

Universidad Autónoma Chapingo

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

EVALUACIÓN DEL ESTADO NUTRIMENTAL DE DOS
PLANTACIONES FORESTALES *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus*
camaldulensis EN TEQUEXQUINÁHUAC; TEXCOCO, ESTADO DE
MÉXICO.



REGIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN **CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA:

FRANCISCO JAVIER VARGAS LÓPEZ

Chapingo, Estado de México

2006



COMITÉ ASESOR

Evaluación del estado nutrimental de dos plantaciones forestales *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis* en Tequexquináhuac; Texcoco, Estado de México

Tesis realizada por Francisco Javier Vargas López 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. Francisco José Zamudio Sánchez

ASESOR:

Dra. Amparo Borja de la Rosa

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres

Javier Vargas Cortez y Cecilia López Fonseca

a la memoria de ellos que han partido.

a Rosario Castañón Ibarra.

Tres seres queridos que no están más conmigo.

Con cariño para Gabriela Martín del Campo

Tan cercana y tan distante a mí.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo financiero.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por ser mi otra *alma mater*.

A la División de Ciencias Forestales, por recibirme entre ellos como uno más.

A los Maestros del Programa de Maestría.

Al Dr. Baldemar Arteaga Martínez por la dirección del presente trabajo y su paciencia para culminarlo.

Al Dr. Francisco José Zamudio Sánchez, por su amistad antes que nada, y por la claridad y objetividad en el análisis de los datos.

A la Dra. Amparo Borja De la Rosa por su apoyo en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

A mis compañeros Arturo A. Alvarado Segura, Gerardo Escutia Lozada y Ángel Leyva Ovalle por su apoyo y sugerencias en el trabajo de campo.

Al CD. Santiago Martínez Chávez por su amistad.

A Ana Laura Treviño, por su apoyo.

A mis amigas Patricia Araiza, Silvia Muñoz, Georgina Valdespino, Elisa Estrada y Magdalena Becerril.

A mi familia cercana: mis primos Juan Manuel y Roclo; y mis sobrinos Braulio Uriel y Juan José, por estar conmigo y compartir su tiempo y espacio en estos años.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
TABLA DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ACRÓNIMOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
RESUMEN	x
SUMMARY	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis y Supuestos:	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Plantaciones forestales	3
2.1.1 Necesidades y objetivos de las plantaciones forestales	4
2.1.2 Etapas de la plantación forestal	7
2.2 Evaluación de plantaciones forestales	9
2.2.1 Tipos de evaluación	9
2.2.2 Casos de evaluación biológico -silvícola	11
2.3 Ecología forestal	13
2.3.1 Conceptos generales de ecología	13
2.4 Nutrición y suelos forestales	15
2.4.1 Valores nutrimentales de referencia en follaje	25
2.5 Características de <i>Pinus pseudostrubus</i>	26
2.6 Características de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 Localización de la zona de estudio	28
3.2 Caracterización de la zona de estudio	28
3.3 Procedimiento general del trabajo de campo	30
3.4 Procedimientos del análisis de datos	36
	iii

Capítulo	Página
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1 Caracterización de las plantaciones	40
4.2 Condición de nutrimentos en follaje	43
4.3 Crecimiento arbóreo y nutrimentos en follaje	46
4.4 Crecimiento arbóreo y variables fisicoquímicas del suelo	51
4.5 Crecimiento arbóreo y nutrimentos del suelo	56
4.6 Comparación entre suelos de ambas plantaciones	65
4.7 Análisis de sotobosque	66
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
6. LITERATURA CITADA	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Condición de nutrimentos en follaje para coníferas.	25
2. Condición de nutrimentos en follaje para hojosas.....	25
3. Cálculo del límite <i>B</i> para el error de estimación de altura total y diámetro normal en muestra preliminar de <i>Pinus pseudostrobus</i>	33
4. Determinación del tamaño de muestra en <i>Pinus pseudostrobus</i>	34
5. Cálculo del límite <i>B</i> para el error de estimación de altura total y diámetro normal en muestra preliminar de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	34
6. Determinación del tamaño de muestra en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	34
7. Promedios de las variables de caracterización en <i>Pinus pseudostrobus</i> ..	41
8. Promedios de las variables de caracterización en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	41
9. Valores mayores de altura total y diámetro normal por conglomerado para <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	47
10. Resultados del análisis químico foliar en <i>Pinus pseudostrobus</i>	44
11. Determinación de la condición nutrimental comparativa entre los reportes bibliográficos y los resultados de campo.....	44
12. Resultados del análisis químico foliar en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	45
13. Condición nutrimental en porcentaje de árboles por conglomerado	46
14. Análisis de regresión entre altura total y nutrimentos del follaje en <i>Pinus pseudostrobus</i>	48
15. Análisis de regresión de altura total y nutrimentos del follaje en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	49
16. Variables fisicoquímicas del suelo en <i>Pinus pseudostrobus</i>	51
17. Variables fisicoquímicas del suelo en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	51
18. Relación entre la altura total y las variables fisicoquímicas del suelo en <i>Pinus pseudostrobus</i>	52
19. Relación entre la altura total y las variables fisicoquímicas del suelo en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	54
20. Contenido nutrimental del suelo en <i>Pinus pseudostrobus</i>	56

Capítulo	Página
21. Contenido nutrimental del suelo en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	56
22. Relación entre altura total y nutrimentos del suelo en <i>Pinus pseudostrobus</i>	57
23. Relación entre altura total y nutrimentos del suelo en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	59
24. Variables nutrimentales transformadas; <i>Pinus pseudostrobus</i>	61
25. Variables nutrimentales transformadas, <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	61
26. Análisis de regresión entre la altura total y variables transformadas en <i>Pinus pseudostrobus</i>	62
27. Análisis de regresión entre la altura total y variables transformadas en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	63
28. Comparación de variables fisicoquímicas entre los suelos de <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	65
29. Diversidad de herbáceas en <i>Pinus pseudostrobus</i>	67
30. Diversidad de herbáceas en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	68
31. Índices de diversidad de herbáceas en <i>Pinus pseudostrobus</i>	69
32. Índices de diversidad de herbáceas en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	69
33. Diversidad de arbustivas en <i>Pinus pseudostrobus</i>	70
34. Diversidad de arbustivas en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación de la zona de estudio	29
2. Relación entre la altura total y la concentración de Magnesio foliar en <i>Pinus pseudostrobus</i>	48
3. Relación entre la altura total y la concentración de Calcio foliar en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	50
4. Relación entre la altura total y la concentración de Manganeso foliar en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	50
5. Relación entre la altura total y el pH del suelo en <i>Pinus pseudostrobus</i>	52
6. Relación entre la altura total y la CIC del suelo en <i>Pinus pseudostrobus</i>	53
7. Relación entre la altura total y el pH del suelo en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	55
8. Relación entre la altura total y el contenido de Materia Orgánica del suelo en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	55
9. Relación entre la altura total y el contenido de Fósforo en <i>Pinus pseudostrobus</i>	58
10. Relación entre la altura total el contenido de Magnesio en <i>Pinus pseudostrobus</i>	58
11. Relación entre la altura total y el contenido de Manganeso en <i>Pinus pseudostrobus</i>	59
12. Relación entre la altura total y el contenido de Fierro en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	60
13. Relación entre la altura total y la variable transformada (T) en <i>Pinus pseudostrobus</i>	64
14. Relación entre la altura total y la variable transformada (T) en <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	64

ACRÓNIMOS

Ac	Área de copa
Alt	Altura total
Cong.	Conglomerado
DN	Diámetro normal
DGPC	Dirección General de Plantaciones Comerciales
F	Valor asignado a la condición del fuste en escala de 1 a 4
F (n,m)	Valor del estadístico de prueba F con n y m grados de libertad
F (n,m; α)	Valor del percentil α correspondiente al estadístico F(n,m)
H ₀ : a=0=0	Hipótesis nula sobre coeficiente de regresión a
H ₀ : b=0=0	Hipótesis nula sobre coeficiente de regresión b
H ₀ : c=0	Hipótesis nula sobre coeficiente de regresión c
Lc	Longitud de copa
Lc %	Longitud de copa expresada en por ciento
P est a	Estimación del coeficiente de regresión a (ordenada al origen)
P est b	Estimación del coeficiente de regresión b
Pb>a	Probabilidad de que el estadístico de prueba sea mayor que a
R ²	Valor del coeficiente de determinación múltiple
Rc	Radio de copa
SC Mod	Suma de cuadrados del modelo
SC Tot	Suma de cuadrados total

DATOS BIOGRÁFICOS

Fecha de nacimiento: 9 de diciembre de 1961.

Estudios de Educación básica y nivel medio en las Escuelas Públicas Carlos de Sigüenza y Góngora y Secundaria 166 (Álvaro Obregón) respectivamente.

Nivel bachillerato: CCH plantel sur, UNAM

Nivel licenciatura: Facultad de Ciencias UNAM. Formación profesional en Biología.

Trabajos en diferentes áreas e instituciones:

Comisión de Ecología del Departamento del Distrito Federal de 1984 a 1985.

Servicios Educativos del ISSSTE de 1987-1989

IMIT (Instituto de Apoyo Tecnológico para la Industria) de 1989 a 1990:

Extensión académica en la Dirección General de Apoyo y Servicios a la Comunidad, (UNAM) de 1990 a 1991

Áreas protegidas (Instituto Nacional de Ecología) 1992

Estudios de Maestría: Universidad Autónoma Chapingo de agosto de 1994 a la diciembre de 1996.

Instituto de Historia Natural y Ecología, Chiapas. 2002

RESUMEN

Evaluación del estado nutrimental de dos plantaciones forestales *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis* en Tequexquináhuac; Texcoco, Estado de México.

La evaluación del estado nutrimental de las plantaciones forestales de *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis* se realizó analizando comparativamente los contenidos nutrimentales determinados en el follaje de ambas especies; y mediante análisis de regresión donde la variable dependiente fue el crecimiento en altura total y diámetro normal, y la variable independiente fue cada uno de los ocho nutrimentos determinados en follaje, las trece variables fisicoquímicas determinadas en suelo, y la conjunción de los nutrimentos del suelo en una sola variable bajo diferentes combinaciones denominadas T, W y Z. Se evaluaron también el radio y tamaño de copa, así como la forma del fuste. Adicionalmente se compararon la estimación aproximada de la riqueza de especies del sotobosque y las características fisicoquímicas del suelo de estas plantaciones.

La evaluación nutrimental y caracterización de cada plantación permitió concluir que el desarrollo de *P. pseudostrobus* es mejor que el de *E. camaldulensis* pues está más relacionado con los contenidos nutrimentales del suelo y su apariencia es más vigorosa. De la comparación entre las plantaciones sobre las características fisicoquímicas del suelo y la estimación aproximada de la riqueza de especies se concluyó que después de 23 años no hay diferencias, en la biodiversidad y el suelo, que estén influidas por la especie forestal.

PALABRAS CLAVE: Evaluación nutrimental, suelo, biodiversidad, *Pinus pseudostrobus*, *Eucalyptus camaldulensis*.

SUMMARY

Evaluation of the nutritional state of *Pinus pseudostrobus* and *Eucalyptus camaldulensis* in Tequexquináhuac; Texcoco, Estado de Mexico.

The evaluation of the nutrimental conditions of the forest plantations of *Pinus pseudostrobus* and *Eucalyptus camaldulensis* was made analyzing the nutrient contents comparatively in the foliage of both species; and by means of regression analysis taking to the growth in overall height and normal diameter like dependent variables, assigning to the independent variable each one of the eight nutrimentos determined in foliage, the thirteen determined fisicoquimical soil variable, and combining the nutrients of the soil in a single variable under different combinations, denominated these like T, W and Z. The evaluation complemented with the characterization of the plantations by means of the radius and size of glass; and the form of the stem; as well as an approximated estimation of the wealth of species of the underbrush; and comparing the fisicoquimical characteristics between soils of these plantations.

The nutrimental evaluation and characterization of each plantation allowed to conclude that the development of *P. pseudostrobus* is better than the one of *E. camaldulensis* because more is related to the nutrimentales contents of the soil and their appearance is more vigorous. Of the comparison between the plantations on the fisicoquimical characteristics of the soil and the approximated estimation of the wealth of species one concluded that after 23 years there are no differences, in the biodiversity and the soils, that are influenced by the forest species.

KEY WORDS: Nutrimental evaluation, ground, biodiversity, *Pinus pseudostrobus*, *Eucalyptus camaldulensis*.

1. INTRODUCCIÓN

El deterioro de los recursos forestales en México, se ha dado tanto por el aprovechamiento forestal no controlado como por la demanda del uso del suelo para otros fines: agrícolas, pecuarios y para la urbanización. En algunos casos el deterioro puede detenerse reorientando los usos del suelo y la vegetación, sin embargo, la recuperación en otros casos demanda acciones más contundentes.

Para la recuperación de terrenos que han sido severamente alterados y deteriorados, tanto en su vegetación original como en el suelo, se han realizado plantaciones forestales con fines de recuperación y protección ambiental. Estas plantaciones tienen costos económicos muy altos, puesto que no está proyectado el aprovechamiento de productos forestales comerciales; sin embargo, su establecimiento se requiere gran cantidad de mano de obra ya que en muchos casos se realizan en lugares de difícil acceso para la maquinaria. Además, las especies de árboles empleados han sido variadas con un desarrollo muy diverso, dependiendo de las condiciones de cada sitio y del comportamiento de dichas especies. El crecimiento, en varios proyectos de esas plantaciones, ha sido deficiente en general por: el uso de sistemas inadecuados de plantación, elección de especies inapropiadas y condiciones del suelo muy deterioradas, entre otras.

En el Estado de México se han realizado muchos trabajos de forestación y reforestación con fines de recuperación y protección ambiental. Particularmente en las partes bajas de la Sierra Nevada se establecieron con el proyecto denominado "Barrera Forestal de Oriente" diversas plantaciones, algunas de ellas con fines experimentales; en las que se ha acumulado una valiosa información, tanto sobre las especies como en los métodos empleados, que puede ser de mucha utilidad para guiar los proyectos que con el mismo

objetivo se están desarrollando y se desarrollarán en el futuro. Considerando que tales trabajos deben garantizar la reducción al mínimo del deterioro y maximizar la recuperación de sitios degradados, es necesario realizar estudios tendientes a conocer el estado en que se encuentran las plantaciones del proyecto citado y evaluar en qué medida han cumplido con los objetivos con las que fueron establecidas, sobre todo en virtud de los altos costos económicos que representan.

1.1 Objetivos

- 1) Evaluar la respuesta en crecimiento de las plantaciones forestales de *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis* utilizadas para detener el proceso erosivo del suelo en el predio Las Cruces, perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo.
- 2) Determinar la relación entre el crecimiento y el estado nutrimental del arbolado; el crecimiento y las condiciones nutrimentales del suelo; y el estado nutrimental del arbolado con las condiciones nutrimentales del suelo.
- 3) Comparar la biodiversidad de los estratos arbustivo y herbáceo con respecto a las especies arbóreas *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis*.

1.2 Hipótesis y Supuestos:

- 1) *Eucalyptus camaldulensis* presentará un crecimiento deficiente por ser una especie exótica.
- 2) *Eucalyptus camaldulensis* presentará un crecimiento deficiente por ser afectada negativamente por la concentración de nutrimentos del suelo.
- 3) De las dos plantaciones la que presentará mayor biodiversidad (riqueza de especies) en el sotobosque será la de *Pinus pseudostrobus*.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Plantaciones forestales

El cultivo de plantas consiste básicamente en la siembra de semillas o partes reproductivas equivalentes, directamente en el suelo, o indirectamente colocando la semilla en un almácigo y transplantándola al suelo cuando ya esté en condiciones adecuadas. En el caso del cultivo de árboles, plantación forestal, éstos se siembran indirectamente, por lo que pasan durante varios meses en el vivero un periodo de preparación y cuidados.

Las memorias publicadas de las cuatro reuniones nacionales sobre plantaciones forestales se desglosan de la siguiente manera: 1ª reunión dos mesas de trabajo; en la primera mesa se analizaron las experiencias técnicas involucradas en el establecimiento de las plantaciones forestales; en la segunda los aspectos políticos, sociales y económicos. 2ª reunión tres temas de trabajo; primero aspectos políticos de las plantaciones forestales; segundo aspectos socioeconómicos; tercero criterios para el establecimiento de plantaciones forestales por área ecológica. 3ª reunión tres temas de trabajo: primera proyectos operativos, segunda aspectos técnicos, tercera aspectos políticos, económicos y sociales. 4ª reunión cinco sesiones: uno, marco jurídico para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en México; dos, aspectos técnicos relacionados con plantaciones forestales comerciales; tres, investigación y desarrollo; cuatro, las plantaciones forestales y su impacto ambiental y socioeconómico; cinco, financiamiento e incentivos para el establecimiento de plantaciones forestales y comercio internacional de productos forestales.

Las experiencias, enfoques e investigaciones vertidas en las cuatro reuniones nacionales sobre plantaciones forestales permiten ver que hay

conocimientos y consideraciones técnicas suficientes y definidas sobre producción de plantas y técnicas de plantación; conocimientos que están en constante actualización por programas de investigación. Sin embargo, en los aspectos políticos y socioeconómicos se presentan cambios significativos en casos como: el comercio nacional e internacional, el régimen de propiedad de la tierra, el incremento de la población y sus necesidades productivas; todos estos cambios rigen en mayor medida el desarrollo de las plantaciones forestales.

2.1.1 Necesidades y objetivos de las plantaciones forestales

La alteración del medio por el inadecuado aprovechamiento forestal ha provocado la disminución de áreas boscosas y la deforestación cambiando el uso del suelo sobre todo en terrenos con pendientes pronunciadas, donde la agricultura y la ganadería se vuelven rápidamente improductivas, el suelo se pierde por procesos erosivos; dicha alteración se ha tratado de frenar y revertir con programas de reforestación (Rodríguez, 1994).

Los cambios en el uso del suelo constituyen, según Zerecero (1978) las serias alteraciones que genera el hombre en razón del carácter y alcance de sus actividades; y la existencia de grandes áreas montañosas desprovistas de su vegetación arbórea original, son producto de la deforestación.

Aunada a la situación de alteración se presenta otro problema en las áreas con bosques, ya que en varios casos si se planea preparar el terreno para una plantación forestal es porque se acepta que el bosque es incapaz de regenerarse en forma natural (Pimentel, 1978; Torres, 1978).

Finalmente hay que considerar la demanda de productos forestales por las diferentes industrias del ramo y por el uso de las comunidades rurales; por ello Jasso y Villareal (1978) y Burgos (1978), consideran que la producción anual forestal de México ha sido y es insuficiente para atender las necesidades nacionales.

Las condiciones de alteración, deterioro y carencia de producto suficiente son la base de necesidades para la planeación y promoción de plantaciones forestales.

Aunque hay referencias de que las plantaciones forestales se han realizado en México desde tiempos prehispánicos (Pimentel, 1978; Bonilla y Avila, 1980; Bonilla y Carrillo, 1984), es hasta la segunda mitad del presente siglo que éstas se han tenido mayor auge. Así, aprovechando la experiencia de varios profesionales forestales la Subsecretaría Forestal y de la Fauna (actualmente dependiente de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) ha ejecutado diversos programas de reforestación, sobre todo a partir de la década de los 70, entre estos está, por ejemplo, el programa "Barrera Forestal de Oriente" tendiente a la recuperación de suelos erosionados e improductivos, que además, según Zerecero (1978), destacó por su extensión y por estar en la periferia de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Dada la importancia que revisten los trabajos realizados en varias partes del país con plantaciones forestales; desde finales de la década de 1970 se han impulsado congresos o reuniones con la temática de las plantaciones, buscando con ello reunir todos los conocimientos y experiencias al respecto.

