

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

INFORME DE PRACTICA DE ESPECIALIDAD

**UTILIZACION DE TECNICAS HIDROPONICAS PARA LA
PROPAGACION DE ESPECIES FORESTALES**

Pablo Castillo Baldares

Cartago, 2002

UTILIZACION DE TECNICAS HIDROPONICAS PARA LA PROPAGACION DE ESPECIES FORESTALES

Pablo Castillo Baldares*

RESUMEN

El mejoramiento genético y el perfeccionamiento de las técnicas de propagación de especies forestales, implica una mejor calidad de las plantaciones forestales y por ende una alternativa de alta calidad para la constante demanda de productos forestales. El objetivo principal del presente trabajo es generar información referente a la adaptación de técnicas hidropónicas a la propagación de especies forestales. Cinco capítulos conforman la totalidad del trabajo.

En el capítulo primero se evaluó la tasa de enraizamiento en el sistema hidropónico 100% agua de las siguientes especies: *Alnus acuminata* (jaúl), *Ulmus mexicana* (tirá), *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Quercus copeyensis* (roble) y *Pinus radiata* (pino radiata). Al finalizar el ensayo el cedro dulce presentó la mayor tasa de enraizamiento (83%), seguido por el tirá (75%) y el jaúl (30%). El roble y el pino radiata presentaron un 0% de tasa de enraizamiento.

En el capítulo segundo se evaluó la tasa de enraizamiento en el sustrato “oasis” de las siguientes especies: : *Pinus radiata* (pino radiata), *Ulmus mexicana* (tirá), *Quercus copeyensis* (roble), *Alnus acuminata* (jaúl), *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Pinus patula* (pino patula). A las 11 semanas se registraron las siguientes tasas de enraizamiento: cedro dulce 65%, tirá 43% y jaúl 7%; las demás especies evaluadas presentaron 0% de tasa de enraizamiento.

El capítulo tercero abarca ensayos que buscan adaptar los sistemas hidropónicos al desarrollo de jardines clonales. También se realizó una comparación del desarrollo de las plántulas presentes en jardines clonales tradicionales y en jardines clonales hidropónicos.

Dentro del ensayo jardín clonal se evaluaron cinco sustratos y se realizó un análisis económico del establecimiento del jardín clonal hidropónico. El sustrato de piedra quinta con carbón vegetal presentó las mayores alturas dentro del ensayo. El testigo (jardín tradicional), presentó las menores alturas registradas dentro del ensayo. El establecimiento del ensayo tuvo un costo total de 238 607 colones.

El capítulo cuarto detalla el análisis fitosanitario realizado a individuos muertos y enfermos presentes en el ensayo jardín clonal. Los individuos presentes en el sustrato de piedra quinta con carbón vegetal fueron los que presentaron mejores condiciones fitosanitarias.

En el capítulo quinto se comparó el desarrollo de plántulas de *Tabebuia rosea* (roble sabana) repicadas en sustrato tradicional con las repicadas en un sustrato mixto. En el sustrato mixto se utilizó fibra de coco con piedra pómez. Las plántulas repicadas en el sustrato mixto “50/50” presentaron hojas verdaderas en menor tiempo, así como un mayor crecimiento que las plántulas repicadas en el sustrato tradicional.

Palabra clave: Hidroponía, Forestal.

* Informe de Práctica de Especialidad, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2002.

USE OF HYDROPONIC TECHNIQUES FOR FOREST SPECIES PROPAGATION

Pablo Castillo Baldares*

ABSTRACT

The genetic and forest species propagation techniques improvement, imply a better quality on forest plantations and therefore a high quality alternative for constant demand of forest products. This work's primary goal is to generate information referring to the adaptation of hydroponic techniques to forest species propagation. This work is conformed by a total of five chapters.

In the first chapter the rate of rooting of the following species in the 100% water hydroponic system was evaluated: *Alnus acuminata* (jaúl), *Ulmus mexicana* (tirá), *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Quercus copeyensis* (roble) y *Pinus radiata* (pino radiata). When finalizing the test the cedro dulce showed the greater rate of rooting (83%), followed by el tirá (75%) and then the jaúl (30%). The roble and the pino showed 0% rate of rooting.

In the second chapter the rate of rooting in the "oasis" substrate of the following species was evaluated: *Pinus radiata* (pino radiata), *Ulmus mexicana* (tirá), *Quercus copeyensis* (roble), *Alnus acuminata* (jaúl), *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Pinus patula* (pino patula). After 11 weeks the following rooting rates were registered: cedro dulce 65%, tirá 43% and jaúl 7%; all other evaluated species showed a 0% rate of rooting.

The third chapter includes tests that look for to adapt the hydroponic systems to the development of cloning gardens. Also a development comparison of seedling on traditional cloning gardens and seedling on hydroponic cloning gardens was made. Within the cloning garden test five substrates were evaluated and an economic analysis of the establishment of the cloning hydroponic garden was made. The fifth stone (piedra quinta) substrate with vegetal coal showed the greater heights within the test. The witness (traditional garden) presented the smaller heights registered within the test. The establishment of the test had a total cost of 238 607 colones.

The fourth chapter details the phytosanitary analysis made to ill and dead individuals on the cloning garden test. The individual on the fifth stone substrate with vegetal coal were those that presented better phytosanitary conditions. In the fifth chapter the development of *Tabebuia rosea* (roble sabana) seedling on traditional substrate with the ones on a mixed substrate was compared. On the mixed substrate, coconut fiber with pumice stone was used. seedling on mixed substrate 50/50 showed real leaves in smaller time, as well as a greater growth than seedling on traditional substrate.

Key word: Hydroponic, Forest.

* Practice Report of Specialty, Forest Engineering School. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 2002.

**UTILIZACION DE TECNICAS HIDROPONICAS PARA LA PROPAGACION DE
ESPECIES FORESTALES**

Informe presentado a la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica
como requisito parcial para optar al título de Bachiller en Ingeniería Forestal

Miembros del tribunal

Dr. Olman Murillo Gamboa

Ing. Braulio Vílchez

Ing. Gustavo Torres Córdoba

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mis abuelos: Jesús Baldares Molina, Carmen Carazo García y Tobías Duarte Quesada y a quien tengo la dicha de tener conmigo: Otilia Castillo Méndez.

A mis padres: Mario Castillo Méndez y Thelma Baldares Carazo.

A mis hermanos: Mario Eduardo, Fabián, Mario Ernesto y Gustavo.

A Nancy Jiménez Alvarado.

Y a todas las personas con que he compartido durante toda mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que de una u otra forma colaboraron a que este trabajo sea una realidad. Al profesor Olman Murillo por su cooperación y apoyo durante mi práctica de especialidad. A Yorleny Badilla por toda su ayuda. Al personal del vivero con quienes disfruté de su amistad y aprendí durante la realización del presente trabajo: Roberth Cubero A, Víctor Rojas C, Víctor Araya L, Ronald Chinchilla A y Jorge Umaña O. A los profesores Gustavo Torres y Braulio Vílchez. A los estudiantes: Josué Brenes B, Natalia Arce H y Evelyn Ramírez C. A Carlos y Mariam Gómez B . A Nancy Jiménez A.

A mis compañeros de curso: Osvaldo Corella, Guillermo Durán, Adrián Rodríguez y Marlon Marín.

A mis amigos del ITCR: Oscar Arias, Gustavo Hernández, Geiner Carrillo, Osvaldo Corella y Raúl Piedra.

A los compañeros y amigos durante mis años en el ITCR.

A mis amigos de siempre: Carlos Jiménez, Roy Coto, Carlos Coto, Johan Gómez, Gustavo Solano, Emilio Cuevas, Joel Muñoz y Marco Loría.

A mis padres: Mario Castillo Méndez y Thelma Baldares Carazo, muchas gracias por todo.

A mis hermanos: Mario Eduardo, Fabián, Mario Ernesto y Gustavo.

A mamita: Otilia Castillo Méndez.

TABLA DE CONTENIDOS

<i>TABLA DE CONTENIDOS</i> _____	9
<i>INDICE DE FIGURAS</i> _____	12
<i>INDICE DE CUADROS</i> _____	14
<i>INTRODUCCION</i> _____	16
<i>OBJETIVO GENERAL</i> _____	18
Objetivos específicos _____	18
<i>REVISIÓN LITERARIA</i> _____	19
Antecedentes _____	19
Nutrición de las plantas _____	20
Constituyentes _____	21
Elementos minerales y esenciales _____	22
Funciones de los elementos esenciales que se encuentran en las plantas _____	24
El suelo _____	27
Interrelación suelo-planta _____	30
Intercambio de cationes _____	30
El suelo frente a los cultivos hidropónicos _____	31
Transferencia del agua y solutos desde el suelo (o solución de nutrientes) a la raíz _____	31
Movimiento del agua y minerales a través de las membranas _____	32
Desórdenes nutricionales _____	33
Generalidades de los cultivos hidropónicos _____	36
Sustratos _____	36
Substrato o medio de cultivo líquido _____	42
Control de las soluciones; variaciones en el ph y el suministro de Fe _____	42
Enraizamiento _____	44
Sustancias promotoras del enraizamiento _____	44
Formas de aplicación de las auxinas _____	46
Concentraciones _____	48
Invernadero y enraizamiento de las estacas _____	50
El sustrato para el enraizamiento _____	52
El riego en el invernadero _____	53
Preparación de las estacas _____	53
Establecimiento y manejo del jardín clonal _____	54
Preparación de terreno _____	55

CONTINUA SIGUIENTE PAGINA

CAPÍTULO PRIMERO	56
EVALUACIÓN DE LA TASA DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE ESPECIES FORESTALES EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS 100% AGUA	56
UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYOS	57
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HDROPÓNICO 100% AGUA	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
Primera evaluación (4 ^{ta} semana)	61
Segunda evaluación(5 ^{ta} semana)	62
Tercera evaluación (13 ^{va} semana)	63
Cuarta evaluación (14 ^{va} semana)	64
Análisis Estadístico de los datos	70
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
<i>CAPÍTULO SEGUNDO</i>	82
<i>EVALUACIÓN DE LA TASA DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS MEDIANTE EL USO DE “OASIS” COMO SUSTRATO</i>	82
<i>UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYO</i>	83
<i>DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA DE ANCLAJE POR MEDIO DE “OASIS”</i>	84
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	85
Primera evaluación (semana 5)	86
Segunda evaluación (semana 11)	86
Análisis estadístico	87
<i>CONCLUSIONES</i>	90
<i>RECOMENDACIONES</i>	91

CONTINUA SIGUIENTE
PAGINA

<i>CAPÍTULO TERCERO</i>	92
<i>ESTABLECIMIENTO DE JARDÍN CLONAL EN SISTEMAS HIDROPONICOS</i>	92
UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYO	93
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO JARDÍN CLONAL HIDROPÓNICO	94
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	97
Primera evaluación (2 ^{da} semana)	98
Segunda evaluación (4 ^{ta} semana)	101
Análisis estadístico	106
CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES	117
<i>CAPÍTULO CUARTO</i>	119
<i>ANÁLISIS FITOSANITARIO DEL ENSAYO JARDÍN CLONAL</i>	119
UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYOS	120
METODOLOGÍA	120
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	121
CONCLUSIONES	128
RECOMENDACIONES	128
<i>CAPÍTULO QUINTO</i>	129
<i>USO DE SUSTRATO MIXTO PARA EL EMBOLSE DE PLÁNTULAS DE VIVERO</i>	129
UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYOS	130
DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA “50/50” (embolse con sustrato mixto)	130
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	131
Análisis estadístico	133
CONCLUSIONES	135

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las familias de las especies evaluadas en el sistema hidropónico 100% agua para el enraizamiento de estacas.	59
Figura 2. Establecimiento del ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.....	60
Figura 3. Estado del sistema radical a las cuatro semanas de las estacas en el ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.....	62
Figura 4. Desarrollo del sistema radical de estacas a las 5 semanas en el ensayo enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.	63
Figura 5. Estado de desarrollo del sistema radical de las estacas a las 14 semanas en el ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.	66
Figuras 6, 7, 8 y 9. Plántulas de <i>Cedrela tonduzii</i> y <i>Ulmus mexicana</i> en la evaluación a las 14 semanas en el ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua. A la izquierda (arriba y abajo) cajón norte, a la derecha (arriba y abajo) cajón sur.	69
Figura 10. Estacas de <i>Cedrela tonduzii</i> , <i>Pinus patula</i> , <i>Ulmus mexicana</i> , <i>Alnus acuminata</i> y <i>Pinus radiata</i> (respectivamente) en el sustrato “oasis”.	84
Figura 11. Croquis del ensayo de enraizamiento de estacas con sustrato “oasis”.....	85
Figura 12. Plántulas de <i>Eucalyptus globulus</i> en el sistema de canoas con sustrato a las 2 semanas de iniciado el ensayo jardín clonal hidropónico.....	99
Figura 13. Plántulas de <i>Eucalyptus globulus</i> en el sistema raíz libre, en la primera evaluación para el ensayo jardín clonal hidropónico.	99
Figura 14. Plántulas de <i>Eucalyptus globulus</i> en potes (testigo) a las 2 semanas, en el ensayo jardín clonal hidropónico.....	100
Figura 15. Estado de las mejores plántulas de <i>Eucalyptus globulus</i> presentes en el ensayo jardín clonal hidropónico.....	102
Figura 16. Plántula de <i>Eucalyptus globulus</i> que presentó en la segunda evaluación, el mejor porte y la mayor altura dentro del tratamiento testigo del ensayo jardín clonal hidropónico.	103

CONTINUA SIGUIENTE PAGINA

Figura 17. Plántula de <i>Eucalyptus globulus</i> afectada por las altas temperaturas presentes en el jardín clonal hidropónico.....	104
Figuras 18, 19 y 20. Sistema radical de las plántulas de <i>Eucalyptus globulus</i> en el sistema raíz libre del ensayo jardín clonal hidropónico.....	105
Figuras 21 y 22. Fotografías al microscopio (10x10 derecha y 10x40 izquierda) del montaje de disolución de raíces de <i>Eucalyptus globulus</i> en el ensayo jardín clonal hidropónico.....	123
Figura 23. Estado general del sistema radicular de las plántulas de <i>Eucalipto globulus</i> evaluadas en el jardín clonal hidropónico.....	124
Figura 24. Cancro (sin signos) presente en la base del tallo del individuo de <i>Eucalyptus globulus</i> C ₃ F ₃₄	124
Figuras 25 y 26. Micelio de <i>Cylindrocladium sp.</i> presente en la base del tallo de los individuos de <i>Eucalyptus globulus</i> C ₉ F ₇ y C ₉ F ₃₄	125
Figura 27. <i>Pestalotia sp</i> en hojas de <i>Eucalyptus globulus</i> en el ensayo jardín clonal hidropónico.....	126
Figura 28. Pudrición de los tejidos del tallo en <i>Eucalyptus globulus</i> presente en algunos individuos en el ensayo jardín clonal hidropónico.....	126
Figura 29 y 30. Plántulas de <i>Tabebuia rosea</i> 10 días después de ser repicadas en bolsas con sustrato tradicional(izquierda) y en el sistema “50/50”(derecha).....	131
Figura 31 y 32. Plántula de <i>Tabebuia rosea</i> que presentó el mejor crecimiento 23 días después del repique en bolsas con sustrato “50/50”(izquierda) y en bolsa con sustrato tradicional(derecha).	132
Figuras 33 y 34. Plántulas de <i>Tabebuia rosea</i> 27 días después de ser repicadas en las bolsas “50/50”(izquierda) y en las bolsas con sustrato tradicional (derecha).....	133

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Elementos esenciales para la mayoría de las plantas.	23
Cuadro 2. Resultados obtenidos a la cuarta(1), quinta(2) y doceava(3) semana de evaluación del ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.	61
Cuadro 3. Largo en milímetros a las 14 semanas de las raíces desarrolladas por las estacas enraizadas en el ensayo enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua	65
Cuadro 4. Índice de crecimiento medio semanal (IMS) del sistema radical en tirrá, cedro dulce y jaúl a las 14 semanas de evaluación.	66
Cuadro 5. Alturas de tirrá, cedro dulce y jaúl a las 14 semanas de haber iniciado el ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.	68
Cuadro 6. Análisis de varianza para la tasa de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua a diferentes semanas.	74
Cuadro 7. Comparación múltiple (Waller-Duncan) de la tasa de enraizamiento de las estacas evaluadas en la 4 ^{ta} , 5 ^{ta} y 13 ^{va} semana de iniciado el ensayo de enraizamiento en el sistema hidropónico 100% agua.	75
Cuadro 8. Análisis de varianza para la tasa de mortalidad en la semana 4 ^{ta} , semana 5 ^{ta} y semana 13 ^{va} .	76
Cuadro 9. Análisis de varianza para la evaluación de altura de tres especies forestales, en el ensayo Enraizamiento Agua al 100%.	77
Cuadro 10. Tasa de enraizamiento y mortalidad obtenidas en la primera evaluación (5 ^{ta} semana) y en la segunda evaluación (11 ^{va} semana) en el ensayo Enraizamiento con sustrato “oasis”.	86
Cuadro 11. Análisis de varianza para la tasa de mortalidad y enraizamiento de estacas con sustrato “Oasis”, evaluadas a 5 ^{ta} y 11 ^{va} semana de iniciado el ensayo.	88
Cuadro 12. Distribución de los individuos de las familias de <i>Eucalyptus globulus</i> en el ensayo jardín clonal hidropónico.	95
Cuadro 13. Individuos sustituidos por causa de muerte en el ensayo de jardín clonal hidropónico.	97

[CONTINUA SIGUIENTE PAGINA](#)

Cuadro 14. Promedio de alturas para cada sustrato obtenidas en la 2 ^{da} y 4 ^{ta} semana, para cada sustrato del ensayo de jardín clonal hidropónico de <i>Eucalyptus globulus</i> .	98
Cuadro 15. Distribución de individuos que se sometieron a análisis fitosanitario y de mortalidad.	106
Cuadro 16. Análisis de varianza para los sustratos, familias y repeticiones en relación a la altura de plántula medida a la 2 ^{da} y 4 ^{ta} semana.	109
Cuadro 17. Comparación múltiple (Waller-Duncan) en relación a las familias de <i>Eucalyptus globulus</i> para la altura de plántula evaluada en la 2 ^{ta} y 4 ^{ta} semana de iniciado el ensayo jardín clonal hidropónico	111
Cuadro 18. Comparación múltiple (Waller-Duncan) para los sustratos en relación a la altura evaluada en la 4 ^{ta} semana.	112
Cuadro 19. Análisis de varianza para los sustratos, repeticiones y familias de <i>Eucalyptus globulus</i> , en relación a la tasa de mortalidad, en el ensayo jardín clonal hidropónico.	113
Cuadro 20. Comparación múltiple (Waller-Duncan) para los sustratos en relación a la mortalidad evaluada en la 4 ^{ta} semana en el ensayo jardín clonal hidropónico.	113
Cuadro 21. Detalle de los costos de establecimiento del ensayo jardín clonal.	115
Cuadro 22. Diagnóstico fitosanitario de individuos enfermos de <i>Eucalyptus globulus</i> del ensayo jardín clonal hidropónico.	122
Cuadro 23. Resultados del análisis fitosanitario realizado en el ensayo jardín clonal hidropónico.	127
Cuadro 24. Altura y mortalidad de las plántulas de <i>Tabebuia rosea</i> a los 23 días en el ensayo “50/50”.	132

INTRODUCCION

La mayoría de los programas de mejoramiento genético en los trópicos se han basado en la evaluación de especies y procedencias, seguida por el establecimiento de ensayos de progenies y huertos semilleros con los mejores individuos. Sin embargo, actualmente se reconoce que la propagación vegetativa y la selección clonal ofrecen los medios para lograr mayores ganancias genéticas en el menor tiempo posible. Como lo indicó Zobel (1992), la pregunta no es si la propagación vegetativa tiene futuro en silvicultura, sino cuándo y cómo (Mesén, 1998).

