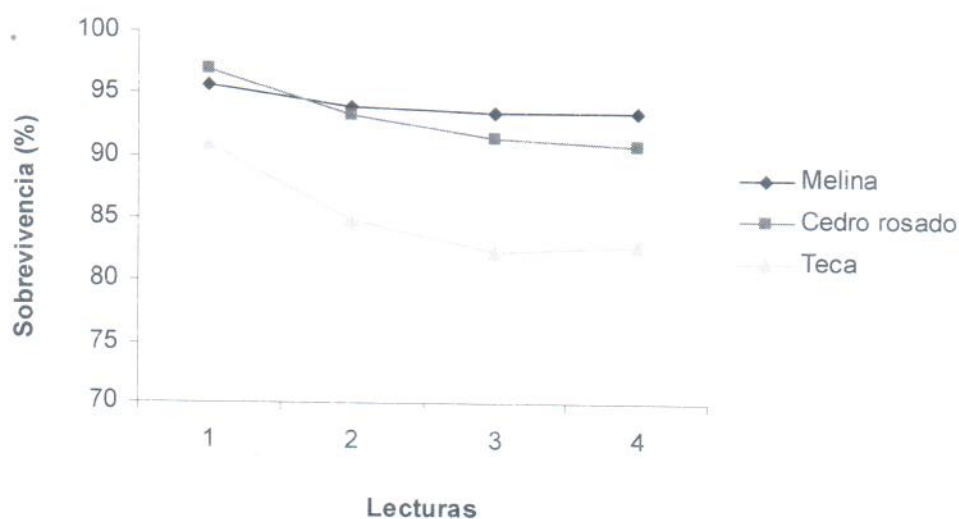


Figura 9. Comportamiento de la sobrevivencia por especie de la plantación agroforestal establecida en el Municipio de Huehuetla, Hgo.

El buen comportamiento de la sobrevivencia del sitio 3 se debe en parte a que en este sitio se combinó a las especies con café, a diferencia de los sitio 1 y 2, donde se combinaron con maíz y, al momento de cosecharlo, se tuvieron pocos cuidados con los árboles y se tuvo una mayor mortandad.

4.2. Comportamiento del crecimiento por sitio

En general los sitios se ubicaron relativamente cerca, sin embargo, la altitud va de los 650 a los 800 msnm; la exposición del terreno y la pendiente son también diferentes. Se presenta el análisis por sitio en cuanto al crecimiento por especies.

4.2.1. Sitio 1: San Guillermo

Este sitio se encuentra a una altitud de 650 msnm, exposición N y con una pendiente de 15°. En este sitio, además de los árboles, se sembró maíz entre las hileras de plantación. El análisis de varianza realizado muestra que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las especies para las variables altura, diámetro basal y volumen (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza del crecimiento en altura, diámetro basal y volumen a doce meses de establecer la plantación en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 1.

Variable	Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
ALTURA	Modelo	8	109959.6671	13744.9584	12.79	<.0001
	Error	145	155873.9275	1074.9926		
	Total	153	265833.5946			
DIÁMETRO	Modelo	8	2797.840552	349.730069	11.70	<.0001
	Error	145	4333.735316	29.887830		
	Total	153	7131.575868			
VOLUMEN	Modelo	8	223948.380	27993.547	2.79	0.0067
	Error	145	1454302.358	10029.671		
	Total	153	1678250.737			

4.2.1.1. Crecimiento de las especies

Las especies mejor adaptadas a este sitio fueron melina y cedro rosado; teca mostró los más bajos crecimientos en las variables evaluadas (Figura 10). Una vez realizado el ANOVA, se encontraron diferencias significativas en el crecimiento de las tres especies

al 5%; se realizó la prueba de comparación de medias por DMS, de las cuales la media de melina fue mayor en todas las variables, por lo que resultó ser la mejor especie en este sitio, seguida de cedro rosado (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias por DMS de las variables altura, diámetro basal y volumen entre especies en el sitio 1.

Especie	Altura (cm)	Media Diámetro (mm)	Volumen (cm³)	No. de obs.	Grupo
Melina	70.7	12.3	77.0	66	a
Cedro rosado	35.1	6.0	30.4	60	b
Teca	5.7	2.0	0.1	28	b c

Nota: Medias con la misma letra no muestran diferencias significativas. $\alpha=0.05$.

4.2.1.2. Comportamiento del crecimiento acumulado por espaciamiento

Con los datos obtenidos cada tres meses se graficó el comportamiento de la tendencia de la altura, diámetro basal y volumen acumulados de cada especie en las diferentes densidades, hasta el año de establecer la plantación, donde se observa de la misma manera como melina sobresale de las otras dos especies (Figuras 11, 12 y 13), superando en crecimiento a las otras dos en los tres espaciamientos.

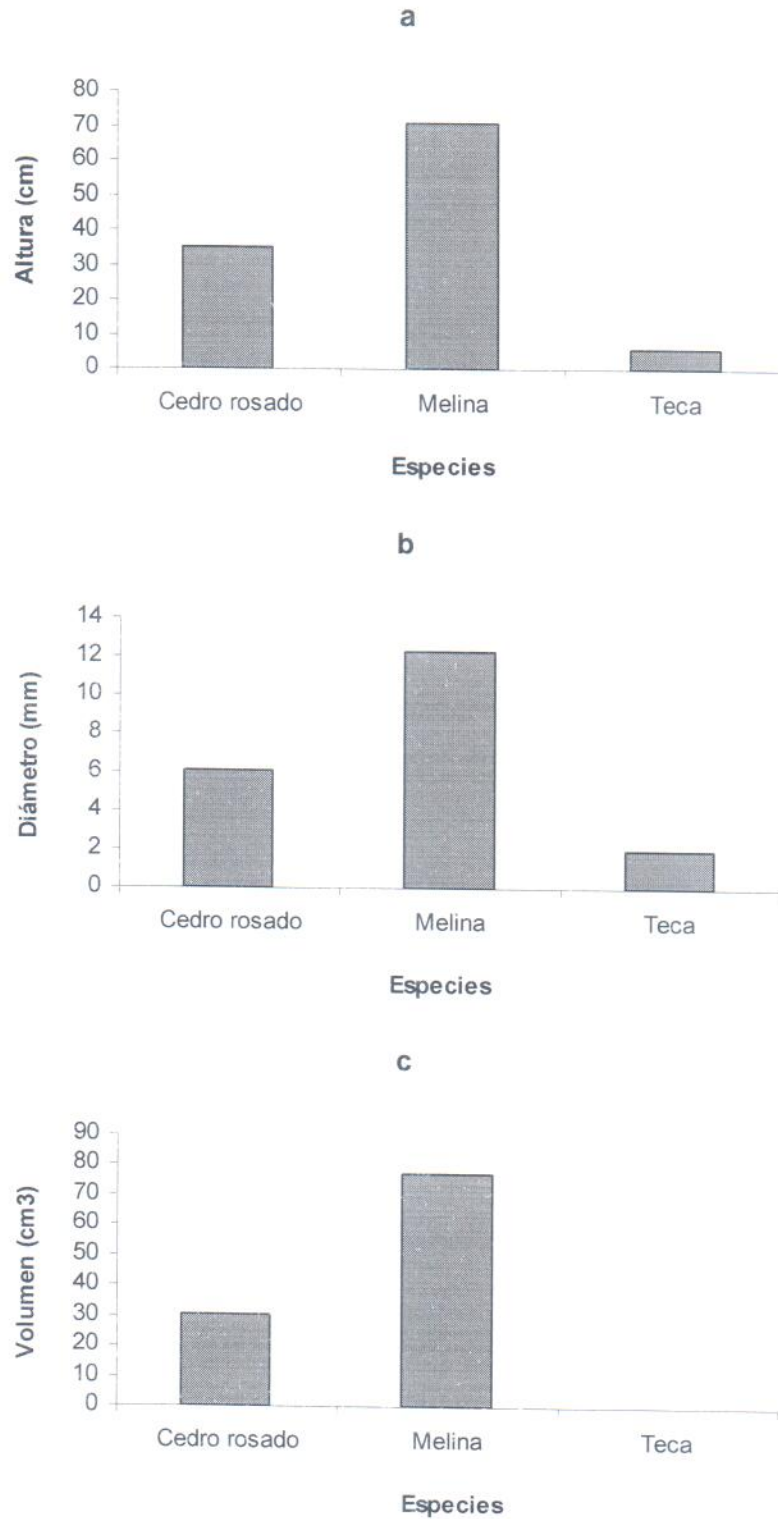


Figura 10. Comparación del crecimiento en las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo. del Sitio 1, de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen.