En diversos trabajos expuestos en las cuatro reuniones mencionadas han quedado plasmados los objetivos que se persiguen con las plantaciones. Jasso y Villareal (1978) expusieron los diferentes objetivos agrupándolos en cuatro grupos; 1 comercial; 2 protección; 3 escénico, recreativo y social; 4 investigación, experimental y demostrativo. Estos objetivos se pueden reagrupar en dos grupos principales: comerciales y de protección; en los que un punto importante a considerar es el desarrollo rural. Anónimo (1978) agregó que las plantaciones forestales se realizan con un objetivo central como la producción maderable o la protección de un área y colateralmente se presentan los otros objetivos que no obstante deben estar claramente definidos.

El objetivo comercial se enfoca en la obtención de materia prima para una industria particular mientras que el objetivo de protección se puede entender como la promoción hacia un ambiente estable que reduzca al mínimo

el proceso erosivo y por consecuencia coadyuve en la infiltración de agua de lluvia y la fijación de CO₂, entre otros posibles beneficios.

Ladrach (1994) hace una aclaración importante en cuanto al objetivo de protección y dice concretamente que el objetivo de las plantaciones no es formar el bosque natural con todos sus componentes de flora y fauna; de hecho hay que tener claro que las plantaciones no son un mecanismo para reponer el ecosistema natural.

Con ambos objetivos, comercial y de protección, es pertinente considerar que obtendremos un beneficio económico sea directo o indirecto, pues aunque en las plantaciones con fines de protección no está contemplado el aprovechamiento directo, los productos secundarios del bosque como el agua de infiltración, en un momento dado, sí pueden ser comercializados o valorados¹, lo que implica entonces que la plantación ha tenido un beneficio económico indirecto o colateral.

De las necesidades y objetivos asignados a las plantaciones forestales se infirió que éstas pueden establecerse en tres condiciones:

- 1) En sitios cuyo bosque no presenta regeneración natural (Pimentel, 1978; Ramírez, 1984);
- 2) En sitios cuyo bosque ha desaparecido (Pimentel, 1978); y
- 3) En sitios donde sea una opción de uso del suelo rentable (Jasso y Villareal, 1978).

Dentro de estas tres condiciones pueden presentarse casos particulares o específicos como lo señala Musálem (1978) quien sugiere que una plantación se puede realizar con la finalidad de generar dentro de un bosque, poblaciones de especies más valiosas o comerciales. Agrega que sin embargo, estos objetivos deben considerar el uso del suelo y el estado del mismo.

¹ Lo que los economistas llaman *internalizar* un bien o servicio

2.1.2 Etapas de la plantación forestal

Desde el punto de vista práctico las plantaciones constan básicamente de tres etapas: preplantación; plantación y posplantación. La preplantación incluye elección de especies, selección del material genético, producción de plantas en vivero y preparación del terreno. La plantación es la ejecución práctica del trasplante de árboles al terreno. La posplantación consiste en el seguimiento de la plantación hasta alcanzar sus objetivos; lo que se logra en principio cuando ésta ha quedado establecida; y según lo expresado por Pimentel y Vera (1984) esto sucede cuando se tiene una sobrevivencia de al menos el 80%.

Para abordar la plantación forestal de manera planeada y organizada Ramírez (1978) propuso diez puntos a seguir: 1. definición de objetivos; 2. características del área; 3. análisis de antecedentes; 4. definición de métodos (procedimientos y especificaciones); 5. definición preliminar de metas; 6. calendarización de actividades; 7. presupuesto y metas definitivas (indicadores); 8. asignación de recursos; 9. control y supervisión; 10. evaluación de resultados.

En la caracterización del área y análisis de antecedentes se deberán abarcar estudios ecológicos para determinar las condiciones abióticas (suelo y clima) y bióticas (biología de la especie e interacción con otros seres vivos como: hongos patógenos e insectos fitófagos), ya que estas dos condiciones actúan de manera importante en el desarrollo de la plantación (Madrigal, 1978).

La elección de especies que serán utilizadas deberá hacerse tomando en cuenta dos aspectos relacionados estrechamente: los objetivos de la plantación y la biología de las especies (Vela, 1978).

El uso del conocimiento de la biología de las especies tiene dos enfoques: el primero que propone utilizar especies autóctonas, con base en el supuesto de que éstas ya han tenido de forma natural un proceso de selección y adaptación a las condiciones del lugar (Madrigal, 1978; Arriaga *et al.*, 1978); el segundo propone el uso de especies introducidas o exóticas, con las que

algunas experiencias han tenido mucho éxito, en particular los *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis*. Normalmente estas especies además de presentar un buen crecimiento han permanecido libres de plagas y enfermedades, por lo menos durante las generaciones iniciales (Ladrach, 1978)

La producción de planta en vivero, inicia con la selección del material genético (Patiño, 1978); luego vienen: colecta y manejo de semillas (Garcidueñas, 1978; Villagómez, 1978); inducción de la germinación y obtención de plántulas (Escalante, 1978). Finalmente Salinas (1978) agregó que desde la producción de plantas se deben prevenir enfermedades.

Preparación del terreno debe hacerse en función de los objetivos de la plantación, ya que si estos son comerciales conviene que la plantación se establezca en terrenos adecuados, con suelo fértil (Jasso, 1978); mientras que para los objetivos de protección ambiental, la plantación se establecerá en zonas generalmente muy erosionadas en cuyo caso Pimentel (1978) señaló que la elección del sistema de preparación del terreno depende del grado de deterioro que presente el área.

El trabajo de plantación requiere de técnicas y tiempos apropiados, pues si el periodo de plantación, el sistema de traslado o la técnica de plantación no son los adecuados, las plántulas pueden morir debido al estrés hídrico ocasionado por la ausencia de lluvia o la deshidratación durante el traslado o transplante (Arriaga *et al.*, 1994).

La posplantación puede verse como "Manejo" de la plantación. Según lo indicado por Vela (1978) las plantaciones deberán planearse de tal manera que la sobrevivencia y el crecimiento alcancen los valores máximos posibles; además Alatorre (1978) señaló que existen peligros prácticamente durante toda la vida de la planta. Estos peligros se refieren a las condiciones de suelo y clima que en un momento dado del desarrollo del árbol no se alcancen a satisfacer sus requerimientos y ello sucede cuanto más alejadas del óptimo sean las condiciones ecológicas (Patiño, 1978).

Con el manejo las plantas recibirán los cuidados y tratamientos más adecuados, de tal manera que su sobrevivencia y crecimiento sean los más altos posibles. Pimentel y Vera (1984) propusieron las siguientes actividades que deberá cubrir el manejo: control de malezas, riegos de auxilio, subsolados, fertilización, podas, aclareos y protección contra el fuego, plagas y pastoreo. Al respecto Musálem (1978) señaló que estas actividades derivan en parte del manejo forestal ya que se aplica también a los bosques naturales.

La Evaluación de resultados Ramírez (1978) la definió como: la forma de conocer el nivel alcanzado de los objetivos propuestos y señaló que se recomienda, según los indicadores que se hayan seleccionado, realizar la evaluación teniendo cuidado de escoger las unidades de medida precisas o adecuadas.

2.2 Evaluación de plantaciones forestales

Ramírez y Torres (1984) presentaron un análisis histórico de la evaluación de plantaciones forestales, donde se revisaron los tipos y objetivos de evaluación realizados hasta ese momento y encontraron que antes de la década de 1970 se hicieron algunas evaluaciones, sin embargo, estas habían sido esporádicas.

En la evaluación se trata de conocer el estado de la plantación, por lo que una inspección visual puede representar en sí una valoración al menos cualitativa, Ramírez y Torres (1984), los autores mencionaron además como ejemplos los trabajos realizados por Macías en 1935; Martínez en 1940 y de la DGPC en 1980.

La sobrevivencia es el primer parámetro a considerar en una evaluación, pues un valor bajo de la misma implica invariablemente que no se alcanzaron los objetivos. A partir de que se haya obtenido una buena sobrevivencia el enfoque se concentra en medir el crecimiento.

2.2.1 Tipos de evaluación

Los principales trabajos de evaluación son los de plantaciones experimentales; cuyos objetivos son la comparación entre tratamientos y

pueden incluir la ponderación por el costo de cada uno de ellos. Estas evaluaciones son las que aportan la mayor cantidad de información y gracias a ella es posible recomendar métodos que permitan obtener porcentajes de sobrevivencia mayores y disminuir costos (Ramírez y Torres, 1984).

Caballero y Zerecero (1978) propusieron que la definición de los objetivos de las evaluaciones se hiciera de acuerdo a los objetivos para los que se establecen las plantaciones; resultando entonces dos tipos básicos de evaluación: la biológico-silvícola para plantaciones de protección y la económico-industrial para las comerciales.

La cuantificación del crecimiento debe hacerse principalmente a través de las variables dasométricas tales como: diámetro normal (DN), altura total (Alt), o volumen (V), entre otros, tratando de estimar los rendimientos de la plantación en un tiempo definido cuando el objetivo de la plantación es comercial. Si el objetivo es de protección, entonces habrá que cuantificar las variables correspondientes.

Ortega (1978), señaló que la evaluación de plantaciones forestales es una propuesta de estudio de factibilidad técnico-financiera a manera de proyecto. Actualmente este tipo de evaluación se denomina evaluación de proyectos y constituye, por su metodología de trabajo, una herramienta muy útil para plantaciones comerciales.

Han existido evaluaciones como la de Valenzuela (1979), donde además de la evaluación dasométrica y la estimación del valor del vuelo de la plantación, se hicieron consideraciones económicas sobre el cambio de uso del suelo.

Conocer el comportamiento de las especies en diferentes tipos de suelo, y comparar métodos de plantación y preparación del terreno, espaciamientos, e incluso, rendimientos entre especies, son importantes en ambos tipos de plantaciones y evaluaciones. Caballero y Zerecero (1972) señalaron que otro punto importante además de conocer la rentabilidad de la plantación en un

momento definido, es que permitan comparar el valor de la plantación con alternativas diferentes de inversión².

Las variables dasométricas comúnmente medidas en las evaluaciones, como ya se mencionó anteriormente son: altura total (Alt), diámetro normal (DN), volumen (V), el grosor de la corteza a 1.30 m de altura. Ramírez y Torres (1984) señalaron que con la intención de obtener mejores estimaciones del volumen en algunas ocasiones se han medido algunas otras variables dasométricas tales como: diámetro de copa, incremento periódico anual, clase de copa (Carreño, 1973; Marconi 1983), altura de fuste limpio (Mass, 1983; Patiño *et al.*, 1984), las cuales no han cambiado substancialmente los resultados de las evaluaciones.

Ramírez y Torres (1984) señalaron también que la medición de otras variables por ejemplo: edáficas (Ávila, 1963; Carreño, 1973), fisiográficas (González, 1978) y ecológicas (Caballero y Zerecero, 1972; Mathus 1978; Carreño, 1978; Mass, 1984) no se han usado o se han usado poco, a excepción de Ávila (1963) y Becerra (1980), para determinar relaciones con las variables dasométricas.

2.2.2 Casos de evaluación biológico -silvícola

Con respecto a casos particulares de evaluación donde se tocan puntos que son de carácter ecológico tenemos las siguientes dos referencias:

a) Plantación de *Pinus patula* del estado de México, evaluación realizada por Ramírez (1978). Entre los objetivos que planteó se pretendía investigar la influencia que ejerce una masa artificial forestal en la formación posterior del sotobosque y las consecuencias de este último en la protección del suelo.

En la planeación de los trabajos, se indicó que se caracterizará la influencia del suelo y el sotobosque en la masa de coníferas, mediante muestreos edáficos y botánicos, dentro de algunos sitios levantados para los efectos volumétricos. Sin embargo, no se presentaron resultados al respecto

² Es el costo de oportunidad según los economistas

bajo el argumento de que sólo se tenía un avance del 40% al momento de exponer el trabajo.

b) Plantaciones forestales del ejido Yebucivi, Villa Victoria, Estado de México, evaluación realizada por Rodríguez (1994).

Los objetivos de ese estudio fueron:

1. Caracterizar ecológicamente los sitios donde prosperan las plantaciones forestales, efectuadas en el predio La esperanza, Villa Victoria, Méx.
2. Determinar las características en dimensiones de los árboles.
3. Determinar la estructura formada por la plantación, el número de árboles sobrevivientes por ha, asociada a los sistemas de plantación y establecimiento de la planta.
4. Determinar el mejor sistema de plantación y establecimiento de la planta para las condiciones del ejido Yebucivi, Villa Victoria, Méx.

En la metodología se recabó información de los antecedentes de las zonas de plantación en el ejido, consistente en planos de localización, especies plantadas, métodos de plantación y superficies plantadas; luego se efectuaron los siguientes trabajos:

Recorridos de campo para la ubicación de las plantaciones, identificación de especies plantadas, y se verificó la información disponible.

Diseño de muestreo, éste fue completamente al azar; la toma de información se llevó a cabo mediante el uso de sitios circulares de 500 m².

Los datos de control fueron: región, municipio, predio, localidad, ortofoto, asnm, exposición, pendiente, precipitación, temperatura.

Las variables medidas de la plantación fueron: sistema de plantación, densidad inicial, superficie, cobertura, edad, estado sanitario.

Las variables dasométricas medidas fueron: especie, diámetro normal, altura total, longitud de los últimos 10 anillos, longitud de los anillos en 2 cm, y tiempo de paso.

Identificación de características ecológicas del área

En los resultados de carácter ecológico sólo se indicó que las plantaciones prosperan en suelos con material macroscópico dominado por gravas y lajas con un tipo de erosión en canalillo y que la pendiente del terreno con exposición sureste iba del 10 al 30 %, señalando además que las condiciones ecológicas son favorables aún cuando el suelo es escaso.

2.3 Ecología forestal

La perspectiva de promover las plantaciones forestales como medio de protección o restauración ambiental, supone implícitamente que la respuesta de los árboles a largo plazo es construir un bosque, para lo cual resultan más apropiadas las especies de distribución natural. Spurr y Barnes (1980), definen que el bosque es una comunidad biológica en la que predominan los árboles y otra vegetación leñosa.

2.3.1 Conceptos generales de ecología

Existen varias definiciones de ecología Krebs (1985) nos señala que es el estudio de las interrelaciones que determinan la distribución y abundancia de los organismos. Spurr y Barnes (1980) indican que es la ciencia que estudia las interrelaciones de los organismos en y hacia su medio ambiente. De manera específica la ecología forestal considera al bosque como una comunidad biológica, con las interrelaciones entre los diversos árboles y otros organismos que constituyen la comunidad y al mismo tiempo la interacción entre estos organismos y el medio ambiente físico en el cual coexisten.

Los estudios en ecología se realizan en tres diferentes niveles:

Población, grupo de organismos de la misma especie ocupando un mismo lugar a un mismo tiempo. Los parámetros que la caracterizan son: tamaño, densidad, distribución por edades, patrones de distribución y composición genética (Krebs, 1985).

Comunidad, grupo de poblaciones que viven en un mismo habitat o área (de cualquier tamaño). Los parámetros que la caracterizan son: formas de crecimiento y estructura, dominancia, diversidad de especies, abundancia relativa y estructura trófica (Krebs, 1985).

Ecosistema, la comunidad y su ambiente abiótico (Krebs, 1985). El ecosistema es una unidad funcional, cuya característica es la interrelación o flujo de elementos entre la comunidad y su ambiente (Rorison y Robinson, 1986). Westlake (1973) indicó que el estudio de la producción primaria, disponibilidad de nutrimentos y flujo de energía se han utilizado para entender el funcionamiento de los ecosistemas, sitios dentro del ecosistema o para la comparación de diferentes tipos de ecosistemas.

Una plantación forestal es una población, ya que es una especie en el mismo lugar al mismo tiempo, también es una comunidad pues es una especie interactuando con otras especies, por ejemplo del sotobosque; y un ecosistema, como comunidad interactuando con su entorno abiótico suelo y clima. Los estudios poblacionales se efectúan principalmente en grupos faunísticos. La vegetación se estudia más a nivel comunidad.

La estructura de la comunidad puede ser física o biótica; la primera se refiere al tipo de comunidad como puede ser un bosque deceduo; el suelo forma la matriz que permite la estructura física de interacción entre todas las plantas.

La estructura biótica involucra la composición, abundancia y relación entre las especies; así como, los cambios temporales en la comunidad; ésta depende, en parte, de la estructura física (Krebs 1985).

Existe un interés creciente en la biodiversidad ya que el factor de monocultivo reduce la diversidad biótica.

La diversidad se compone de dos elementos variación y abundancia relativa. Si se obtiene una muestra más que un catálogo completo de especies de la comunidad, la variación se denomina: riqueza de especies y es el número de especies por área de recolección, (i.e. número de especies por m^2), que es el índice más comúnmente usado (Krebs, 1985; Magurran, 1989).

La abundancia relativa esta dada por el número de individuos de una especie particular con respecto al total determinado en la muestra y tiende a conocer mejor la estructura de la comunidad.

Se ha observado que la abundancia relativa sigue diferentes distribuciones de abundancia, es decir, un modelo de abundancia es un modelo al que se ajusta la distribución de abundancia. Dos de los modelos de abundancia son: normal logarítmica (rica en especies); y la serie geométrica (pobre en especies) (Magurran, 1989).

Las comunidades sometidas a estrés se caracterizan por un cambio en su abundancia de normal logarítmica a geométrica (Magurran, 1989).

Granados (1990) señala que los métodos de estudio para el bosque, atendiendo a las características de los árboles, se dividen en dos tipos generales: a) los indicadores de vigor y b) los indicadores de calidad. Añade que en el primer caso considera básicamente la condición y posición de la copa y el segundo involucra la medición del volumen porque representa un valor de comercialización.

Una plantación forestal es básicamente una comunidad y se puede caracterizar por la estructura biótica que soporta o determinar su condición desde el punto de vista productivo enfocándose en el vigor más que en la biomasa o volumen. Un enfoque más amplio a nivel de ecosistema involucra conocer su interacción con el medio físico, suelo y clima.

2.4 Nutrición y suelos forestales

El suelo forestal se desarrolla bajo una cubierta forestal. El suelo es una parte definida del ecosistema, una entidad natural sobre la que crecen las plantas, está formado por una mezcla de materiales orgánicos y minerales, (Prichett, 1985). Para su estudio se considera que el suelo está constituido por cuatro componentes:

La matriz del suelo, formada por una mezcla de materiales orgánicos y minerales; la solución del suelo, por el agua y los minerales disueltos en ella; la atmósfera del suelo, es el espacio poroso entre los componentes de la matriz del suelo; y la biota del suelo, fundamentalmente esta constituida por los microorganismos (Martin, 1980).

La producción de materia orgánica, el flujo de energía, la disponibilidad de nutrientes y agua que caracterizan a los ecosistemas están inmersos en un ciclo de interacciones entre atmósfera, el sustrato y la biota. Como ya se había mencionado Krebs (1985) indica que el suelo forma la matriz que permite la estructura física de interacción entre todas las plantas.

El principal aporte de agua al ecosistema es por las lluvias, situación determinada por el clima. El suelo retiene una porción de esta agua según su constitución. El agua constituye un medio de transporte dentro del ecosistema haciendo, por un lado, disponibles los nutrientes en la solución del suelo, y por otro como consecuencia del movimiento hídrico hay pérdida de nutrientes a través de la lixiviación.

Los procesos de producción, descomposición y acumulación conducen a la formación de suelo. La descomposición, proceso por el que los organismos muertos o insertos en la cadena trófica son convertidos en sustancias orgánicas más simples, bióxido de carbono, agua y energía; este fenómeno representa la transformación y movimiento de materia y energía dentro del sistema; es importante en la liberación de los nutrientes vegetales que quedan de esta manera disponibles (Rorison y Robinson, 1986).