Las técnicas hidropónicas comúnmente aplicadas en el cultivo de hortalizas han mostrado resultados positivos, dentro de los cuales podríamos citar: mayor concentración de cultivos por unidad de área, menor tiempo de cosecha, menor utilización de productos químicos, facilidad de asimilación por parte de los usuarios (transferencia de tecnología), disminución de problemas fitosanitarios y flexibilidad o/y independencia de los cultivos en relación con diferentes características climáticas.

Las anteriores ventajas obtenidas a partir de las técnicas hidropónicas constituyen un reto al campo forestal, en el sentido de poder adecuar estas técnicas en pos de una mejor metodología de producción y manejo de especies forestales nativas y exóticas a nivel de vivero. En programas de mejoramiento genético, la hidroponía representa especial interés, ya que hoy día la clonación del material genético seleccionado y mejorado es sin duda la principal tendencia.

La constante búsqueda de mejores técnicas y procesos que aseguren la calidad y cantidad de plántulas en el menor tiempo posible, ha puesto en el tapete a la hidroponía como una técnica innovadora. Sin embargo, por existir escasa experiencia en su aplicación en el campo forestal, la adaptación de estas técnicas exige un alto grado de dedicación, estudio y un constante proceso de prueba y error hasta generar la información necesaria para hacer de estas técnicas, una metodología eficiente y funcional en relación con las principales necesidades del campo forestal costarricense.

El presente trabajo busca generar la mayor cantidad de información relacionada con la aplicación de las técnicas hidropónicas a la propagación de especies forestales.

OBJETIVO GENERAL

Generar información referente a la adaptación de técnicas hidropónicas en la propagación de especies forestales.

Objetivos específicos

1. Evaluar la tasa de enraizamiento de *Alnus acuminata*, *Ulmus mexicana*, *Cedrela tonduzii*, *Quercus copeyensis* y *Pinus radiata* en diferentes sistemas hidropónicos.
2. Evaluar la tasa de crecimiento de *Eucalyptus globulus* en jardines clonales hidropónicos.
3. Compara jardines clonales tradicionales con jardines clonales hidropónicos en cuanto a el comportamiento de las plántulas desarrolladas.
4. Determinar los principales agentes patógenos presentes en el ensayo jardines clonales
5. Adaptar principios de hidroponía a técnicas tradicionales utilizadas en viveros forestales.

REVISIÓN LITERARIA

Antecedentes

A partir del año 1998, el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR), desarrollan un programa de mejoramiento y conservación genética de especies forestales aptas para la reforestación de las zonas altas del país (> 1000 metros de altitud). En cada una de las zonas ecológicas de mayor tamaño y potencial, se establecieron ensayos de comportamiento con nueve especies maderables: las especies nativas roble encino (*Quercus coopeyensis*), jaúl (*Alnus acuminata*), cedro dulce (*Cedrela tonduzii*), turrá (*Ulmus mexicana*) y lloró (*Cornus disciflora*); y las especies exóticas ciprés (*Cupressus lusitanica*), eucalipto de altura (*Eucalyptus globulus*), pino patula (*Pinus patula*) y pino radiata (*Pinus radiata*). Estas especies se eligieron con base en la calidad de su madera (maderas duras y semiduras), facilidad de reproducción, amplia distribución natural, alto potencial de producción maderera, velocidad de crecimiento y finalmente, su importancia ecológica (Murillo et al, 2000).

En la actualidad el programa de Mejoramiento y Conservación Genética de Especies Forestales de Altura está realizando investigaciones acerca de la utilización de técnicas hidropónicas en el campo forestal y específicamente en el mejoramiento genético.

Nutrición de las plantas

Los cultivos hidropónicos se han desarrollado a través de los estudios de los constituyentes de las plantas, los cuales han permitido descubrir los elementos esenciales de éstos. La nutrición vegetal es, por tanto, la base de la hidroponía. Cualquiera que intente emplear técnicas hidropónicas deberá tener suficientes conocimientos de nutrición vegetal. La nutrición de las plantas por medio de la utilización de soluciones de nutrientes será la llave del éxito en los cultivos hidropónicos. La absorción y transporte de los nutrientes de las plantas en éstas ha sido ya discutido. La siguiente cuestión es como mantener las plantas en un estado óptimo de nutrición. Los cultivos hidropónicos nos permiten obtener esto, pero también presentan un riesgo de error, que puede dar como resultado una rápida carencia de nutrientes u otros efectos adversos en las plantas. Es muy importante el disponer de un programa de diagnóstico que nos permita conocer el nivel nutricional de la planta en cualquier momento, para así poder evitar los desequilibrios nutricionales, que, como ya se ha dicho, limitaría el crecimiento de estas plantas. El método ideal para efectuar este diagnóstico es el análisis foliar periódico (una o dos veces por semana) y, juntamente con este test, analizar la producción de nutrientes. El nivel de cada uno de los elementos esenciales en los tejidos de las plantas y en la solución de nutrientes deberá, al determinarse, llevar de forma conjunta un ajuste en la solución de nutrientes, si es necesario, para evitar los problemas potenciales de nutrición. Desde luego, un programa de este tipo es muy costoso en tiempo y trabajo, y no es siempre económicamente asequible. Para efectuar dicho análisis es necesario un laboratorio apropiado completamente equipado, con un horno, un analizador de absorción atómica, material de vidrio y otros materiales. El costo para construir y equipar adecuadamente un laboratorio de este tipo sería muy grande; así pues, esto podría estar solamente justificado por un gran complejo de invernaderos que tuviesen un área mínima de 4 ó 5 acres. A menudo estos análisis podrían ser hechos por laboratorios comerciales, pero a veces los resultados son lentos, y un daño en las cosechas podría ocurrir antes de que recibiéramos las recomendaciones (Howard, 1997).

La alternativa para estos análisis de laboratorio podría consistir en un diagnóstico visual de los síntomas de deficiencias en nutrientes que aparecieran en las plantas. No obstante, se debe hacer énfasis en que, una vez que las plantas muestren dichos síntomas, ya han ocurrido problemas nutricionales en ella, y nos tomará algún tiempo volver a obtener su estado óptimo después de que hemos tomado los pasos necesarios para remediar el problema. Así pues, es importante identificar correctamente el problema nutricional de forma rápida para evitar una pérdida de vigor en las plantas (Howard, 1997).

Constituyentes

La composición de la materia fresca de las plantas incluye cerca de un 80 a 95 % de agua. El porcentaje exacto de ésta dependerá de la especie, así como de la turgencia de la planta en el momento de la toma de la muestra, que será el resultado de la hora del día, de la cantidad de humedad existente en el suelo, de la temperatura, de la velocidad del viento y de otros factores; debido a la variabilidad del peso fresco de las muestras, los análisis químicos se hacen usualmente basados en la materia seca, por ser más estable. La materia fresca de las plantas se seca hasta un peso constante entre veinticuatro y veintiocho horas, el peso de la materia seca resultante será aproximadamente de un 10 a un 20 % del peso inicial en fresco. Aproximadamente el 90% del peso seco de la mayoría de las plantas está formado por tres elementos: carbono (C) , oxígeno (O) e hidrógeno (H). El agua proporciona hidrógeno y oxígeno, el cual también proviene del dióxido de carbono de la atmósfera, al igual que el carbono (Howard, 1997).

Si solamente el 15% del peso en fresco de una planta es materia seca, y el 90% de ésta se encuentra representado por carbono, oxígeno e hidrógeno, entonces todos los otros elementos que existen en la planta serán aproximadamente un 1,5% del peso en fresco de ella ($0,15 \times 0,10 = 0,015$) (Howard, 1997).

Elementos minerales y esenciales

De los 92 elementos naturales que se conocen, solamente 60 de ellos han sido encontrados en diversas plantas. No obstante, muchos no se consideran esenciales para su crecimiento, y su existencia probablemente se debe a que las raíces de las plantas absorben en su entorno algunos elementos que existen en forma soluble. Las plantas, no obstante, tienen la habilidad de poder seleccionar la cantidad de los iones que absorben, no siendo normalmente esta absorción directamente proporcional a la cantidad de nutrientes que existen, puede variar esta habilidad de seleccionar cada uno de los iones en particular (Howard, 1997).

Un elemento deberá cumplir cada uno de los tres criterios que se exponen a continuación para ser considerado esencial en el crecimiento de las plantas (Arnon, 1950-1951):

- a. La planta no podrá completar su ciclo de vida en la ausencia del elemento.
- b. La acción del elemento debe ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente.
- c. El elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta; esto es, ser un constituyente de un metabolito esencial, y no ser simplemente la causa de que otros elementos sean más fácilmente asimilables, o ser al menos un antagonista de un efecto tóxico de otros elementos.

Solamente 16 elementos están generalmente considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Estos están arbitrariamente divididos entre macronutrientes (macroelementos), aquellos que son requeridos en relativa gran cantidad por las plantas y los micronutrientes (elementos traza o menores), aquellos que son necesitados en considerablemente menor cantidad (Howard, 1997).

Los macroelementos incluyen carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg). Los microelementos incluyen: hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo). La concentración relativa de estos elementos encontrada en la mayoría de las plantas se da en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Elementos esenciales para la mayoría de las plantas.

Elementos	Símbolos	Peso atómico	ppm	Concentración en tejido seco %
Hidrógeno	H	1,01	60.000	6
Carbono	C	12,01	450.000	45
Oxígeno	O	16,00	450.000	45
Nitrógeno	N	14,01	15.000	1.5
Potasio	K	39,10	10.000	1.0
Calcio	Ca	40,08	5.000	0.5
Magnesio	Mg	24,32	2.000	0.2
Fósforo	P	30,98	2.000	0.2
Cloro	Cl	35,46	100	0.01
Boro	B	10,82	20	0.002
Hierro	Fe	55,85	100	0.01
Manganeso	Mn	54.94	50	0.05
Zinc	Zn	65,38	20	0.002
Cobre	Cu	63,54	6	0.0006
Molibdeno	Mo	95,95	0,1	0.0001

Fuente: Modificada de Stout, Actas de la 9^o Conferencia Anual sobre Fertilizantes de California, 1961, pp. 21-23

Aunque la mayoría de las plantas requieren solamente estos 16 elementos esenciales, algunas especies pueden necesitar otros, como: silicio (Si), níquel (Ni), aluminio (Al), cobalto (Co), vanadio (V), selenio (Se) y platino (Pl).

El cobalto es utilizado por las leguminosas para la fijación del nitrógeno. El níquel se cree ahora que es un elemento esencial para la enzima ureasa. El silicio se necesita como soporte, añade fuerza a los tejidos, dándoles resistencia a la infección fúngica. Especialmente en pepino donde ahora es una práctica común incluir 100 ppm en la solución nutritiva a través del uso del silicato potásico. El vanadio actúa con el molibdeno (Mo) y puede sustituirlo. El platino puede incrementar el crecimiento de las plantas en un 20%, si se utilizan productos químicos puros (reactivos de laboratorio), que no tienen las impurezas que pueden tener los fertilizantes. Normalmente, los agricultores utilizan sales fertilizantes, que contienen muchos de los elementos indicados en cantidades de trazas o menores (Howard, 1997).

El papel de los elementos esenciales está resumido a continuación. Cada uno de ellos participa en la preparación y descomposición de los diversos metabolitos necesarios para el crecimiento de las plantas. Algunos de ellos se encuentran en las enzimas y coenzimas que regulan las reacciones bioquímicas: otros son compuestos importantes en el aporte de energía y en el almacenamiento de nutrientes (Howard, 1997).

Funciones de los elementos esenciales que se encuentran en las plantas

a. Nitrógeno: Forma parte de un gran número de compuestos orgánicos necesarios, incluyendo aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila.

b. Fósforo: Forma parte también de muchos compuestos orgánicos importantes, donde se incluyen la glucosa ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos y ciertas coenzimas.

c. Potasio: Actúa como coenzima o activador de muchas enzimas. La síntesis de las proteínas requiere altos niveles de potasio. El potasio no forma parte estable en la estructura de ninguna de las moléculas que se encuentran dentro de las células de las plantas.

d. Azufre: Está incorporado dentro de diversos compuestos orgánicos que incluyen aminoácidos y proteínas. La coenzima A y las vitaminas tiamina y biotina contienen también azufre.

e. Magnesio: Es parte esencial de la molécula de clorofila, y es necesario para la actividad de muchas enzimas, incluyendo aquellos pasos más importantes en la actuación del ATP. Es esencial para mantener la estructura del ribosoma.

f. Calcio: Se encuentra a menudo precipitado como cristales de oxalato cálcico en las vacuolas. Se encuentra también en las paredes de la célula como pectato cálcico, el cual une las paredes primarias de las células adyacentes. Es preciso para mantener la integridad de la membrana y forma parte de la enzima α -amilasa. Algunas veces interfiere la capacidad del magnesio para activar las enzimas.

g. Hierro: Es necesario para la síntesis de la clorofila y es una parte esencial del citocromo, el cual actúa como portador de electrones en la fotosíntesis y en la respiración. Forma también parte esencial de la ferridoxina y, posiblemente, de la nitrato reductasa, activando también algunas otras enzimas.

h. Cloro: Necesario para la fotosíntesis, donde actúa como activador de enzimas para la producción de oxígeno a partir del agua. Se le suponen otras funciones adicionales, ya que se ven claros los efectos de su deficiencia en las raíces.

i. Manganeso: Activa una o más enzimas en la síntesis de los ácidos grasos, así como en la enzima responsable de la formación del DNA y RNA activa también la enzima deshidrogenasa en el ciclo de Krebs. Participa directamente en la producción fotosintética de O₂ a partir del H₂O y puede formar parte en la formación de la clorofila.

j. Boro: Su papel en las plantas no es bien conocido. Puede ser preciso para el transporte en el floema de los carbohidratos.

k. Zinc: Es preciso para la formación de la hormona del ácido indolacético. Activa las enzimas alcohol deshidrogenasa, ácido láctico deshidrogenasa, ácido glutámico deshidrogenasa y carbopeptidasa.

l. Cobre: Actúa como un portador de electrones y es parte de algunas enzimas. Forma parte de la plastocianina, la cual actúa en la fotosíntesis y también de oxidasa polifenol y, posiblemente, de la nitrato reductasa. Puede tomar parte en la fijación del N.

ll. Molibdeno: Actúa como portador de electrones en la conversión del nitrato de amonio y también es esencial en la fijación del N.

m. Carbono: Constituyente de todos los compuestos orgánicos encontrados en las plantas.

n. Hidrógeno: Constituyente de todos los compuestos orgánicos en los cuales el carbono también se encuentra formando parte. Es muy importante su acción en el intercambio de cationes en las relaciones planta-suelo.

o. Oxígeno: Forma parte de la mayoría de los compuestos orgánicos de las plantas. Solamente unos pocos de estos compuestos orgánicos, como por ejemplo, el caroteno, no contienen oxígeno. También da lugar al intercambio de aniones entre las raíces y el medio exterior. Es, por último, receptor terminal del H^+ en la respiración aerobia.

El suelo

Las plantas obtienen normalmente sus necesidades de agua y elementos minerales a partir del suelo. En un medio sin suelo, las plantas deberán también proveerse de agua y elementos minerales; así pues, en orden a entender las relaciones de las plantas en un sistema hidropónico. Se debe también tener en cuenta las relaciones que existen en su crecimiento en el suelo (Howard, 1997).

El suelo provee cuatro necesidades importantes de las plantas:

- a. El aporte de agua.
- b. Un aporte de los nutrientes esenciales.
- c. Un aporte de oxígeno, y por último
- d. Un soporte para el sistema radicular de las plantas.

Los suelos minerales están formados de cuatro componentes principales: los elementos minerales, la materia orgánica, el agua y el aire. Por ejemplo, una composición en volumen de un suelo que se puede representar como franco limoso en condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas estará formado por 25% de agua, 25% de aire, 45% de materia mineral y 5% de materia orgánica. La material mineral (inorgánica) está compuesta por pequeñas rocas fragmentadas y también por varias clases de minerales. La materia orgánica representa una acumulación de residuos vegetales y animales parcialmente descompuestos.

La materia orgánica del suelo podríamos considerarla formada por dos grupos:

- a. Tejidos originales y otros equivalentes parcialmente descompuestos.
- b. Humus.