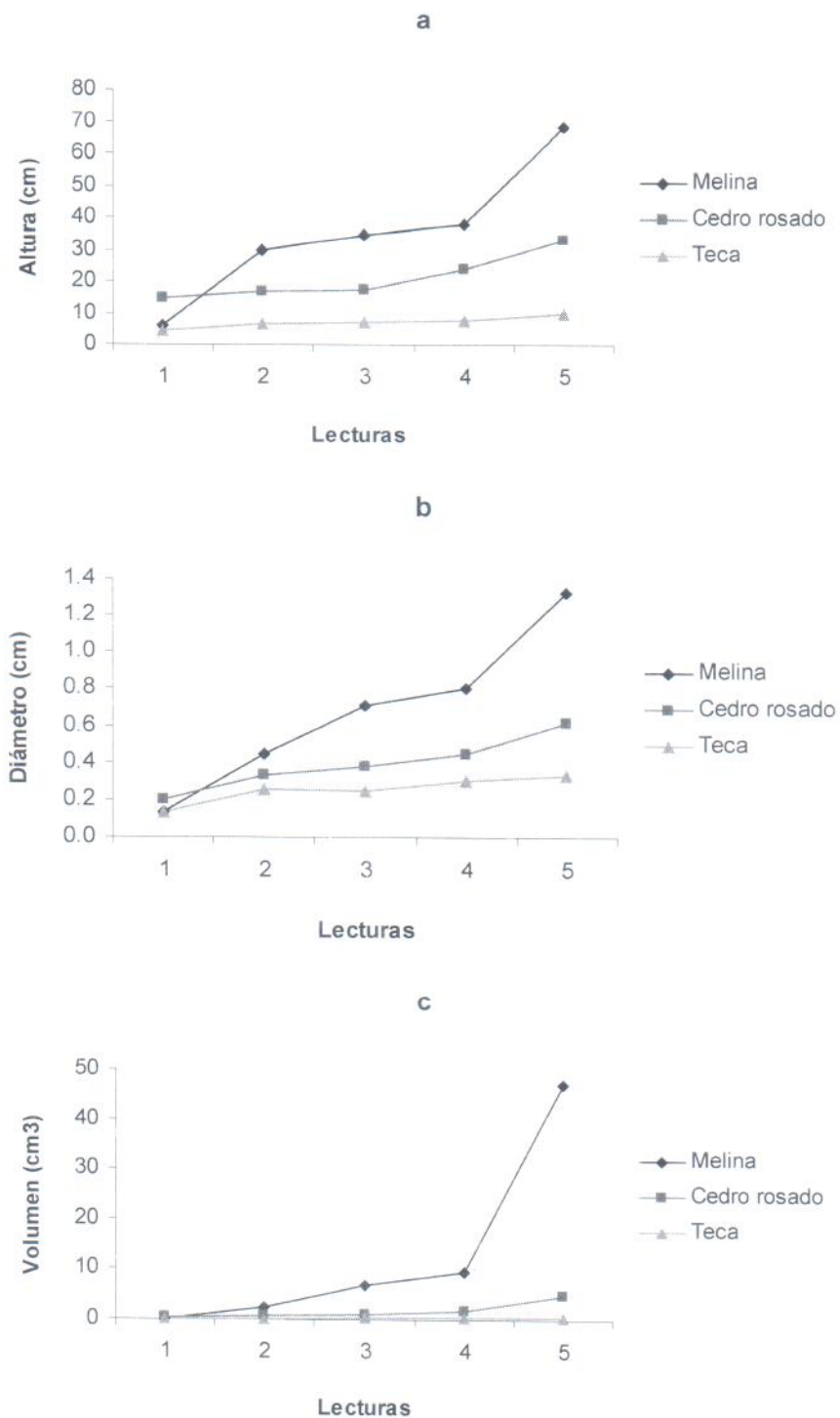


Figura 11. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 3 X 3 m de las especies introducidas en San Guillermo, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

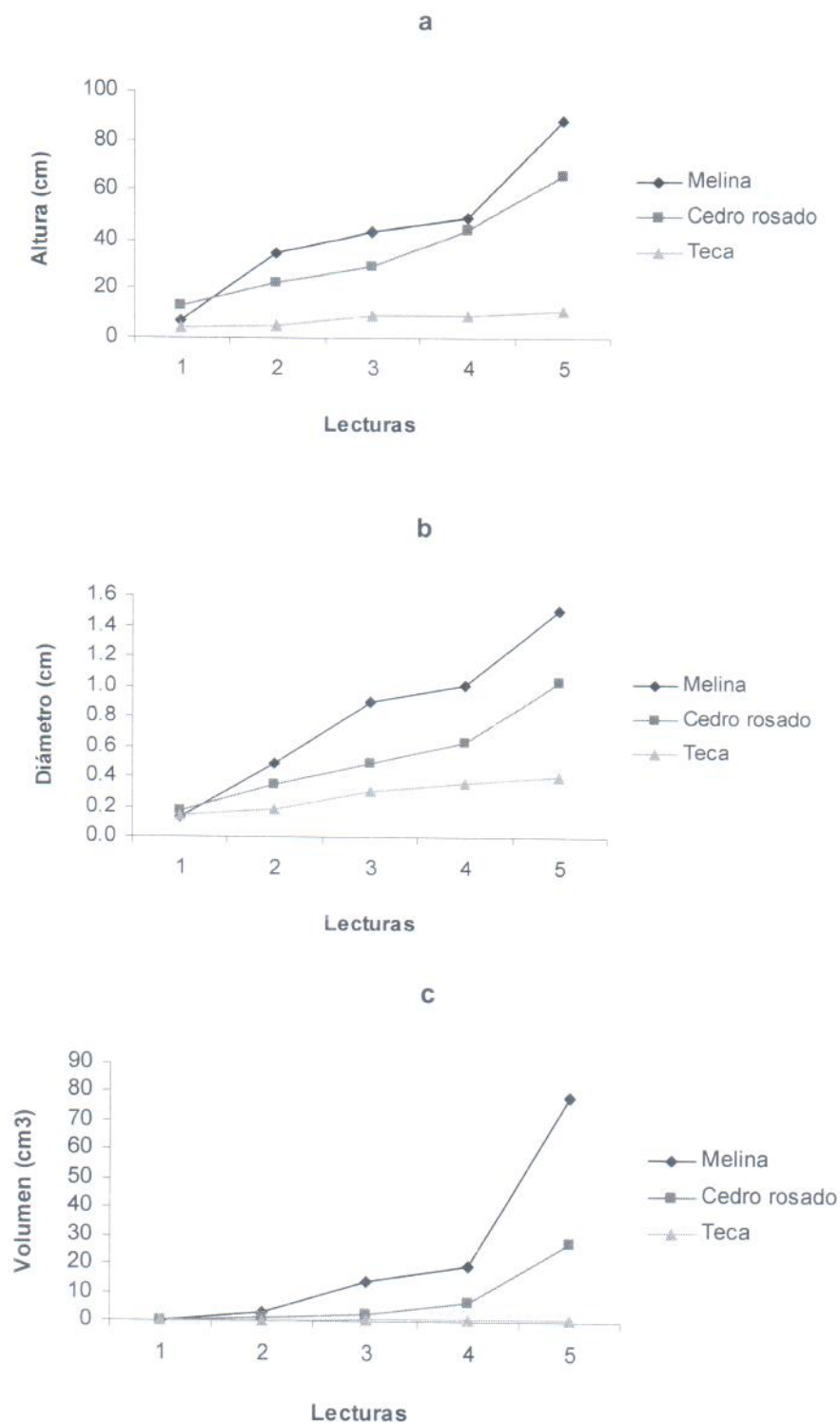


Figura 12. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2.5 X 2.5 m de las especies introducidas en San Guillermo, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

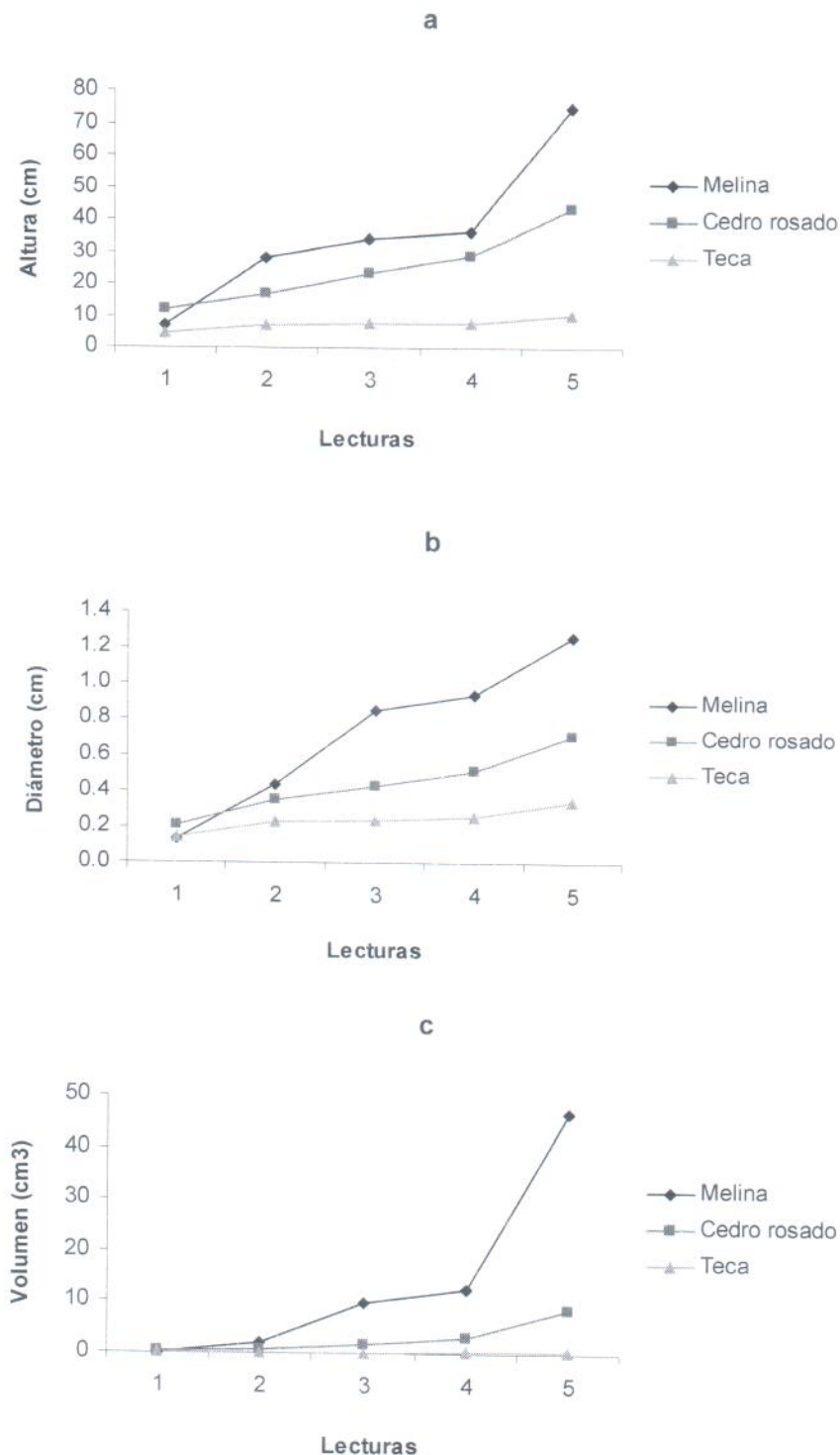


Figura 13. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2 X 2 m de las especies introducidas en San Guillermo, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

4.2.1.3. Supervivencia

La supervivencia de las especies en este sitio fue de 68% al año de establecer la plantación; esto es, de los 225 árboles que se plantaron en este sitio, 153 árboles sobrevivieron. De la supervivencia registrada por especies; se tiene que, de 75 árboles que se plantaron por cada una, para melina se tuvo una supervivencia del 88%, el 80% para cedro rosado y solo el 34% para teca.