La mayor parte de los nutrientes existen en la naturaleza en forma de minerales y materia orgánica, insolubles e inprovechables para las plantas. Los nutrientes se vuelven disponibles a través de la intemperización de los minerales y la descomposición de la materia orgánica, con excepción del nitrógeno que se incorpora por medio de la acción microbiana. Los nutrientes son absorbidos de la solución del suelo o de las superficies de los coloides como cationes y aniones. Rorison y Robinson (1986) indican que la disponibilidad de los mismos, que no es homogénea en el terreno, depende de procesos de intercambio iónico y equilibrio electroquímico que le dan la composición iónica a la solución del suelo.

Aguilera (1989) señala que la reacción del suelo influye en forma decisiva sobre la morfogénesis y en los niveles de fertilidad del suelo; condiciona los tipos de asociaciones vegetales. Vegetación acidófila, neutrófila y basófila

(halófitas); por lo que se considera una de las características más importantes del suelo.

En la reacción del suelo las concentraciones de los iones hidrógeno e hidroxilo se expresan en gramo equivalentes por litro. Aguilera (1989) precisa que Sørensen introdujo la forma exponencial pH como sigue: El valor del pH es el logaritmo negativo de la concentración de hidrogeniones o el logaritmo del recíproco de la concentración de hidrogeniones; se expresa por números positivos del 0 al 14.

Sobre el pH del suelo Rorison y Robinson (1986) comentan que puede ser inherentemente básico, ácido o neutro, dependiendo de la naturaleza química del material parental. La vegetación misma puede influir en el pH de su ambiente radical por liberación de iones H^+ o OH^-/HCO_3^- durante la asimilación de NO_3^- o NH_4^+ respectivamente o como un medio de solubilización del P. La concentración iónica o pH es la que usualmente limita la toma de nutrimentos. En la solución del suelo la concentración iónica es amortiguada por desorción de iones por arcillas y materia orgánica.

Aguilera (1989) comenta que la acidez del suelo es común en todas las regiones donde la precipitación es alta, lo suficiente para lixiviar apreciables cantidades de bases intercambiables de los niveles superficiales de los suelos. La alcalinidad se presenta cuando existe un alto grado de saturación de bases, especialmente calcio, magnesio y sodio en forma de carbonatos que da preponderancia a los iones OH^- sobre los H^+ en la solución del suelo.

Las clases de suelo según su pH son:

1. Fuertemente ácido, el suelo tiene un pH menor a 5.0 e indica que es muy deficiente en bases.
2. Moderadamente ácido pH entre 5.0 y 6.0 moderada deficiencia de bases.
3. Ligeramente ácido, pH entre 6.0 y 7.0
4. Neutro, reacción muy cercana a 7.0
5. Básico, pH mayor a 7.0 tiene suficiente carbonato de calcio
6. Alcalino. pH mayor a 8.5 indica la presencia de sodio (Na^+)

Sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC), es la capacidad que tiene el suelo de retener e intercambiar formas positivamente cargadas de sustancias nutritivas de las plantas. Estos iones positivamente cargados o cationes se retienen en "puntos de intercambio" sobre las superficies de partículas de arcilla y del humus. Los cationes dominantes en la mayoría de los suelos forestales son hidrógeno (H^+), aluminio (Al^{3+}), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y sodio (Na^+) en orden de abundancia relativa. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) depende de la cantidad de materia orgánica, la cantidad y el tipo de arcillas, y la acidez y alcalinidad del suelo. La capacidad de intercambio catiónico es baja en los suelos arenosos, pero es mayor en los suelos de textura fina.

Aguilera (1989) señala que la materia orgánica se forma y acumula por incorporaciones de residuos vegetales y productos de descomposición tanto de macro como de microfauna. La materia orgánica se fermenta por la acción de microorganismos formándose quelatos, ácidos húmicos y fúlvicos, huminas, aminoácidos de alto y bajo peso molecular, bases púricas y pirimídicas, proteínas de alto y bajo peso molecular, azúcares, grasas y ceras. Aporta al suelo macro y micronutrientes; incrementa la capacidad de intercambio catiónico total.

Además de actuar como reguladora del pH, la materia orgánica al biodegradarse forma CO_2 que actúa en el intemperismo impartiendo propiedades físicas óptimas para los suelos, como la estructura (granular); modifica la estructura de las capas superficiales. Favorece la aereación porque actúa a manera de agentes cementantes aumentando la cantidad de agregados; en esta forma se acrecientan los porcentajes de éstos. El porcentaje de agregación y la porosidad permiten óptima circulación del aire y la humedad, también se mejoran la capilaridad y la permeabilidad de los suelos; por otra parte, por medio de los microporos se retiene humedad en excelentes condiciones para las plantas.

El porcentaje de materia orgánica es alto en zonas frías y templadas, es menos elevado en las regiones tropicales y resulta muy bajo en zonas áridas y semiáridas. Estos contenidos se evalúan en la siguiente manera:

1. muy baja de 0.0 a 0.8 %
2. baja de 0.8 a 2.0 %
3. media de 2.0 a 4.0 %
4. media alta 4.0 a 8.0 %
5. alta muy alta 15 a 30%
6. fuertemente alta > 30%

Los suelos orgánicos llamados histosoles son aquellos que tienen contenidos de 30% o más. Las turberas tienen hasta 90% de materia orgánica.

Los bosques tienen tendencias a ser una fuente de mantillo orgánico. Las hojas de los árboles, incluyendo las acículas de las coníferas son el principal suministro de este mantillo que cubre completamente el suelo y algunas veces la capa llega a medir varios centímetros. Si tienen éxito, las semillas pasan a través de esta dificultad, pero posiblemente no encuentren humedad suficiente que les permita la germinación y su establecimiento. Las capas de hojas, en particular de bosques de coníferas que se han mantenido suficiente tiempo sin quemar, retienen grandes cantidades de humedad dando oportunidad a que las semillas germinadas alcancen el suelo y se establezcan.

Aguilera (1989), señala que son necesarios al menos 16 elementos para el crecimiento de las plantas. Rorison y Robinson (1986) agregan que son metabólicamente importantes por lo que se denominan nutrimentos: C, O, H, N, P, K, Ca, S, Mg, Mn, Mo, Fe, B, Cu, Zn y Cl. A partir del aire y agua la planta obtiene carbono, hidrógeno y oxígeno, que constituyen el 90% o más de la materia seca. Los 13 elementos restantes se toman principalmente del suelo. El nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, se necesitan en cantidades variables y se denominan macroelementos, macronutrimentos o elementos mayores. A los nutrimentos requeridos en cantidades considerablemente menores se les llama micronutrimentos, manganeso, hierro,

boro, zinc, cobalto, molibdeno y cloro. Hay una discrepancia entre los autores mencionados sobre el cobalto y el cobre como micronutrientes.

La proporción de nutrientes también es importante. El exceso de un nutriente en forma aprovechable puede causar la deficiencia de otro elemento. Las deficiencias de potasio a veces son causadas por un alto nivel de calcio y magnesio solubles, que interfieren con la absorción del potasio.

Aguilera (1989) menciona que se han encontrado hasta 40 elementos adicionales en las plantas, aunque no esenciales. Rorison y Robinson (1986) comentan que las plantas pueden absorber otros elementos, sin embargo, por sus efectos se consideran como tóxicos, por ejemplo, Pb, Al, Ni, Se, Cr, F, Na y Co.

La deficiencia de nutrientes se presenta cuando la disponibilidad de nutrientes es inadecuada para mantener una tasa mínima de crecimiento relativo a la edad bajo condiciones óptimas. La deficiencia puede ser acompañada de síntomas visuales como: clorosis, deformaciones morfológicas o un incremento en la incidencia del ataque de patógenos. Una deficiencia seria de nutrientes provoca desórdenes metabólicos y la muerte (Rorison y Robinson, 1986).

La tolerancia se presenta tanto a la deficiencia como al exceso e implica la capacidad de mantener algún crecimiento a niveles bajos o altos de suministro de nutrientes. Comparaciones experimentales de la tolerancia son útiles en la interpretación de la distribución ecológica de plantas características de suelos fértiles o infértiles (Rorison y Robinson, 1986).

La toxicidad de nutrientes se da por el exceso de los mismos en la solución del suelo, así todos los nutrientes son potencialmente tóxicos. En el campo, los efectos de la deficiencia y excesos de nutrientes *per se* son frecuentemente complicados por efecto de otros elementos o compuestos, por ejemplo NH_4^+ y Al^{3+} incrementan la acidez del suelo (Rorison y Robinson, 1986).

Funciones de los nutrientes en las plantas:

Nitrógeno. Binkley (1993) indica que las fuentes primarias de este elemento para los ecosistemas terrestres son los iones amonio y nitrato que están disueltos en el agua de lluvia y la fijación de nitrógeno que realizan los microorganismos. Baule y Fricker (1970) dicen que el Nitrógeno es parte fundamental de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y otros compuestos orgánicos; toma parte en los procesos metabólicos vitales de crecimiento y asimilación; de sus deficiencias dicen que las hojas son pequeñas y de coloración verde amarillento, dependiendo del grado de deficiencia es la decoloración, el periodo de crecimiento se acorta y las plantas alcanzan poca altura. Los síntomas de deficiencia de nitrógeno se pueden confundir con los de potasio. Prichett (1985) agrega que visualmente da a las plantas vigor y la coloración verde oscura, un exceso del mismo reduce la madurez y hace susceptible a la planta a enfermedades.

Fósforo. Binkley (1993) señala que en los suelos el fósforo existe en las rocas en forma de fosfato inorgánico (adsorbido en las superficies o precipitado como sales), y en la materia orgánica no decompuesta. En las plantas el fosfato permanece libre o unido a los azúcares y lípidos, y desempeña una función importante en las transformaciones de energía de las células en forma de adenosín trifosfato (ATP). Baule y Fricker (1970) dicen que está presente en moléculas orgánicas e inorgánicas dentro de la planta, forma parte de núcleo proteínas, se combina con hexosas y amilasa; la energía del metabolismo es controlada por el ácido fosfórico; Con adenosín di y trifosfato es el acarreador en la transferencia y almacenamiento de energía. Sus deficiencias afectan directamente la tasa de crecimiento reduciéndola drásticamente, los síntomas visuales son: brotes grisáceos o verde azulosos, mientras que las partes maduras se tornan rojizas. Prichett (1985) agrega que la disponibilidad del fósforo depende de la acidez del suelo siendo menor en pH neutro a salino. Es de fácil movilidad pues si hay deficiencias en el suelo la planta lo moviliza de los tejidos más antiguos a las regiones meristemáticas activas.

Potasio. Binkley (1993) menciona que este elemento comúnmente se encuentra en las rocas y en las partículas del suelo y el intemperismo de estos

minerales constituye la fuente de este nutrimento; de sus funciones dice que es activador de muchas enzimas, secundariamente es un catión no tóxico en concentraciones altas en las células. La apertura o cierre de los estomas requiere del moviendo de este ión hacia el interior o exterior de las células guardia, cambiando la turgencia de esas. Baule y Fricker (1970) dicen que esta presente de manera esencial en la mayoría de las funciones fisiológicas como síntesis proteica y de carbohidratos, sin embargo, no forma parte de los compuestos orgánicos, es importante en la resistencia a enfermedades; de sus deficiencias se presenta una decoloración verdosa amarillenta en hojas jóvenes, y luego totalmente amarillenta, la planta pierde vigor por escaso desarrollo radicular y poca lignificación, pierde también resistencia a enfermedades. Prichett (1985) coincide con las funciones anteriores del potasio y agrega que se relaciona con resistencia a enfermedades y tiene ciclos rápidos y es poco lixiviable.

Calcio. Binkley (1993) indica que es uno de los minerales más abundantes, los suelos que tienen un pH mayor de 6 o 7 tienen grandes cantidades de calcio precipitado. Las plantas lo usan para unir moléculas orgánicas particularmente en las paredes celulares, una vez incorporado a las moléculas orgánicas permanece relativamente inmóvil. El calcio en grandes cantidades en el suelo puede interferir con la absorción de otros nutrimentos catiónicos. Baule y Fricker (1970) dicen que sus funciones fisiológicas no están específicamente definidas, es antagónico del potasio retardando la asimilación del agua e incrementando la transpiración; las partes viejas de las plantas son ricas en calcio mientras que las partes jóvenes contienen muy poco, no es necesario en la germinación y desarrollo temprano, se detecta poco contenido en las semillas. No hay una sintomatología definida pues las deficiencias de este nutrimento son raras, la deshidratación sería lo más evidente tornando cafés las hojas que luego quedan secas. Prichett (1985) señala que se encuentra activo en tejidos meristemáticos y el desarrollo radicular y probablemente en la formación de proteínas, se considera inmóvil dentro de la planta.

Magnesio. Binkley (1993) menciona que su contenido en las rocas es casi la mitad del contenido de calcio, y es correspondiente a la misma proporción que lo necesitan las plantas. La función más conocida es la de formar parte de la estructura de la molécula de clorofila, también es cofactor en funciones enzimáticas. Sus deficiencias son raras y se sabe que es antagónico con otros nutrimentos. Baule y Fricker (1970) dicen que es un elemento esencial en la molécula de clorofila, como prerrequisito para una adecuada fotosíntesis y crecimiento; forma parte de varios procesos fisiológicos entre los que se incluye la división celular. Sobre sus deficiencias señalan que reduce drásticamente la tasa de crecimiento, las hojas se decoloran y tornan amarillentas en tonos anaranjados. Prichett (1985) agrega que posee mucha movilidad y que sus deficiencias se observan en hojas antiguas.

Manganeso. Se libera de los minerales del suelo por el intemperismo. Dentro de las plantas se encuentra firmemente unido a las proteínas proporcionando estabilidad estructural. Baule y Fricker (1970) señalan que como elemento menor se relaciona con las funciones de crecimiento y resistencia a enfermedades. Es poco frecuente su deficiencia y ésta se asocia con reducción de crecimiento y clorosis.

Fierro. La mayor parte de este elemento esta presente en las rocas y minerales del suelo, en algunos casos la carencia en el suministro de éste para las plantas podría limitar su crecimiento. Los suelos inundados favorecen la disponibilidad de este nutrimento. La actividad fisiológica de este nutrimento se basa en su capacidad para unirse a moléculas orgánicas y modificar sus estados redox. Baule y Fricker (1970) señalan que se relaciona con las síntesis de clorofila y el desarrollo foliar. Es poco frecuente su deficiencia, en cuyo caso se presenta como clorosis.

Cobre. Su función fisiológica es la de cambiar el estado redox necesario para la reducción del oxígeno. Baule y Fricker (1970) señalan que se relaciona con la resistencia a enfermedades. Es poco frecuente su deficiencia, en condición deficiente favorece la presencia de enfermedades.

Zinc. Binkley (1993) dice que se ha identificado con algunas enzimas que requieren de este elemento, pero sus deficiencias incluyen la deformación de ápices. Baule y Fricker (1970) señalan que es poco frecuente su deficiencia.

La asimilación de nutrimentos es conducida y regulada en toda la planta por el crecimiento. La tasa de asimilación depende de la concentración resultante en los tejidos; donde a niveles celular o subcelular, manteniendo la turgencia y la conducción metabólica ciertos iones "bomba" controlan la absorción de nutrimentos (Rorison y Robinson, 1986).

Hay dos formas de medir la asimilación de nutrimentos:

- 1) La acumulación de nutrimentos en el tejido
- 2) El agotamiento de nutrimentos de una fuente de composición definida.

Efectos de factores ambientales específicos sobre las plantas en relación a su nutrición: Suministro de agua. Un bajo contenido de agua en el suelo reduce la difusibilidad de los iones en el mismo, es decir, que un ión es menos accesible a la raíz en un suelo entre menos húmedo esté; el bajo contenido de agua también reduce la transpiración, y por ende la tasa del flujo de masa de los nutrimentos suministrados. En el otro extremo, en los suelos inundados se produce anóxia, ésta altera el potencial rédox generando condiciones reductoras, que entre otras cosas conlleva desnitrificación (Rorison y Robinson, 1986).

Es frecuente el caso de que cuando los datos del suelo se incluyen en publicaciones ecológicas o los datos de vegetación están referidos por los edafólogos en sus artículos, da la impresión de que tales referencias cruzadas han sido hechas en un sentido de dureza más que en la convicción de que ambos aspectos son contribuciones esenciales (Rorison y Robinson, 1986).

Sobre como recuperar una zona erosionada Arriaga *et al.* (1994) indican que habrá que acudir a otros métodos diferentes a la reforestación, puesto que ésta no tendrá éxito al no existir el suelo que la soporte. Sin embargo, cabe señalar que en terrenos degradados se han establecido plantaciones, como las

que se evalúan en el presente estudio que han crecido con buenos niveles de sobrevivencia.

2.4.1 Valores nutrimentales de referencia en follaje

Los valores reportados por Leaf (1973) sobre condición de nutrimentos en follaje se presentan en el Cuadro 1 para coníferas y en el Cuadro 2 para hojosas

Cuadro 1. Condición de nutrimentos en follaje para coníferas.

Nutrimento	Condición			
	Deficiente	Bajo	Medio	Alto
N %	< 1.0 - 1.1	1.0 - 1.4	1.3 - 2.2	> 2.0
P %	< 0.09 - 0.1	0.06 - 0.13	0.1 - 0.3	-
K %	< 0.3 - 0.35	0.4 - 0.5	0.5 - 0.9	-
Ca %	-	-	0.12 - 0.7	-
Mg %	0.03 - 0.08	0.07 - 0.10	0.10 - 0.18	-
Fe ppm	30 - 40	40 - 50	50 - 100	-
Cu ppm	3	2 - 4	4 - 12	-
Zn ppm	1 - 5	5 - 11	10 - 125	-
Mn %	-	-	0.01 - 0.5	-

K y Mg son para el género *Pinus* y los demás para coníferas. Fuente: Leaf (1973).

Cuadro 2. Condición de nutrimentos en follaje para hojosas.

Nutrimento	Condición			
	Deficiente	Bajo	Medio	Alto
N %	-	-	1.0 - 2.2	-
P %	-	-	0.06 - 0.2	-
K %	-	-	-	-
Ca %	-	-	0.3 - 2.2	-
Mg %	-	-	-	-
Fe ppm	30 - 40	40 - 50	50 - 100	-
Cu ppm	3	2 - 4	4 - 12	-
Zn ppm	1 - 5	5 - 11	10 - 125	-
Mn %	-	-	0.01 - 0.5	-

N y P están reportados para el género *Eucalyptus*. Fuente: Leaf (1973).

2.5 Características de *Pinus pseudostrubus*

Pináceas, árboles siempre verdes más o menos resinosos, hojas aciculares simples o agrupadas en número de 1 a 8 protegidas en la base por una vaina caediza a persistente; fruto en cono leñoso, seco o algo pulposo formado por escamas que abrigan la semilla (Martínez, 1948)

La familia comprende en México ocho géneros. *Pinus*, *Abies*, *Pseudotsuga*, *Picea*, *Taxodium*, *Cupressus*, *Juniperus* y *Libocedrus*.

Pinus pseudostrobus con dos variedades *oaxacana* con distribución en Coahuila, Chiapas, Hidalgo, Jalisco, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, variedad *michoacana* con distribución en Tlaxcala, Distrito Federal y Veracruz.