Los tejidos originales incluyen materias animales y vegetales aún no descompuestas, las cuales están sujetas al ataque de los organismos del suelo tanto animales como vegetales, que utilizan como fuente de energía para la construcción de su propio tejido. El humus es el producto más resistente de la descomposición, tanto de la efectuada por la sintetización a través de los microorganismos como aquellas que se obtienen por la modificación de los tejidos originales de las plantas. El agua del suelo se obtiene en los poros del suelo, y, junto con las sales que se encuentran disueltas en ellas, dan lugar a las soluciones del suelo, que son muy importantes como medio para suministrar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. El aire del suelo está también situado en los poros de éste y tiene un mayor contenido de dióxido de carbono y menor de oxígeno del que se encuentra normalmente en la atmósfera. El aire del suelo es muy importante para suministrar el oxígeno y el dióxido de carbono a todos los organismos del suelo y también a las raíces de las plantas (Howard, 1997). La posibilidad del suelo de suministrar una nutrición adecuada a las plantas depende de cuatro factores:

- a. La cantidad de los diversos elementos esenciales presentes en el suelo.
- b. Sus formas y combinaciones.
- c. El proceso por el cual estos elementos se convierten en utilizables por las plantas.
- d. La solución del suelo y su ph.

La cantidad de los diversos elementos presentes en el suelo dependerá de la naturaleza de éste y del contenido que tenga en materia orgánica, puesto que ésta es la fuente de muchos de los elementos nutrientes. Los nutrientes del suelo existen tanto en una forma completa de compuestos insolubles como en forma simple, usualmente soluble en el agua del suelo y lista para ser utilizada por las plantas. Las formas complejas deberán ser rotas por descomposición, para así obtener formas simples más fácilmente dispuestas para ayudar a las plantas. Estas formas están resumidas en el cuadro 1. La reacción de la solución del suelo (pH) determinará la disponibilidad de los diversos elementos de la planta. El pH se medirá en acidez o alcalinidad. Un suelo es ácido si su pH es menor que 7, y alcalino si su pH es superior a 7. Dado que el pH es una función logarítmica, el cambio de una unidad en el pH supone un cambio de diez veces en la concentración del H^+ . Por tanto cualquier cambio de unidad en el pH puede tener un amplio efecto en la disponibilidad de iones para las plantas (Howard, 1997).

La mayoría de las plantas prefieren un nivel de pH entre 6 y 7 como pH óptimo para la absorción de los nutrientes. Hierro, manganeso y zinc se convierten en menos disponibles si su pH se eleva de 6,5 a 7,5 u 8; el molibdeno y el fósforo, por el contrario, están aceptados en su poder de absorción por las plantas mientras mayores sean los niveles de pH. En valores muy altos del pH, el ion bicarbonato (HCO) puede estar presente en suficiente cantidad como para interferir la disponibilidad de otros iones, y, por tanto, causar detrimento para un crecimiento óptimo (Howard, 1997).

Cuando las sales inorgánicas están colocadas en una solución diluida, se disocian en unidades cargadas eléctricamente llamadas iones. Estos iones son disponibles para las plantas a partir de la superficie de los coloides del suelo y también de las sales presentes en la solución (Howard, 1997).

Los iones cargados positivamente (cationes), como, por ejemplo, el potasio (K^+) y el calcio (Ca^{++}), son la mayoría de las veces absorbidos por los coloides del suelo. Mientras que los iones cargados negativamente (aniones), tales como el cloro (Cl^-) y el sulfato (SO_4) suelen encontrarse en la solución del suelo (Howard, 1997).

Interrelación suelo-planta

Las raíces de las plantas y los pelos radiculares de éstas están en un íntimo contacto con la superficie de los coloides del suelo. La toma de nutrientes por las plantas tiene lugar a través de sus raíces tanto en la superficie de los coloides del suelo como a través de la propia solución de éste. Los iones se intercambian entre los coloides del suelo y la solución de éste; este movimiento de iones tiene lugar entre la superficie de las raíces de las plantas y los coloides del suelo, así como entre estas raíces y la solución del suelo en una y otra dirección (Howard, 1997).

Intercambio de cationes

La solución del suelo es la más importante fuente de nutrientes para ser absorbida por las raíces de las plantas, y conforme ésta se va haciendo cada vez más diluida, al tomar las plantas los nutrientes de ella, éstos deberán irse reponiendo a partir de las partículas del suelo. La fase sólida del suelo proporciona elementos minerales a la solución de éste, parcialmente por medio de la solubilización de los elementos minerales y de la materia orgánica y parcialmente por la solución de sales solubles, así como en parte por el intercambio de cationes. Las partículas de arcilla cargadas negativamente y la materia orgánica sólida del suelo toman cationes tales como el calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+), sodio (Na^+), aluminio (Al^{+++}) y también iones de hidrógeno (H^+). Aniones tales como el nitrato (NO_3), fosfato (HPO_4), sulfato (SO_4), cloruro (Cl) y otros se encuentran casi exclusivamente en la solución del suelo. Los cationes también se encuentran en la solución del suelo, y su capacidad de intercambio libre con los cationes absorbidos en los coloides del suelo da lugar a que se pueda efectuar este intercambio catiónico (Howard, 1997).

El suelo frente a los cultivos hidropónicos

No existe una diferencia fisiológica entre las plantas que crecen en un cultivo hidropónico y aquellas que lo hacen en el suelo. En el suelo, tanto los componentes orgánicos como inorgánicos, deberán ser descompuestos en elementos inorgánicos tales como calcio, magnesio, nitrógeno, potasio, fósforo, hierro y otros, antes que ellos estén a disposición de las plantas. Estos elementos están adheridos a las partículas. En los cultivos hidropónicos, las raíces de las plantas son humedecidas con una solución de nutrientes que contienen estos elementos; por tanto el proceso de utilización de los minerales por las plantas es el mismo (Howard, 1997).

Transferencia del agua y solutos desde el suelo (o solución de nutrientes) a la raíz

La discusión del cultivo orgánico o inorgánico puede clarificarse a través de un estudio de cómo toman las plantas los elementos minerales. En 1932, E. Munch, de Alemania introdujo el concepto de apoplasto- symplasto para describir cómo toman las plantas el agua y los minerales. Sugirió que el agua y los iones minerales se mueven dentro de las raíces de las plantas a través de una interconexión de las paredes de las células y también de los espacios intercelulares, incluyendo los elementos de xilema, a los cuales llamó el apoplasto, o bien, a través del sistema de interconexión del protoplasma (excluyendo las vacuolas), el cual denominó symplasto. No obstante, cualquiera que sea este movimiento, la absorción está regulada por la capa de células endodérmicas que se encuentran alrededor de lo que podría llamarse cuerpo de la raíz, el cual constituye una barrera que evita el libre movimiento del agua y de los solutos a través de la célula. Existe una capa aérea, la capa de Casparian, alrededor de cada una de las células endodérmicas, la cual aísla la parte interior de la raíz, de las regiones epidérmicas exteriores y corticales, en las cuales el agua y los diversos minerales pueden moverse con relativa libertad (Howard, 1997).

Si las raíces están en contacto con una solución del suelo o nutrientes, los iones penetrarán dentro de la raíz a través del apoplasto, cruzando la epidermis a través de la corteza

hasta la capa endodérmica. Algunos iones pasarán desde el apoplasto hasta el symplasto a través de un proceso necesario de respiración activa. Puesto que el symplasto es continuo en toda la capa endodérmica, los iones se pueden mover libremente dentro del periciclo y de otras células vivientes de la raíz (Howard, 1997).

Movimiento del agua y minerales a través de las membranas

Si una sustancia se mueve cruzando una membrana celular, el número de partículas que se mueven por unidad de tiempo a través de un área dada de dicha membrana se denomina “flujo”. El flujo es igual a la permeabilidad de la membrana multiplicada por la fuerza portadora que causa la difusión de la sustancia. Esta fuerza es debida a la diferente concentración de estos iones en ambas partes de la membrana (potencial químico). Si el potencial químico del soluto es mayor en la parte exterior de la membrana, el movimiento hacia dentro se denomina pasivo, o sea, que la planta no utilizará su energía para tomar estos iones. Si una célula acumula iones a pesar de un gradiente de potencial, se deberá proveer suficiente energía para compensar esta diferencia del potencial químico. El transporte en contra de un gradiente se considerará activo desde el momento en que la célula metabolice activamente para poder llevar a cabo la absorción del soluto (Howard, 1997).

Existe gran número de teorías para explicar cómo se acopla tanto la respiración como la absorción activa, pero la mayoría de ellas emplean el mecanismo de un transportador. Por ejemplo, cuando un ion alcanza la parte exterior de la membrana de una célula, puede ocurrir una neutralización, ya que el ion se adhiere a alguna entidad molecular que forma parte de la membrana. El ion adherido a este transportador puede entonces difundirse rápidamente a través de la membrana, siendo liberado en la cara opuesta. Esta adherencia puede necesitar el gasto de energía metabólica y puede ocurrir solamente en un lado de la membrana, mientras que la liberación ocurre solamente en el otro lado de ésta. Los iones se separan y mueven dentro de la célula, y el transportador vuelve, en el momento de liberar a éstos, a ser capaz de mover más iones. La selectividad en la acumulación de iones puede ser controlada por los portadores, según sus diferentes características, para formar combinaciones específicas con los diversos iones. Por ejemplo, la absorción de potasio puede ser inhibida competitivamente por el rubidio, indicando que los dos iones utilizan el mismo transportador o el mismo sitio en éste (Howard, 1997).

La aplicación indiscriminada de grandes cantidades de fertilizantes en el suelo, sin adición de materia orgánica, da como resultado una alteración de la estructura del suelo y, consecuentemente, hace inprovechable para las plantas este abundante suministro de mineral. Esto último no será culpa de los fertilizantes, sino de la forma de suministrar éstos en el manejo de los suelos (Howard, 1997).

Desórdenes nutricionales

Un desorden nutricional es un mal funcionamiento de la fisiología de la planta, y da como resultado un crecimiento anormal, causado bien por una deficiencia o por un exceso de uno o varios elementos minerales. Este desorden lo muestra la planta, bien externa, o internamente por medio de síntomas. El diagnóstico de un desorden nutricional incluye una detallada descripción e identificación del desorden. Una deficiencia o exceso de cada uno de los elementos esenciales da lugar a diferentes síntomas en las plantas, los cuales pueden utilizarse para identificar dicho desorden (Howard, 1997).

Los elementos se agrupan básicamente en aquellos que son móviles y los que son inmóviles, siempre teniendo diferentes grados de movilidad. Los elementos móviles son aquellos que pueden translocarse de una parte a otra de la planta, moviéndose desde los lugares originales de situación (hojas viejas) a las regiones de crecimiento activo de la planta (hojas jóvenes) cuando ocurre una deficiencia. Esto da como resultado que los primeros síntomas aparezcan en las hojas más viejas de las partes más bajas de las plantas. Los elementos móviles son el magnesio, fósforo, potasio, zinc y nitrógeno. Cuando ocurre una reducción de los elementos inmóviles, no hay ninguna translocación de éstos a las regiones de desarrollo de las plantas, sino que permanecen en las hojas más viejas donde fueron originariamente depositados. Así pues, los síntomas de deficiencia aparecerán, en primer lugar, en las hojas más jóvenes de la parte superior de la planta. Los elementos inmóviles incluyen el calcio, hierro, azufre, boro, cobre y manganeso (Howard, 1997).

Es importante el detectar rápidamente los desórdenes nutricionales, ya que, conforme éstos se incrementan, los síntomas se van extendiendo más rápidamente sobre la totalidad de la planta, dando como resultado la muerte de la mayoría de los tejidos de ésta. Los síntomas característicos suelen ser muy generales, tales como clorosis (amarillamiento) y necrosis (pardeamiento) de los tejidos de las plantas. Además, los desórdenes en un elemento a menudo interfieren la capacidad de la planta para acumular otros elementos, y rápidamente aparece un exceso o deficiencia de dos o más elementos, el síndrome que aparece en los síntomas puede hacernos creer que no existe ninguna deficiencia. Bajo estas condiciones es generalmente imposible el determinar visualmente qué elementos son responsables de dichos síntomas (Howard, 1997).

A menudo, la deficiencia de un elemento permite un antagonismo hacia la absorción de otro elemento. Por ejemplo, la deficiencia del boro puede causar también una deficiencia en calcio. La deficiencia de calcio puede permitir una deficiencia en potasio y viceversa. No podemos pues, dejar de recalcar la importancia de una segura y rápida identificación en la aparición de los síntomas. Normalmente es muy positivo el cultivar plantas indicadoras entre las cosechas regulares. La susceptibilidad de las diferentes especies de plantas a los diversos desórdenes nutricionales varía de gran manera si una cosecha de tomates está siendo cultivada, el plantar algunos pimientos, lechugas e incluso una o dos malas hierbas, si se conocen que son muy sensibles a los desórdenes nutricionales, nos puede permitir el detectar rápidamente algunos síntomas. Los pepinos son muy sensibles a las deficiencias de boro y calcio; si sucede una de estas deficiencias, los pepinos indicarán los síntomas desde unos días hasta una semana antes de que aparezcan en los tomates. Este aviso hará capaz al cultivador de ajustar su solución de nutrientes para prevenir la deficiencia de la cosecha de tomates. Además, se deberá tener en cuenta que las plantas más débiles de una especie muestran antes los síntomas que las más vigorosas. Cualquier táctica que conozcamos deberá ser empleada par evitar los desórdenes nutricionales en las cosechas principales puesto que, una vez que los síntomas aparecen en dicha cosecha, es inevitable alguna reducción de ésta (Howard, 1997).

Si tiene lugar una toxicidad, el medio de cultivo deberá ser lavado con gran cantidad de agua limpia para reducir los niveles residuales en dicho medio. Este lavado puede ser hecho a lo largo de una semana a diez días, dependiendo de la severidad del desorden. No obstante, las deficiencias nutricionales son mucho más comunes que las toxicidades en los cultivos hidropónicos (Howard, 1997).

Generalidades de los cultivos hidropónicos

Sustratos

Son aptos como sustratos aquellos materiales que a causa de su granulometría y estabilidad estructural ofrecen la posibilidad de una aireación elevada. Se debe procurar, en la zona de las raíces, una proporción del 30% de sustrato y un 70% de espacio vacío, el cual será ocupado en partes iguales por aire y agua. Mientras más elevada sea la capacidad de retención de agua del sustrato, menos frecuentes deben de ser los riegos; además, deben de existir bastantes macroporos. Se puede obtener una porosidad óptima mezclando en forma apropiada materiales compactos con otros porosos y de gránulos gruesos, mejorando así la porosidad (Montero, 2002).

La estabilidad estructural será la que determine si se ha de mantener con el tiempo una porosidad correcta, dependiendo del poder de disgregación y descomposición del material, el cual debe ser lo menor posible. Para los sustratos compactos la granulometría varía entre 2-6 mm y para los porosos entre 2-15 mm; los gránulos menores a los 2 mm acarrearán la compactación del sustrato y la falta de oxígeno.

Desde el punto de vista químico, el sustrato deberá ser químicamente inactivo: mientras que desde el punto de vista biológico, el sustrato deberá estar libre de plagas y/o enfermedades (Montero, 2002).

En el lenguaje hidropónico, los sustratos son materiales sobre los que se desarrollan las raíces de las plantas; estos pueden ser sólidos o líquidos (Marulanda, 1999).

Sustratos sólidos

Los sustratos sólidos deben poseer características tales como que las partículas que lo componen deben tener un tamaño no inferior a 0.2 (la punta de un lápiz) y no superior a 7 milímetros (la uña del dedo meñique), que retengan una buena cantidad de humedad debajo de la superficie, pero que además faciliten la salida de los excesos de agua que pudieran caer con el riego o con la lluvia, de tener capacidad de retención interna, los buenos sustratos deben secarse con rapidez en su área superficial (1 cm. de profundidad), pues esto disminuye las condiciones que favorecen el desarrollo de enfermedades, que no se descompongan o que si lo hacen, lo hagan lentamente como ocurre con la granza de arroz, preferiblemente que tengan colores oscuros, son mejores si no contienen elementos nutritivos, que no contengan micro organismos perjudiciales a la salud de los seres humanos o de las plantas, que no estén contaminados por desechos industriales o humanos, que sean abundantes y fáciles de conseguir, transportar y manejar en las áreas donde se establecerá el cultivo y que tengan bajo costo y se puedan manejar con facilidad y sin peligro para quienes los manipulan. Los materiales que han sido probados y que cumplen la mayoría de estos requisitos son los siguientes:

De naturaleza orgánica

Cascarilla de arroz

Antes de sembrar o transplantar es necesario lavarla o dejarla fermentándose bien humedecida durante 8-20, días según el clima de la región (menos días para los climas más calientes). Con esto se eliminan semillas de arroz y malezas que podrían germinar cuando ya se haya establecido el cultivo. Además con el lavado se elimina almidón procedente de los granzas de arroz, que al fermentarse pueden afectar la asimilación de los nutrientes o quemar las raíces del cultivo (Marulanda, 1999).

Aserrín de maderas que no sean rojas ni de pino

El aserrín debe ser apenas una pequeña parte (entre el 15 y el 20%) del total de sustrato que se coloca en una cama de cultivo. Cantidades mayores pueden perjudicar el crecimiento y la producción de algunas plantas. Conviene lavarlos con agua caliente antes de mezclarlos (Marulanda, 1999).

De naturaleza inorgánica

Hormigón o lava volcánica (roja o negra)

Piedra pómez

Arena de río o de quebrada de agua limpia.

Estos sustratos podrían utilizarse solos y para algunas hortalizas, desde los puntos de vista químico y biológico resulta conveniente no mezclarlos. Pero debe evaluarse la posibilidad de riegos, pues necesitan mayor frecuencia debido a su escasa capacidad de retención de humedad. Si no se puede contar con sistemas de riego eficientes y económicos, la alternativa más viable es mezclarlos con alguno de los componentes orgánicos, de los cuales el mejor es la cáscara de arroz (Marulanda, 1999).