4.2.2. Sitio 2: El Cerro

Este sitio se encuentra a una altitud de 800 msnm, con exposición NW y con una pendiente de 20°. Al igual que en el sitio 1, en éste también se sembró maíz utilizando el espacio entre las hileras de plantación de los árboles. El análisis de varianza realizado muestra que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las especies para las variables altura, diámetro basal y volumen (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza del crecimiento en altura, diámetro y volumen a doce meses de establecer la plantación en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 2.

Variable	Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
ALTURA	Modelo	8	136638.8297	17079.8537	11.34	<.0001
	Error	100	150550.7529	1505.5075		
	Total	108	287189.5826			
DIÁMETRO	Modelo	8	3465.472882	433.184110	13.84	<.0001
	Error	100	3130.865284	31.308653		
	Total	109	6596.338165			
VOLUMEN	Modelo	8	280590.118	35073.765	2.65	0.0111
	Error	100	1322734.829	13227.348		
	Total	108	1603324.947			

4.2.2.1. Crecimiento de las especies

Las especies mejor adaptadas a este sitio fueron melina y cedro rosado; teca mostró el más bajo crecimiento en las variables evaluadas (Figura 14), al igual que en el sitio anterior. Al realizar el ANOVA correspondiente se encontraron diferencias significativas en el crecimiento de las tres especies al 5%, y, realizada la prueba de comparación de medias por DMS; melina fue la mejor especie, seguida de cedro rosado y finalmente teca (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comparación de medias por DMS de las variables altura, diámetro basal y volumen entre especies en el sitio 2.

Especie	Altura (cm)	Media Diámetro (mm)	Volumen (cm³)	No. de obs.	Grupo
Melina	86.8	14.8	108.7	44	a
Cedro rosado	59.7	10.6	82.6	37	ab
Teca	3.2	1.6	0.1	28	b

Nota: Medias con la misma letra no muestran diferencias significativas. $\alpha=0.05$.

En este caso, para todas las variables, las medias calculadas fueron mayores que la DMS para melina y cedro rosado, excepto en teca.

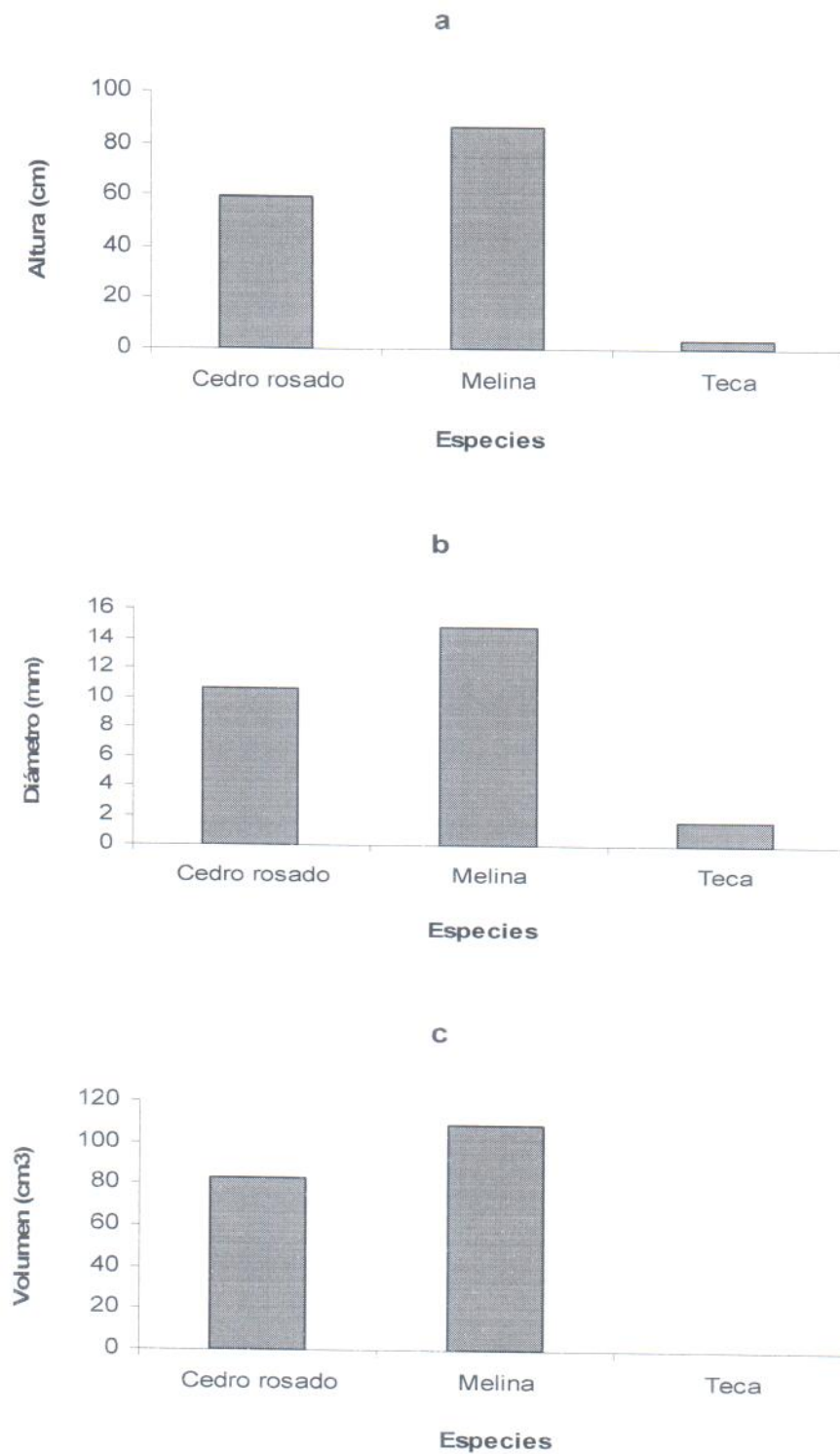


Figura 14. Comparación del crecimiento en las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 2, de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen.

4.2.2.2. Comportamiento del crecimiento acumulado por espaciamiento

Al graficar la tendencia de la altura, diámetro basal y volumen acumulados de cada especie con los datos registrados cada tres meses, hasta el año de establecer la plantación; en los diferentes espaciamientos, se observa a melina como la especie que sobresale de las otras dos (Figura 15, 16 y 17).

En general, en los tres espaciamientos, melina superó a cedro rosado y a teca en este sitio; siguiéndole el cedro rosado; teca mostró un crecimiento mínimo en los tres espaciamientos. Al igual que en el sitio 1, en este sitio se le aplicó FAENA al cultivo de maíz con el fin de controlar las malezas, pastos principalmente; y en cierta forma, a esta labor se debe probablemente, el poco crecimiento de los árboles.

4.2.2.3. Supervivencia

La supervivencia de las especies en este sitio, al año de haber plantado fue del 48.44%; esto es, de los 225 árboles plantados, sólo sobrevivieron 109. De la supervivencia registrada por especies para este sitio, de los 75 árboles que se plantaron por cada una, melina tuvo una supervivencia de 58.66%, cedro rosado un 49.33 % y teca tuvo una supervivencia del 37.33%.

Cabe señalar que durante la cosecha de maíz en este sitio y durante las labores culturales que se le hicieron al cultivo, no se cuidaron debidamente los árboles y fueron cortados varios de ellos. Durante el levantamiento de los datos de campo, se registraron varios árboles cortados y, por consecuencia, muertos.

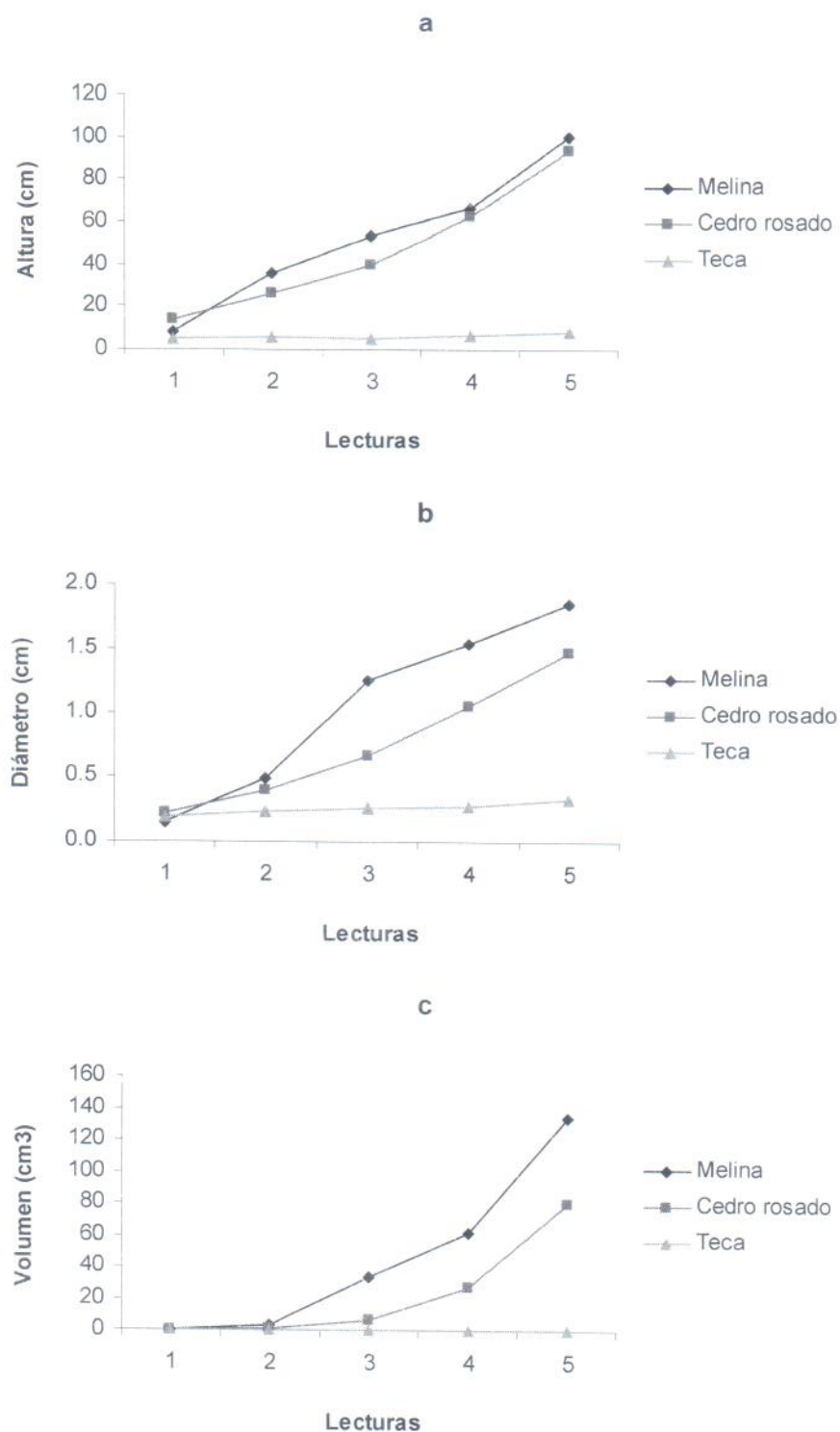


Figura 15. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 3 X 3 m de las especies introducidas en El Cerro, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