Cercanía con *P. tenuifolia* y *P. douglasiana*. De cinco hojas delgadas, cono ovoide o largo ovoide, ramillas con tinte ceniciento en sus partes tiernas, entrenudos largos, base de brácteas alargado y espaciado poco saliente y como sumergidos en la ramilla; corteza casi lisa durante mucho tiempo en los árboles jóvenes, en la vejez áspera y agrietada; de 15 a 25 m de altura, a veces más; con ramas extendidas y verticiladas; hojas de 17 a 24 cm de largo, triangulares flexibles. Finamente aserradas.

2.6 Características de *Eucalyptus camaldulensis*

La clasificación más aceptada divide el género en siete subgéneros entre los que la corteza en el estado adulto, las hojas en los estados de plántula, juvenil y adulto, las hojas intermedias que se presentan entre los estados juvenil y adulto, las ramas jóvenes, inflorescencias, forma en yema, estambres, frutos y semillas; son las características para la identificación.

En *E. camaldulensis* La corteza es lisa de color amarillo claro, las hojas juveniles son opuestas o alternas, las hojas en el adulto son pecioladas, alternas y lanceoladas. Altura de 30 a 35 m con copa densa y pesada.

Montoya (1995), señala que procede de Australia, en donde está ampliamente distribuido, y en especial por los bordes de las riberas inundadas estacionalmente, formando parte de los bosques ripícolas en galería.

Árbol de elevada talla, aunque menor que la de *Eucalyptus globulus*, llega a alcanzar los 50 metros de altura y 1.5 a 2 metros de diámetro en nuestro país, aunque raramente supera los 30 metros de altura y menos bajo cultivo forestal. Se reconoce con facilidad por su corteza que se desprende en placas, dejando debajo una nueva corteza naciente de color blanco plateado o azul pruinoso; las ramillas jóvenes tienen color rojizo.

Muy utilizado en jardinería, especialmente a causa de su rápido crecimiento y por su abundante floración y la espectacularidad y rusticidad de sus grandes pies adultos aislados. Otros usos importantes como: cortinas rompevientos en áreas agrícolas, en caminos y cercados; también en pequeños bosques para descanso del ganado, así como para las clásicas alamedas rurales, en bordes de carretera (zonas de descanso), parques y jardines, y en riberas de ríos y arroyos.

Por su abundante y prolongada floración (que en climas suaves es casi continua a lo largo del año y que suele resultar ser la única flor verdaderamente utilizable por las abejas durante el invierno) es una planta muy melífera, muy apreciada por los apicultores y que produce una miel de gran calidad.

Con raíz poderosa y agresiva que ocupa hasta 2 a 5 veces el diámetro de la copa, resulta muy agresivo frente al agua y las edificaciones, por lo que debe de utilizarse con prudencia en las proximidades de éstas. Ancla muy bien al árbol frente a los agentes atmosféricos, lo que hace que este eucalipto sea muy usado en cortinas rompevientos y en consecuencia, muy usado para la instalación de nidos de aves. Esta característica le permite encontrar agua para mantener un buen crecimiento, incluso en lugares bastante secos, en los que otras especies menos agresivas darían rendimientos muy escasos. Ésta es una especie intolerante o de luz, no soporta la cubierta o la competencia de otras especies vegetales, sus rendimientos mejoran con la ausencia de sotobosques densos, su copa es muy poco espesa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de la zona de estudio

El trabajo se realizó en el predio denominado "Las Cruces", campo experimental perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo. Está situado aproximadamente entre los 19° 26' 45" y 19° 28' 15" de latitud norte y entre los 98° 48' 00" y 98° 50' 00" de longitud oeste, con un rango altitudinal que va de los 2480 a 2640 msnm con una superficie de 338 hectáreas. El predio tiene las siguientes colindancias: al norte en 4665 m en línea quebrada con San Miguel Tlaixpan a través del arroyo de Palmilla, Santa Catarina del Monte y por brechas, y San Pablo Itzayoc a lo largo del arroyo La Cantera; al este en 2305 m con las ampliaciones de Tequexquináhuac, San Dieguito Xochimanca y Santa María Nativitas; al sur en 2320 m con terrenos de Tecuac y la ampliación de Coatlinchán a través de la Cañada de San Camilo y al oeste en 5330 m en línea quebrada con el ejido de Tequexquináhuac, Colonia las Flores y San Dieguito Xochimanca (Carrillo y Palma, 1990) (Figura 1).

3.2 Caracterización de la zona de estudio

El clima donde se encuentra el área forestal "Las Cruces" presenta variaciones fuertes debido principalmente a la influencia de la orografía, observándose un tipo C(w₀)(w)b(a); correspondiente a templado subhúmedo, con una precipitación media anual de 700 a 800 mm, con régimen de lluvias en verano, temperatura media anual entre 12 y 18°C y una oscilación entre 5 y 7°C. Generalmente el porcentaje de lluvia invernal es menor al 5% del total anual, siendo los meses de mayo y junio los que presentan mayor temperatura. Respecto a los vientos, éstos soplan con mayor intensidad a fines de verano y principios de otoño en varias direcciones (García, 1978).

El predio en estudio es parte de las subcuencas formadas por las corrientes temporales torrenciales llamadas regionalmente ríos Chapingo y San Bernardino, cuya topografía determina tres zonas de relieve bien definidas: la zona baja, la zona de lomeríos y la de montaña. Este predio se encuentra

dentro de la zona de lomeríos con taludes y lechos de corrientes temporales y pendientes interfluviales que van del 6 al 20%, ligeramente convexas y en otros lugares se encuentran áreas planas con pendientes menores (Carrillo y Palma, 1990).



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

Oropeza (1980) señala que los suelos de esta superficie forestal están comprendidos por una diversidad de material parental proveniente de erupciones ocurridas en distintas fases que formaron acumulaciones de lava, tobas y brechas volcánicas que dieron consecuentemente una variación

edáfica; los suelos son esqueléticos de textura media y en algunas partes gruesa, severamente erosionados con afloración de rocas.

Las asociaciones vegetales que en forma conspicua existen dentro de los límites del campo experimental son la vegetación arbórea (las plantaciones forestales y relictos de encinos), arbustiva, pastizal y vegetación secundaria. La mayor parte de esta área de estudio fue reforestada con: *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *Cupressus lindleyi*, *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus camaldulensis*, *E. globulus*, *Acacia* sp., como respuesta a los problemas causados por la deforestación (Zerecero, 1978; Carrillo y Palma, 1990).

En el año de 1967 se inició El programa "Barrera Forestal de Oriente", inicialmente conocido como "San Marcos-Tepetlaxtoc", para resolver los problemas de deforestación, cuya meta fue la recuperación de 63 000 ha, 50% de ellas totalmente erosionadas y el otro 50% en un avanzado proceso de erosión. Los trabajos de recuperación consistieron en subsolado, terraceo y reforestación. Por otro lado, las actividades de la población local, son el pastoreo, la siembra de temporal y la corta clandestina (Zerecero, 1978).

3.3 Procedimiento general del trabajo de campo

Las plantaciones en estudio se efectuaron en 1973 según comunicación personal del M.C. Pimentel Bribiesca L.³. El trabajo de campo inició con el recorrido por el predio con la finalidad de detectar las plantaciones susceptibles de ser evaluadas; cuyas características fueron tener una sola especie y un método de plantación y preparación del terreno. Posteriormente, al término del recorrido, se seleccionaron dos plantaciones, una de *Pinus pseudostrobus* y una de *Eucalyptus camaldulensis*.

La extensión de cada plantación se calculó con base en la carta elaborada por Carrillo y Palma (1990), de la siguiente manera:

³ Profesor de la División de Ciencias Forestales, de la Universidad Autónoma Chapingo.

$$A = af \cdot e^2 \quad \text{Ecuación 1)}$$

Donde:

A es el área real del terreno, e es la escala; y af es el área calculada en la carta que se obtiene con:

$$af = q \cdot d^2 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

donde a su vez:

q es el número de puntos que caen dentro del área de estudio en la carta.

d es la distancia entre puntos en forma lineal

La extensión aproximada de cada una de las plantaciones fue de: 20.68 ha de *Pinus pseudostrobus* y 12.68 ha de *Eucalyptus camaldulensis*.

Con base en lo señalado por Ramírez (1984) se determinó realizar un muestreo por conglomerados tomando como unidades primarias las hileras de plantación y como unidades secundarias árboles. En ambas plantaciones se realizó un muestreo preliminar para determinar el tamaño de muestra, seleccionando aleatoriamente cuatro conglomerados en *Pinus pseudostrobus* y tres en *Eucalyptus camaldulensis*. Cada conglomerado estaba formado por cinco árboles.

A cada hilera se le asignó un número, eligiendo de una tabla de números aleatorios, cuatro para la plantación de *Pinus pseudostrobus* y tres para la de *Eucalyptus camaldulensis*. En cada uno de los siete sitios preliminares, se registraron las variables altura total (Alt) y diámetro normal (DN) y con base en ello se determinó el tamaño de muestra.

Sheaffer *et al.* (1987) propone determinar el tamaño de muestra a partir de un muestreo preeliminar y presenta la siguiente notación para muestreo por conglomerados:

N es número de conglomerados en la población

n es el número de conglomerados seleccionados en una muestra irrestricta aleatoria

m_i es el número de elementos en el conglomerado i , $i = 1, \dots, N$

$\bar{m}$ es el tamaño promedio del conglomerado en la muestra

M es el número de elementos en la población

$\bar{M}$ es el tamaño promedio del conglomerado en la población

y_{ij} es la j -ésima observación del i -ésimo conglomerado, $j = 1, \dots, m_i$

$y_{i.}$ es la suma de todas las observaciones en el i -ésimo conglomerado,

$$y_{i.} = \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}$$

En la plantación de *Pinus pseudostrobus* $N = 7445$ se calculó a partir de un estimado de 20.68 ha de terreno con una densidad de 1800 árboles por ha; los valores de $\bar{m}$ y $\bar{M}$ son iguales dado que se determinó tomar 5 árboles por conglomerado. Con los totales ($y_{i.}$) se procedió a estimar la media poblacional $\bar{y}$ con la siguiente igualdad:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i.}}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

ya obtenido el valor de la estimación de la media poblacional se calculó la varianza con la siguiente expresión:

$$\hat{V}(\bar{y}) = \frac{N-n}{Nn\bar{M}^2} (S_c^2) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

donde:

$$S_c^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{i.} - \bar{y}m_i)^2}{n-1} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

donde a su vez:

$$\sum_{i=1}^n (y_{i.} - \bar{y}m_i)^2 = \sum_{i=1}^n y_{i.}^2 - 2\bar{y} \sum_{i=1}^n y_{i.}m_i + \bar{y}^2 \sum_{i=1}^n m_i^2 \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Una vez que se estiman la media y la varianza se procede a calcular el límite B para el error de estimación como:

$$B = 2\sqrt{\hat{V}(\bar{y})} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Las medias y los límites B para el error de estimación de la altura total y el diámetro normal del muestreo preeliminar para la plantación de *Pinus pseudostrobus* se presentan en el Cuadro 3

Cuadro 3. Cálculo del límite B para el error de estimación de altura total y diámetro normal en muestra preliminar de *Pinus pseudostrobus*.

Parámetro	$\bar{y}$ (cm)	$\bar{m}$	N	$N-n/Nn\bar{m}^2$	s_c^2	$\hat{V}(\bar{y})$ (cm ²)	B (cm)
Alt	737.0	5	7445	0.00999	2 124 225	21 230.8	291.0
DN	13.9	5	7445	0.00999	135	1.4	2.4

Así la media poblacional de la Alt y su límite B para el error de estimación se calculó en 737 ± 291 cm; con lo que se tiene un 95% de confianza de que la media esté entre 446 y 1028 cm. Para el DN La media poblacional y su límite B se calcularon en: 13.9 ± 2.4 , y se tiene un 95% de confianza de que la media esté entre 11.5 y 16.3 cm.

Con estos valores de B para la Alt y el DN se calcula el tamaño de muestra (n') necesario con las siguientes ecuaciones:

$$n' = \frac{Ns_c^2}{ND + s_c^2} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

donde:

$$D = \frac{B^2\bar{m}^2}{4} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

El número de conglomerados a muestrear por cada plantación se basa en el límite de error de estimación B aceptado; dicho límite se redujo en, 50 cm para la Alt y 0.5 cm para el DN; quedando los límites en 241 y 1.9 cm respectivamente. Los resultados para calcular el tamaño de muestra (n') en *Pinus pseudostrobus* necesario se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Determinación del tamaño de muestra en *Pinus pseudostrobus*.

Variabe	B (cm)	D	ND	n'	n' (redondeo)
Altura total	241.00	364 272.0	2 702 581 531	5.85	6
Diámetro Normal	1.90	20.7	154 112	6.54	7

Para la plantación de *Eucalyptus camaldulensis* se utilizó el mismo procedimiento con los siguientes datos: $N = 4565$ conglomerados se calculó a partir de un estimado de 12.68 ha de terreno con una densidad de 1800 árboles por ha; los valores de $\bar{m}$ y $\bar{M}$ son iguales, cinco árboles por conglomerado

Cuadro 5. Cálculo del limite B para el error de estimación de altura total y diámetro normal en muestra preliminar de *Eucalyptus camaldulensis*.

Parámetros	$\bar{y}$ (cm)	$\bar{m}$	N	$N-n/Nn\bar{m}^2$	s_c^2	$\hat{V}(\bar{y})$	B (cm)
Alt	707.0	5	4 565	0.01332	439 033	5 849.9	152.97
DN	7.9	5	4 565	0.01332	9.7	0.13	0.72

El límite de error de estimación B aceptado se redujo en 50 cm para la Alt y 0.2 cm para el DN; quedando los límites en 102.97 y 0.52 cm respectivamente. Los resultados para calcular el tamaño de muestra (n') necesario se presentan en el

Cuadro 6.

Cuadro 6. Determinación del tamaño de muestra en *Eucalyptus camaldulensis*

Variabe	B (cm)	D	ND	n'	n' (redondeo)
Altura total	102.97	66 267.0	302 511 734.0	6.61	7

Diámetro Normal	0.52	1.7	7 714.9	5.75	6
-----------------	------	-----	---------	------	---

Con los cálculos anteriores sobre el tamaño de muestra y de acuerdo con el presupuesto disponible se decidió por tomar siete conglomerados por cada plantación que se obtuvieron con los n' de redondeo más altos calculados de forma alterna: siete para DN en *Pinus pseudostrobus* y siete para Alt en *Eucalyptus camaldulensis*.

Una vez determinados los tamaños de muestra necesarios se procedió a realizar el muestreo; los datos se colectaron en tres etapas:

- 1) Toma de datos del arbolado
- 2) Toma de datos de la vegetación herbácea y arbustiva
- 3) Toma de muestras de suelo y follaje.

1) Los datos colectados del arbolado fueron: altura total (Alt), diámetro normal (DN), altura a la que se encuentra la primera rama (fuste limpio), longitud de las ramas en las direcciones Norte, Sur, Este, Oeste, distancia entre árboles y entre líneas o hileras de plantación, valor asignado a la condición de fuste y características del terreno.

2) Los datos colectados de la vegetación herbácea y arbustiva fueron: número de plantas por especie, forma de la planta y superficie aproximada de cobertura. Colecta de plantas para identificación taxonómica de especies.

3) Toma de muestras de suelo y follaje para el análisis químico del estado nutrimental. De suelo se colectaron 2 kg por muestra, a 20 cm de profundidad y a una distancia de 1m del árbol centro del conglomerado hacia la parte superior de la pendiente. En cada muestra se determinaron valores de: potencial de hidrógeno (pH), capacidad de intercambio catiónico (CIC), densidad aparente (Dap); y los contenidos de: materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn). De follaje se colectaron muestras en el tercio superior de la copa del árbol dominante de cada conglomerado y se determinaron los contenidos de los mismos nueve nutrimentos anteriores.

Las plantas colectadas fueron llevadas al herbario de la División de Ciencias Forestales de la UACH para su identificación taxonómica.

Las muestras de suelo y follaje fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos de la UACH, para su análisis.

Los métodos de análisis para las muestras de suelos fueron:
Potencial de Hidrógeno (pH): relación suelo-agua 1:2; Materia Orgánica (MO): método de Walkley y Black; Capacidad de intercambio catiónico (CIC): Acetato de amonio 1.0 N; pH 7.0 centrifugación-Kjeltec-auto analyzer 1030; Densidad aparente (Dap): método de la parafina; Nitrógeno inorgánico (N): Extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor Kjeltec-auto analyzer 1030; Fósforo (P): Bray P-1; Potasio (K): Extraído en acetato de amonio 1.0 Normal; pH 7.0; relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de emisión de flama; Calcio (Ca) y Magnesio (Mg): Extraídos en acetato de amonio 1.0 Normal a pH 7.0 en relación 1:20 y determinados por espectrofotometría de absorción atómica; y Hierro (Fe). Cobre (Cu). Zinc (Zn) y Manganese (Mn): Extraídos con DTPA relación 1:4 y determinados por espectrofotometría de absorción atómica.

3.4 Procedimientos del análisis de datos

El análisis de los datos consistió en los siguientes puntos:

- 1) Caracterizar las plantaciones estimando: promedios de Alt y DN; longitud, área y radio de copa. La condición de fuste y porcentaje de sobrevivencia;
- 2) Determinar la condición nutrimental de las plantaciones con el análisis químico foliar;
- 3) Determinar mediante análisis de regresión la relación entre variables de crecimiento Alt y DN con variables nutrimentales en follaje;
- 4) Determinar mediante análisis de regresión la relación entre variables de crecimiento Alt y DN con: variables del suelo: fisicoquímicas, nutrimentales y nutrimentales conjuntas;
- 5) Comparar el suelo entre ambas plantaciones; y
- 6) Determinar los índices de diversidad del sotobosque.

Para el primer punto los promedios se calcularon de la misma manera que para el muestreo preliminar; la sobrevivencia se calculó a partir de ($\bar{m}$); la longitud de copa se obtuvo como la diferencia entre la Alt y la altura de la primera rama y el área de copa como el área de una elipse, considerando un eje norte-sur y otro este-oeste, finalmente se agregó el radio de copa haciendo la consideración del área circular.

Para el segundo punto se obtuvo una tabla de valores nutrimentales en follaje y estos se compraron con los determinados por el laboratorio de la UACH, y se hizo una relación de observaciones sobre posibles síntomas de deficiencias nutrimentales.

Para el tercer punto los modelos usados en el análisis de regresión fueron los siguientes:

$$\text{Alt} = a + bX \quad \text{_____} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

$$\text{DN} = a + bX \quad \text{_____} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Alt y DN son las variables dependientes; a y b los coeficientes de regresión y X es la variable independiente, nutrimentos foliares Nf, Pf, Kf, Caf, Mgf, Fef, Znf, Mnf.

Para el cuarto punto se usaron las ecuaciones 10 y 11. Alt y DN son las variables dependientes; a y b los coeficientes de regresión y X es la variable independiente: con variables edáficas fisicoquímicas pH, MO, CIC, Dap; con variables edáficas nutrimentales N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn; y con variables edáficas nutrimentales conjuntas se agregó el análisis según los modelos que se presentan a continuación:

$$\text{Alt} = a + bT \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\text{Alt} = a + bT + cT^2 \quad \text{Ecuación 13}$$

$$\text{Alt} = a + bT + cT^{1/2} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$\text{Alt} = a + bZ \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\text{Alt} = a + bW \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\text{DN} = a + bT \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\text{DN} = a + bT + cT^2 \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\text{DN} = a + bT + cT^{1/2} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\text{DN} = a + bZ \quad \text{Ecuación 20}$$

$$\text{DN} = a + bW \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

Alt y DN son las variables dependientes, a, b y c los coeficientes de regresión y T, Z y W son las variables independientes transformadas de acuerdo a las siguientes sumatorias.

$$T = \sum (x_i - x_{\min})^2 : \quad \text{Ecuación 22}$$

$x_i - x_{\min}$ es la distancia de los valores nutrimentales, correspondientes a la i ésima Alt, con referencia a los valores nutrimentales de la altura mínima. La suma se estandariza. En las ecuaciones 13, 14, 18 y 19 se usa un cambio de escala para T.

$$Z = \sum \frac{(x_i - \bar{x})}{s} \quad \text{Ecuación 23}$$

x_i es valor de la variable nutrimental y $\bar{x}$ y s son el promedio y la desviación estándar correspondientes a cada variable.

$$W = \sum \left(\frac{x_i - x_{\min}}{x_{\min}} \right)^2 \quad \text{Ecuación 24}$$

$x_i - x_{\min}$ es la distancia de los valores nutrimentales, correspondientes a la i ésima Alt, con referencia a los valores nutrimentales de la altura mínima. La suma se divide entre el valor correspondiente a la altura mínima.