Los sustratos inorgánicos deben ser lavados hasta que suelten agua clara antes de utilizarlos porque pueden contener limos, arcillas u otras sustancias que pueden afectar la asimilación de los elementos nutritivos que se aplican con la solución (Marulanda, 1999).

Tipos más recomendados:

Ladrillo molido

Apropiado solamente cuando está libre de mortero y cal. Se recomienda el uso de azulejo u otros tipos de ladrillos que se puedan obtener de las fábricas; aquellos no vendibles y que, al molerlos, alcancen el tamaño deseado. Es mejor lavar el polvo del ladrillo molido antes de utilizarlo. Las propiedades físicas de los ladrillos son muy buenas en general; la porosidad en gránulos de 2-15 mm, es de 60% aproximadamente, y la capacidad de absorción de agua del 15%. El ladrillo molido puede fijar o ceder un elevado número de elementos, es por esto que el comienzo de su utilización debe ser sometido a un lavado previo de mínimo 48 horas en agua desionizada y caliente o en una solución al 1% de superfosfato, a la cual se le puede agregar 100-200 ml/m³ de ácido nítrico concentrado durante 24 horas para eliminar elementos no controlados (Marulanda, 1999).

Arena

De las diversas arenas existentes, la de cuarzo es la más adecuada como sustrato para los cultivos hidropónicos; sin embargo su costo es elevado. La arena corriente de río es utilizada cuando su contenido de cal es inferior al 20%; las arenas ricas en cal no son recomendables por su capacidad de inducir cambios en las soluciones nutritivas. El tamaño de los granos debe permanecer entre los 0.5-2 mm si se utilizan aspersores para el riego; y entre los 1.2-1 mm si el riego es por capilaridad. Además puede presentar problemas en la aireación si los granos son muy finos y/o causar variaciones en las concentraciones de las sales de no ser tratada correctamente (Marulanda, 1999).

Agua

Es posible utilizar agua de pozo, de lluvia bien limpia y/o las depuradas como sustrato, siempre y cuando nos aseguremos de que estén libres de materiales perjudiciales y que su contenido de sales minerales no sea muy elevado.

El contenido de sales no debe pasar los 200 mg/l; para concentraciones superiores son recomendables las soluciones nutritivas (Marulanda, 1999).

Mezclas de sustratos

Los materiales mencionados se pueden utilizar solos, pero es recomendable utilizar mezclas de algunos de ellos en diferentes proporciones (Marulanda, 1999).

Las mezclas más recomendadas de acuerdo con los ensayos hechos en varios lugares de El Salvador y Centroamérica con más de 20 especies de hortalizas son:

50% de cáscara de arroz con 50% de cascajo o piedra pómez.

50% de cáscara de arroz, 30% de hormigón volcánico y 20% de aserrín.

60% de cáscara de arroz con 40% de arena de río.

60% de cáscara de arroz con 40% de escoria volcánica.

50% de cáscara de arroz, 40% de hormigón volcánico y 10% de aserrín de madera (blanca o amarilla. No se deben utilizar los aserrines de maderas rojas ni los de pino).

En El Salvador la proporción más utilizada ha sido 50% de piedra pómez y 50% de granza de arroz; aunque también ha dado buenos resultados una mezcla hecha con 50% de granza de arroz, 30% de piedra pómez y 20% de hormigón volcánico rojo o negro (Marulanda, 1999).

Cuando se quiere cultivar hortalizas de raíz o de bulbo (ajo, cebolla, nabo, rábano, remolacha, zanahoria) es necesario esmerarse mucho en el tamaño y la uniformidad de las partículas que los componen. Pues estos deben ser pequeños, entre 1 y 7 milímetros, para favorecer la formación de las estructuras y para evitar deformaciones que afectan la calidad comercial de la producción. Para el cultivo de especies de hoja, flores, frutos o semillas, se pueden utilizar substratos con partículas de tamaño superior y la uniformidad no es tan determinante en la producción (Marulanda, 1999).

En este sistema de cultivo, la raíz de la planta crece y absorbe agua y nutrientes que son aplicados todos los días sobre las plantas y la mezcla de materiales sólidos (Marulanda, 1999).

Los substratos deben estar húmedos en el momento de echarlos en cualquier tipo de contenedores. Si se echan secos, después resulta difícil conseguir uniformidad en la distribución de la humedad y los cultivos que se siembran sobre ellos se afectan en forma grave (Marulanda, 1999).

Los substratos se echan en los contenedores comenzando desde el lugar donde se puso el drenaje hacia atrás, para evitar que la manguera se desprege del plástico. Antes de comenzar a llenar los contenedores de madera, es conveniente poner un poco de substrato en las esquinas para evitar ese riesgo, pues si la manguera se sale del plástico, podrían presentarse filtraciones que disminuyen la duración de la cama y por lo tanto, aumentan los costos de amortización por cosecha (Marulanda, 1999).

Substrato o medio de cultivo líquido

El medio de cultivo más económico y fácil de conseguir es el agua, que se usa con el mismo fin que el substrato sólido: permitir el desarrollo de las raíces y la absorción de agua y de las sustancias nutritivas adicionadas, pero en un ambiente totalmente líquido. Hasta la fecha este medio de crecimiento de plantas sólo se recomienda para el cultivo de albahaca, apio, berro, endivia, y lechuga (todas las variedades, pero principalmente las de hoja abierta, las que no forman cabeza) (Marulanda, 1999).

En zonas de clima caliente se recomienda iniciar las primeras experiencias con cultivos hidropónicos utilizando el sistema de siembra en substratos sólidos, dejando la siembra en medio líquido para etapas posteriores, cuando ya se tenga más experiencia en el manejo de cultivos no tradicionales que demandan atención diaria (Marulanda, 1999).

Control de las soluciones; variaciones en el pH y el suministro de Fe

Es recomendable sustituir las cantidades de agua absorbida por el sustrato y/o por las plantas por una cantidad equivalente de agua. Con este método se evita con facilidad y de manera efectiva un repentino aumento en las concentraciones de las sales a causa del consumo de agua por evaporación y transpiración; lo cual ocurre con mayor rapidez que la absorción de las sales. El contenido original de la solución de N y K disminuye en un cultivo de rápido crecimiento en un 25-50% la primera semana; mientras que la concentración de P lo hace en un 15-25% en el mismo período. Es necesario complementar el contenido de las soluciones por medio del aporte de las sales correspondientes solamente cuando un 50% aproximado del contenido original haya sido consumido (Montero, 2002).

Puede prescindirse de un control estricto en las concentraciones en las sales cuando estas son sustituidas por completo en un lapso de 3-4 semanas. Esto no es válido para el contenido de hierro (el cual tiende a inmovilizarse), ni para las variaciones en el pH, que de ser posible, deben de controlarse semanalmente (Montero, 2002).

Características del agua

Resh (1987) menciona que la calidad del agua es de suma importancia en los cultivos hidropónicos ya que de esto dependerá el desarrollo del cultivo. Hay que evitar aguas que contengan alta cantidad de cloruro de sodio y sales de calcio y magnesio, por lo que debe ser cambiada en forma periódica.

Aireación de los cultivos

Cultivos hidropónicos Ltda. (1989), menciona que la aireación de los cultivos es de suma importancia. En sistemas de sustratos debe ser poroso para que facilite la circulación de oxígeno. En sistemas flotantes se recomienda agitar el agua para proporcionarle oxígeno a las raíces. Las experiencias demuestran que una buena aireación optimiza los resultados.

Marulanda (1991) recomienda para una buena aireación en sistemas de sustrato, realizar escardas periódicas, y en sistemas flotantes, basta con agitar fuertemente el agua hasta formar burbujas.

ALPI (1991) menciona que no se debe mantener la raíz de la planta totalmente en agua estancada porque esto provoca asfixia. Por lo que recomienda que el sistema mantenga la solución completamente en movimiento, provocando así la aireación de las raíces.

Salisbury y Ross (1994) señalan que períodos prolongados de inundación en los cultivos sólo pueden ser soportados por el arroz por mucho tiempo, y que para que las plantas de otras especies puedan desarrollarse bajo el sistema hidropónico, es necesario un sistema de oxigenación de las raíces. También menciona que la insuficiencia de oxígeno en las raíces provoca alteraciones en los procesos metabólicos como son: la absorción insuficiente de sales minerales (sobre todo nitrato), descenso en la capacidad fotosintética, disminución en la permeabilidad de raíces al agua y acumulación de toxinas producidas por microbios alrededor de la raíz (oscurecimiento de raíces) (Gracia & Pacheco, 1997).

Datos de importancia

Después de la plantación se puede abonar y regar de forma semejante a la de los cultivos normales; no obstante, la concentración de la solución no podrá ser muy elevada. La frecuencia del riego con la solución nutritiva dependerá de la especie cultivada, de la capacidad de absorción del sustrato y de las condiciones climáticas; generalmente se recomienda que en la época principal del crecimiento, la frecuencia sea de una o dos veces diarias, mientras que en invierno sea de una a tres veces por semana. La solución tomada de cada riego por el sustrato y por la planta se renueva cada vez con la correspondiente adición de agua.

Para evitar el enriquecimiento del sustrato en sales, se debe regar copiosamente con agua el sustrato desde su parte superior cada 3 meses. Además, se debe evitar la acumulación de residuos fototóxicos o la diseminación de enfermedades ocasionados por el uso prolongado del sustrato, lo que puede ocasionar una disminución en la producción, que obligan a su sustitución (Montero, 2002).

Enraizamiento

Sustancias promotoras del enraizamiento

El propósito de tratar las estacas con reguladores del crecimiento es aumentar el porcentaje de enraizamiento, reducir el tiempo de iniciación de raíces y mejorar la calidad del sistema radical formado (Hartmann y Kester 1983). Existe gran cantidad de sustancias naturales sintéticas que han mostrado su capacidad como promotores del enraizamiento, pero los siguientes son los más comunes:

Acido Indol-acético (AIA)

El AIA es la auxina natural que se encuentra en las plantas. Su efectividad como promotor del enraizamiento es generalmente menor que la de otros compuestos sintéticos. Esto se debe a que las plantas poseen mecanismos que remueven el AIA de sus sistemas, conjugándolo con otros compuestos o destruyéndolo, lo cual reduce su efectividad; también, al ser soluble en agua, es fácilmente lavado del sitio de aplicación con lo cual obviamente deja de ejercer su efecto (Blazich 1988). Además, las soluciones no estériles de AIA son rápidamente destruidas por microorganismo y por la luz fuerte del sol (Hartmann y Kester 1983).

Acido Indol-3-butírico (AIB)

El AIB es una auxina sintética químicamente similar al AIA que en la mayoría de las especies ha demostrado ser más efectiva que cualquier otra y es actualmente la de mayor uso como sustancia promotora del enraizamiento. Tiene las ventajas de que no es tóxica en un amplio rango de concentraciones, no es degradada fácilmente por la luz o microorganismos y al ser insoluble en agua, permanece por más tiempo en el sitio de aplicación donde puede ejercer un mayor efecto (Blazich 1988).

Acido Naftalenacético (ANA)

El ANA es también una sustancia sintética con poder auxínico y es, junto al AIB, una de las promotoras del enraizamiento más utilizadas en la actualidad. Posee las mismas ventajas de estabilidad del AIB y también ha probado ser más efectiva que el AIA. Su desventaja principal es que generalmente ha mostrado ser más tóxica que el AIB bajo concentraciones similares.

Acido 2,3-Diclorofenoxiacético (2,4-D)

El 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D) es más conocido por su acción herbicida, pero en dosis muy bajas también actúa como promotor del enraizamiento de algunas especies. No se utiliza extensamente porque inhibe el desarrollo de los brotes y promueve el desarrollo de raíces cortas y retorcidas, de lento desarrollo, muy inferiores a los sistemas radicales fibrosos y vigorosos que estimula el AIB (Blazich 1988).

La fotosensibilidad del AIA, hace que se deba almacenar en recipientes de vidrio ámbar o de un material opaco. Las demás sustancias no son fotosintéticas y se pueden almacenar sin problema tanto en recipientes de materiales opacos como transparentes. Se deben mantener debidamente etiquetados en ambientes de temperatura baja, por ejemplo, en la sección inferior de un refrigerador. Al manipular estas sustancias, se debe tener presente que se trata de materiales tóxicos para el ser humano, por lo cual se deben tomar las medidas de seguridad recomendadas en estos casos.

Formas de aplicación de las auxinas

Las auxinas pueden ser aplicadas de varias formas, pero en general, los métodos más utilizados son la aplicación en polvo en mezcla con talco neutro, la inmersión rápida en soluciones concentradas, remojo en soluciones acuosas diluidas y, exclusivamente para fines experimentales, la aplicación con microjeringa (Mesén, 1998).

Las mezclas en polvo se preparan mezclando la auxina pura con talco neutro en la concentración deseada o se pueden obtener comercialmente ya preparadas. Tienen las ventajas de que son fáciles y rápidas de utilizar; basta con introducir la base humedecida de la estaca en el polvo, sacudir el exceso e introducir la estaca inmediatamente en el medio de propagación. Al utilizar este método se deben tomar pequeñas cantidades del producto y colocarse en un recipiente aparte que se utilizará para aplicar el tratamiento a las estacas. Cualquier sobrante debe ser desechado pues si se introduce de nuevo al recipiente original, puede contaminar el producto y acelerar su deterioro. Las desventajas de este método de aplicación son que es difícil logra una aplicación uniforme, requerida por ejemplo para comparaciones de dosis a nivel experimental y es difícil tratar más de una estaca a la vez, además del alto costo de los preparados comerciales (Blazich 1988).

La técnica de inmersión rápida consiste en introducir la base de la estaca en una solución concentrada de la auxina por pocos segundos e insertar inmediatamente la estaca en el medio de propagación. Cuando se utiliza AIB o ANA, la auxina debe diluirse en alcohol puro, lo cual requiere la evaporación del alcohol mediante la aplicación de una corriente de aire (por ejemplo, mediante un ventilador común) antes de introducir la estaca en el medio de enraizamiento. Esta técnica es rápida, permite tratar varias estacas a la vez y es más económica en comparación con el uso de preparados comerciales en polvo. Cuando se utiliza alcohol como solvente tiene la desventaja de que es necesaria la acción adicional de evaporar el alcohol y es difícil controlar la cantidad absorbida por las diferentes estacas.

Para preparar una solución de AIB de 0,4%, por ejemplo, se disuelve 0,4 g de AIB en 100 cc de alcohol puro. Para menos solución, se prepara sólo la cantidad aproximada que se necesita. Si se requieren sólo 10cc, por ejemplo, se disuelven 0,04 g de AIB en 10 cc de alcohol. Para 25 cc, por ejemplo, se necesitan 0,1g de AIB. Por simple “regla de tres” se puede calcular la cantidad necesaria de auxina para el volumen de solución a preparar.

La técnica del remojo consiste en introducir la base de las estacas en soluciones acuosas diluidas de la auxina durante varias horas (2-24h) y luego, colocar la estaca en el medio de propagación. Debido a la insolubilidad en agua del AIB y el ANA, cuando se utilicen estas sustancias bajo esta modalidad, es necesario diluir el producto primero en una pequeña cantidad de alcohol, antes de agregarlo al agua. Aunque la técnica permite tratar gran cantidad de estacas a la vez, es poco utilizada por ser lenta e impráctica, no es más efectiva que los otros métodos descritos y es difícil controlar la cantidad absorbida por las diferentes estacas (Mesén, 1998).

El método de la microjeringa consiste en aplicar una pequeña cantidad constante y conocida (ej. 10 ul) de la solución a la base de las estacas mediante el uso de microjeringas. Se utiliza básicamente para fines experimentales, ya que permite controlar exactamente la cantidad y dosis aplicada a diferentes estacas, independientemente de su diámetro, pubescencia, tasa de transpiración, etc. Sin embargo, el método es lento e impráctico y por lo tanto no se utiliza en operaciones comerciales. Una vez determinada la mejor dosis hormonal mediante este procedimiento, generalmente se sustituye por alguno de los métodos anteriores (Mesén, 1998).

Concentraciones

La concentración óptima de auxina varía con la clase utilizada, la especie a propagar, el tipo de material vegetativo, el método de aplicación, el sistema de propagación, etc. Esto se determinará para cada caso en particular mediante una simple prueba preliminar donde se evalúa un rango amplio de concentraciones bajo un diseño experimental apropiado (Mesén, 1998).

Las estacas generalmente responden a las dosis de auxina de una manera típica, mostrando un aumento progresivo en el número y calidad de las raíces formadas con cada aumento en la dosis de auxina hasta alcanzar un punto máximo, a partir del cual se inicia un descenso en la respuesta debido a problemas de toxicidad. Con dosis insuficientes las raíces son escasas, o puede haber formación de callo solamente sin formación de raíces. En dosis supraóptimas puede ocurrir amarillamiento y caída prematura de la hoja de la estaca, necrosis de la base de la estaca o necrosis total. También puede ocurrir una inhibición del crecimiento de los brotes, aun después de que la estaca haya enraizado (Hartmann y Kester 1983). En *Albizia guachapele*, por ejemplo, con dosis ligeramente supraóptimas ocurrió necrosis de la base de la estaca pero la emisión de raíces se inició por arriba del tejido necrosado. Dosis mayores causaron la necrosis total de la estaca (Mesén, 1993).

En trabajos realizados en el CATIE (Díaz et al. 1991 y 1992; Leakey et al. 1990; Mesén et al. 1992 y 1996; Mesén 1993; Mesén y Trejos 1998; Núñez 1997), la concentración de 0,2% de AIB ha dado los mejores resultados en *A. acuminata*, *B. quinata*, *Cedrela odorata*, *E. deglupta*, *G. arborea* y *S. macrophylla*. Con *Platymiscium pinnatum*, la dosis de 0,2% y 0,4% de AIB fueron las mejores cuando se utilizó grava o arena como sustrato, respectivamente. Algunas especies respondieron mejor ante dosis mayores, por ejemplo *Terminalia oblonga*, (0,8%), *C. alliodora* (0,8%- 1,6%) y *Hyeronima alchorneoides* (1.6%), mientras que *A. guachapele* enraizó igualmente bien con concentraciones desde 0,05% hasta 0,4% de AIB. Contraria a todas las demás especies evaluadas, *V.guatemalensis* presentó los mayores porcentajes de enraizamiento cuando no se aplicó auxina, aunque el número de raíces producidas en las estacas aumentó con dosis crecientes de AIB desde 0% hasta 0,8%. La concentración de 0,2% presentó el mejor balance entre enraizamiento y calidad del sistema radical formado. Con estos resultados se puede tener una idea del tipo de rango de dosis que podrían ser evaluadas cuando se vaya a iniciar la propagación de una especie nueva (Mesén, 1998).