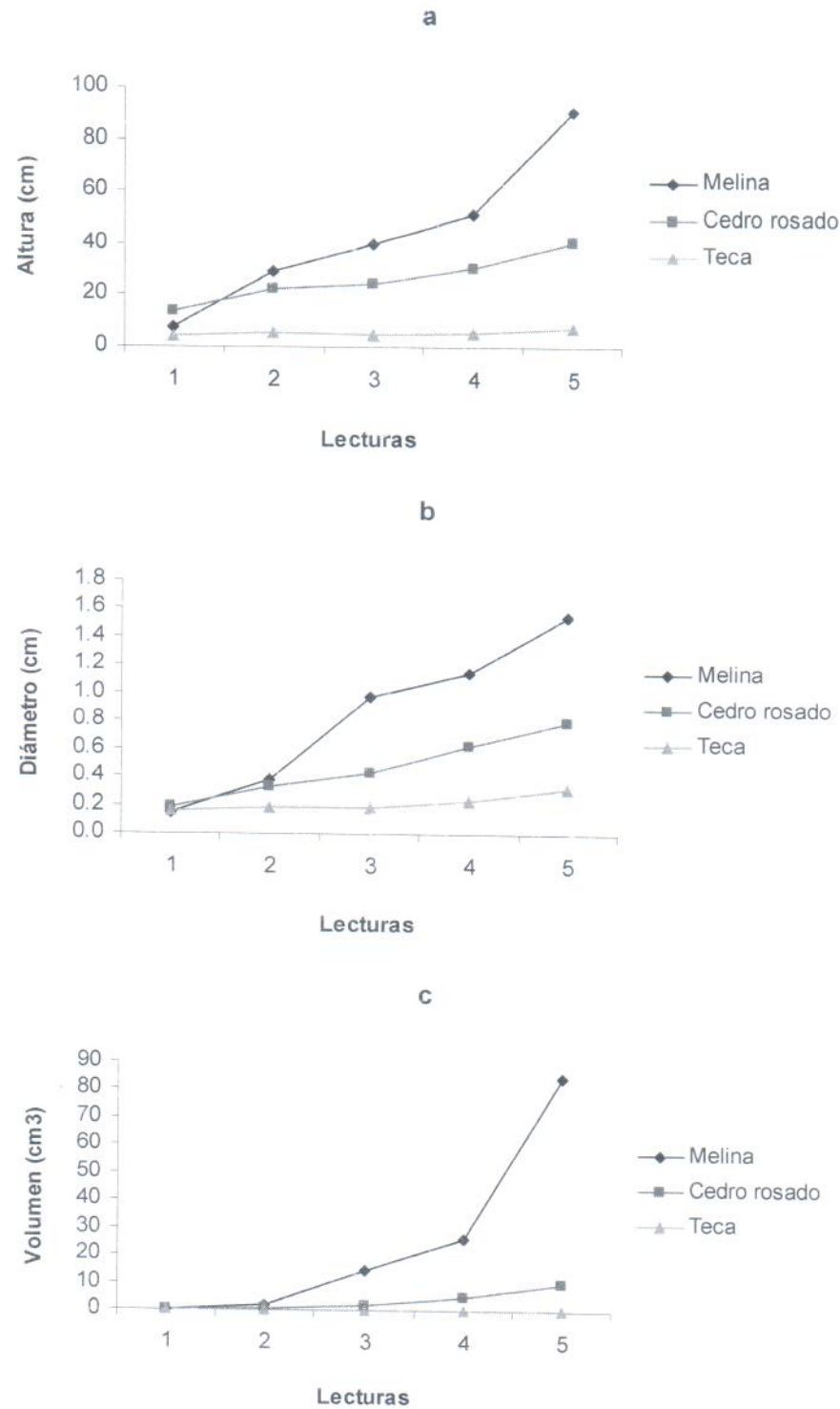


Figura 16. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2.5 X 2.5 m de las especies introducidas en El Cerro, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

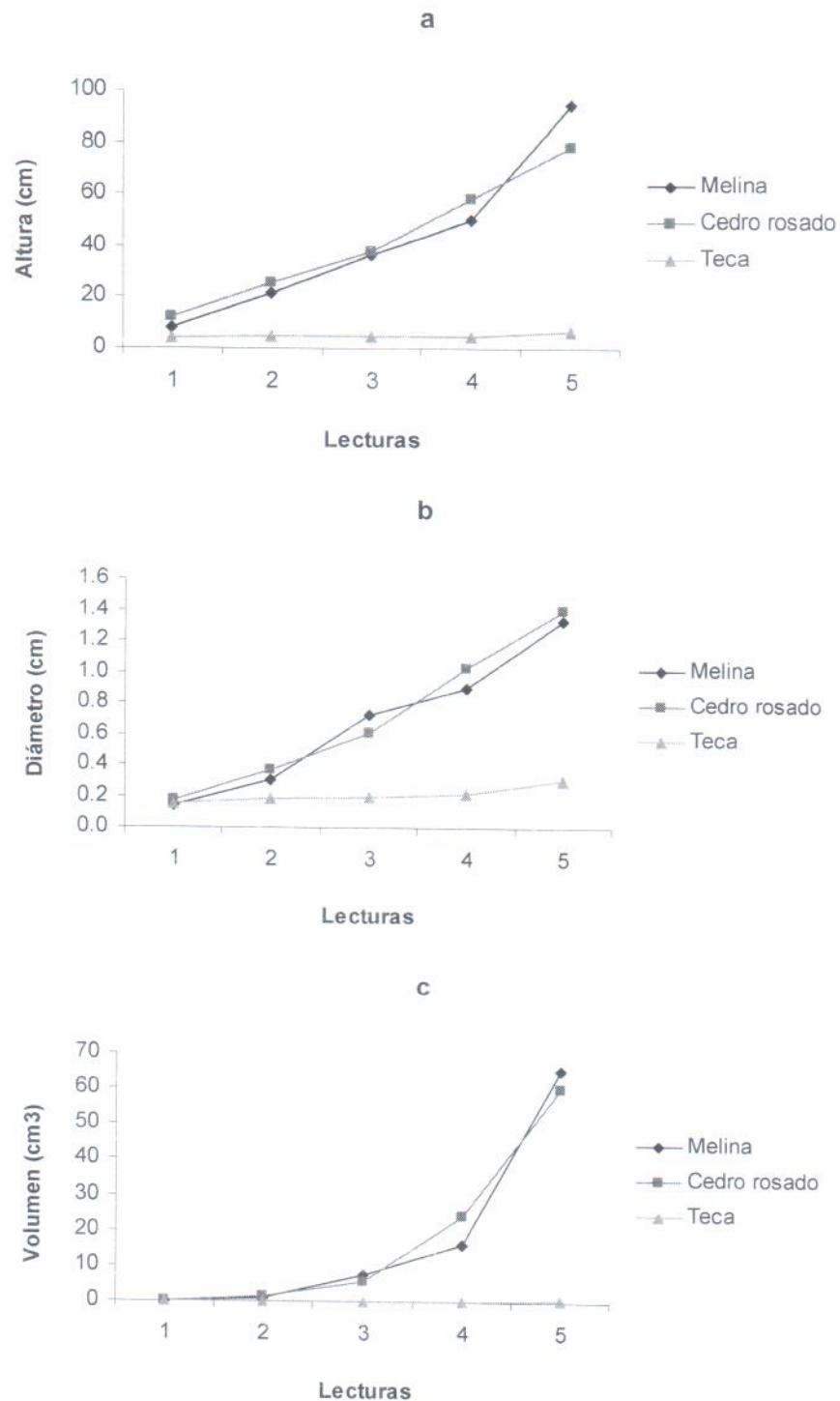


Figura 17. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2 X 2 m de las especies introducidas en El Cerro, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

4.2.3. Sitio 3: Cantarranas

Este sitio se localiza a 750 msnm. Con exposición SE y con una pendiente de 30°. En este sitio se combinaron los árboles con café. Los cafetos se hallan plantados a 2 m de espaciamiento y, al momento de plantar, se cortaron algunas matas con el fin de regular la densidad. El análisis de varianza realizado muestra que existen diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre las especies, para las variables altura, diámetro basal y volumen (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza del crecimiento en altura, diámetro y volumen a doce meses de establecer la plantación en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 3.

Variable	Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
ALTURA	Modelo	8	1199676.143	149959.518	37.39	<.0001
	Error	171	685769.495	4010.348		
	Total	179	1885445.638			
DIÁMETRO	Modelo	8	21109.33049	2638.66631	38.95	<.0001
	Error	171	11585.51195	67.75153		
	Total	179	32694.84244			
VOLUMEN	Modelo	8	43888169.8	5486021.2	15.19	<.0001
	Error	171	61763695.4	361191.2		
	Total	179	105651865.2			

4.2.3.1. Crecimiento de las especies

Las especies mejor adaptadas a este sitio fueron melina y cedro rosado; teca mostró los crecimientos más bajos en las variables evaluadas (Figura 18) al igual que en los sitios anteriores. Al realizar el ANOVA correspondiente se encontraron diferencias significativas al 5% en el crecimiento de las tres especies y, en la comparación de medias por DMS se observa a melina como la mejor especie, seguida de cedro rosado

(Cuadro 10). En este caso, para todas las variables, las diferencias de medias calculadas fueron mayores que la DMS, esto para melina y cedro rosado, siendo significativas.