En el quinto punto se usaron las variables edáficas físicoquímicas y el contenido de nitrógeno en el suelo para la comparación entre el suelo de ambas plantaciones

En el sexto punto se calcularon dos índices de diversidad por conglomerado y en forma global para cada plantación sumando los valores de cada conglomerado usando las siguientes ecuaciones:

$$s / N^{1/2} \quad \underline{\hspace{15em}} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$s / \ln (N) \quad \underline{\hspace{15em}} \quad \text{Ecuación 26}$$

En ambos casos se consideran el total de plantas N y de especies s

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de las plantaciones

Los árboles de *Pinus pseudostrobus* son de menor altura, presentan copas y ramas grandes con abundante follaje; Los árboles de *Eucalyptus camaldulensis*, de mayor altura, presentan ramas grandes y poco follaje, sus fustes son delgados y deformados. En ambas plantaciones entre los árboles se observa una amplia variación en el crecimiento, esto genera contrastes en la fisonomía de cada plantación.

El suelo entre las plantaciones difiere por la cantidad de follaje que lo cubre; en *Pinus pseudostrobus* se observan acumulaciones formando una capa de mantillo y en *Eucalyptus camaldulensis* hay una dispersión del material foliar que deja al suelo más expuesto.

El follaje y la longitud de las ramas en *Pinus pseudostrobus* genera mayor sombra, no obstante, en las dos plantaciones el sotobosque es diverso y se aprecia con similitudes por la presencia, en parte, de las mismas especies.

La distancia promedio entre los árboles es muy similar para ambas plantaciones, 1.5 m, sin embargo, la distancia entre las hileras de plantación es mayor en *Eucalyptus camaldulensis*, por lo que hay mayor espaciamiento y radiación solar en ésta.

Los resultados para caracterizar a las plantaciones con las variables de crecimiento: altura total, diámetro normal, longitud de copa, área y radio de copa, y forma del fuste; que explican el aspecto visual del arbolado, se presentan en el Cuadro 7 y en el Cuadro 8 para la plantación de *Eucalyptus camaldulensis*.

Cuadro 7. Promedios de las variables de caracterización en *Pinus pseudostrobus*.

Variable	Promedios por conglomerado							General
	1	2	3	4	5	6	7	
Atl m	2.94	3.00	4.72	5.38	6.83	8.10	7.24	5.46
DN cm	5.80	6.40	13.10	11.40	16.50	17.20	12.40	11.80
Lc m	1.92	1.42	3.18	3.14	4.58	6.02	4.26	3.50
Lc %	64.00	46.00	67.00	58.00	67.00	72.00	57.00	62.00
Ác m ²	2.16	3.51	8.38	8.56	11.42	17.42	8.38	7.86
Rc m	0.83	1.05	1.63	1.65	1.9	2.32	1.63	1.57
F	2	3	3	2	2	3	3	3

Los intervalos de la altura total (5.16 m) y del diámetro normal (11.40 cm), son amplios lo que es indicativo de desarrollo poco homogéneo. Las copas de los árboles son largas en relación a la longitud total de la que ocupan dos terceras partes (más del 60%). El área de copa es grande, los radios de la misma son de 1.57 m en promedio, y este valor es mayor a la distancia promedio entre árboles (1.5 m); así, las ramas quedan totalmente superpuestas dando lugar a una fuerte competencia, además las copas de los árboles son marcadamente anchas en su base. Esto explica parcialmente las variaciones en crecimiento ya que algunos árboles van quedando suprimidos.

La condición de fuste para ésta especie es de regular a buena, valor 3 de F que es buena aunque no la mejor, todos los árboles presentan al menos una ligera curvatura de la base. La altura total, la forma y el tamaño de la copa le dan a la plantación una fisonomía de árboles con poca altura y fuerte competencia por superposición de ramas.

Cuadro 8. Promedios de las variables de caracterización en *Eucalyptus camaldulensis*.

Variable	Promedios por conglomerado							General
	8	9	10	11	12	13	14	
Atl m	5.95	7.60	8.33	8.22	10.48	11.44	11.44	9.20
DN cm	4.50	8.60	9.20	10.20	12.30	12.90	15.40	10.70
Lc m	2.55	4.35	4.40	4.98	7.04	5.84	6.10	5.20
Lc %	40.00	57.00	55.00	58.00	65.00	53.00	51.00	56.00
Ác m ²	1.76	4.47	3.07	6.25	7.07	11.16	16.76	6.71
Rc m	0.75	1.20	1.10	1.39	1.50	1.87	2.26	1.48
F	1	*	1	3	2	1	2	1

* en ese conglomerado hay dos sólo dos árboles con valores de fuste distintos

Para *Eucalyptus camaldulensis*, los intervalos de la altura total promedio (9.20 m) y del diámetro normal (10.70 cm), son también amplios. Las copas de los árboles son medianas en relación a la longitud total de la que ocupan la mitad. El área de copa es y los radios de la misma son similares a los de *Pinus pseudostrobus*, al igual que la distancia promedio entre árboles (1.5 m). Las copas de los árboles en esta especie son más o menos cilíndricas con escaso follaje en la mayoría de los árboles. Las ramas también quedan superpuestas, pero a diferencia de *Pinus pseudostrobus* los árboles que van quedando suprimidos crecen con severas deformaciones en el fuste y muy escaso follaje.

La condición de fuste para esta especie es mala, valor 1 de F que es la peor condición, casi todos los árboles presentan curvaturas fuertes a lo largo del fuste. La altura total, la forma y el tamaño de la copa, así como la menor densidad de follaje le dan a la plantación de esta especie una fisonomía de árboles con altura media y amplios espaciamientos.

Comparativamente entre las dos plantaciones los promedios de altura total, 5.46 y 9.20 m para *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis*

respectivamente, representan una diferencia de 170% ello contribuye a que en sus fisonomías los árboles de *Pinus pseudostrobus* se observan con poca altura. Los valores de diámetro normal promedio son: 11.8 y 10.7 cm para *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis* respectivamente, en esta variable la diferencia es de 10% aproximadamente, es poca y los hace similares en este aspecto. Sin embargo, la altura de *Eucalyptus camaldulensis* le da a los árboles la apariencia de ser medianos con fustes delgados.

En la plantación de *Pinus pseudostrobus* sólo se encontró una cepa vacía y en la de *Eucalyptus camaldulensis* se encontraron seis, lo que da una supervivencia promedio de 98% y 82% respectivamente.

Las copas de los árboles son grandes en ambas especies; en *Pinus pseudostrobus*. El follaje es abundante y en *Eucalyptus camaldulensis* es más escaso. La forma de la copa, el color y abundancia del follaje, la apariencia del fuste y la cubierta del suelo presentan a *Pinus pseudostrobus* como la especie que crece en mejores condiciones.

4.2 Condición de nutrimentos en follaje

Sobre la apariencia del follaje para interpretar el estado nutricional y de sanidad de los árboles no se detectó ningún síntoma particular, por lo que no hay anotaciones de campo al respecto, sin embargo, cuando se tuvieron los resultados del análisis químico foliar y se vio la alta concentración de Mn en *Eucalyptus camaldulensis*, elemento que en exceso puede dar al follaje un cambio de tonalidad hacia el verde cenizo, la observación que paso por alto en primera instancia considerándola como una tonalidad normal del follaje, se reconsideró y quedó como experiencia en la detección de síntomas visuales en follaje.

Los resultados del análisis químico para detección de nutrimentos en follaje se presentan en el Cuadro 9 para *Pinus pseudostrobus* y en el Cuadro 11 para *Eucalyptus camaldulensis*.

Cuadro 9. Resultados del análisis químico foliar en *Pinus pseudostrobus*.

Cong	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
	%					Ppm			
1	2.41	0.047	0.40	0.15	0.13	71.85	*	65.14	58
2	2.41	0.057	0.43	0.18	0.13	44.29	*	76.55	118
3	2.41	0.083	0.56	0.14	0.12	237.20	*	1.26	91
4	2.17	0.042	0.40	0.13	0.11	44.29	*	74.46	87
5	2.17	0.052	0.37	0.18	0.11	113.19	*	51.58	71
6	2.41	0.057	0.48	0.10	0.13	71.85	*	64.07	102
7	2.65	0.072	0.37	0.16	0.12	195.87	*	66.14	132

no se detectó

La comparación entre el Cuadro 1 y el Cuadro 9; excluye a los elementos **Cu** y **Mn**, pues no se pueden evaluar, el primero no está detectado en el análisis y el segundo no está en las mismas unidades de medición.

Cuadro 10. Determinación de la condición nutrimental para *Pinus pseudostrobus* con base en los reportes bibliográficos.

Nutrimento	Porcentaje de árboles	Condición
N	100	Alto
P	100	Deficiente
K	15 85	Medio Bajo
Ca	85 15	Medio Bajo
Mg	100	Medio
Zn	85 15	Medio Deficiente
Fe	40 30 30	alto * medio bajo

El 100% de los árboles presenta altos contenidos de **N**, no hay observaciones que puedan asociarse a deficiencias de este nutriente. El **P** si presenta deficiencias, mismas que afectan a los árboles en su velocidad de crecimiento, con poco aporte energético. El **K** se encuentra en cantidades bajas para la mayoría de los árboles de esta especie. **Ca** y **Mg** se presentan en cantidades medias, asociados al crecimiento activo pueden estar desacelerando el mismo.

Cuadro 11. Resultados del análisis químico foliar en *Eucalyptus camaldulensis*

Cong	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
	%					ppm			
8	1.35	0.026	0.73	1.42	0.24	112.05	*	100.50	2 147
9	1.61	0.036	0.50	1.03	0.25	167.88	*	118.09	1 634
10	2.17	0.047	0.83	0.61	0.22	16.73	*	78.63	1 091
11	0.96	0.0004	0.56	1.28	0.24	84.16	4.50	131.28	1 348
12	2.41	0.031	0.56	0.64	0.37	1008.8	*	72.38	1 086
13	2.17	0.052	0.54	0.56	0.15	2.95	*	59.90	899
14	2.17	0.042	0.63	0.71	0.34	44.29	*	1.09	1 379

Para esta especie los nutrientes que no pueden ser evaluados son: **Cu, K, Mg y Mn** el primero sólo se detectó en una muestra en condición baja. El segundo y tercero no se reportan para el género *Eucalyptus* y tampoco de forma general para maderas duras; el cuarto se reporta en unidades de medición distintas. En el Cuadro 12 se presenta un resumen de la comparación.

Cuadro 12. Condición nutrimental en porcentaje de árboles por conglomerado en *Eucalyptus camaldulensis*.

Nutrimento	Porcentaje de árboles	Condición
N	15	Alto
	70	medio
	15	bajo
P	100	Deficiente
Ca	100	Medio
Zn	15	Alto
	70	medio
	15	deficiente
Fe	40	alto *
	15	medio
	15	bajo
	30	deficiente

El 70% de los árboles presenta contenidos de **N** medios, lo que puede influir en la coloración más clara del follaje de esta especie y afectar el vigor principalmente en la madera que se observa con deformaciones fuertes. El **P** se presenta deficiente en el 100 % del arbolado muestreado, también esta especie esta afectada en su velocidad de crecimiento, con poco aporte energético. El **Ca** se presenta en cantidades medias en el 70 %, su crecimiento activo pueden estar en condiciones adecuadas. El **Zn** se encuentra en condición media en un 70 % del arbolado, no es de suponer que existan deficiencias del mismo. El **Fe** presenta valores con mayor oscilación, la mayor parte en los extremos, muestra deficiencias en un tercio del arbolado posiblemente los suelos retienen más humedad pero en condición de pH alto que hace este nutrimento poco soluble.

4.3 Crecimiento arbóreo y nutrimentos en follaje

La toma de muestras de suelo se realizó de acuerdo a lo planeado en la metodología, sólo en 3 conglomerados había vegetación en el punto de colecta,

por lo que se movió dicho punto aproximadamente 30 cm para evitar incluir en la muestra material radicular de la vegetación herbácea.

En este análisis se usaron los modelos basados en las Ecuaciones 10 y 11 para detectar la posible relación entre las concentraciones nutrimentales del follaje con el crecimiento.

En el Cuadro 13 se presentan los valores más altos encontrados en cada conglomerado de las variables de crecimiento altura total y diámetro normal ya que en el procesamiento de los datos se observó que con estos valores más altos el análisis de regresión aportaba mayor información que si se usaban los promedios por conglomerado. Para la exposición de resultados se toman sólo los obtenidos con altura total, ya que en la mayoría de los casos las diferencias entre estas dos variables de crecimiento son menores o son casi los mismos resultados.

Cuadro 13. Valores mayores de altura total y diámetro normal por conglomerado para *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis*.

<i>Pinus pseudostrobus</i>			<i>Eucalyptus camaldulensis</i>		
Cong	Altura total (m)	Diámetro normal (cm)	Cong	Altura total (m)	Diámetro normal (cm)
1	3.90	9.8	8	6.90	6.7
2	4.10	10.6	9	8.50	9.7
3	5.30	15.8	10	10.40	14.7
4	5.70	11.0	11	10.80	17.0
5	7.50	20.3	12	13.00	19.8
6	9.10	21.7	13	13.20	19.1
7	9.30	22.8	14	14.10	22.3

Cuadro 14 Análisis de regresión entre altura total y nutrientes del follaje en *Pinus pseudostrobus*,

Parámetros	Nutrientes en follaje							
	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf	Fef	Znf	Mnf
SC Tot	301 485							
SC Mod	22 125	16 226	81 35	27 950	13 015	25 982	1 361	153 672
F (n,m)	0.40	0.28	0.14	0.51	0.23	0.47	0.02	5.2
α	0.56	0.62	0.72	0.51	0.65	0.52	0.89	0.07
R ²	0.07	0.05	0.03	0.09	0.04	0.09	0.004	0.51
P est a	-229.7	429.0	871.6	996.8	1270.0	545.7	608.2	369.12
H0: a=0	-0.17	1.05	1.39	1.97	0.96	3.30	2.54	2.71
Pb> a	0.87	0.34	0.22	0.10	0.38	0.02	0.05	0.04
P est b	367	3627	-535	-2392	-5176	0.86	0.58	118
H0: b=0	0.63	0.53	-0.37	-0.71	-0.47	0.69	0.15	2.28

El manganeso fue el nutriente que presentó la mayor y más significativa relación con el crecimiento aunque su R² es media con apenas 0.51 y su nivel de significancia está por encima de 0.05; su parámetro estimado b es positivo, lo que indica que este nutriente afecta positivamente. En la Figura 2 se presenta la gráfica de esta relación.

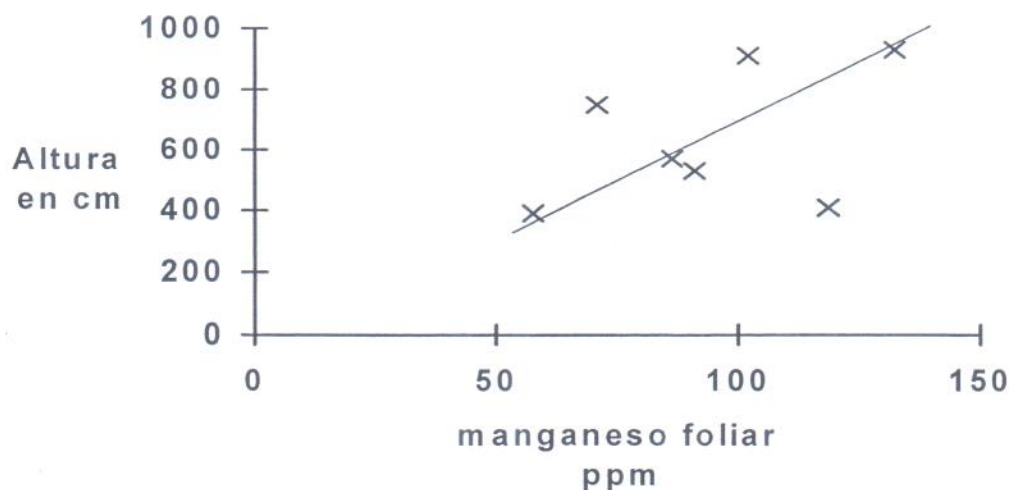


Figura 2. Relación entre la altura total y la concentración de Magnesio foliar en *Pinus pseudostrobus*.

Cuadro 15. Análisis de regresión de altura total y nutrientes del follaje en *Eucalyptus camaldulensis*.

Parámetros	Nutrimentos en follaje							
	Nf	Pf	Kp	Caf	Mgf	Fef	Znf	Mnf
SC Tot	419 085							
SC Mod	172 839	41 091	33 309	241 998	39 357	21 066	216 974	261 259
F (n,m)	3.51	0.54	0.43	6.83	0.51	0.26	5.37	8.28
F (n,m; α)	0.12	0.49	0.54	0.05	0.50	0.63	0.07	0.03
R ²	0.41	0.10	0.08	0.58	0.09	0.05	0.52	0.62
P est a	517	937	1489	1611	817	1065	1452	1780
H0: a=0	1.61	3.86	2.47	7.72	2.01	8.49	8.52	7.23
Pb> a	0.17	0.01	0.06	0.001	0.10	0.0004	0.0004	0.001
P est b	317	4830	-628	-574	1091	0.16	-4.40	-0.50
H0: b=0	1.87	0.74	-0.66	-2.61	0.72	0.51	-2.32	-2.89

Eucalyptus camaldulensis presenta mayor relación con: **Nf**, **Caf**, **Znf** y **Mnf**; con valores respectivos de R² 0.41, 0.58, 0.52, 0.62 sólo el nivel de significancia de manganeso foliar es menor a 0.05. **Caf**, **Znf**, y **Mnf** presentan valores negativos del parámetro b, lo que indica que están afectando negativamente a la fisiología y el crecimiento, se considerarían en exceso. El **Mnf** presenta llamativamente altas concentraciones en el follaje como se observa en el Cuadro 11 y ello es lo que puede colocarlo en condición de exceso.

En seguida se presentan las graficas de la relación con **Ca** y **Mn** por ser las que tienen valores iguales o menores al 0.05 del nivel de significancia.