Invernadero y enraizamiento de las estacas

Para lograr un adecuado enraizamiento de las estacas es necesario establecer un invernadero con condiciones para lograr los tres factores principales:

A. una reducción en la actividad fotosintética mediante la sombra de sarán por lo general

B. una humedad relativa alta (<80-90 %) y buen manejo del estrés hídrico.

C. una temperatura ambiente entre 30° y 35° C ; con la instalación de un túnel de plástico transparente debajo del sarán. (Murillo et al, 2001).

La estructura del invernadero debe ser lo más simple y funcional posible. Para sostener un techo y paredes de sarán no es necesario utilizar una estructura costosa y de gran resistencia. El uso de postes de una madera semidura (como *Tectona grandis* o *Hieronyma alchormeoides* (preferiblemente curados con alquitrán), es un material viable durante alrededor de 3 años de producción. Los postes deben lograr darle una altura al techo de sarán de unos 3 metros. El techo deberá ser solamente de sarán, mientras que las paredes del invernadero deberán estar cubiertas con sarán y plástico para lograr un mayor control de la luminosidad, evitar el efecto desecador del viento y mantener una humedad relativa alta. Dentro del invernadero deben establecerse líneas de producción o camas también de madera y poste rollizo a una altura de trabajo de 1 metro. Estas camas no deben tener más de 1 m de ancho para que el sistema de riego logre mojar de manera uniforme. Sobre estas camas se coloca una malla o cedazo bien ajustado con madera (reglas de 2x3”), como base donde se colocarán las bandejas de enraizamiento. Puede también establecerse un marco de madera alrededor de toda la cama de producción, (utilizando una regla de 2x3) sobre la cual se sostienen las bandejas de enraizamiento. Estas bandejas de enraizamiento pueden ser fabricadas con reglas de desecho o madera de bajo costo. En cada línea de producción deberá instalarse una línea de riego automático de aspersión nebulizada, con aspersores cada 1-1,5 m. En cada línea de producción deberá construirse un microtúnel con plástico transparente, procurando forrar todas las paredes y el piso de la cama. Este microtúnel deberá tener una altura no mayor a los 40 cm para lograr una alta humedad relativa y temperatura en el ambiente de enraizamiento. Es importante que cada cama o línea de producción se divida en pequeños compartimentos con plástico, para lograr un mayor control de la producción y un mejor manejo de posibles problemas fitosanitarios (Murillo et al,2001).

El sustrato para el enraizamiento

El enraizamiento de estacas requiere un sustrato especial para tal fin, que dependerá principalmente de si se cuenta o no con un sistema de riego, y de si se desea que en el mismo medio de enraizamiento sea luego transferida la nueva plántula al sitio de plantación. Si no se tiene un sistema de riego automático nebulizado, entonces deberá utilizarse un sustrato capaz de retener la humedad, entre otros, tierra con arena (50:50), tierra pura o con un 10% de granza de arroz, y los pellets o pastillas silvícolas. Las bandejas plásticas de 60 unidades funcionan bien con el sustrato tierra-arena y tierra, pero aproximadamente a las 3 semanas debe transplantarse las estacas sobrevivientes, ya que el sistema radical sufrirá enrollamiento. Esto implica que la estaca enraizada no podrá llevarse al campo en la bandeja, sino en algún otro pote como la bolsa plástica, el pellet u otra opción deseada (Murillo *et al*, 2001).

El riego en el invernadero

El riego en el invernadero debe ser preferiblemente nebulizado y automático. Si se trabaja con bandejas plásticas y un sustrato de tierra: arena (1:1), un programa de riego adecuado debe mojar unas 3 veces al día, con una duración de 30 segundos a un minuto cada vez. En días muy soleados, calurosos o ventosos, el riego deberá aumentar su frecuencia (máximo 5 veces al día). En los días lluviosos y con una alta humedad relativa, el riego debe disminuir su frecuencia a una vez al día o quizá cada dos días. Con esto se busca eliminar un exceso de humedad en el medio de enraizamiento. En caso de no contarse con un sistema de riego, se aplica en forma manual con ayuda de una bomba de espalda. Esto implica una importante dedicación de horas/hombre al día en los días calurosos. Si se realiza el enraizamiento en pellets, entonces el riego debe disminuir considerablemente, hasta 1 mojada/día con una duración de 30 segundos a 1 minuto. Se ha observado en la Zona Norte de Costa Rica, que durante períodos de mal tiempo con alta pluviosidad y humedad relativa, los pellets pueden inclusive mojarse cada 2-3 días. Mientras que en días muy soleados y calurosos puede mojarse hasta 2 veces. En caso de tener fallas con el sistema de riego automático, una posibilidad es la de utilizar una bomba de espalda mojando por unos 10-20 segundos cada bandeja (Murillo et al, 2001).

Preparación de las estacas

La identificación de todas las estacas debe mantenerse con sumo cuidado. Este es uno de los aspectos más importantes de todo el proceso, ya que no debe nunca mezclarse material procedente de diferentes clones. Por lo tanto, es recomendable establecer una organización del personal y del equipo (baldes, pellets, bandejas, etc), de modo que se garantice que el material de cada clon se procesará de manera independiente y debidamente identificado durante todo su procesamiento.

La preparación de las estacas debe realizarse siempre a la sombra y las estacas deben permanecer húmedas el mayor tiempo posible. La preparación de las estacas puede realizarse

fuera del invernadero, bajo un cobertizo cómodo y bien ventilado. Por lo general, el ambiente dentro de los invernaderos es sumamente caluroso y húmedo, lo que limita al personal en esta importante labor. Toda la labor de preparación de las estacas, su desinfección, inmersión en el enraizador y siembra en la bandeja o pellet puede ser realizada fuera del invernadero (Murillo et al, 2001).

En *Tectona grandis* se ha obtenido mejores tasas de enraizamiento al utilizar el primer brote o cogollo que se produce de estacas recién enraizadas dentro del invernadero (a las 4 semanas). Este primer brote es mucho más delgado que el brote proveniente del jardín clonal y se adapta mejor a los pellets de 30 mm. Este material es mucho más delgado, sano y succulento, lo cual lo hace ideal para su propagación vegetativa, además de que acelera la tasa de propagación del programa. Cuando se aplica esta técnica, las estacas a las que se les podó su primer brote deberán permanecer al menos una semana más dentro del invernadero (Murillo et al, 2001).

Establecimiento y manejo del jardín clonal

El jardín clonal o área de multiplicación es uno de los componentes principales de todo el sistema de reforestación clonal. Este debe verse como un cultivo que será manejado en un sistema de producción muy intensivo, que requiere por tanto de un buen manejo del estado nutricional de las plantas. El sitio donde se establece el jardín clonal debe ser preferiblemente de alta productividad agrícola, sin problemas de drenaje, fácil acceso y disponibilidad de agua y electricidad de ser posible (Murillo et al, 2001).

Preparación de terreno

El terreno debe ser arado y rastreado (preferiblemente 2 veces) unos 2 meses previos al inicio de la siembra del material enraizado. En caso de existir alguna pendiente debe incluirse la abertura de desagües o salidas del agua. Si se tiene algún problema de drenaje, el terreno deberá ser subsolado a unos 50 cm de profundidad. Para mejorar las características físicas y propiedades químicas del suelo, se puede incluir la aplicación de abono orgánico y CaCO_3 (cal), que puede ser incluido durante el trabajo de rastreado del terreno (Murillo *et al*, 2001). Si el ph en el sitio es muy bajo (ácido), este debe ser corregido con un encalado (carbonato de calcio) con base en la siguiente fórmula:

$$\text{Toneladas de carbonato de calcio/ha} = \frac{1,8 (\% \text{ saturación Al}) - 25 * \text{CICE}}{100}$$

La cal debe ser aplicada de forma superficial y con una distribución homogénea en el campo. Debido a que la cal requiere de humedad para reaccionar, el momento apropiado para aplicarla es en época cercana al inicio de las lluvias. Si la acidez del suelo es muy alta, el encalado deberá repetirse al menos dos veces al año y procurando realizarlo al menos un mes antes de aplicar el abono orgánico. El jardín clonal deberá ser fertilizado en forma abundante con abono orgánico unas dos veces al año (Murillo *et al*, 2001).

En el mercado es posible también conseguir una gama de productos orgánicos alternativos a los fertilizantes sintéticos. Algunos de estos productos son el Humate GR y el Lombricompost (125 sacos a \$5,91/saco). Estos productos, al igual que el abono orgánico, pueden ser aplicados unas dos veces al año (Murillo *et al*, 2001).

El uso de herbicidas no es recomendable ya que el jardín clonal se irá estableciendo lentamente y su mayor parte no estará ocupado sino hasta unos 10-12 meses de iniciado el programa (Murillo *et al*, 2001).

CAPÍTULO PRIMERO

EVALUACIÓN DE LA TASA DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE ESPECIES FORESTALES EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS 100% AGUA

La evaluación de la tasa de enraizamiento mediante diferentes técnicas hidropónicas, constituye la primera área en la cual el presente estudio hace ingerencia. Para cumplir con los objetivos, esta área se subdividió en dos técnicas: agua al 100% y en sustratos hidropónicos. Los temas relacionados con este tema se encuentran desarrollados en el Capítulo Primero y en el Capítulo Segundo.

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYOS

Los ensayos se realizaron en las instalaciones del vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica ubicado en la provincia de Cartago, Costa Rica; a una altitud de 1440 m.s.n.m y registros promedios anuales de temperatura de 21 grados centígrados y 1947 milímetros de precipitación. La zona de vida según la clasificación del sistema Holdridge corresponde al Bosque húmedo premontano (Bh-p). Las condiciones específicas en las cuales se desarrolló el ensayo fueron las que se presentan en el invernadero del vivero forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR. Este se caracteriza por tener paredes de plástico y sarán y techo de sarán (60% oscuridad). Se ubica a una altura de 1440 m. en la provincia de Cartago (Campus del ITCR y registra una temperatura promedio dentro del invernadero de 24 grados centígrados.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HDROPÓNICO 100% AGUA

Se construyeron cuatro cajones de madera de ciprés de 110 x 65 x 20 cm, a los cuales se les cubrió el fondo con plástico negro para así lograr la impermeabilidad necesaria para el ensayo. Se agregó agua hasta alcanzar una altura aproximada de 8.5 a 9.5 cm aproximadamente. Los cajones se equiparon con una bomba de agua para pecera ELITE 802(110 Volts AC, 4.0 watts, air output: 2500cc/min. X 2), para mantener la oxigenación del agua vertida en los recipientes. (Se utilizó una bomba para oxigenar dos cajones). Se prepararon estacas con 1 o 2 nudos (entre 5 y 8 cm de largo) y aproximadamente con un tercio de una única lámina foliar, las estacas se colocaron para su enraizamiento en una lámina de estereofón de 100 x 55 cm, a través de un orificio, con la ayuda de algodón se logró mantener las estacas erectas. Dicha lámina de estereofón fue perforada con un taladro para obtener un total de 118 agujeros. Se identificaron como cajón Sur y cajón Norte según su ubicación. Al tratamiento 1 (cajón Norte) se le aplicó una dosis de Micromins Bioestimulante (formulada por Stoller) de 0,6 ml por litro y al tratamiento 2 (cajón Sur) no se le aplicó ningún tipo de tratamiento. Las especies evaluadas fueron: *Alnus acuminata* (jaúl), *Ulmus mexicana* (tirá), *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Quercus copeyensis* (roble) y *Pinus radiata* (pino radiata). Las estacas se organizaron en el ensayo siguiendo un diseño experimental de bloques completos al azar. De cada especie se sembraron 12 estacas repetidas 4 veces (dos repeticiones en condiciones con y sin Micromins bioestimulante respectivamente). Para el caso de *Cedrela tonduzii* se utilizaron cuatro familias representadas por seis individuos (tres con Micromins bioestimulante y tres sin ningún tratamiento). Mientras que para el resto de especies se utilizó una única familia. Los cajones se mantuvieron con un volumen aproximado de 60 litros. La dosis del Micromins bioestimulante fue de 36 ml por cajón y las dosis de nutrientes mayores era de 30 ml por cajón e igual cantidad de nutrientes menores. La figura 1 muestra la distribución del ensayo.

7		34		19		4		4			10		1		4		13		2
7		34		19		4		4			10		1		4		13		2
7		34		19		4		4			10		1		4		13		2
7		34		14		4		4			10		1		7		13		2
7		34		14		4		4			10		1		7		13		2
7		34		14		4		4			10		1		7		13		2
7		34		14		4		4			10		1		7		13		2
7		34		14		4		4			10		1		7		13		2
7		34		14		4		4			10		1		7		13		2
7		34		19		4		4			10		1		4		13		2
7		34		19		4		4			10		1		4		13		2
7		34		19		4		4			10		1		4		13		2
1	2	3			4	5				5	4	3	2	1					

Figura 1. Distribución de las familias de las especies evaluadas en el sistema hidropónico 100% agua para el enraizamiento de estacas.

Donde: 1= Tirrá, 2= Jaúl, 3= Cedro dulce, 4= Roble, 5= Pino

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Figura 2. Establecimiento del ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.

Las evaluaciones se realizaron a los 30 días (4 semanas), 40 días (seis semanas) y 105 días (12 semanas), en el cuadro 2 se muestran los resultados de mortalidad y enraizamiento registrados. Los resultados que aparecen en dicho cuadro son el promedio de dos repeticiones dentro de cada cajón.

Cuadro 2. Resultados obtenidos a la cuarta(1), quinta(2) y doceava(3) semana de evaluación del ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.

Especie	Tratamiento sin bioestimulante						Tratamiento con bioestimulante					
	Enraizamiento (%)			Mortalidad (%)			Enraizamiento (%)			Mortalidad (%)		
	E ₁	E ₂	E ₃	M ₁	M ₂	M ₃	E ₁	E ₂	E ₃	M ₁	M ₂	M ₃
Tirrá	62,50	70,83	75,00	16,67	16,67	20,83	29,17	41,67	58,33	29,17	29,17	37,50
Jaúl	0,00	0,00	29,17	12,50	29,17	45,83	0,00	0,00	16,67	37,50	45,83	66,67
Cedro dulce	0,00	4,17	83,33	8,33	8,33	8,33	16,67	16,67	83,33	4,17	4,17	4,17
Roble	0,00	0,00	0,00	58,33	75,00	100,00	0,00	0,00	0,00	16,67	75,00	100,00
Pino raidata	0,00	0,00	0,00	4,17	4,17	4,17	0,00	0,00	0,00	12,50	20,83	33,33

Primera evaluación (4^{ta} semana)

El tirrá fue la especie que presentó mayor porcentaje de enraizamiento para ambos tratamientos (62,5 y 29 respectivamente). Seguida por el cedro dulce con un porcentaje de 17 para el tratamiento en el cual aplicó Micromins bioestimulante (cajón norte); la mayor tasa de mortalidad en el primer tratamiento la presentó el roble (58,3) mientras que en el segundo, la especie que reportó la mayor mortalidad fue el jaúl. El tratamiento con bioestimulante reportó las menores tasas de enraizamiento para todas las especies excepto en el caso del cedro dulce. A los quince días de establecido el ensayo, la incidencia de algas tanto en el estereofón como en la disolución, obligó a la aplicación del producto comercial Vitavax Wp a una dosis de 25 cc por cada siete litros de agua, esta aplicación erradicó a las algas presentes en el ensayo y se realizó en forma manual con la ayuda de una regadera convencional. El estado de las estacas a las 4 semanas de establecido el ensayo se ilustra en la figura 3.



Figura 3. Estado del sistema radical a las cuatro semanas de las estacas en el ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.

Segunda evaluación(5^{ta} semana)

Se presentó un aumento en la tasa de enraizamiento tanto para el turrá como para el cedro dulce (cajón sur). El turrá presentó un aumento del 12,5% en la tasa de enraizamiento para el tratamiento con bioestimulante (cajón norte); el Roble fue la especie que reportó el mayor incremento en la tasa de mortalidad, alcanzando un 75% en ambos tratamientos. En el caso del turrá y el cedro la tasa de mortalidad se mantuvo con el mismo porcentaje que en la evaluación anterior. El estado de las estacas a las 5 semanas de iniciado el ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua, se muestra en la figura 4.

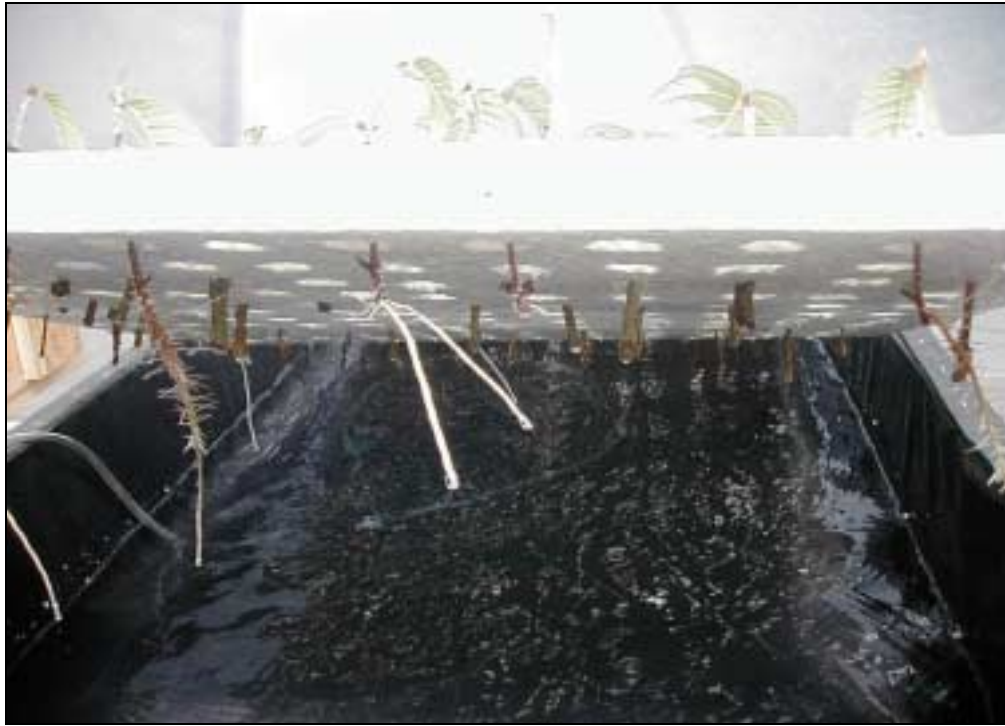


Figura 4. Desarrollo del sistema radical de estacas a las 5 semanas en el ensayo enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.