Cuadro 10. Comparación de medias por DMS de las variables altura, diámetro basal, y volumen entre especies en el sitio 3.

Especie	Altura (cm)	Media Diámetro (mm)	Volumen (cm ³)	No. de obs.	Grupo
Melina	215.9	29.8	1001.8	71	a
Cedro rosado	139.6	15.9	299.3	66	b
Teca	13.4	4.4	2.6	43	c

Nota: Medias con la misma letra no muestran diferencias significativas. $\alpha=0.05$.

4.2.3.2. Comportamiento del crecimiento acumulado por espaciamiento

Al graficar la tendencia de la altura, diámetro basal y volumen acumulados de cada especie en los diferentes espaciamientos, a un año de establecida la plantación, se observa, al igual que en los sitios anteriores, que *Gmelina arborea* sobresale de las otras dos especies (Figura 19, 20 y 21).

En este caso las alturas que mostró melina fueron muy superiores que en los sitios anteriores, presentándose alturas de 3.24 y 3.67 m como máximas. Igualmente, cedro rosado mostró alturas importantes, 3.49 y 4.75 m como las máximas. En este sitio no se aplicó ningún tipo de herbicida, sólo se cortaron unas matas de café con el fin de liberar un poco de sombra como labor cultural. Por lo que, de acuerdo con Ospina (2006), esta tecnología agroforestal resulta más eficiente para aprovechar mejor el espacio.

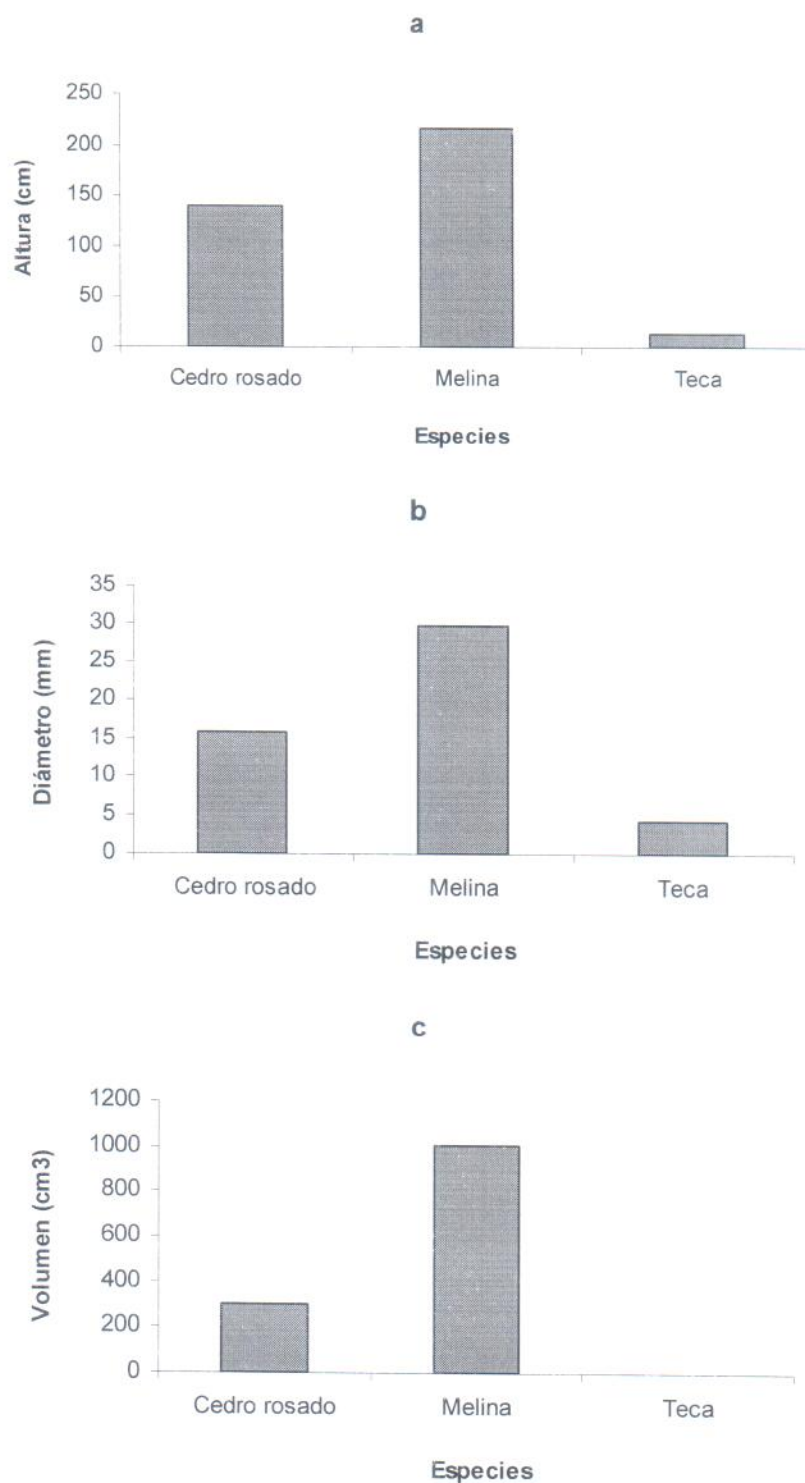


Figura 18. Comparación del crecimiento en las especies forestales introducidas en el Mpio. de Huehuetla, Hgo., del sitio 3, de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen.

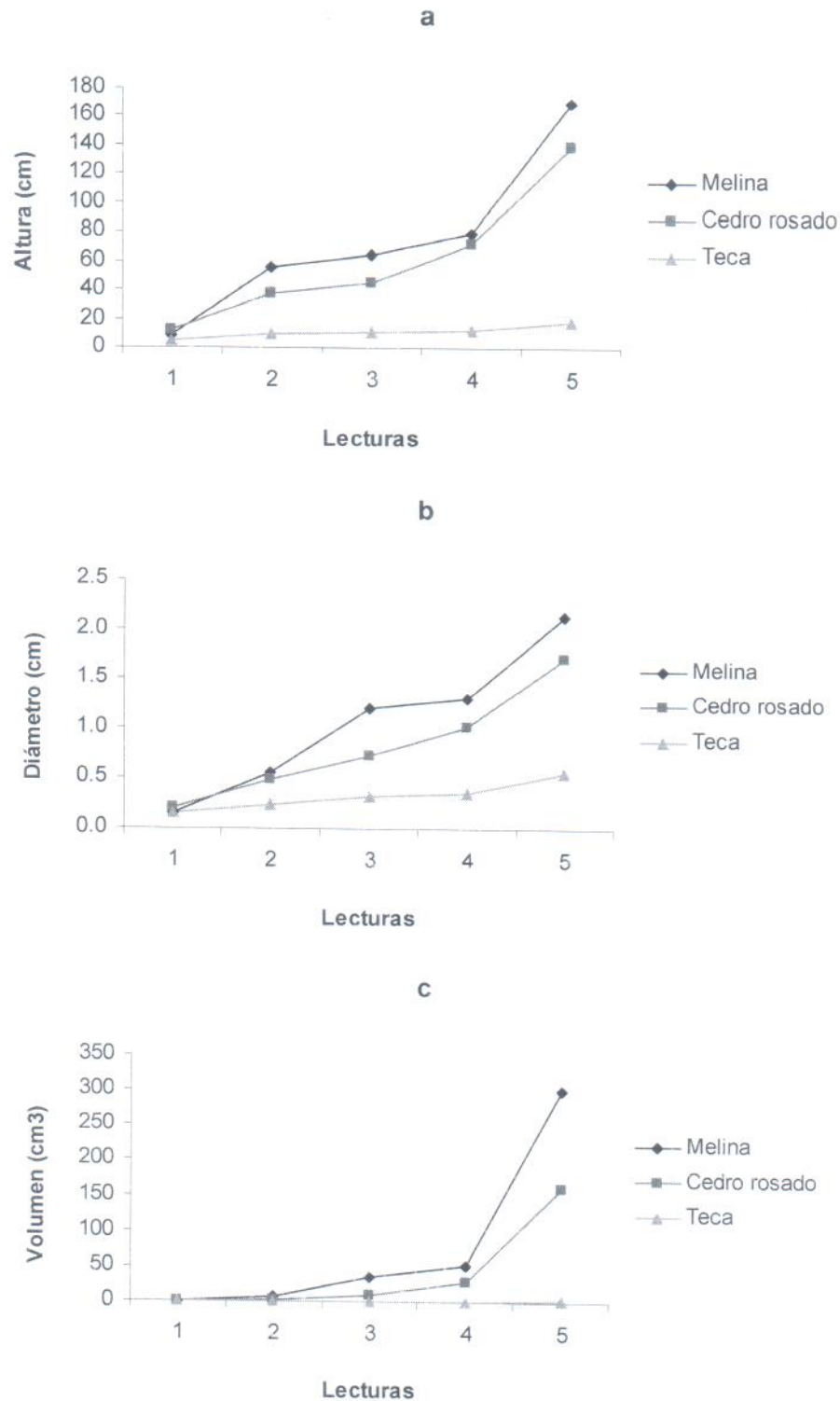


Figura 19. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 3 X 3 m de las especies introducidas en Cantarranas, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