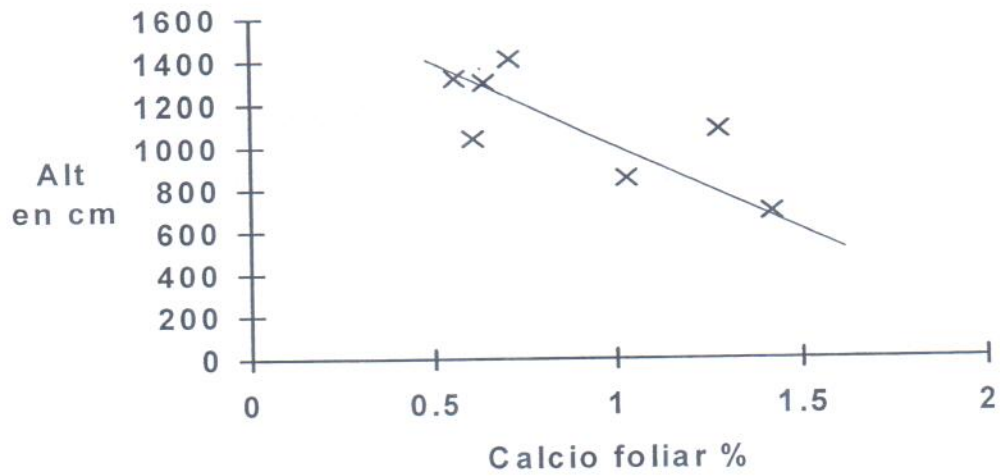


Figura 3. Relación entre la altura total y la concentración de Calcio foliar en *Eucalyptus camaldulensis*.

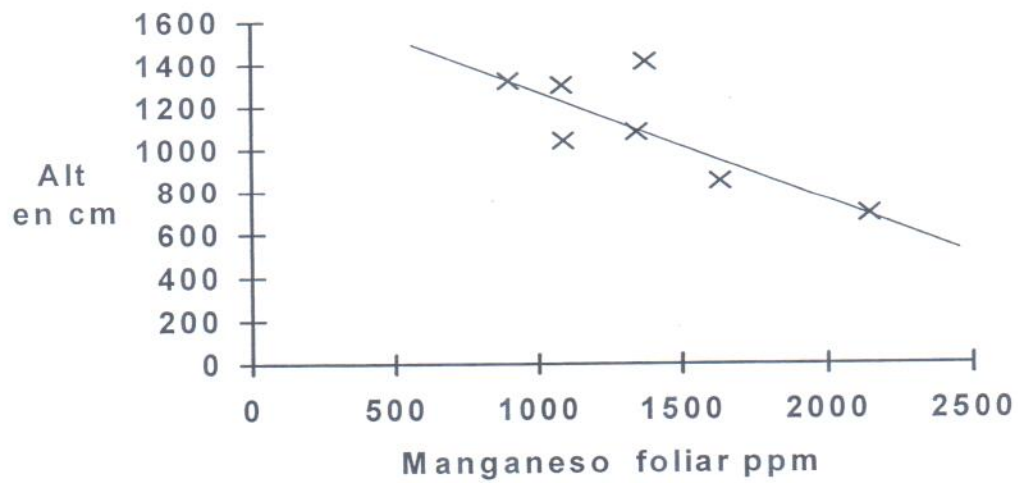


Figura 4. Relación entre la altura total y la concentración de Manganeso foliar en *Eucalyptus camaldulensis*.

4.4 Crecimiento arbóreo y variables fisicoquímicas del suelo

La primera parte del análisis con las variables edáficas es con las variables fisicoquímicas del suelo y se basa en los modelos derivados de la Ecuación 10 y de la Ecuación 11.

Cuadro 16. Variables fisicoquímicas del suelo en *Pinus pseudostrobus*.

Variable	Conglomerado						
	1	2	3	4	5	6	7
pH 1:2	8.45	7.27	7.14	7.34	7.73	6.63	6.69
MO %	1.61	1.14	0.54	0.27	0.94	0.80	1.54
CIC meq/100g	34.48	38.61	37.23	43.44	27.58	31.03	20.69
Dap g/cm ³	1.17	1.10	1.18	1.12	1.13	1.16	1.15

De acuerdo a las referencias plasmadas en la revisión de literatura los valores de pH están entre dos categorías: ligeramente ácido y básico; el porcentaje de materia orgánica también esta entre dos categorías: bajo, muy bajo para el conglomerado 4. La CIC es baja.

Cuadro 17. Variables fisicoquímicas del suelo en *Eucalyptus camaldulensis*.

Variable	Conglomerado						
	8	9	10	11	12	13	14
pH 1:2	6.24	6.74	7.06	7.13	6.87	7.42	7.33
MO %	2.12	0.93	1.02	0.93	0.60	1.34	0.54
CIC meq/100g	30.34	23.47	34.48	22.90	26.20	28.27	31.03
Dap g/cm ³	1.06	1.16	1.21	1.22	1.13	1.18	1.15

Los valores de pH están en las categorías: ligeramente ácido y básico. El porcentaje de materia orgánica está en las categorías: bajo y medio. La CIC es baja.

En el Cuadro 18 se presentan los resultados del análisis de regresión entre las variables de crecimiento altura total y diámetro normal con relación a las variables fisicoquímicas para *Pinus pseudostrobus* y en el Cuadro 19 los correspondientes de *Eucalyptus camaldulensis*.

Cuadro 18. Relación entre la altura total y las variables fisicoquímicas del suelo en *Pinus pseudostrobus*.

Parámetro	pH	MO	Altura total CIC	Dap
SC Tot			301 485	
SC Mod	141 236	119	165 556	6 900
F (n,m)	4.41	0.002	6.09	0.12
Pb> F	0.09	0.97	0.06	0.75
R ²	0.47	0.0004	0.55	0.02
P est a	2 435.0	632.62	1 378.9	-706.7
H0: a=0	2.84	2.89	4.52	-0.18
Pb> a	0.04	0.03	0.006	0.86
P est b	-245.0	9.01	-22.12	1178.2
H0: b=0	-2.10	0.04	-2.47	0.34

Las variables fisicoquímicas del suelo pH y CIC son las que presentan mayor relación con el crecimiento de los árboles de *Pinus pseudostrobus*. Con pH los valores de R² son: 0.47 y 0.55 y sus correspondientes para el nivel de significancia son: 0.09 y 0.06; ambas variables presentan un coeficiente b (P est b) negativo lo que indica que afectan negativamente el crecimiento, es decir si aumenta el pH del suelo este se vuelve más básico y para coníferas el suelo con pH ácido es el más adecuado. Este cambio de pH está ligado a la CIC. A continuación se presentan las gráficas de pH y CIC con relación al crecimiento en altura total; en la Figura 5 y en la Figura 6 respectivamente.

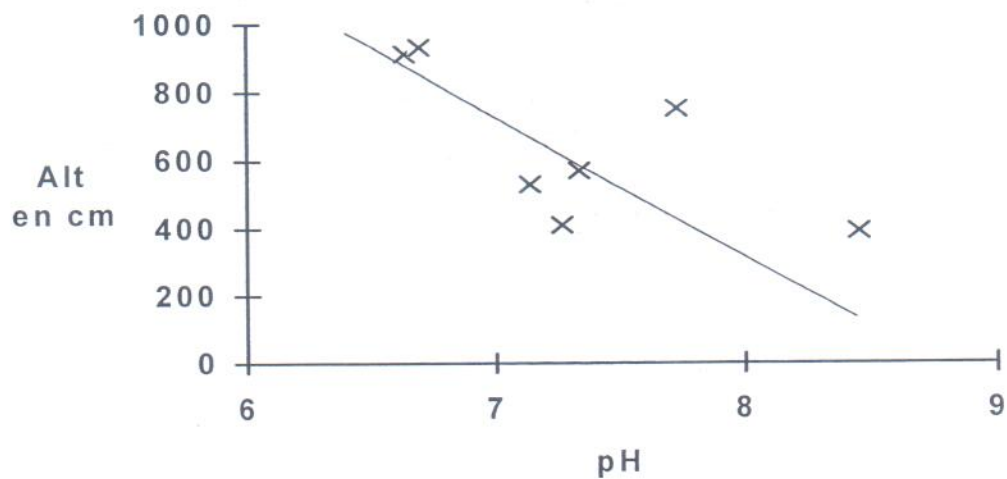


Figura 5. Relación entre la altura total y el pH del suelo en *Pinus pseudostrobus*.

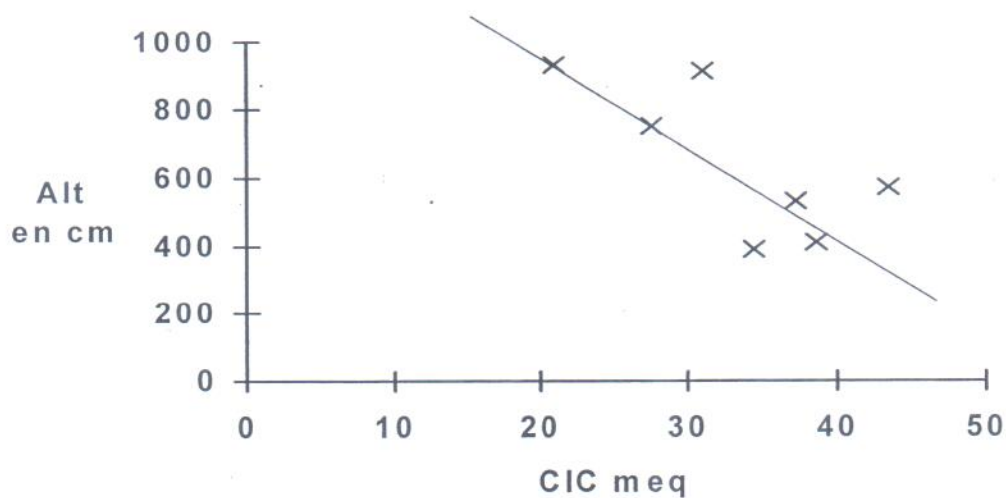


Figura 6. Relación entre la altura total y la CIC del suelo en *Pinus pseudostrobus*.

En la Figura 4 se observa que la dispersión de los datos de crecimiento es estrecha en torno de pH 7, la tendencia negativa es poco perceptible. En la Figura 5. Relación entre la altura total y el pH del suelo en *Pinus pseudostrobus*.

la dispersión amplia y tendencia negativa son más evidentes.

El contenido de materia orgánica puede influir y mantener el pH de la solución de suelo cercano a 7, sólo que el contenido de MO en este caso es bajo e incluso su influencia como variable independiente es nulo de acuerdo al análisis de regresión anterior.

A continuación se presentan los resultados del análisis de regresión con variables fisicoquímicas para *Eucalyptus camaldulensis*.

Cuadro 19. Relación entre la altura total y las variables fisicoquímicas del suelo en *Eucalyptus camaldulensis*.

Parámetro	Variables no nutrimentales			
	pH	MO	CIC	Dap
SC Tot			419085	
SC Mod	301898	201564	2599	58876
F (n,m)	12.88	4.63	0.03	0.82
F (n,m; α)	0.01	0.08	0.87	0.41
R ²	0.72	0.48	0.01	0.14
P est a	-2807	1464.5	959.70	-1027
H0: a=0	-2.58	7.81	1.21	-0.44
Pb> a	0.05	0.0005	0.28	0.68
P est b	560.32	-342.4	4.94	1834.9
H0: b=0	3.59	-2.15	0.18	0.90

Para esta especie el pH y la materia orgánica tienen mayor efecto, sus valores de R² son 0.72 y 0.48 con nivel de significancia F (n,m; α) 0.01 y 0.08; el coeficiente b es positivo para pH y negativo para materia orgánica. Lo que indican estos resultados es que el medio básico, pH mayor a 7, es el más propicio para el desarrollo de *Eucalyptus camaldulensis*. La respuesta al contenido de MO es negativa porque a mayor contenido de materia orgánica menor pH, es decir hay un efecto opuesto de estas variables. A continuación se presenta la relación entre Alt con pH y MO en las Figuras 7 y 8 respectivamente.

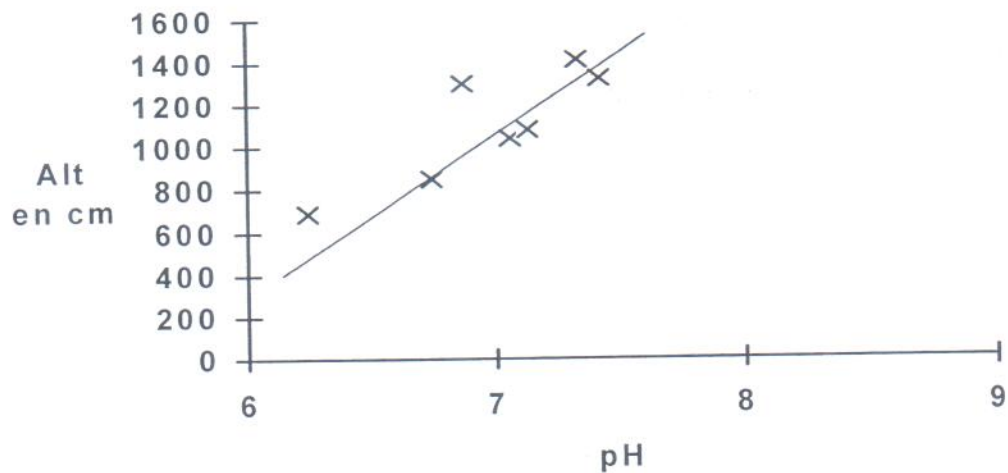


Figura 7. Relación entre la altura total y el pH del suelo en *Eucalyptus camaldulensis*.

La dispersión estrecha y orientada así como la tendencia positiva de los datos de altura total con respecto a los de pH se aprecia con claridad.

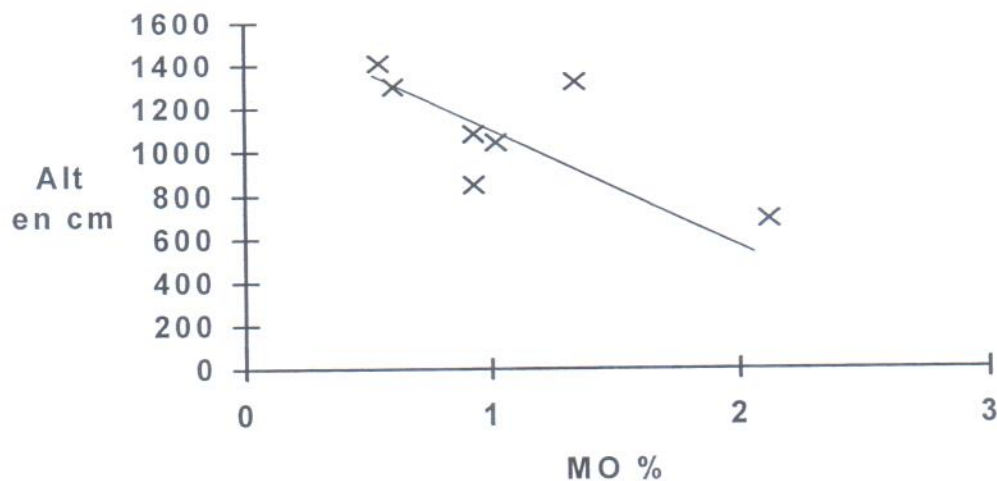


Figura 8 Relación entre la altura total y el contenido de materia orgánica del suelo en *Eucalyptus camaldulensis*.

4.5 Crecimiento arbóreo y nutrimentos del suelo

Los resultados del análisis practicado por el laboratorio central de la Universidad Autónoma Chapingo se presentan en los Cuadros 20 para *Pinus pseudostrobus* y 21 para *Eucalyptus camaldulensis*:

Cuadro 20. Contenido nutrimental del suelo en *Pinus pseudostrobus*.

Cong	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
ppm									
1	4.9	0.11	536	8583	1024	0.87	0.34	1.02	2.42
2	4.9	0.09	444	3073	955	2.69	0.41	2.88	1.10
3	4.9	0.10	746	2438	871	4.68	0.47	0.59	1.26
4	5.6	0.13	1078	3111	1244	2.47	0.27	0.33	1.93
5	4.2	0.14	204	2340	407	0.05	0.27	0.73	1.12
6	3.5	6.77	572	1839	708	5.12	0.20	0.46	4.17
7	4.9	2.98	142	1205	540	13.28	0.47	0.63	4.17

El nitrógeno presenta homogeneidad en los valores con poca dispersión; el fósforo presenta mayor dispersión con dos valores elevados; el potasio, calcio y magnesio no presentan valores extremos aunque si una dispersión amplia; el hierro presenta un valor extremo muy pequeño; el cobre, zinc y el manganeso presentan cierta homogeneidad en la dispersión de sus valores.

Cuadro 21. Contenido nutrimental del suelo en *Eucalyptus camaldulensis*.

Cong	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
ppm									
8	4.9	0.75	342	2598	876	16.27	0.23	1.53	17.69
9	3.5	3.55	394	2075	970	12.65	0.01	0.67	5.66
10	3.5	14.86	338	2468	934	0.49	0.41	0.49	2.07
11	4.9	0.15	330	2862	652	7.32	0.16	1.15	2.27
12	4.2	0.78	254	1974	680	1.60	0.27	0.36	17.70
13	4.2	0.08	410	1832	112	1.15	0.41	0.66	3.69
14	4.9	0.06	598	1951	790	3.57	0.27	0.63	4.82

El nitrógeno presenta homogeneidad en los valores con poca dispersión; el fósforo presenta mayor dispersión con dos valores extremos muy elevados; el potasio, calcio y magnesio presentan homogeneidad; el fierro presenta dos valores extremos elevados y uno menor; el cobre, zinc y el manganeso presentan cierta homogeneidad con la presencia de valores mayores.

Cuadro 22. Relación entre altura total y nutrimentos del suelo en *Pinus pseudostrobus*.

Parámetro	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
SC Tot	301 485								
SC Mod	94 738	17 408	53 386	142 220	149 286	115 243	16 439	85 008	153 672
F (n,m)	2.29	6.83	1.08	4.46	4.90	3.09	0.29	1.96	5.20
F (n,m; α)	0.19	0.05	0.35	0.09	0.08	0.14	0.61	0.22	0.07
R ²	0.31	0.58	0.18	0.47	0.49	0.38	0.05	0.28	0.51
P est a	1528	544	798	844	1088	511	812	770	369
H0: a=0	2.59	7.66	4.61	7.20	5.12	4.90	2.45	6.37	2.71
Pb> a	0.05	0.001	0.006	0.001	0.004	0.004	0.06	0.001	0.04
P est b	-189	66	-0.29	-0.06	-0.54	31	-493	-135	118
H0: b=0	-1.51	2.61	-1.04	-2.11	-2.21	1.76	-0.54	-1.40	2.28

Los nutrimentos que se aprecian con menor efecto son Cu, K, Zn, N y Fe con valores de R² bajos y niveles de significancia igual o mayor a 0.1 Ca, Mg, Mn y P presentan valores de R² mayores con niveles de significancia de 0.05 a 0.09 tres de los nueve presentan un coeficiente b positivo: P, Fe y Mn.

A continuación se presentan las Figuras 8, 9 y 10 con los nutrimentos que presentaron un valor de R² mayor a 0.5 con altura total.

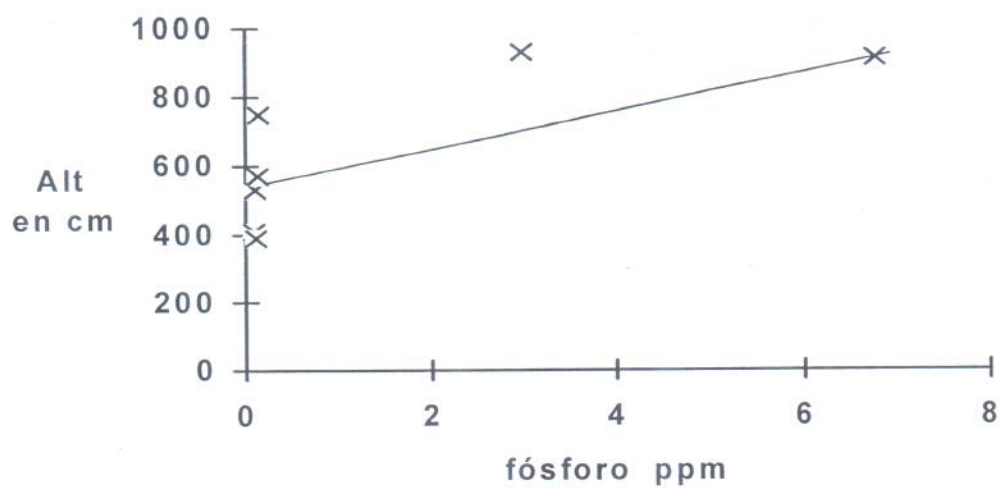


Figura 9. Relación entre la altura total y el contenido de Fósforo en *Pinus pseudostrobus*.