Es importante aclarar que a partir de la segunda evaluación el ensayo fue oficialmente finalizado; sin embargo por las características del mismo y por existir la posibilidad de obtener más datos, el ensayo se mantuvo activo. Por lo anterior el día 5 de abril de 2002 se incorporó al ensayo la aplicación de nutrientes mayores y menores, para observar el crecimiento de los individuos que habían producido algún tipo de raíz. Este tratamiento se aplicó a ambos cajones, sin la diferenciación inicial de los tratamientos.

Tercera evaluación (13^{va} semana)

El cedro dulce alcanzó un 83,33% en la tasa de enraizamiento (en ambos tratamientos), superando los porcentajes presentados por el tirrá, que había aumentado en un 5% en el primer tratamiento y 17% en el segundo tratamiento. Además el cedro dulce mantuvo la misma tasa de mortalidad que la encontrada en la segunda evaluación. El roble alcanzó el 100% de

mortalidad en ambos tratamientos en tanto el pino presentó un 0% de enraizamiento para ambos tratamientos.

Nótese que para la tercera evaluación todos los individuos de roble fueron extraídos para disminuir la posibilidad de contaminación, puesto que se presentaba un 100% de mortalidad en ambos tratamientos.

Cuarta evaluación (14^{va} semana)

A partir de la 7 semana hasta la semana 8 (inició de aplicación de nutrientes mayores y menores) al ensayo no se le aplicó ningún tipo de tratamiento (Se mantuvo únicamente con agua). En la cuarta evaluación se incluyó entonces el análisis del sistema radical y la altura desarrollada por las estacas de tirrá, cedro dulce y jaúl. Los resultados cuantitativos de dicho estudio se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Largo en milímetros a las 14 semanas de las raíces desarrolladas por las estacas enraizadas en el ensayo enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua

Tirrá Sur (mm)		Tirrá Norte(mm)		Jaúl Sur(mm)		Jaúl Norte(mm)		Cedro Sur(mm)		Cedro Norte(mm)	
Oeste	Este	Oeste	Este	Oeste	Este	Oeste	Este	Oeste	Este	Oeste	Este
460	445	360	400	5	75	115	90	135	190	260	330
230	360	360	330	50	60	-	150	4	120	320	180
205	410	310	60	-	40	-	5	180	140	180	240
405	520	320	260	-	22	-	-	82	165	70	125
285	305	210	10	-	-	-	-	140	340	170	330
320	320	320	-	-	-	-	-	125	160	20	310
330	460	200	-	-	-	-	-	100	140	310	265
145	-	270	-	-	-	-	-	40	225	260	490
170	-	55	-	-	-	-	-	75	-	180	15
330	-	-	-	-	-	-	-	180	-	170	-
380	-	-	-	-	-	-	-	150	-	110	-
-	-	-	-	-	-	-	-	115	-	-	-
$\bar{X} = 296,36$	402,86	267,22	212,00	27,50	49,25	115,00	81,67	110,50	185,00	186,36	253,89
$\bar{X} = 349,61$		239,61		38,38		98,33		147,75		220,13	
$\bar{X} = 294,61$				68,35				183,94			

La especie que presentó a las 14 semanas en promedio una mayor longitud de raíces, fue el tirrá con 294 milímetros, seguido por el cedro dulce con 183,94 milímetros. La tasa de crecimiento del sistema radical por semana, se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4. Índice de crecimiento medio semanal (IMS) del sistema radical en turrá, cedro dulce y jaúl a las 14 semanas de evaluación

Turrá (mm/semana)		Jaúl (mm/semana)		Cedro (mm/semana)	
Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 1	Tratamiento 2
26,89	18,43	2,95	7,56	11,36	16,93

A las 14 semanas el turrá presenta la mayor tasa de crecimiento semanal para ambos tratamientos. Mientras que el Jaúl y el cedro dulce registraron su mayor índice en el tratamiento sin Bioestimulante. El jaúl fue la especie con menor tasa de crecimiento del sistema radical por semana. El estado del sistema radical de las plántulas en la cuarta evaluación se ilustra en la figura 5.



Figura 5. Estado de desarrollo del sistema radical de las estacas a las 14 semanas en el ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.

Para la cuarta evaluación el cedro dulce presentó un mayor número de ramas y una mayor cantidad de raíces que las presentadas por los demás individuos de las especies evaluadas; esto aún cuando la longitud de las raíces era en promedio menor que la presentada por el turrá (ver Figura 5). Las raíces de los individuos de turrá presentaban un sistema radical alargado pero compuesto por pocas raíces. Las mismas presentaban una coloración oscura y además debe de tomarse en cuenta que su mortalidad en la tercera evaluación, aumentó en un 4% en el caso del primer tratamiento y en 8,33% en el segundo tratamiento. Mientras que la tasa de mortalidad del cedro dulce se mantuvo constante desde la primera evaluación. Las alturas de los individuos de turrá, cedro dulce y jaúl, obtenidas en la cuarta evaluación se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Alturas de tirrá, cedro dulce y jaúl a las 14 semanas de haber iniciado el ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua.

Cedro dulce				Tirrá				Jaúl			
Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 1		Tratamiento 2	
Rep1	Rep2	Rep1	Rep2	Rep1	Rep2	Rep1	Rep2	Rep1	Rep 2	Rep1	Rep2
40	55	160	65	175	225	50	275	85	85	*	35
15	55	315	55	15	200	104	260	15	45	*	30
15	25	165	185	95	240	210	45	55	35	*	25
40	25	20	115	95	215	235	275	*	50	*	20
60	70	235	15	155	150	195	15	*	15		*
25	125	115	25	205	130	25	*	*	*	*	*
40	60	125	105	145	145	215	*	*	*	*	*
20	100	80	20	55	*	95	*	*	*	*	*
25	65	*	60	75	*	15	*	*	*	*	*
65	70	*	85	125	*	35	*	*	*	*	*
90	*	*	120	*	*	*	*	*	*	*	*
75	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
$\bar{X} = 42,5$	65	151,9	77,3	114	186	117,9	174	51,67	46	0	27,5
$\bar{X} = 53$	109		144		137		48		28		



Figuras 6, 7, 8 y 9. Plántulas de *Cedrela tonduzii* y *Ulmus mexicana* en la evaluación a las 14 semanas en el ensayo de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua. A la izquierda (arriba y abajo) cajón norte, a la derecha (arriba y abajo) cajón sur.

Es importante aclarar que no se evaluó el vigor ni el porte de las plántulas, sin embargo las figuras 6, 7, 8 y 9 muestran la clara diferencia entre los individuos de turrá y cedro dulce; el turrá se encuentra en la primera fila (abajo, en la figura 9), sin embargo las plántulas de cedro dulce impiden su visualización.

Al iniciar el ensayo de enraizamiento se aplicó Micromins Bioestimulante únicamente al tratamiento 2 (cajón norte) con el fin de acelerar el proceso de enraizamiento y al tratamiento 1 (cajón sur) se designó como testigo. El promedio de las alturas de las plántulas de cedro dulce para el cajón norte es el doble del promedio obtenido en el cajón sur. Esto se podría achacar a la aplicación de Micromins Bioestimulante, sin embargo para el caso del tirrá el efecto no fue visible, más bien los individuos del cajón sur (testigo) presentan una leve superioridad en cuanto a la altura, con respecto a los del tratamiento sin Bioestimulante. Este comportamiento también se presenta en los individuos de jaúl.

Análisis Estadístico de los datos

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza mediante el programa estadístico SAS 4.0 (1998).

Las hipótesis planteadas para el análisis estadístico del ensayo Enraizamiento Agua al 100% fueron:

1. H_0 : Existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de enraizamiento evaluada en la 4^{ta}, 5^{ta} y 13^{va} semana de iniciado el ensayo.

H_a : No existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de enraizamiento evaluada en la 4^{ta}, 5^{ta} y 13^{va} semana de iniciado el ensayo.

2. H_0 : Existe diferencia significativa entre la interacción tratamientos/especie, en relación a la tasa de enraizamiento evaluada en la 4^{ta} semana de iniciado el ensayo.

H_a : No existe diferencia significativa entre la interacción tratamientos/especie, en relación a la tasa de enraizamiento evaluada en la 4^{ta} semana de iniciado el ensayo.

3. H₀: Existe diferencia significativa entre la interacción tratamientos/especie, en relación a la tasa de enraizamiento evaluada en la 5^{ta} y 13^{va} semana de iniciado el ensayo.

H_a: No existe diferencia significativa entre la interacción tratamientos/especie, en relación a la tasa de enraizamiento evaluada en la 5^{ta} y 13^{va} semana de iniciado el ensayo.

4. H₀: Existe diferencia significativa entre las cinco especies forestales, en relación a la tasa de enraizamiento evaluada en la 4^{ta}, 5^{ta} y 13^{va} semana de haber iniciado el ensayo.

H_a: No existe diferencia significativa entre las cinco especies forestales, en relación a la tasa de enraizamiento evaluada en la 4^{ta}, 5^{ta} y 13^{va} semana de haber iniciado el ensayo.

5. H₀: Existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de mortalidad evaluada en la 4^{ta}, 5^{ta} y 13^{va} semana de iniciado el ensayo.

H_a: No existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de mortalidad evaluada en la 4^{ta}, 5^{ta} y 13^{va} semana de iniciado el ensayo.

6. H₀: Existe diferencia significativa entre la interacción tratamientos/especie, en relación a la tasa de mortalidad evaluada en la 4^{ta}, 5^{ta} y 13^{va} semana de iniciado el ensayo.

H_a: No existe diferencia significativa entre la interacción tratamientos/especie, en relación a la tasa de mortalidad evaluada en la 4^{ta}, 5^{ta} y 13^{va} semana de iniciado el ensayo.

7. H_0 : Existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de mortalidad evaluada a las 4 semanas de iniciado el ensayo.

H_a : No existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de mortalidad evaluada a las 4 semanas de iniciado el ensayo.

8. H_0 : Existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de mortalidad evaluada a las 5 semanas y media de iniciado el ensayo.

H_a : No existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de mortalidad evaluada a las 5 semanas y media de iniciado el ensayo.

9. H_0 : Existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de mortalidad evaluada a las 13 semanas y media de iniciado el ensayo.

H_a : No existe diferencia significativa entre los tratamientos 1 (Cajón Sur) y 2 (Cajón Norte), en relación a la tasa de mortalidad evaluada a las 13 semanas y media de iniciado el ensayo.

10. H_0 : Existe diferencia significativa en relación a la altura, entre los tratamientos.

H_a : No existe diferencia significativa en relación a la altura, entre los tratamientos.

11. H_0 : Existe diferencia significativa en relación a la altura, entre las especies.

H_a : No existe diferencia significativa en relación a la altura, entre las especies.

12. H_0 : Existe diferencia significativa en la interacción tratamiento/especie, en relación a la altura.

H_a : No existe diferencia significativa en la interacción tratamiento/especie en relación a la altura.

Cuadro 6. Análisis de varianza para la tasa de enraizamiento de estacas en el sistema hidropónico 100% agua a diferentes semanas.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calc	Pr > F
Semana 4	1				
Tratamiento		8,6110	271,9925	0,05	0,8424
Especie	4	4607,6644	1151,9161	6,02	0,0551*
Tratamiento*especie	4	765,2052	191,3013	7,03	0,0058**
Semana 5					
Tratamiento	1	0,0270	414,6056	0,00	0,9877
Especie	4	5878,7369	1469,6842	14,54	0,0119**
Tratamiento*especie	4	404,2814	101,0704	2,44	0,1154
Semana 13					
Tratamiento	1	78,9382	638,3672	4,46	0,1022
Especie	4	11869,2566	2967,3142	167,71	0,0001***
Tratamiento*especie	4	70,7720	17,6930	0,28	0,8861

* confiabilidad de 95%, ** confiabilidad de 99 y ***confiabilidad de 99.99%.

Para realizar el análisis de varianza se procedió previamente a transformar (normalizar) los datos dados en porcentaje, mediante la siguiente fórmula (Freese, 1970):

$$y : \arccoseno \sqrt{X\%}$$

Del ANDEVA a diferentes semanas de evaluación no se encontraron diferencias significativas (para un 95% de confiabilidad) entre tratamientos, por lo que se descarta la primera hipótesis nula.

En el caso de la interacción tratamiento/especie, se encontró diferencia significativa únicamente en la primera evaluación (4^{ta} semana); por lo que se acepta la segunda hipótesis nula a la vez que se rechaza la tercera hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Se encontró diferencias significativas para la tasa de enraizamiento entre las cinco especies evaluadas, por lo que se puede afirmar que este sistema hidropónico promueve el enraizamiento de algunas especies forestales. La jerarquización de las medias obtenidas en las tres mediciones se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Comparación múltiple (Waller-Duncan) de la tasa de enraizamiento de las estacas evaluadas en la 4^{ta}, 5^{ta} y 13^{va} semana de iniciado el ensayo de enraizamiento en el sistema hidropónico 100% agua.

Waller Grouping	Medias	N	Especie
Semana 4			
A	39,16	4	1
B	11,34	4	3
C	0,00	4	2
C	0,00	4	4
C	0,00	4	5
Semana 5			
A	44,03	4	1
B	15,48	4	3
C	0,00	4	2
C	0,00	4	4
C	0,00	4	5
Semana 13			
A	58,81	4	3
A	49,31	4	1
B	26,89	4	2
C	0,00	4	4
C	0,00	4	5

Donde 1: Tirrá; 2: Jaúl; 3: Cedro dulce; 4: Roble y 5: Pino radiata.

En la primera y segunda evaluación el turrá al igual que el cedro dulce presentan diferencias significativas en relación con el resto de especies. Mientras que entre las restantes tres especies no se encontró diferencias significativas en cuanto a tasa de enraizamiento. El jaúl registró enraizamiento hasta la 13^{va} semana.

Para analizar estadísticamente la tasa de mortalidad se procedió a realizar un análisis de varianza mediante el programa SAS (1998), los resultados de dicho análisis se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Análisis de varianza para la tasa de mortalidad en la semana 4^{ta}, semana 5^{ta} y semana 13^{va}.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calc	Pr > F
Semana 4					
Tratamiento	1	76,7638	2050,9936	0,27	0,629
Especie	4	1450,1054	362,5264	1,29	0,4059
Tratamiento*especie	4	1125,2849	281,3212	1,37	0,3111
Semana 5					
Tratamiento	1	246,5975	1512,0870	3,22	0,1470
Especie	4	4561,1231	1140,2808	14,91	0,0114**
Tratamiento*especie	4	305,9714	76,4928	0,51	0,7328
Semana 13					
Tratamiento	1	599,8240	1428,6757	2,84	0,1672
Especie	4	4565,4558	1141,3639	5,4	0,0655
Tratamiento*especie	4	844,7659	211,1915	1,48	0,2801

** confiabilidad de 99

No se encontró diferencia significativa entre tratamientos (cajones) en ninguna de las evaluaciones en relación a la tasa de mortalidad, por lo que se desecha la quinta hipótesis nula y se acepta la respectiva hipótesis alternativa.

En relación a la interacción tratamiento/especie, no se encontró diferencia significativa en relación a la tasa de mortalidad para ninguna de las evaluaciones realizadas, por lo que se descarta la sexta hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

En cuanto a la variable altura, medida únicamente a los individuos de tirrá, cedro dulce y jaúl (ver cuadro 4), se realizó un análisis de varianza mediante el programa SAS (1998), cuyos resultados se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis de varianza para la evaluación de altura de tres especies forestales, en el ensayo Enraizamiento Agua al 100%.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calc	Pr > F
Tratamiento	1	1319,9363	346474,4145	0,11	0,769
Especie	2	107633,3590	53816,6795	4,60	0,1786
Tratamiento*especie	2	23406,1915	11703,0958	2,67	0,0756

En el análisis de varianza no se encontró diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se descarta la séptima hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

No se encontró diferencia significativa entre las alturas presentadas por las tres especies evaluadas, por lo que se rechaza la octava hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

En la interacción tratamiento/especie no se encontró diferencia significativa, por lo que se desecha la novena hipótesis nula y se acepta la respectiva hipótesis alternativa.

Se debe tomar en cuenta que el análisis de altura por sí solo no representa el mejor indicador de crecimiento, este debe de ir acompañado, por ejemplo, de un análisis de biomasa. Por lo que a pesar de que el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre ninguna variable, se observó una clara diferencia en cuanto a porte y número de ramas de los individuos de cedro dulce presentes en el tratamiento sin Bioestimulante (cajón norte), respecto a los presentes en el tratamiento 1 (cajón sur) y el resto de individuos de las otras especies presentes en el ensayo (figuras 6, 7, 8 y 9).

CONCLUSIONES

El *Ulmus mexicana* fue la especie que enraizó más rápidamente, se empezaron a observar las primeras raíces entre los 20 y 25 días después de haber iniciado el ensayo.

Ulmus mexicana presentó en la primera evaluación un mayor porcentaje de enraizamiento en el testigo que en el tratamiento con Micromins Bioestimulante.

El *Cedrela tonduzii* bajo el tratamiento con Micromins Bioestimulante empezó a presentar las primeras raíces entre los 20 y 25 días después de haber iniciado el ensayo.