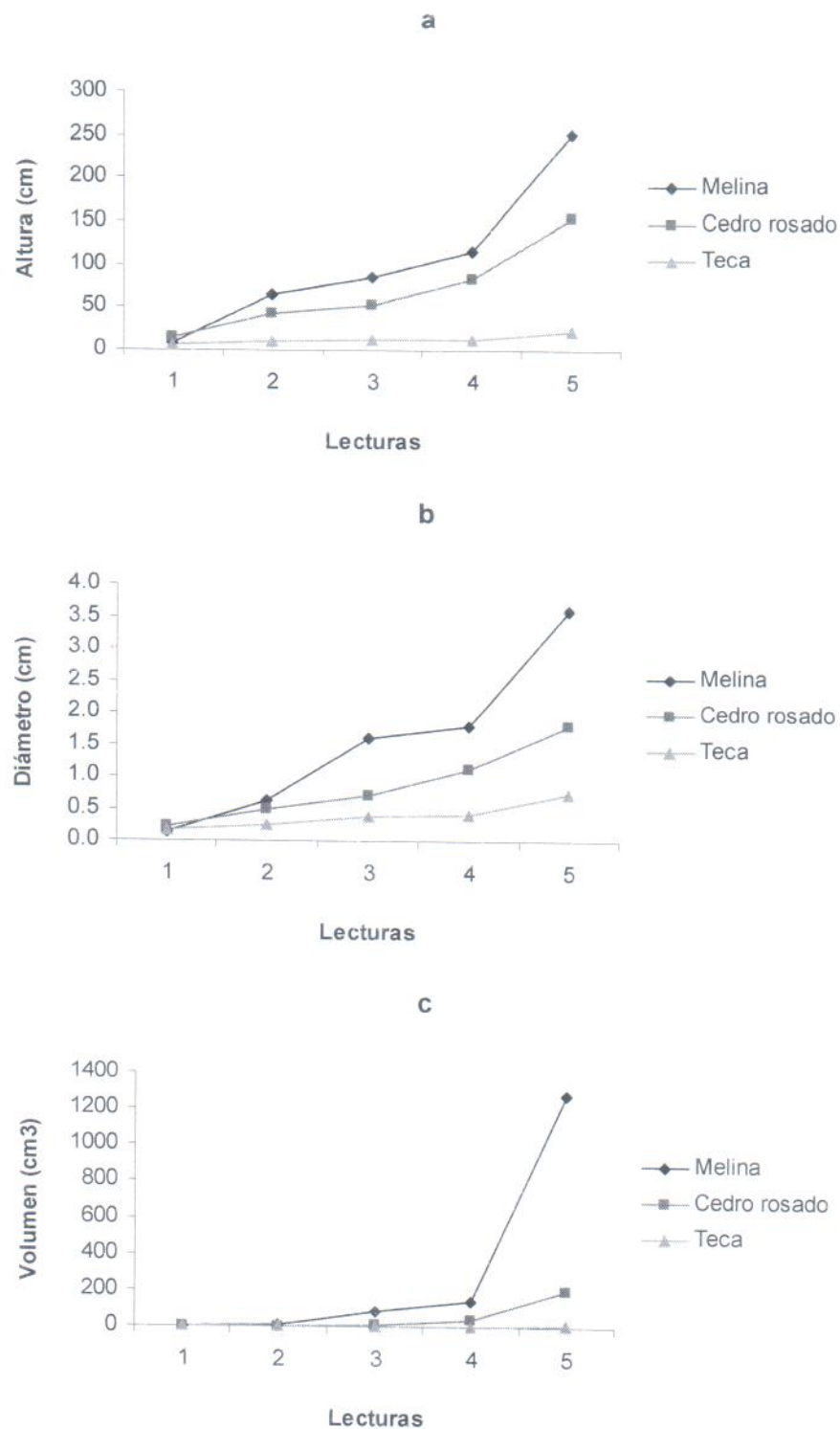


Figura 20. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2.5 X 2.5 m de las especies introducidas en Cantarranas, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

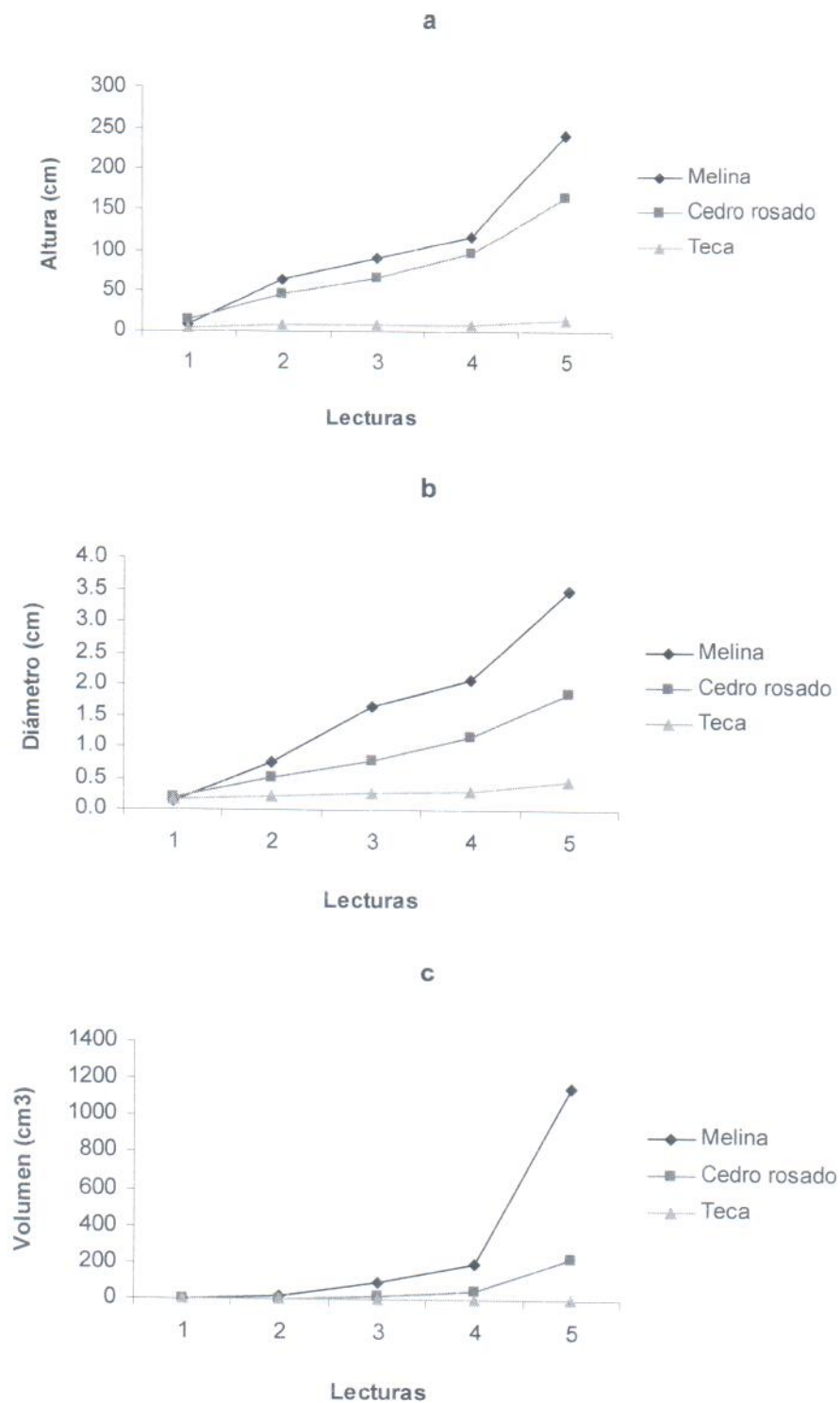


Figura 21. Comportamiento del crecimiento acumulado de las variables: a) altura, b) diámetro basal y c) volumen, en el espaciamiento de 2 X 2 m de las especies introducidas en Cantarranas, Municipio de Huehuetla, Hidalgo.

Tanto en los sitios 1 y 2 como en el 3, la especie que mostró el mejor crecimiento fue *Gmelina arborea*, seguida de *Acrocarpus fraxinifolius* y finalmente *Tectona grandis*, que fue la especie que menos crecimiento mostró. La densidad de plantación, al menos en esta plantación experimental, sí tuvo efectos en el crecimiento de las especies, confirmando lo mencionado por Fierros (2001), influyendo en el crecimiento de los árboles en los tres sitios.

Específicamente para melina, en ensayos anteriores, se encontró que los espaciamientos probados no influyeron en la sobrevivencia y crecimiento (Sánchez, 1989), en los primeros años del establecimiento; sin embargo, después de siete años, se encontró que a menor espaciamiento, los fustes fueron más rectos y a mayor espaciamiento hubo mayor número de ramas gruesas y bifurcación. De acuerdo con esto, podría pensarse en utilizar el espaciamiento de 3 X 3 para melina, que fue el espaciamiento donde se obtuvieron los mejores crecimientos, seguido del espaciamiento 2.5 X 2.5 m, al menos en los primeros años de crecimiento; aunque Rojas *et al.* (2004), recomienda plantar melina en un espaciamiento de 2.5 X 2.5 m si se quiere producir leña o pulpa y de 3 X 3 m si lo que se quiere obtener es madera para aserrío, aunque mucho depende del objetivo de producción.

Murillo y Valerio (1991) mencionan que melina se ha empleado en sistemas agroforestales con espaciamientos de 2.5 X 2.5 y 3 X 3 m asociándola con maíz y frijol; sin embargo, por su rápido crecimiento y amplia densidad de copa, después del primer año de plantación, impiden su asociación con estos cultivos; debiendo elegir otro cultivo

que tolere más la sombra. En el caso del cultivo de café, como en el sitio 3 del presente trabajo, este permite la asociación con melina, por ser una especie que requiere de sombra, al menos en su etapa inicial, misma que los árboles pueden proporcionarle.

Para cedro rosado, los espaciamientos que se han probado en asociación con café en la Sierra Norte de Puebla, han dado buenos resultados; sin embargo, estos han sido de 3 X 3, 4 X 4, 5 X 5 y 10 X 10 y no menores (Honorato *et al.* 2005). Por lo que para definir un espaciamiento adecuado en la zona dependerá de los objetivos de la plantación o sistema agroforestal a adoptar. En la plantación establecida se encontró que el mejor crecimiento para cedro rosado, se dio en el espaciamiento correspondiente a 3 X 3 m.

4.2.3.3. Sobrevivencia

La sobrevivencia de las especies en este sitio a un año de establecer la plantación fue del 80%; esto es, que de los 225 árboles plantados en este sitio, sobrevivieron 180. De la sobrevivencia registrada por especies se tiene que, de los 75 árboles plantados de cada una, melina tuvo una sobrevivencia de 94.66%, cedro rosado el 88% y teca tuvo el 57.33%.