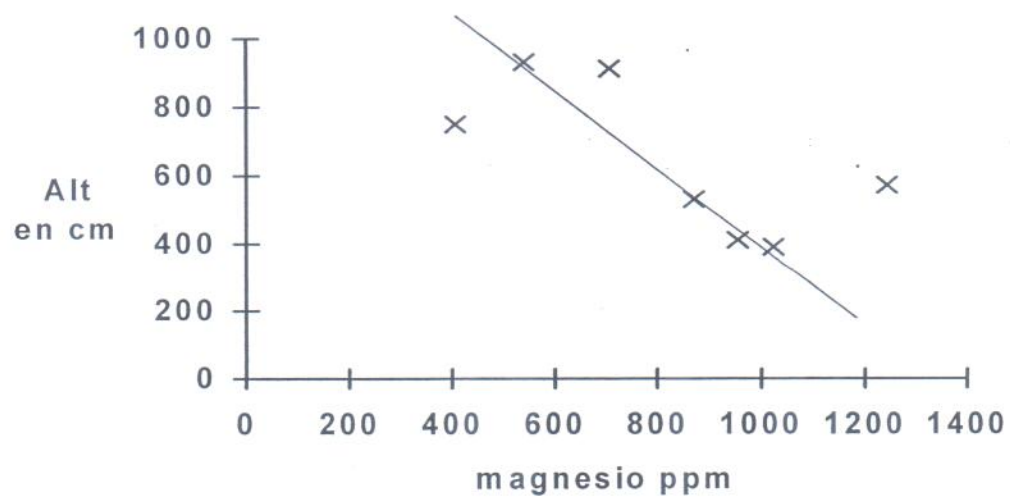


Figura 10. Relación entre la altura total el contenido de Magnesio en *Pinus pseudostrobus*.

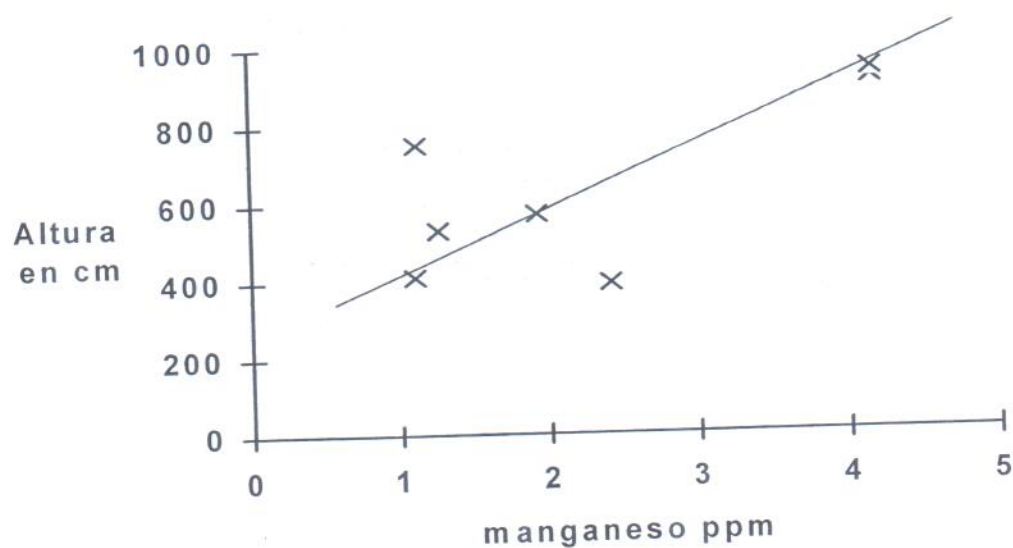


Figura 11. Relación entre la altura total y el contenido de Manganeso en *Pinus pseudostrobus*.

En la Figura 11 se observa como los dos valores repetidos y de mayor concentración del nutrimento Mn marcan la tendencia positiva.

A continuación en el Cuadro 23 se presentan los resultados del análisis de regresión entre la altura total y los nutrimentos del suelo para *Eucalyptus camaldulensis*.

Cuadro 23. Relación entre altura total y nutrimentos del suelo en *Eucalyptus camaldulensis*.

Parm.	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
SC Tot	419 085								
SCMod	7 544	19 818	59 426	145 051	129 513	296 650	94 932	18 0622	29 339
F (n,m)	0.09	0.25	0.83	2.65	2.24	12.11	1.46	3.79	0.38
F (n,m; α)	0.77	0.64	0.40	0.16	0.19	0.02	0.28	0.11	0.57
R ²	0.02	0.05	0.14	0.35	0.31	0.71	0.23	0.43	0.07
P.est. a	856	1129	748	1995	1458	1319	874	1430	1176
H0: a=0	1.06	9.16	1.88	3.57	5.67	15.22	4.19	7.55	7.14
Pb> a	0.34	0.0003	0.12	0.02	0.002	0.0001	0.01	0.001	0.001
P.est. b	56.	-11	0.92	-0.40	-0.50	-36	893	-423	-10
H0: b=0	0.30	-0.50	0.91	-1.63	-1.49	-3.48	1.21	-1.95	-0.61

En los análisis de regresión anteriores se observan tres nutrientes (N, P, Mn) con valores de R^2 menores a 0.01 en Alt, que son muy bajos; cuatro nutrientes (K, Ca, Mg, Cu) con valores entre 0.1 y 0.35; Zn presenta un valor de R^2 de 0.43 para Alt; los correspondientes de F (n,m; α) son 0.11 y 0.16; los valores R^2 de hierro son 0.71 y 0.70 con un F (n,m; α) de 0.02, menor a 0.05 lo que indica que el efecto de este nutriente es significativo. A continuación se presenta la Figura 11 que muestra la relación entre las variables de altura total en relación al contenido de Fe en el suelo para *Eucalyptus camaldulensis*.

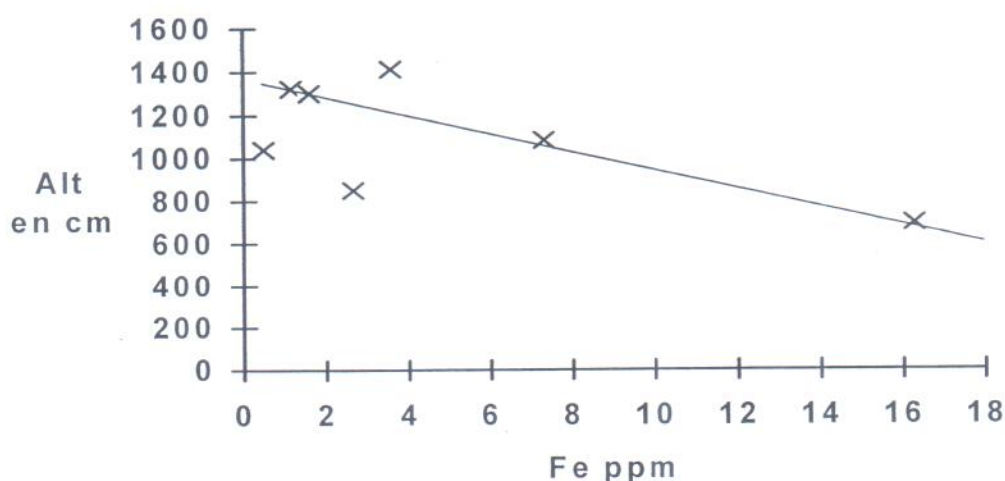


Figura 12. Relación entre la altura total y el contenido de Hierro en *Eucalyptus camaldulensis*.

Los puntos asociados a las mayores concentraciones de Fe detectadas en las muestras tienen el mayor efecto en los resultados del análisis de regresión, hacen marcada la tendencia negativa que tiene el nutriente.

Con base en los valores observados de R^2 y F (n,m; α) que estiman la respuesta a la concentración de nutrientes en el suelo, se determina que el *Pinus pseudostrobus* presenta mayor relación con este factor edáfico. Como ya se indicó el *Pinus pseudostrobus* exhibe mayor sensibilidad al manganeso (Mn) y *Eucalyptus camaldulensis* al hierro (Fe).

Los resultados de la conjunción de valores nutrimentales del suelo conforme a los modelos de las Ecuaciones 12 a 21 se muestra en el Cuadro 24 para *Pinus pseudostrobus* y en el Cuadro 25 para *Eucalyptus camaldulensis*:

Cuadro 24. Variables nutrimentales transformadas para *Pinus pseudostrobus*.

Cong	Altura total (m)	T	T ²	T ^{1/2}	Z	W
1	3.90	0	0	0	1.98	0
2	4.10	3.23	10.43	1.80	1.41	8.50
3	5.30	4.02	16.16	2.00	0.32	20.44
4	5.70	3.22	10.37	1.79	1.85	5.46
5	7.50	4.19	17.56	2.05	-6.88	2.67
6	9.10	4.85	23.52	2.20	-0.90	3692.01
7	9.30	5.83	33.99	2.41	2.04	886.35

Para T, (T², T^{1/2}) y W el primer valor es cero ya que los valores nutrimentales $x_{\min}$ y los valores de las variables nutrimentales correspondientes a la altura de referencia son los mismos.

Los valores de W no se estandarizaron por lo que presentan diferencias mayores; Z presenta valores negativos ya que el punto de referencia es el promedio y la diferencia, entre los valores nutrimentales de referencia y de la Alt o DN correspondiente, no se eleva al cuadrado sólo se estandariza.

Cuadro 25. Variables nutrimentales transformadas para *Eucalyptus camaldulensis*.

	Altura total (m)	T	T ²	T ^{1/2}	Z	W
8	6.90	0	0	0	6,4	0
9	8.50	0.69	0.48	0.83	-1.85	15.86
10	10.40	0.05	0.002	0.22	0.55	356.83
11	10.80	0.29	0.08	0.54	0.98	1.93
12	13.00	1.06	1.12	1.03	-2.73	1.62
13	13.20	2.86	8.18	1.69	-4.09	4.13
14	14.10	1.20	1.44	1.1	0.86	2.99

Los resultados de los análisis de regresión con los modelos anteriores para la altura total se muestran en el Cuadro 26 para *Pinus pseudostrobus* y en

el Cuadro 27 para *Eucalyptus camaldulensis*. Los valores de transformados $TT^{1/2}$ en ambos casos muestran la mejor relación con la variable dependiente.

Cuadro 26. Análisis de regresión entre la altura total y variables transformadas en *Pinus pseudostrobus*

Parámetro	Variables transformadas				
	T	TT^2	$T^{1/2}T$	W	Z
SC Tot			301 485		
SC Mod	199 907	239 424	253 037	148 399	34 509
F (n,m)	9.84	7.72	10.45	4.85	0.65
F (n,m; α)	0.03	0.03	0.03	0.10	0.48
R^2	0.66	0.82	0.84	0.45	0.11
P est a	286	380	388	566	641
H0: a=0	2.21	3.06	3.53	7.60	7.34
Pb> a	0.08	0.03	0.02	0.001	0.001
P est b	98	-33	303	0.11	-24
H0: b=0	32.23	83.40	100.41	0.05	29.30
Pb> b	0.03	0.64	0.04	0.10	0.48
P. est. c		24	-482		
H0: c		14.33	230.34		
Pb> c		0.13	0.10		

En estos resultados observamos que bajo los modelos: $Alt = a + bT^{1/2} + cT$ y $DN = a + bT^{1/2} + cT$ se obtiene la mejor relación entre variables.

El valor de R^2 es un poco mejor en $TT^{1/2}$ que en TT^2 , sin embargo, los valores del nivel de significancia son los mismos, por lo que en la gráfica y para el análisis se toma la conjunción de variables transformadas $TT^{1/2}$ como la que expresa mejor el efecto conjunto de los nutrimentos en el crecimiento de los árboles.

Cuadro 27. Análisis de regresión entre la altura total y variables transformadas en *Eucalyptus camaldulensis*.

Parámetro	Variables transformadas				
	T	TT ²	T ^{1/2} T	W	Z
SC Tot			419 085		
SC Mod	183 480	255 234	260 005	4 835	163 023
F (n,m)	3.89	3.11	2.27	0.06	3.18
F (n,m;α)	0.11	0.15	0.14	0.82	0.13
R ²	0.44	0.61	0.62	0.01	0.39
P est a	943.67	836.40	765.26	1110.2	1098.6
H0: a=0	8.31	6.27	4.62	9.33	12.84
Pb> a	0.0004	0.003	0.01	0.0002	0.0001
P est b	176.31	523.46	-158.6	-.021	-48.11
H0: b=0	1.97	1.90	-0.62	-0.24	-1.78
Pb> b		0.13	0.57		
P. est. c		-122.45	611.57		
H0: c		1.32	1.39		
Pb> c		0.25	0.24		

Para *Eucalyptus camaldulensis* con el modelo: $Alt = a + bT^{1/2} + cT$ se obtiene la mejor relación entre variables, sin embargo, con ninguna de las combinaciones TT² y TT^{1/2} ni ninguna de las conjunciones Z y W presenta valores del nivel de significancia menores al 0.05.

Con este análisis el *Pinus pseudostrobus* mostró tener mayor relación con las condiciones nutrimentales del suelo que *Eucalyptus camaldulensis* por lo que resalta la sensibilidad de esta especie al contenido del Fe mostrado en el análisis que relaciona los nutrimentos individualmente con el crecimiento en altura total.

A continuación se presentan las Figuras 13 y 14 de Alt en relación a la combinación de variables TT^{1/2} por ser las que mostraron la mejor salida del análisis de regresión que se explica más adelante.

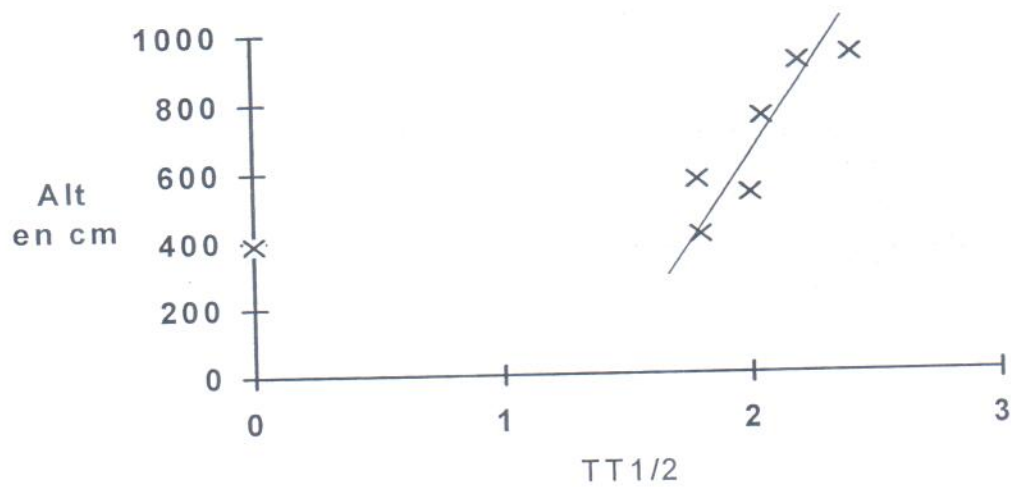


Figura 13. Relación entre la altura total y la variable transformada (T) en *Pinus pseudostrobus*.

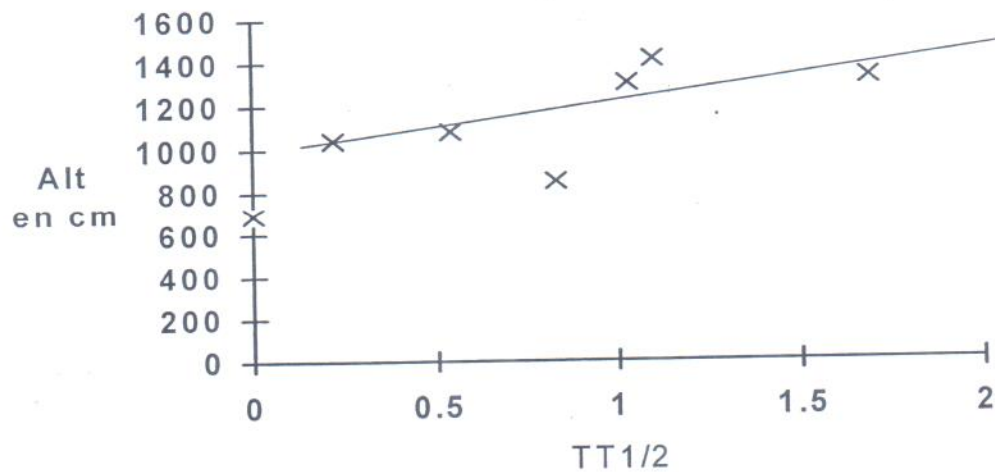


Figura 14. Relación entre la altura total y la variable transformada (T) en *Eucalyptus camaldulensis*.

Las Figuras 13 y 14 muestran un punto en el eje de las ordenadas que es el punto de referencia $x_{\min}$. Los seis puntos restantes son los que muestran la dispersión de los datos. En la Figura 13 de *Pinus pseudostrobus* se aprecia la mayor relación entre variables.

4.6 Comparación entre suelos de ambas plantaciones

La interacción e influencia de las plantas sobre el medio al disminuir la erosión debe reflejarse en un cambio sobre las características del suelo. De las variables consideradas en este estudio se esperaría un incremento de CIC, MO, N mejoría de Dap y un cambio en pH. El cambio e incremento mayor se esperaba registrar en la plantación de *Pinus pseudostrobus*, sin embargo, los valores encontrados en la comparación entre los suelos de ambas plantaciones nos indican no rechazar H_0 , lo que implica que no existen diferencias significativas entre ambos suelos.

El trabajo de reforestación si ha generado cambios en el ambiente de la zona frenando el proceso erosivo, sin embargo, con los resultados que se muestran en el Cuadro 28 observamos que en el lapso transcurrido de 23 años, no ha habido un efecto diferenciado en las características fisicoquímicas del suelo, que estén influidas por la especie forestal, sea de distribución natural como *Pinus pseudostrobus* o exótica como *Eucalyptus camaldulensis*.

Cuadro 28. Comparación entre variables fisicoquímicas y nitrógeno en suelos de *Pinus pseudostrobus* y *Eucalyptus camaldulensis*.

Parámetro	Variable				
	pH	MO	CIC	DAP	N
SC Tot	3.747	0.800	540.829	0.023	0.560
SC Mod	0.432	0.009	96.101	0.001	5.600
F (n,m)	1.560	0.140	2.590	0.380	1.330
F (n,m; α)	0.234	0.710	0.133	0.548	0.270
R ²	0.115	0.011	0.177	0.030	0.100
valor	7.145	0.982	30.718	1.151	4.500
trat 1	7.32	1.00	33.33	1.15	4.7
trat 2	6.97	0.95	28.09	1.14	4.3
v crit T	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18
v crit stud	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08
dif sig	0.61	0.29	7.08	0.05	0.75
grupo	A	A	A	A	A

Los valores tra1 y tra2 corresponden a los promedios por variable comparada en cada plantación, correspondiendo tra1 a *Pinus pseudostrobus* y trat 2 a *Eucalyptus camaldulensis*. V crit T, v crit stud y dif sig: son valores calculados sobre las diferencias entre promedios; ninguno de ellos indica que haya diferencias entre los suelos de ambas plantaciones, por lo que el valor A de grupo es el mismo para todas las variables.