Alnus acuminata, *Quercus copeyensis* y *Pinus radiata* presentaron un 0% de enraizamiento a las 4 semanas.

A los 102 días de iniciar el ensayo se obtuvieron los siguientes porcentajes de enraizamiento en el tratamiento 1: *Ulmus mexicana* 75%, *Alnus acuminata* 29,17%, *Cedrela tonduzii* 83,33 y *Pinus radiata* 0%.

A los 102 días de iniciar el ensayo se obtuvieron los siguientes porcentajes de enraizamiento en el tratamiento 2 (con Micromins Bioestimulante): *Ulmus mexicana* 58%, *Alnus acuminata* 16,67%, *Cedrela tonduzii* 83,33 y *Pinus radiata* 0%.

El tratamiento con Micromins Bioestimulante implicó para todas las especies (excepto en *Cedrela tonduzii*) una mayor mortalidad.

La especie que presentó en promedio una mayor longitud de raíces (a las once semanas) fue el *Ulmus mexicana* con 295 milímetros, seguido por el *Cedrela tonduzii* con 184 milímetros.

El tratamiento 1 (con Micromins Bioestimulante) presentó las siguientes tasas de crecimiento del sistema radical: *Ulmus mexicana*: 21,8 mm/ semana, *Alnus acuminata*: 8,9 mm/ semana y *Cedrela tonduzii*: 20 mm/ semana.

El tratamiento sin Bioestimulante presentó las siguientes tasas de crecimiento del sistema radical: *Ulmus mexicana*: 32 mm/semana, *Alnus acuminata*: 3,5 mm/semana y *Cedrela tonduzii*: 13,5 mm/semana.

Una vez enraizadas las plántulas de *Cedrela tonduzii* demostraron un crecimiento mayor de su parte aérea en relación con las plántulas de las demás especies presentes en el ensayo.

Existe una diferencia de más del doble de crecimiento de la parte aérea de las plántulas de *Cedrela tonduzii* presentes en el tratamiento con Micromins bioestimulante.

Existe diferencia significativa en la interacción tratamiento/especie, en cuanto a la tasa de enraizamiento reportada en la semana 4.

Existe diferencia significativa entre especies en relación a la tasa de enraizamiento en las semana 5 y 13.

No se encontró diferencias significativas entre los dos tratamientos en ninguna de las evaluaciones realizadas en cuanto a tasa de enraizamiento.

El turrá mostró diferencias significativas en cuanto a las tasas de enraizamiento presentadas en la 4^{ta} y 5^{ta} semana, con respecto a las restantes 4 especies evaluadas.

En la semana 13 tanto el cedro dulce como el turrá mostraron diferencias significativas respecto a las demás especies, en cuanto a la tasa de enraizamiento.

No se encontraron diferencias significativas en cuanto a la mortalidad evaluada en la semana 4 en ninguna de las variables evaluadas.

Se registran diferencias significativas entre especies respecto a la tasa de mortalidad evaluada en la 5^{ta} semana.

No se encontraron diferencias significativas en cuanto a la mortalidad evaluada en la semana 13 en ninguna de las variables evaluadas.

No se encontró diferencias significativas entre las tres especies evaluadas en la 14^{va} semana, en relación a la altura; sin embargo el cedro dulce presentó individuos con mejor desarrollo.

RECOMENDACIONES

Por la naturaleza misma de los ensayos de enraizamiento se les debe dar continuidad a los ensayos para promover una mayor cantidad de información.

El rango de especies evaluadas deberá ampliarse puesto que con la incorporación de nuevas especies forestales a los ensayos de enraizamiento, se ampliará el conocimiento en relación a las diferentes respuestas y comportamientos, de la mayor cantidad posible de especies.

A la hora de evaluar el crecimiento tanto de la parte aérea como del sistema radical se debe de incluir la variable de biomasa producida, para obtener datos más certeros de crecimiento.

Se recomienda prevenir y controlar problemas fitosanitarios del sistema hidropónico, con el fin de evitar distorsiones en los ensayos.

CAPÍTULO SEGUNDO

EVALUACIÓN DE LA TASA DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS MEDIANTE EL USO DE “OASIS” COMO SUSTRATO

Como complemento a lo presentado en el capítulo primero, se realizó un ensayo de enraizamiento utilizando como sustrato el “oasis”, producto comercial distribuido comúnmente en pasamanerías.

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYO

Los ensayos se realizaron en las instalaciones del vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica ubicado en la provincia de Cartago, Costa Rica; a una altitud de 1440 m,s,n,m y registró promedios anuales de temperatura de 21 grados centígrados y 1947 milímetros de precipitación. La zona de vida según la clasificación del sistema Holdridge corresponde al Bosque húmedo premontano (Bh-p). El ensayo se realizó específicamente en el invernadero del vivero forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR, el cual tiene paredes de plástico y sarán y techo de sarán (60% oscuridad). Este se ubica a una altura de 1440 m en la provincia de Cartago (Campus del ITCR), y presenta una temperatura interna promedio de 24 grados centígrados.

DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA DE ANCLAJE POR MEDIO DE “OASIS”

Para el análisis del sustrato “oasis” se procedió a preparar cubos de “oasis” de 2,5 x 1,5 x 1,5 cm, a los cuales se les realizó un agujero, En este cubo la estaca era insertada y posteriormente colocada en la bandeja negra de 7 x 14 unidades, que a su vez se encontraba sobrepuesta en una bandeja plana que contenía 2 litros de agua y una dosis de 1,2 ml de Micromins Bioestimulante. Las especies utilizadas fueron: *Pinus radiata* (pino radiata), *Ulmus mexicana* (tirá), *Quercus copeyensis* (roble), *Alnus acuminata* (jaúl), *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Pinus patula* (pino patula). Se prepararon estacas de 6 a 8 cm de largo con 1 a 2 nudos; en el caso de ambos pinos se dejó aproximadamente 2 cm de acículas, para el jaúl se cortó 2/3 de hoja, para el tirá se dejó una única hoja, las estacas del roble fueron sembradas con cuatro hojas cortadas a la mitad y en el caso del cedro la estaca poseía una sola hoja compuesta. El “oasis” fue humedecido previamente a su utilización. La estaca atravesó el “oasis” y se colocó en la bandeja donde tiene contacto con la mezcla. La figura 10 muestra la forma en que se prepararon las estacas para el ensayo.



Figura 10. Estacas de *Cedrela tonduzii*, *Pinus patula*, *Ulmus mexicana*, *Alnus acuminata* y *Pinus radiata* (respectivamente) en el sustrato “oasis”.

Las bandejas se colocaron dentro de un microinvernadero plástico de 56 cm de alto construidos sobre camas de trabajo a 85 m del suelo, con una temperatura promedio de 31 grados centígrados dentro del microinvernadero experimental de la Escuela de Ingeniería Forestal en Cartago; el invernadero cuenta con un sistema de riego nebulizado, cuyos aspersores mojan 2 veces al día en períodos de 1 minuto de duración. Se utilizaron dos repeticiones de siete individuos para cada especie, tal y como se muestra en la figura 11.

Pr	T	Q	J	C	Pp				Pp	C	J	Q	T	Pr
Pr	T	Q	J	C	Pp				Pp	C	J	Q	T	Pr
Pr	T	Q	J	C	Pp				Pp	C	J	Q	T	Pr
Pr	T	Q	J	C	Pp				Pp	C	J	Q	T	Pr
Pr	T	Q	J	C	Pp				Pp	C	J	Q	T	Pr
Pr	T	Q	J	C	Pp				Pp	C	J	Q	T	Pr
Pr	T	Q	J	C	Pp				Pp	C	J	Q	T	Pr

Figura 11. Croquis del ensayo de enraizamiento de estacas con sustrato “oasis”.

Donde: Pr = Pino radiata, T = Tirrá, Q = Roble, J = Jaúl, C = Cedro amargo, Pp = Pino patula

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera evaluación se realizó a las 5 semanas (E_1) y la segunda evaluación se realizó a las 11 semanas (E_2) obteniéndose los resultados que se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Tasa de enraizamiento y mortalidad obtenidas en la primera evaluación (5^{ta} semana) y en la segunda evaluación (11^{va} semana) en el ensayo Enraizamiento con sustrato “oasis”.

Especie	Enraizamiento (%)		Mortalidad (%)	
	E ₁	E ₂	M ₁	M ₂
Pino radiata	0,00	0,00	28,57	78,57
Tirrá	0,00	42,86	57,14	57,14
Roble	0,00	0,00	100,00	100,00
Jaúl	0,00	7,14	92,86	92,86
Cedro dulce	7,14	64,29	7,14	35,71
Pino patula	0,00	0,00	57,14	78,57

Primera evaluación (semana 5)

El ensayo arrojó resultados de alta mortalidad. Por ejemplo tirrá, roble. Jaúl y pino patula presentaron tasas de mortalidad superiores al 50% y en el caso específico del roble, se presentó una mortalidad del 100%. La única especie que presentó tasa de enraizamiento a las 5 semanas fue cedro dulce, con un 7,14.

Segunda evaluación (semana 11)

En el caso de tirrá y jaúl la mortalidad presentada en la primera evaluación se mantuvo con el mismo porcentaje, sin embargo los individuos sobrevivientes presentaron una respuesta positiva y se obtuvieron tasas de enraizamiento de 42,86 y 7,14 respectivamente. En el caso del cedro dulce la tasa de enraizamiento presentó un fuerte incremento(57,15%), en un período de 37 días (tiempo transcurrido entre la primera y segunda evaluación). Por otro lado roble y las dos especies de pino evaluadas, presentaron una tasa de enraizamiento del 0%. Un factor determinante en el éxito de esta técnica lo constituye el eficiente control del nivel de la disolución en la bandeja plana.

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza mediante el programa estadístico SAS (1998). Para realizar el análisis de varianza se procedió previamente a transformar (normalizar) los datos dados en porcentaje, mediante la siguiente fórmula (Freese, 1970):

$$y : \arccoseno \sqrt{X\%}$$

Las hipótesis planteadas para el análisis estadístico del ensayo Enraizamiento con Sustrato “Oasis” fueron:

1. H_0 : Existe diferencia significativa en la tasa de enraizamiento entre las especies, a la semana 5 de iniciado el ensayo.

H_a : No existe diferencia significativa en la tasa de enraizamiento entre las especies, a la semana 5 de iniciado el ensayo.

2. H_0 : Existe diferencia significativa en la tasa de enraizamiento entre las especies, a la semana 11 de iniciado el ensayo.

H_a : No existe diferencia significativa en la tasa de enraizamiento entre las especies, a la semana 11 de iniciado el ensayo.

3. H_0 : Existe diferencia significativa en la tasa de mortalidad entre especies, evaluada en la 5^{ta} semana.

H_a : No existe diferencia significativa en la tasa de mortalidad entre especies, evaluada en la 5^{ta} semana.

4. H_0 : Existe diferencia significativa entre repeticiones tanto en la 4^{ta} como en la 5^{ta} semana, en relación a la tasa de mortalidad y a la tasa de enraizamiento.

H_a : No existe diferencia significativa entre repeticiones tanto en la 4^{ta} como en la 5^{ta} semana, en relación a la tasa de mortalidad y a la tasa de enraizamiento.

El cuadro 11 presenta los resultados del análisis de varianza.

Cuadro 11. Análisis de varianza para la tasa de mortalidad y enraizamiento de estacas con sustrato “Oasis”, evaluadas a 5^{ta} y 11^{va} semana de iniciado el ensayo.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calc	Pr > F
Semana 5 (enraizamiento)					
Especie	5	196,07596	39,21519	1,00	0,500
Repetición	1	39,21519	39,21519	1,00	0,363
Semana 11(enraizamiento)					
Especie	5	4570,9532	914,1906	16,26	0,0041*
Repetición	1	70,6432	914,1906	1,26	0,3132
Semana 5 (mortalidad)					
Especie	5	5557,3234	1111,4647	4,34	0,0664
Repetición	1	131,5659	1111,4647	0,51	0,5055
Semana 1 (mortalidad)					
Especie	5	1813,9732	362, 794637	7,22	0,025*
Repetición	1	2,3279	362, 794637	0,05	0,838

* confiabilidad de 95%.

No se encontró diferencia significativa en la tasa de enraizamiento entre especies, para la primera evaluación, por lo que se descarta la primera hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Para la tasa de enraizamiento a las 11 semanas existe diferencia significativa entre especies, por lo que se acepta la segunda hipótesis nula.

Existe diferencia significativa en la tasa de mortalidad entre especies tanto para la primera como para la segunda evaluación, por lo que se acoge la tercera hipótesis nula. En ninguna de las evaluaciones se encontró diferencia significativa entre repeticiones, por lo que se acoge la cuarta hipótesis alternativa.

CONCLUSIONES

Quercus copeyensis y *Alnus acuminata* presentaron altos porcentajes de mortalidad (100 y 92,86% respectivamente), en la semana 5.

Cedrela tonduzii fue la única especie que registró algún porcentaje de enraizamiento (7,14%) en la semana 5.

En la semana 11 *Alnus acuminata* presentó un bajo porcentaje de enraizamiento (7,14%) y un 92,86% de mortalidad.

Cedrela tonduzii presentó los mejores resultados en cuanto a porcentaje de enraizamiento y mortalidad (64,29 y 35,71% respectivamente) al finalizar el ensayo.

Pinus patula y *Pinus radiata* presentaron 78,57% de mortalidad y un 0% de enraizamiento.

No existe diferencia significativa entre especies, en cuanto a tasa de enraizamiento de estacas en la 5^{ta} semana.

Se puede afirmar con un 95% de confiabilidad, que existe diferencia significativa entre especies en la tasa de enraizamiento y mortalidad obtenida en la semana 11.

No existe diferencia significativa para una confiabilidad del 95% entre repeticiones para ninguna de las evaluaciones realizadas.

RECOMENDACIONES

Cada 5 días se debe dar el control respectivo del nivel de la disolución.

Ampliar el número de especies que se sometan a estudios de enraizamiento de esta naturaleza.

Es necesario desinfectar las estacas en una solución con Kilol.

CAPÍTULO TERCERO

ESTABLECIMIENTO DE JARDÍN CLONAL EN SISTEMAS HIDROPONICOS

El establecimiento de jardines clonales ha sido un factor de mucha importancia dentro del contexto de las plantaciones forestales, sin embargo se debe reconocer que en este sentido, aun falta mucho por recorrer. En países donde la actividad forestal cuenta con un amplio desarrollo, la adecuación de técnicas hidropónicas es una realidad. En países como Brasil se han obtenido excelentes resultados en cuanto a cantidad y calidad de plántulas, por este motivo en la actualidad, la producción de plántulas de eucalipto se realiza en jardines clonales hidropónicos.

Con el objetivo de adaptar los sistemas hidropónicos al desarrollo de jardines clonales se estableció un invernadero y una serie de ensayos con *Eucalyptus globulus*. Se realizó también un análisis comparativo de desarrollo entre las técnicas convencionales de establecimiento de jardín clonal con las técnicas hidropónicas, así como un análisis económico del sistema.

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYO

Los ensayos se realizaron en las instalaciones del vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica ubicado en la provincia de Cartago, Costa Rica; a una altitud de 1440 m.s.n.m y registros promedios anuales de temperatura de 21 grados centígrados y 1947 milímetros de precipitación. La zona de vida según la clasificación del sistema Holdridge corresponde al Bosque húmedo premontano (Bh-p). Para la realización de este ensayo se construyó un nuevo invernadero ubicado 10 metros al norte de las oficinas del vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, el cual posee las siguientes características :

Dimensiones: 10 metros de largo por 4 metros de ancho por 3 metros de alto en la parte norte y 2,5 metros de alto en la parte sur.

Estructura: a base de tubo cuadrado de construcción de 1/4".

Paredes: Plástico de invernadero (7mm de espesor).

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO JARDÍN CLONAL HIDROPÓNICO

Se construyó un nuevo invernadero dentro del área del vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, con el fin de brindar las condiciones óptimas para el desarrollo de jardines clonales. El invernadero está dotado de una instalación eléctrica (110 voltios) y además cuenta con una toma de agua. La estructura principal del invernadero está constituida por un tubo cuadrado de construcción de ¼” y las paredes están constituidas por plástico de invernadero (7mm de espesor), provisto de una luz (en la parte superior) de aproximadamente 30 cm, para evitar el excesivo calentamiento del sitio.

Se construyeron 5 “baterías” cada una con capacidad para 10 canoas de dos metros de largo, cada juego consta de dos brazos inclinados a 30° aproximadamente. Se utilizaron canoas plásticas tipo “pecho de paloma”, fabricadas por Amanco S.A., cortadas para obtener unidades de dos metros de largo, provistas además de dos tapas en las que se colocaron los dispositivos de suministro y desagüe. Las canoas se colocaron en dirección este-oeste con cierto grado de inclinación que permiten la circulación por gravedad de la disolución hidropónica. En el caso de las canoas sin sustrato la pendiente fue eliminada para que las plántulas colocadas tuvieran igual disponibilidad de recursos (contacto con la disolución). La disolución se encuentra en constante circulación mediante una bomba de achique (0,15 caballos de fuerza y 110 voltios) colocada en el interior de un recipiente de una capacidad de 150 litros, en el cual se vertieron 114 litros de agua y 570 ml de nutrientes mayores y 570 ml de nutrientes menores. Las plántula de *Eucalyptus globulus* son progenies de 10 familias de árboles plus de Cochabamba, Bolivia fueron sembrados en todos los sustratos investigados, después de un mes de haber sido repicadas en bolsas.

Se analizaron seis diferentes condiciones de sustrato (dos repeticiones) para diez plántulas de las diez diferentes familias de *Eucalyptus globulus* evaluadas. Los sustratos utilizados fueron: Piedra quinta con aserrín, piedra quinta con viruta, piedra quinta con carbón vegetal, mezclados en una proporción de 50/50. A demás se utilizó piedra pómez con fibra de coco distribuido por Biorganic S,A y tierra (potes como testigo). Se utilizó estereofón para anclar las plántulas que se desarrollaran mediante la técnica de raíz libre. Cada condición de sustrato fue repetida dos veces. La primera repetición la conforman la canoas ubicadas en la parte alta de la batería y la segunda repetición la conforman las canoas en la parte más baja. La distribución de los individuos de cada familia se realizó en forma aleatoria dentro de cada canoa, dicha distribución se presenta en el cuadro 12.