Como se ha mencionado anteriormente, en los sitios 1 y 2, las especies fueron combinadas con maíz, en donde se intercalaron líneas de maíz entre las líneas de árboles y el sitio 3 (Cantarranas), sólo se combinó con café. Se observó que en los sitios 1 y 2 la sobrevivencia no fue igual que en el 3, lo cual se debió a los pocos cuidados que los campesinos tuvieron de los árboles al momento de cosechar el maíz. Tuvo algún efecto en el crecimiento de los árboles el herbicida (FAENA) aplicado en las labores culturales

del maíz y de esto se deduce el poco crecimiento de los árboles, además de las altas tasas de mortandad en los sitios 1 y 2. En el sitio 3 se obtuvo la tasa más alta de sobrevivencia y los mejores crecimientos en las tres variables, comparado con los otros dos, en donde se asociaron los árboles con maíz, en este caso, en el sitio 3 el café no tuvo influencia en el desarrollo de los árboles en su etapa inicial, propiciando, al mismo tiempo, algo de sombra que requieren los árboles en su crecimiento inicial. Con lo cual se concluye que *Gmelina arborea* no es del todo heliófila, si no que tolera algo de sombra en sus etapas iniciales.

Por otra parte, durante todo el proceso de registro de datos se le dieron los cuidados mínimos a la plantación como fueron chaponeos y podas, esta última labor sólo se le aplicó a melina, que presenta chupones de manera natural (Rojas *et al.* 2004). No se presentaron tallos bifurcados, ni follaje amarillento en las tres especies; respecto a plagas, no se presentó alguna considerada como de importancia.

La calidad de la planta es decisiva para el buen desarrollo de la plantación, debiendo tomar en cuenta los criterios de FAO (1980); sin embargo, al momento de plantar, en ocasiones no se cuenta con la planta adecuada, y eso seguirá sucediendo en cualquier proyecto de plantación que quiera realizarse. Musálem (2006), menciona que tanto el tamaño de planta como el sistema de producción atienden a circunstancias particulares, como fue el caso del presente trabajo, empleando la planta con la que se contaba en ese momento, que, una vez establecidas, respondieron al menos dos, favorablemente a las condiciones del lugar de plantación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. *Gmelina arborea*, demostró ser la especie más apta para la zona de Huehuetla, ya que mostró los mejores crecimientos en los tres sitios; *Acrocarpus fraxinifolius* demostró ser la segunda especie apta para la zona, alcanzando alturas similares a melina. *Tectona grandis* mostró un crecimiento menor en los tres sitios durante el período de evaluación.
2. Los espaciamientos empleados tuvieron influencia en los crecimientos de las especies, resultando más adecuado el espaciamiento de 3 X 3 m tanto para melina como para cedro rosado.
3. La combinación de café con melina y cedro rosado del sitio 3 resultó mejor que la combinación de las mismas especies con maíz de los sitios 1 y 2. Teca no respondió bien a la combinación con los cultivos en los 3 sitios.
4. Si se realiza una plantación como sistema agroforestal, debe tenerse un cuidado estricto de los árboles al momento de cosechar los cultivos anuales.
5. Con esta plantación fue posible demostrar que dos de las tres especies propuestas si se adaptaron a la zona de Huehuetla a un año de establecerla; con lo cual puede pensarse en ampliar esta técnica agroforestal en la zona.

6. Se recomienda realizar un estudio de la plantación a los 5 años de haber plantado, con el fin de asegurar el éxito de las futuras plantaciones a establecer en la zona, siendo ideal tomar en cuenta factores como suelo, pendiente y exposición, entre otros.

7. Es importante lograr que los campesinos asimilen las plantaciones como un cultivo más, del cual pueden obtener bienes y mejorar sus ingresos y al mismo tiempo, ayudar a conservar los recursos forestales.

6. LITERATURA CITADA

- Arteaga M., B. 2004. Necesidades técnicas del sector para favorecer el establecimiento de plantaciones forestales. En: Baldemar Arteaga Martínez y Miguel A. Musálem Santiago (Compiladores). 2004. Plantaciones Forestales: producir para conservar. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Estado de México. pp. 270-288.
- Arteaga M., B. 2007. Comunicación personal. Profesor-investigador. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco. Edo de México.
- Avendaño, N. 2002. Sembrar oxígeno. Consultado el 3 de febrero de 2006. Disponible en: <http://www.prensalibre.com/app/suplementos/domingo/archivo/agosto02/040802/ambiente.html>
- Bauer, J. 1982. Especies con potencial para la reforestación en Honduras. Resúmenes COHDEFOR-CATIE. Tegucigalpa, Honduras. 42 p.
- Beard, J. 1943. The importance of race in teak (*Tectona grandis* L. f.). Caribbean Forester. 4 (3): 135-139.
- Burley, J. y Wood, P. J. 1979. Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los trópicos. Trad. por Jacqueline M. Benson. Tropical Papers No. 10A. Common Forestry Institute. Oxford, Inglaterra. 233 p.
- CAB. 2000. Forestry Compendium. Global Module. CD-ROM.
- Callahan R., Z. 1964. Investigación de procedencias, estudio de la diversidad genética asociada a la geografía. Unasylva 18(73): 40-48.
- Cozzo, D. 2001. Las ciencias forestales (bosques-forestaciones) y la conservación ambiental (faunas-floras silvestres). Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina. 184 p.
- Chávez E. y Fonseca W. 1991. Teca (*Tectona grandis*), especie de árbol de uso múltiple en América Central. Serie Técnica. Informe Técnico N° 179. Colección de Guías Silviculturales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 60 p.
- Downs R., J. G. 2003. Estudio tecnológico de la madera de *Gmelina arborea* Roxb., proveniente de plantaciones jóvenes del estado de Campeche. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Estado de México. 59 p.

- Evans, J. 1992. Plantation forestry in the tropics. Second edition. Oxford Science Publications. New York. 403 p.
- FAO. 1969. Árboles comunes de la Provincia de Esmeralda: estudio de preinversión para el Desarrollo Forestal Noroccidente. V. 4. Informe final. Roma, Italia. 53 p.
- FAO. 1980. Mejora genética de árboles forestales: informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales. Roma, Italia. 341 p.
- FAO. 1982. Los recursos forestales tropicales. Roma, Italia. 113 p.
- FAO. 1995. Plantaciones forestales mixtas y puras de zonas tropicales y subtropicales. Roma, Italia. 166 p.
- Fierros G., A. M., D. A. Rodríguez T. y A. L. Leyva H. 2001. Ejecución de proyectos de plantaciones. En: Sosa Cedillo, V. E. y Fierros González, A. M. (coord.). 2001. Curso de especialización en plantaciones forestales: Manual. Consultoría Forestal y Agropecuaria, S.A. de C.V., México, D. F. pp. 71-246.
- Galoway, G. y Borgo, G. 1984. Guía para el establecimiento de plantaciones forestales en la sierra peruana. FAO. Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional Forestal y de la Fauna. Lima, Perú. 144 p.
- García S., J. 2002. Manual de repoblaciones forestales – I. 2ª. Edición. Fundación Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Edic. Mundi-Prensa. Madrid, España. 794 p.
- Gautam, A. 2002. *Acrocarpus fraxinifolius* seeds. Tropical Attitudes Gardening. DehraDun, India. Consultado el 3 de febrero de 2004. Disponible en: www.raingardens.com/bbs/index.cgi?noframes;read=3063
- Golfari, L. 1963. Exigencias climáticas de las coníferas tropicales y subtropicales. Unasylva. Vol. 17 (1). No. 68.
- González H., C. 2002. Sistema agroforestal café – cedro rosado: estudio de caso en el municipio de Venustiano Carranza, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Sistema de Centros Regionales Universitarios. Huatusco, Veracruz. 70 p.
- González H., G. A. 1978. Evaluación del crecimiento en las plantaciones forestales de la cuenca de Cointzio. Comisión Forestal del Estado de Michoacán. Morelia, Michoacán. 127 p.
- González V., C. E. 2005. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Presentación Power Point. Morelia, Michoacán.

- Herrera M., C. 2007. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Presentación Power Point. Morelia, Michoacán.
- Honorato S., J. A., J. Quintanar O., J. F. C. Parraguirre L. y H. M. Rodríguez C. 2005. Cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*): una opción agroforestal para la Sierra Norte del Estado de Puebla. Folleto Técnico Núm. 1. INIFAP. Puebla. 41 p.
- INEGI. 1998. Cuaderno Estadístico Municipal: Huehuetla. Edición 1997. Aguascalientes, Ags. México. 129 p.
- INIF. 1985. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn., especie promisora para plantaciones forestales en el trópico húmedo. Publ. Esp. No. 48. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D. F. pp. 561-566.
- Keogh R., M. 1979. El futuro de la teca en América Tropical. Estudio sobre *Tectona grandis* en el Caribe, Centroamérica, Venezuela y Colombia. Unasylva 31 (126): 13-19.
- Krishnamurthy, L. y M. Ávila. 1999. Agroforestería básica. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental N° 3. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México, D. F. 340 p.
- Ladrach, W. E. 1994. Aspectos ecológicos de la reforestación. En: Memoria de la IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. México, D. F. pp. 423-441.
- Leopold A., S. 2000. Fauna silvestre de México: aves y mamíferos de caza. 2da. Edición. Ed. PAX México. México D. F. 608 p.
- Menéndez, H. 2006. Comunicación personal. Semillas y Productos Agroforestales del Trópico. Xicotepec, Puebla.
- Monreal R., S. B. 2003. Avances del programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales. Forestal XXI. 6(5): 19-20.
- Monreal R., S. B. 2006. Comunicación personal. PRODEPLAN. Zapopan, Jalisco.
- Murillo, O. y J. Valerio. 1991. Melina (*Gmelina arborea* Roxb.), especie de árbol de uso múltiple en América Central. Serie Técnica. Informe Técnico N° 181. Colección de Guías Silviculturales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 72 p.
- Musálem S., M. A. 2006. Silvicultura de plantaciones forestales comerciales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 208 p.