4.7 Análisis de sotobosque

El muestreo del estrato herbáceo sirvió para determinar la diversidad que puede observarse en puntos específicos de la plantación; se percibió un cambio en tamaño, distribución y diversidad de especies cuando la distancia entre hileras se amplía (Cuadros 29 y 39).

La dinámica de crecimiento de especies herbáceas es muy rápida, en periodos de 15 a 30 días. Las gramíneas son más lentas, sin embargo, son más estables en el tiempo y pueden permanecer por varios meses.

En la temporada de lluvias sobre el terreno se forman estancamientos superficiales muy pequeños y se conserva mucha humedad entre los pastos debido a que el suelo es parcialmente impermeable, esto aunado a la sombra que producen los árboles, hace que se presenten briofitas, hepáticas, musgos y líquenes, adheridos a la base de las gramíneas y a los afloramientos rocosos.

El estrato herbáceo es muy sensible al cambio de estación, pues se percibió que en dos días; cuando termino la temporada de lluvias y corrió el viento sin humedad, el ambiente se seco rápidamente y la vegetación herbácea se marchitó de inmediato.

Cuadro 29. Número de herbáceas por conglomerado en *Pinus pseudostrobus*.

GÉNERO	Conglomerado							Total
Especie	1	2	3	4	5	6	7	
CAMPANULACEAE								
<i>Diastatea micranta</i>			2					2
COMPOSITAE								
<i>Conyza gnaphaloides</i>	4						2	6
<i>Cosmos bipinnatus</i>		6	4	5				15
<i>Dyssodia tenuifolia</i>				1				1
<i>Gnaphalium</i> sp							1	1
<i>Heterosperma pinnatum</i>			1					1
<i>Porophyllum tagetoides</i>					5			5
<i>Sanvitalia procumbens</i>					1			1
<i>Stevia tomentosa</i>			3					3
GRAMINAE								
<i>Aegopogon cenchroides</i>							2	2
<i>Aristida laxa</i>	3			3		3		9
<i>Lycurus phleoides</i>	3	4	1	1	9			18
LEGUMINOSAE								
<i>Desmodium intortorum</i>				1				1
LYTHRACEAE								
<i>Cuphea aequipetala</i>	1						6	7
SCROPHULARIACEAE								
<i>Buchnera elongata</i>		3			4			7
<i>Lamourouxia dasyantha</i>		2						2
VERBENACEAE								
<i>Verbena gracilis</i>		1	1			8		10
Total de individuos (N)	11	16	12	11	19	11	11	91
Total de especies (s)	4	5	6	5	4	2	4	17

Cuadro 30. Número de herbáceas por conglomerado en *Eucalyptus camaldulensis*.

Paranidulensis.								
GÉNERO	Conglomerado							Total
Especie	8	9	10	11	12	13	14	
COMPOSITAE								
<i>Conyza gnaphaloides</i>			1					1
<i>Cosmos bipinnatus</i>	6		21		4	7	8	46
<i>Erigeron</i> sp			1					1
<i>Pinaropappus roseus</i>			1			1		2
<i>Stevia hirsuta</i>	1	2		3			3	9
CONVOLVULACEAE								
<i>Ipomea capillacea</i>			5	6	13	6		30
GENTIANACEAE								
<i>Centaurium brachycalix</i>				1		4		5
GRAMINAE								
<i>Aristida divaricata</i>	2			2		5	2	11
<i>Bouteloua hirsuta</i>			2			6		8
<i>Hilaria cenchroides</i>	6						4	10
LEGUMINOSAE								
<i>Cologania angustifolia</i>						1		1
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>		1						1
POLEMONIACEAE								
<i>Loeselia coerulea</i>		1		1	12			14
RUBIACEAE								
<i>Borreria verticillata</i>				3	1		7	11
Total de individuos (N)	15	9	32	23	23	24	24	150
Total de especies (s)	4	4	6	6	4	6	5	14

Los índices de riqueza de especies se obtuvieron con el total de plantas y el número de especies por conglomerado. Los índices proporcionan la densidad de especies por m² a una distancia determinada de la línea de plantación.

Cuadro 31. Índices de diversidad de herbáceas en *Pinus pseudostrobus*-

Parámetro	Conglomerado							total
	1	2	3	4	5	6	7	
Índice $s/\sqrt{N}$	1.21	1.25	1.73	1.51	0.92	0.60	1.21	1.78
Índice $(s-1)/\ln(N)$	1.25	1.44	2.01	1.67	1.02	0.42	1.25	3.55

Los índices mantienen aparentemente una diferencia pequeña. El índice uno es más estable que el dos, ya que la tasa de incremento del $\ln$ es menor que la raíz cuadrada. Así con valores mayores de N (total de individuos) el cociente se incrementa por ello al calcular el índice en forma global sobre el total obtenemos un cociente alto (Cuadros 31 y 32).

Cuadro 32. Índices de diversidad herbáceas en *Eucalyptus camaldulensis*.

Parámetro	Conglomerado							total
	8	9	10	11	12	13	14	
Índice $s/\sqrt{N}$	1.03	1.33	1.06	1.25	0.83	1.22	1.02	1.14
Índice $(s-1)/\ln(N)$	1.11	1.37	1.44	1.59	0.96	1.57	1.26	2.59

Las diferencia con respecto a los valores obtenidos en *Pinus pseudostrobus* son pequeñas por conglomerado, no así el total que muestra índices más bajos, debido a que aumente el número de especies y plantas por conglomerado. El total de plantas es casi el doble que en *Pinus pseudostrobus*, sin embargo, el total de especies es incluso menor.

El número de plantas herbáceas y su cobertura del suelo es mayor en *Eucalyptus camaldulensis* que *Pinus pseudostrobus*, sin embargo, en ambos casos se trata de plantas pequeñas; la sombra es mayor en *Pinus pseudostrobus*; la cubierta del suelo por hojarasca es mayor en *Pinus pseudostrobus*. Aunque son pocas las especies herbáceas comunes a ambas plantaciones, también son pocas las que se presentan con más frecuencia en cada conglomerado. La mayoría de las especies herbáceas se reportan como plantas de matorral secundario, de zonas alteradas y colindantes a zonas de cultivo.

Sobre las plantas arbustivas se presentan los siguientes resultados. Su densidad y cobertura resulto ser muy baja (Cuadros 33 y 34).

Cuadro 33. Número de arbustivas en *Pinus pseudostrobus*.

Especie	Conglomerado							total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Haplopappus venetos</i>			1	2	1	2	3	9
<i>Stevia</i> sp			2				1	3

Cuadro 34. Número de arbustivas en *Eucalyptus camaldulensis*.

	Conglomerado							
Especie	8	9	10	11	12	13	14	total
<i>Stevia serrata</i>	1			1	2			4
<i>Stevia</i> sp		1					1	2
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>		1						1

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los resultados de la evaluación cualitativa a través de las variables de caracterización muestra que el desarrollo de ambas especies es deficiente, altura media para *Eucalyptus camaldulensis* y baja para *Pinus pseudostrobus*; el diámetro normal es muy similar, sin embargo, los fustes de *Eucalyptus camaldulensis* presentan severas deformaciones; el radio y área de copa son muy similares pero el follaje en *Eucalyptus camaldulensis* es poco abundante, mientras que las copas de *Pinus pseudostrobus* son muy amplias en la base.

2. La evaluación cuantitativa a través del análisis de regresión muestra que el crecimiento de los *Pinus pseudostrobus* tienen mayor relación con los nutrientes del suelo, si bien la diferencia es poca y los valores del coeficiente de determinación son bajos y el nivel de significancia es más alto que el límite de 0.05 para la mayor parte de los nutrientes. Ambas especies se ven afectadas negativamente por la concentración de varios nutrientes..

3. Las plantaciones bajo estudio muestran sensibilidad a un nutriente: *Pinus pseudostrobus* al manganeso y *Eucalyptus camaldulensis* al hierro. La respuesta al análisis del efecto conjunto de los nutrientes es mayor en *Pinus pseudostrobus*, sin embargo no es de soslayar que *Eucalyptus camaldulensis* también muestra alguna sensibilidad. De las variables fisicoquímicas del suelo la respuesta al pH es opuesta entre las especies: mientras que el medio básico es favorable para el *Eucalyptus camaldulensis*, para el *Pinus pseudostrobus* es desfavorable.

4. El efecto en el control de la erosión no se evaluó directamente, sin embargo, la diferencia en la cobertura del suelo entre ambas plantaciones es significativa, bajo *Eucalyptus camaldulensis* el suelo está más expuesto. Los índices de diversidad del sotobosque parecen ser muy similares y nos indica que no hay una influencia diferenciada sobre la vegetación asociada.. Y

finalmente un análisis comparativo de los valores fisicoquímicas indica que no hay diferencias entre los suelos de ambas plantaciones, es decir, los efectos de protección o formación del suelo a corto y mediano plazo son indistintos a la especie forestal usada.

5. La relación de crecimiento con respecto a las características edáficas es similar, el crecimiento de ambas especies es deficiente. Las diferencias en los resultados son incipientes, sin embargo, pueden ser la base del criterio para seleccionar una de las dos especies, en este caso *Pinus pseudostrobus* mostró mayor respuesta a las condiciones edáficas, sus fustes son más robustos y la biomasa de sus copas, es en apariencia, mayor.

6. LITERATURA CITADA

- Aguilar, A., J. Etchevers y J. Castellanos. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México. 217p
- Aguilera, N. 1989. Tratado de edafología (I), Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 222p
- Alcántar, G., J. Etchevers y A. Aguilar. 1992. Los análisis físicos y químicos. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Estado de México. 125p
- Alatorre, R. 1978. Evaluación de plantaciones. pp 335-337. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México D. F.
- Anónimo. 1978. Prologo. *In* Segunda reunión nacional de plantaciones forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México, D. F.
- Aparicio, F. 1997. Fundamentos de hidrología de superficie. Ed. Limusa. México, D. F. 303p
- Arriaga, V., V. Cervantes y A. Vargas-Mena. 1994. Manual de reforestación con especies nativas. Secretaría de Desarrollo Social- Instituto Nacional de Ecología – Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 219p
- Arteaga, M. B. y J. Etchevers B. 1988. *Pinus radiata*, en México y en el mundo, Colegio de Posgraduados, Estado de México. 88p
- Arteaga, M. B. 1989. Evaluación de la productividad de sitios forestales, Chapingo, Estado de México. 75p
- Ávila, M. 1978. Plantaciones forestales de uso industrial. pp 438-442. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Azuela, A., J. Carabias, E. Provencio y G. Quadri. 1993. Desarrollo sustentable, hacia una política ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 126p

- Bara, S. 1986. Fertilización forestal. Galicia, España. 191p
- Baule, H. y C. Fricker. 1970. The fertilizer treatment of forest trees, BLV, Germany. 259p
- Becerra, A. 2000. Escorrentía, erosión y conservación del suelo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 376p
- Binkley, D. 1993. Nutrición forestal. Ed. Limusa, México D. F. 380p
- Bonilla, R. y M. Ávila. 1980. Aspectos políticos de las plantaciones forestales. pp 19-58. *In Segunda Reunión Nacional de Plantaciones Forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Bonilla, R. y Carrillo, F. 1984. Desarrollo histórico, situación actual y perspectivas del establecimiento de plantaciones. pp 531-560. *In Tercera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Burgos, F. 1978. Las plantaciones como proveedoras de materia prima a una industria en especial. *In Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales*. pp 353-361. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Caballero, M. 2000. La actividad forestal en México I y II. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Caballero, M. y G. Zerecero. 1978. Necesidad de investigación sobre plantaciones forestales con especial interés en su evaluación. pp 73-78. *In Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Carabias, J. E. Provencio y C. Toledo. 1994. Manejo de recursos naturales y pobreza rural. Universidad Nacional Autónoma de México –Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 138p
- Carreño, J. 1973. Evaluación de una plantación de coníferas de 20 años de edad. Tesis. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Estado de México. 57p
- Carreño, J. 1978. Etapas principales para la evaluación de plantaciones forestales con base en un muestreo estadístico. pp 331-334. *In Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.

- Chapman, S. y P. Pratt. 1991. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas, México, D. F. 194p
- Christiansen, D. 1985. Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. Ed. Limusa. México, D. F. 300p
- Escalante, A. 1978. Establecimiento y tipos de vivero. pp 142-144. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Dávila, F y G. Manrique. 1990. Glosario de términos agrostológicos. Instituto de Biología- Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 41p
- De las Salas, G. Suelos y ecosistemas forestales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Fitzpatrick, J. 1980. Suelos. CECSA. México, D. F. 430p
- Garcidueñas, A. 1978. Recolección, distribución y almacenamiento de semillas forestales. pp 97-102. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Geissert, M. y L. Rossignol. 1987. La morfoedafología en la ordenación de paisajes rurales. INIREB. Xalapa, Veracruz. 83p
- González, C. 1978. Breve análisis de las investigaciones sobre plantaciones forestales. pp 83-87. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México, D. F.
- Granados, D. y L. Tapia. 1990. Comunidades vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 235p
- Granados, D., G. López y J. Gama. 2001. Interacciones ecológicas de las plantas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 227p.
- Granados, D. 1994. Ecología y dispersión de plantas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 113p
- Grime, P. 1980. Estrategias de adaptación de las plantas. Ed. Limusa. México, D. F. 350p
- Gutiérrez, A. 1989. Conservacionismo y desarrollo del recurso forestal. Trillas. México, D. F. 205p
- Holdridge, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 216p.

- Jasso, J. y R. Villarreal, 1978. Necesidad de la investigación sobre mejoramiento genético para las plantaciones forestales. pp 14-21. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Kelly, M. 1987. Causas y remedios de la erosión del suelo. FAO. Roma, Italia. 200p
- Kelly, T. 1995. Introducción a la economía del ambiente y recursos naturales. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. 105p.
- Kononova, M. 1989. Materia orgánica del suelo. Oikos Tau. Barcelona, España. 365p
- Krebs, Ch. 1985. Ecology. Harper and Row. New York . 400p
- Ladrach, W. 1994. Aspectos ecológicos de la reforestación. pp 423-441. *In* Cuarta Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Leff, E. 1993. Medio ambiente y desarrollo en México I y II. Coordinación de humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Leff, E. y J. Carabias. 1993. Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales, Coordinación de Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 278p
- López, R. y T. López. 1990. El diagnóstico de suelos y plantas. Mundi Prensa. Madrid, España. 363p
- Lugo, H. 1990. Elementos de Geomorfología aplicada, Instituto de Geografía- Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 250p
- Madrigal, X., J. Mas y H. González. 1978. Importancia del conocimiento del ecosistema para el establecimiento de plantaciones forestales. 1-13 pp. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Magurran, A. 1989. Diversidad ecológica y su medición. Vedral. Barcelona, España. 199p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Ed. Botas. México, D. F. 261p.
- Martín, A. 1980. Microbiología del suelo. AGT. 350p.
- Mass, J. 1984. Instructivo para el registro de datos para el inventario para manejo silvícola de plantaciones forestales de clima templado y frío.

- Mathus, G. y L. Castañeda. 1978. Preparación de terrenos. 201-206 pp. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Mejía, L. y R. Dávila. 1995. Gramíneas útiles de México. Instituto de Biología- Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 200p
- Montoya, O. 1995. El Eucalipto. Mundi Prensa. Madrid, España. 125 p.
- Narváez, I. 1978. Establecimiento y tipos de vivero. 156-159 pp. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Ortega, J. 1978. Evaluación de plantaciones forestales. pp 321-330. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México.
- Oropeza, F. 1980. Erosión del suelo en Texcoco Estado de México. Chapingo, Estado de México. Tesis.
- Ortiz, S. 1980. Edafología. Chapingo, Estado de México. 200p.
- Ortiz, T. *et al.* 1992. Evaluación cartográfica y políticas de degradación de la tierra, CP, 161p
- Padilla, H. 1987. Glosario de términos forestales. Ed. Limusa. México, D. F. 273 p
- Patiño, F. 1978. Métodos de mejoramiento genético. 88-96 pp. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Perry, J. 1991. The pines of mexico and central america. Timber press. Portland, Oregon. 231 p
- Pianka, R. 1982. Ecología evolutiva. Omega. Barcelona, España. 365 p
- Pimentel, L. 1978. Preparación del terreno en plantaciones forestales. 187-193 pp. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Pimentel, L y G. Vera. 1993. El agua en el manejo forestal. Chapingo, Estado de México. 253p
- Prichett, W. 1985. Suelos forestales. Ed. Limusa. México, D. F. 634p
- Prieto, B. y Z. Sánchez. 1992. Guía básica de la reforestación. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D. F. 74p

- Ramírez, G. 1978. Planeación y organización de plantaciones. pp 397-407. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Ramírez, H. 1978. Evaluación de la supervivencia. 229-231 pp. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Ramírez, H. y J. Torres. 1984. Análisis del desarrollo y estado actual de las experiencias prácticas y técnicas en la evaluación de plantaciones. pp 757-768. *In* Tercera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Rodríguez, C., E. Flores y F. Moreno. 1994. Evaluación de plantaciones forestales en Yebuciví, Villa Victoria, Estado de México. pp 151- 159. *In* Cuarta Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Rojas, R. 1990. El uso de los recursos naturales en México, Universidad Autónoma de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. 301p
- Rorison, H. y D. Robinson. 1986. Mineral nutrition. pp 145-215. *In* Chapman, S. y Moore, P. eds. *Methods in plant ecology*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 589p
- Ruíz, J. 1993. Manejo y conservación de suelo y agua. Universidad Autónoma Chapingo-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Chapingo, Estado de México. 429p
- Ruíz, F. 1987. Uso y manejo de tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 220p
- Rzedowski, J., La flora fanerogámica del valle de México I II III, CECSA – Instituto de Etiología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sahagun, J. 1994. Estadística descriptiva y probabilidad, una perspectiva biológica. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 341p
- Salinas, R. 1978. Problemas de enfermedades de especies forestales en viveros. pp 181-186. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.

- Sánchez, V. 1987. Hidrología forestal, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 149p
- Sheaffer, K. 1994. Técnicas de muestreo. Ed. Limusa. México, D. F. 250p
- Soberón, J. 1993. Ecología de poblaciones. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 149p
- Suprr, F. y T. Barnes. 1980. Ecología forestal. AGT. México D. F. 690p
- Steel, T. y S. Torrie. 1990. Bioestadística, Mc Graw hill. México, D. F. 200p
- Tah Huit, R. 1987. El análisis químico de suelos. Chapingo, Estado de México. 138p
- Torres, J. 1978. Método y sistemas de plantaciones forestales. pp 278-280. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Torqueblau, E. 1993. Conceptos de agroforestería, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 92p
- Valenzuela, R. 1979. Evaluación dasométrica y económica de una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. en el municipio de Rafael Ramírez, Estado de Veracruz. Universidad Autónoma Chapingo. Tesis
- Vela, L. 1978. Selección de especies. pp 208-215. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Villagómez, Y. 1978. Pruebas de semillas forestales y su aplicación en vivero. pp 103-109. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.
- Wastlake, R. 1973. Suelos forestales. Ed. Limusa. México, D. F. 300p
- Wenger, K. 1984. Forestry hanbook. John Wiley. New York. 1335p
- Young, R. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Ed. Limusa. México, D. F. 522p
- Zerecero, R. 1978. Preparación de terrenos con especial interés en maquinaria pesada. pp 194-200. *In* Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México, D. F.