- Musálem S., M. A. 2007a. Guía silvicultural de melina (*Gmelina arborea* Roxb.). In MUSÁLEM, M. A. Memorias del Curso Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Programa de Postgrado. Chapingo, Estado de México. 116 p.
- Musálem S., M. A. 2007b. Guía silvicultural de teca (*Tectona grandis* L.). In MUSÁLEM, M. A. Memorias del Curso Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Programa de Postgrado. Chapingo, Estado de México. 50 p.
- Niembro R., A. 1986. Árboles y arbustos útiles de México: naturales e introducidos. Ed. LIMUSA. México, D.F. p. 28.
- Niembro R., A. 2003. Species Descriptions. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight. & Arn. Instituto de Ecología A. C. Xalapa Veracruz. Consultado el 29 de enero de 2004. Disponible en: [www.rngr.net/Reforestation/Publications/ TTSM/Folder.2003-07-1.4726/Acrocarpus%20fraxinifolius.pdf](http://www.rngr.net/Reforestation/Publications/TTSM/Folder.2003-07-1.4726/Acrocarpus%20fraxinifolius.pdf).
- Ospina A., A. 2006. Agroforestería: aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal. Asociación del Colectivo de Agroecología del Suroccidente Colombiano-ACASOC. Serie Agroforestería. Bogotá, Colombia. 209 p.
- Parada S., B. 2000. Las plantaciones forestales comerciales de teca (*Tectona grandis* L. f.), una alternativa de desarrollo para la región costera del estado de Nayarit. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Centros Regionales Universitarios. Chapingo, México. 198 p.
- Patiño V., F., Rodríguez P., A., Marín C., J. y Díaz M., E. 1982. *Gmelina arborea*: una especie promisoría en el trópico mexicano. INIF Campeche. Campeche. 167 p.
- Pennington, T. D. y Sarukhán, J. 2005. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. 3^{era}. Ed. UNAM. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 523 p.
- Pesson, P. 1978. Ecología forestal. Traducido por: Helios Sainz Ollero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 393 p.
- Quintanar, O. J. 2002. Estimación de la productividad y potencial tecnológico del cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*), en el estado de Puebla. INIFAP-Campo Experimental San Martinito. Consultado el 29 de enero de 2006. Disponible en: http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/imasd/proyectos_2002/48.htm.
- Riaño M., R. E. 2006. Comunicación personal. Xalapa, Veracruz.

- Rojas R., F., D. Arias A., R. Moya R., A. Meza M., O. Murillo G. y M. Arguedas G. 2004. Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*), en Costa Rica. Archivo PDF.
- Sánchez M., A. 1989. Monografía de *Gmelina arborea* Roxb., y su situación en México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Estado de México. 153 p.
- Sánchez R., L. A. y J. L. Romero. 2003. Plantations of *Gmelina arborea* in Southern Mexico. In: Recent Advances with *Gmelina arborea* (Eds. W. S. Devorak, G. R. Hodge, W. C. Woodbridge and J. L. Romero). CD-ROM. CAMCORE. North Carolina State University. Raleigh, NC. USA. 6 p.
- SAS. 1999-2001. Statistical Analysis System. Institute Inc. Cary, NC. USA.
- Sawyer, J. 1993. Plantations in the tropics: environmental concerns. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 83 p.
- SEMARNAP. 1998. Ley Forestal y su Reglamento. México, D. F. 168 p.
- SEMARNAT. 2001. Las plantaciones forestales comerciales en México. Subsecretaría de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. Documento Informativo. 9 p. Archivo PDF.
- SPP. 1981. Atlas Nacional del Medio Físico. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F. 224 p.
- Spurr S., H. y Barnes B., V. 1982. Ecología Forestal. Trad. De la 3era. Edic. por Carlos Luis Raigorodsky Z. A. G. T. Editor. México, D. F. 690 p.
- Steel R., G. D. y Torrie J. H. 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. 2ª. Ed. Mc. Graw-Hill. México, D. F. 622 p.
- Streets R., J. 1962. Exotic forester tree in the British Comon Wealth. Oxford, G. B. Clarendon Press. 750 p.
- Torres R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Ed. Limusa. CIDE. México, D. F. 472 p.
- Whitmore J., L. y A. Otárola T. 1976. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight, una especie de rápido crecimiento inicial, buena forma y madera de usos múltiples. Turrialba 26(2): 201-204.

7. APENDICE

Cuadro 1. Análisis de Varianza desglosado por variable de la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo, en los tres sitios.**Variable: Altura**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Sitio	2	872861.958	436430.979	141.27	<.0001
Especie	2	1049258.582	524629.291	169.82	<.0001
Densidad	2	32249.907	16124.954	5.22	0.0058
Densidad*Especie	4	22400.286	5600.071	1.81	0.1253
Suma de Cuadrados Tipo III					
Sitio	2	940681.501	470340.751	152.25	<.0001
Especie	2	1036643.414	518321.707	167.78	<.0001
Densidad	2	21836.574	10918.287	3.53	0.0300
Densidad*Especie	4	22400.286	5600.071	1.81	0.1253

Variable: Diámetro

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Sitio	2	10509.25731	5254.62866	89.74	<.0001
Especie	2	20147.73630	10073.86815	172.04	<.0001
Densidad	2	514.79171	257.39586	4.40	0.0129
Densidad*Especie	4	464.75627	116.18907	1.98	0.0959
Suma de Cuadrados Tipo III					
Sitio	2	11536.69793	5768.34896	98.51	<.0001
Especie	2	19705.25205	9852.62602	168.26	<.0001
Densidad	2	306.37999	153.18999	2.62	0.0742
Densidad*Especie	4	464.75627	116.18907	1.98	0.0959

Variable: Volumen

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Sitio	2	21633343.22	10816671.61	53.47	<.0001
Especie	2	15909644.66	7954822.33	39.32	<.0001
Densidad	2	1684458.85	842229.42	4.16	0.0162
Densidad*Especie	4	3942396.89	985599.22	4.87	0.0007
Suma de Cuadrados Tipo III					
Sitio	2	22567505.72	11283752.86	55.78	<.0001
Especie	2	15500459.56	7750229.78	38.31	<.0001
Densidad	2	1083687.45	541843.72	2.68	0.0698
Densidad*Especie	4	3942396.89	985599.22	4.87	0.0007

Cuadro 2. Análisis de Varianza para las variables del sitio 1: San Guillermo, de la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo.**Variable: Altura**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Especie	2	92717.58366	46358.79183	43.12	<.0001
Densidad	2	15218.35865	7609.17932	7.08	0.0012
Densidad*Especie	4	2023.72475	505.93119	0.47	0.7572
Suma de Cuadrados Tipo III					
Especie	2	56505.45899	28252.72950	26.28	<.0001
Densidad	2	2759.08003	1379.54002	1.28	0.2802
Densidad*Especie	4	2023.72475	505.93119	0.47	0.7572

Variable: Diámetro

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Especie	2	2489.269288	1244.634644	41.64	<.0001
Densidad	2	265.549706	132.774853	4.44	0.0134
Densidad*Especie	4	43.021558	10.755390	0.36	0.8368
Suma de Cuadrados Tipo III					
Especie	2	1668.615939	834.307969	27.91	<.0001
Densidad	2	37.988577	18.994289	0.64	0.5311
Densidad*Especie	4	43.021558	10.755390	0.36	0.8368

Variable: Volumen

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Especie	2	136813.3743	68406.6871	6.82	0.0015
Densidad	2	81559.7548	40779.8774	4.07	0.0191
Densidad*Especie	4	5575.2508	1393.8127	0.14	0.9675
Suma de Cuadrados Tipo III					
Especie	2	90111.69462	45055.84731	4.49	0.0128
Densidad	2	12810.88973	6405.44487	0.64	0.5295
Densidad*Especie	4	5575.25076	1393.81269	0.14	0.9675

Cuadro 3. Análisis de Varianza para las variables del sitio 2: El Cerro, de la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo.**Variable: Altura**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Especie	2	120113.6859	60056.8429	39.89	<.0001
Densidad	2	7344.5584	3672.2792	2.44	0.0924
Densidad*Especie	4	9180.5854	2295.1463	1.52	0.2008

Suma de
Cuadrados Tipo III

Especie	2	70175.14137	35087.57069	23.31	<.0001
Densidad	2	5865.14685	2932.57342	1.95	0.1479
Densidad*Especie	4	9180.58538	2295.14635	1.52	0.2008

Variable: Diámetro

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Especie	2	3013.985396	1506.992698	48.13	<.0001
Densidad	2	213.581228	106.790614	3.41	0.0369
Densidad*Especie	4	237.906257	59.476564	1.90	0.1164

Suma de
Cuadrados Tipo III

Especie	2	1613.543566	806.771783	25.77	<.0001
Densidad	2	106.517313	53.258656	1.70	0.1877
Densidad*Especie	4	237.906257	59.476564	1.90	0.1164

Variable: Volumen

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Especie	2	208422.2089	104211.1045	7.88	0.0007
Densidad	2	38636.9554	19318.4777	1.46	0.2370
Densidad*Especie	4	33530.9536	8382.7384	0.63	0.6396

Suma de
Cuadrados Tipo III

Especie	2	117597.4923	58798.7461	4.45	0.0141
Densidad	2	23874.3628	11937.1814	0.90	0.4088
Densidad*Especie	4	33530.9536	8382.7384	0.63	0.6396

Cuadro 4. Análisis de Varianza para las variables del sitio 3: Cantarranas, de la plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el Municipio de Huehuetla, Hidalgo.**Variable: Altura**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Especie	2	1098750.144	549375.072	136.99	<.0001
Densidad	2	53728.083	26864.042	6.70	0.0016
Densidad*Especie	4	47197.915	11799.479	2.94	0.0220

Suma de
Cuadrados Tipo III

Especie	2	1063456.855	531728.427	132.59	<.0001
Densidad	2	39479.751	19739.876	4.92	0.0083
Densidad*Especie	4	47197.915	11799.479	2.94	0.0220

Variable: Diámetro

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Especie	2	18036.60411	9018.30206	133.11	<.0001
Densidad	2	1403.50814	701.75407	10.36	<.0001
Densidad*Especie	4	1669.21824	417.30456	6.16	0.0001

Suma de
Cuadrados Tipo III

Especie	2	17191.95103	8595.97552	126.87	<.0001
Densidad	2	1058.56901	529.28451	7.81	0.0006
Densidad*Especie	4	1669.21824	417.30456	6.16	0.0001

Variable: Volumen

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo I	Cuadrado medio	F calc.	Pr > F
Especie	2	31172722.51	15586361.25	43.15	<.0001
Densidad	2	3348328.64	1674164.32	4.64	0.0110
Densidad*Especie	4	9367118.71	2341779.68	6.48	<.0001

Suma de
Cuadrados Tipo III

Especie	2	28648155.13	14324077.56	39.66	<.0001
Densidad	2	2412917.12	1206458.56	3.34	0.0378
Densidad*Especie	4	9367118.71	2341779.68	6.48	<.0001