Cuadro 12. Distribución de los individuos de las familias de *Eucalyptus globulus* en el ensayo jardín clonal hidropónico.

Posición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Canoa										
1	7	27	4	35	6	34	9	8	33	5
2	6	7	34	27	4	5	33	35	9	8
3	34	8	7	33	9	4	5	27	35	6
4	7	34	4	9	35	6	33	5	8	27
5	35	6	5	33	7	27	34	8	9	4
6	5	8	9	27	35	4	34	7	6	33
7	8	5	4	6	33	27	7	35	34	9
8	33	27	35	8	9	5	7	6	34	4
9	34	8	35	7	6	5	33	4	27	9
10	35	34	4	7	5	6	33	8	9	27

Los sustratos se asignaron aleatoriamente para cada canoa de la siguiente manera: Fibra de coco más piedra pómez, canoas 1 y 5; piedra más viruta, canoas 2 y 8; piedra más aserrín, canoas 3 y 6; piedra más carbón, canoas 4 y 7; raíz libre, canoas 8 y 10. La numeración corresponde en orden ascendente a la canoa más alta (canao 1) hasta la canoa más baja (canao 8) en la primera pila y en la segunda pila a la más alta (canao 9), y la más baja (canao 10). En el caso de los potes (con tierra) no existe diferenciación por posición puesto que se presenta igualdad de condiciones para los veinte individuos evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ensayo se inició el día 23 de abril de 2002, sin embargo por circunstancias ajenas al ensayo, el sistema no se pudo poner en funcionamiento hasta el día 10 de mayo de 2002. El día 8 de mayo de 2002 se llevó a cabo una sustitución de los individuos que habían muerto; los individuos sustituidos se especifican en el cuadro 13.

Cuadro 13. Individuos sustituidos por causa de muerte en el ensayo de jardín clonal hidropónico.

Canoas	Familia
1	7, 4, 5,
2	9, 35, 33, 5, 27, 34, 7 y 6,
3	7, 9, 4, 27, 9 y 6,
4	7 y 6
5	---
6	7
7	7, 8
8	33, 5, 7, 6

Esta información corresponde a la mortalidad presente en el ensayo cuando el sistema de irrigación continua no se encontraba trabajando. Por lo que a la hora de analizar debe de considerarse que se presentaron diversos factores ajenos a la concepción ideal del sistema de jardín clonal. Algunos de estos factores son: desecación de los sustratos por evaporación de la disolución, exceso de humedad y aumento del riesgo de contaminación por falta de oxigenación de la disolución.

En las evaluaciones se midió la altura de los individuos presentes en los diferentes sustratos. La primera evaluación se realizó el día 9 de mayo (2^{da} semana) y la segunda medición se llevo a cabo el día 22 de mayo (4^{ta} semana). Los resultados se presentan en el cuadro 14.

Cuadro 14. Promedio de alturas para cada sustrato obtenidas en la 2^{da} y 4^{ta} semana, para cada sustrato del ensayo de jardín clonal hidropónico de *Eucalyptus globulus*.

Sustratos	Altura ₁ (mm)	Altura ₂ (mm)	Incremento (mm)	Incremento (mm/día)	Crecimiento (%)	Mortalidad (%)
Fibra de coco más piedra pómez	78,15	104,38	26,23	2,02	33,56	28,57
Piedra quinta con viruta	76,05	96,67	20,62	1,59	27,11	14,29
Piedra quinta con carbón	83,10	137,26	54,16	4,17	65,18	7,14
Piedra quinta con aserrín	81,90	115,33	33,43	2,57	40,82	35,71
Raíz libre	77,10	105,89	28,79	2,21	37,35	7,14
Potes	72,25	84,95	12,70	0,98	17,58	0,00

Primera evaluación (2^{da} semana)

Con tan solo dos semanas de iniciado el ensayo, ya se empezaban a mostrar diferencias en el crecimiento. El sustrato piedra quinta con carbón presentó la mayor altura promedio (83,10 mm), mientras que los potes con tierra presentaban la menor altura promedio (72,25 mm). Las Figura 12, 13 y 14 muestran el estado en el cual se encontraba el ensayo jardín clonal a las dos semanas de iniciado.



Figura 12. Plántulas de *Eucalyptus gobulus* en el sistema de canoas con sustrato a las 2 semanas de iniciado el ensayo jardín clonal hidropónico.



Figura 13. Plántulas de *Eucalyptus gobulus* en el sistema raíz libre, en la primera evaluación para el ensayo jardín clonal hidropónico.



Figura 14. Plántulas de *Eucalyptus globulus* en potes (testigo) a las 2 semanas, en el ensayo jardín clonal hidropónico.

Con el fin de evitar la proliferación de hongos y algas, el día 17 de mayo se aplicó Vitavax 40 WP a una dosis de 25 cc por cada siete litros de agua. La aplicación se realizó sobre los distintos sustratos (excepto el testigo) mediante el uso de una regadera. Posteriormente se vertieron dos litros de este fungicida (con la misma dosis) en el recipiente donde se encuentra la bomba de achique, con el fin de que la disolución circulara por todo el sistema.

Segunda evaluación (4^{ta} semana)

El sustrato que presentó mayor altura promedio fue el sustrato piedra quinta con carbón vegetal (137,26 mm). Es importante señalar que la diferencia entre la altura promedio mayor y la menor en la primera evaluación fue de 10,85 mm; para la segunda evaluación esta diferencia aumentó a 52.31 mm. Por lo anterior se puede afirmar que en el transcurso de 2 semanas la diferencia en altura promedio entre los potes y el sustrato de piedra quinta con carbón vegetal aumentó alrededor de cinco veces. Las figuras 15 y 16 muestran los individuos que presentan mejor crecimiento en el ensayo jardín clonal hidropónico (en el sustrato piedra quinta con carbón y los potes, respectivamente).



Figura 15. Estado de las mejores plántulas de *Eucalyptus globulus* presentes en el ensayo jardín clonal hidropónico.

El sustrato de piedra quinta con carbón vegetal se caracteriza por presentar una alta capacidad de filtración y una baja capacidad de retención de humedad, lo que se traduce en un mejor estado fitosanitario de este sustrato en relación al resto de sustratos. En la Figura 15 se puede observar la diferencia de coloraciones entre el sustrato de piedra quinta con carbón y el de fibra de coco con piedra pómez (canao izquierda). El establecimiento de hongos y algas en el sustrato de piedra quinta con carbón vegetal es mucho menor al que presenta el resto de los sustratos.



Figura 16. Plántula de *Eucalyptus globulus* que presentó en la segunda evaluación, el mejor porte y la mayor altura dentro del tratamiento testigo del ensayo jardín clonal hidropónico.

El sustrato de piedra más aserrín presentó el mayor índice de mortalidad (35,71%), un incremento en la altura promedio de 33,43 milímetros y un 40,82 de tasa de crecimiento con respecto a la primera evaluación. En el sustrato piedra más carbón vegetal se registró la mayor altura promedio y junto con la raíz libre, la segunda mortalidad más baja dentro del ensayo. Además, en este sustrato se registró un 65,18% de tasa de crecimiento con respecto a la primera medición.

Los potes no presentaron ningún porcentaje de mortalidad sin embargo su tasa de crecimiento es la más baja y registró 11,50 milímetros de incremento en 13 días.

Durante el funcionamiento del ensayo se observó que los individuos perdían vigor durante las horas con mayores temperaturas y principalmente en las canoas ubicadas en las partes altas de la “batería”. Por el diseño de la estructura del ensayo jardín clonal hidropónico, las canoas más altas poseen un mayor nivel de exposición al aire caliente que circula de abajo hacía arriba, además debe tomarse en cuenta la distancia entre los individuos y las paredes de plástico. Se debe de tener en cuenta que estas canoas se encuentran más cercanas a la pared de plástico.



Figura 17. Plántula de *Eucalyptus globulus* afectada por las altas temperaturas presentes en el jardín clonal hidropónico.



Figuras 18, 19 y 20. Sistema radical de las plántulas de *Eucalyptus globulus* en el sistema raíz libre del ensayo jardín clonal hidropónico.

En el caso del tratamiento de raíz libre se realizaron observaciones del desarrollo del sistema radical de los individuos presentes en dicho tratamiento; las figuras 17, 18, 19 y 20 ilustran como los eucaliptos desarrollaban un tipo de raíz (color blanca), al mismo tiempo que su sistema radical iba adquiriendo una coloración café claro. Una limitante importante en el caso del tratamiento raíz libre fue la precisión de las llaves de paso utilizadas, ya que fue imposible lograr un equilibrio perfecto entre el caudal de disolución que entraba y la que salía. Por lo anterior las llaves de paso de salida y entrada eran abiertas al menos una vez al día para lograr la oxigenación de la disolución y disminuir la posibilidad de contaminación. Al estar expuesto a la luz el agua se tornaba verdosa cubierta con una película de algas en toda la superficie.

El día 23 de mayo de 2002 se extrajeron los individuos muertos y con algún síntoma de enfermedad con el fin de realizar un estudio fitosanitario. Los individuos extraídos se presentan en el cuadro 15. El capítulo cuarto detalla el análisis fitosanitario,

Cuadro 15. Distribución de individuos que se sometieron a análisis fitosanitario y de mortalidad.

Canoa	Familia
1	35, 33 y 5
2	8
3	34, 27, 35 y 6
5	35 y 4
6	9, 4 y 34
7	7
8	35
9	34 y 7

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza mediante la utilización del programa SAS (1998).

Las hipótesis planteadas para el análisis de estadístico de los datos fueron:

1. H_0 : Existe diferencia significativa en cuanto la altura a las 2 semanas entre familias, sustratos , repeticiones, interacción sustrato/familia e interacción sustrato/repetición.

H_a : No existe diferencia significativa en cuanto la altura a las 2 semanas entre familias, sustratos , repeticiones, interacción sustrato/familia e interacción sustrato/repetición.

2. H_0 : Existe diferencia significativa en cuanto la altura a las 4 semanas entre familias, sustratos, repeticiones, interacción sustrato/familia e interacción sustrato/repetición.

H_a : No existe diferencia significativa en cuanto la altura a las 4 semanas entre familias, sustratos, repeticiones, interacción sustrato/familia e interacción sustrato/repetición.

3. H_0 : Existe diferencia significativa entre los sustratos, en cuanto a la altura medida a las 4 semanas.

H_a : No existe diferencia significativa entre los sustratos, en cuanto a la altura medida a las 4 semanas.

4. H_0 : Existe diferencia significativa para la altura evaluada a las 4 semanas entre repeticiones.

H_a : No existe diferencia significativa para la altura evaluada a las 4 semanas entre repeticiones.

5. H_0 : Existe diferencia significativa para la interacción sustrato/familia, sustrato/repetición y entre familias para la altura evaluada a las 4 semanas.

H_a : No existe diferencia significativa para la interacción sustrato/familia, sustrato/repetición y entre familias para la altura evaluada a las 4 semanas.

6. H_0 : Existe diferencia significativa entre familias respecto a la tasa de mortalidad evaluada en la 4^{ta} semana.

H_a : No existe diferencia significativa entre familias respecto a la tasa de mortalidad evaluada en la 4^{ta} semana.

7. H_0 : Existe diferencia significativa tanto entre repeticiones como entre sustratos con respecto a la tasa de mortalidad evaluada en la 4^{ta} semana.

H_a : No existe diferencia significativa tanto entre repeticiones como entre sustratos con respecto a la tasa de mortalidad evaluada en la 4^{ta} semana.

Cuadro 16. Análisis de varianza para los sustratos, familias y repeticiones en relación a la altura de plántula medida a la 2^{da} y 4^{ta} semana.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calc	Pr > F
Semana 2					
Sustrato	5	1577,3417	315,4683	0,80	0,5551
Familia	9	6243,9083	693,7676	1,76	0,1029
Sustrato/familia	45	17728,2417	393,9609	1,24	0,2182
Repetición	1	1944,0750	315,4683	5,63	0,0638
Sustrato/repetición	5	1726,8750	345,3750	0,95	0,454
Semana 4					
Sustrato	5	28798,8171	5759,7634	6,04	0,0002*
Familia	9	11253,2306	1250,3590	1,31	0,2586
Sustrato/familia	45	42944,5571	954,3235	1,22	0,2472
Repetición	1	11319,8591	5897,4789	7,30	0,0427*
Sustrato/repetición	5	7755,5820	1551,1164	2,02	0,0833

* confiabilidad de 95%.

Para la altura medida a las 2 semanas de iniciado el ensayo, no se encontró diferencia significativa entre sustratos, familias, repeticiones, interacción sustrato/familia e interacción sustrato/repetición, por lo que se descarta la primera hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Se encontró diferencia significativa para la altura evaluada a las 4 semanas entre sustratos, por lo que se acepta la segunda hipótesis nula.

Para la altura medida a las 4 semanas se encontró diferencia significativa entre las repeticiones, por lo que se acepta la tercera hipótesis nula. Este resultado indica que sí hubo diferencias entre las canoas ubicadas en la parte alta (repetición 1), y la parte baja (repetición 2), debido posiblemente al efecto de un gradiente de temperatura (a mayor altura mayor temperatura) existente dentro del invernadero. La parte alta fue donde se registraron precisamente menores alturas y mayor mortalidad.

No se encontró diferencia significativa para la altura medida a las 4 semanas entre familias, la interacción sustrato/familia y la interacción sustrato/repetición, por lo que se rechaza la cuarta hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. A pesar de no existir diferencia significativa entre sustratos ni repeticiones respecto a la altura evaluada a las 2 semanas, se observó una clara tendencia (en cuanto mayores alturas) del sustrato de piedra quinta con carbón vegetal y de la segunda repetición (parte baja) en todas las canoas.

Cuadro 17. Comparación múltiple (Waller-Duncan) en relación a las familias de *Eucalyptus globulus* para la altura de plántula evaluada en la 2^{ta} y 4^{ta} semana de iniciado el ensayo jardín clonal hidropónico

Waller grouping	Medias	N	Familia
Semana 2			
A	88,67	12	35
B A	86,42	12	34
B A	86,42	12	33
B A	78,75	12	27
B A	77,58	12	4
B A	76,17	12	6
B A	74,75	12	5
B A	74,67	12	8
B A	74,58	12	9
B	62,92	12	7
Semana 4			
A	129,78	9	35
B A	120,58	12	34
B A	111,36	11	33
B A	109,00	11	4
B A	104,89	9	9
B A	103,42	12	6
B A	102,64	11	27
B A	102,09	11	5
B	95,80	10	7
B	93,18	11	8

Se puede afirmar con una confiabilidad del 95%, que la familia 35 fue significativamente mejor que la familia 7, en relación a la altura obtenida a las 2 semanas. En el caso de la altura evaluada en la 4^{ta} semana se afirma que la familia 35 es significativamente superior a las familias 7 y 8 (con una confiabilidad del 95%). De lo anterior se destaca el hecho de que en general todas las familias presentan un comportamiento de crecimiento directamente relacionado con el tiempo, es decir que algunas poseen mejores o peores crecimientos dependiendo de la edad de las plántulas.

La altura evaluada a la 4^{ta} semana mostró diferencia significativa (con un 95% de confiabilidad) entre sustratos, el cuadro 18 muestra la jerarquización de las medias obtenidas mediante el programa estadístico SAS.

Cuadro 18. Comparación múltiple (Waller-Duncan) para los sustratos en relación a la altura evaluada en la 4^{ta} semana.

Waller Grouping	Medias	N	Sustrato
A	137,26	19	4
A	115,33	15	3
C B	105,90	19	5
C B	104,38	16	1
C D	96,67	18	2
D	84,95	20	6

El sustrato piedra quinta con carbón vegetal (4), junto con el sustrato de piedra quinta con aserrín (3) presenta alturas a la semana 4, significativamente mayores a las presentadas en los demás sustratos evaluados. El sustrato número 6 (potes) registró las menores alturas evaluadas en la 4^{ta} semana.

Cuadro 19. Análisis de varianza para los sustratos, repeticiones y familias de *Eucalyptus globulus*, en relación a la tasa de mortalidad, en el ensayo jardín clonal hidropónico.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calc	Pr > F
Mortalidad					
Sustrato	5	1179,3291	235,8658	6,59	0,0296*
Repetición	1	258,3250	258,3250	7,21	0,0435*
Familia	9	1927,8329	214,2037	1,44	0,2992

* confiabilidad de 95%, ** confiabilidad de 99 y ***confiabilidad de 99.99%.

En el ANDEVA realizado no se encontró diferencia significativa entre familias en cuanto a tasa de mortalidad por lo que se desecha la sexta hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

El análisis de varianza demuestra que sí existen diferencias significativas tanto entre sustrato como entre repeticiones con respecto a la tasa de mortalidad, por lo que se acoge la séptima hipótesis nula. La repetición 1 (mayor altura) presenta en total 9 individuos muertos, mientras que la repetición 2 presenta únicamente 4. En relación a la variable sustrato se presenta la jerarquización de las medias de mortalidad por sustrato en el cuadro 20.

Cuadro 20. Comparación múltiple (Waller-Duncan) para los sustratos en relación a la mortalidad evaluada en la 4^{ta} semana en el ensayo jardín clonal hidropónico.

Waller Grouping	Medias	N	Sustrato
A	28,67	2	3
B A	24,88	2	1
B A	18,13	2	2
B C	9,07	2	4
B C	9,07	2	5
C	0,00	2	6

Se puede afirmar con un 95% de confiabilidad que entre el sustrato 3 (piedra de cuarta con aserrín) y el sustratos 6 (potes en tierra), 5 (raíz libre) y 4 (piedra quinta y carbón vegetal) existe diferencia significativa en relación a la tasa de mortalidad. El que el sustrato 3

presentara la mayor tasa de mortalidad se podría achacar a la pobre capacidad de drenaje y a la excesiva retención de humedad que presenta este sustrato.

Análisis económico

Se realizó un recuento de los costos que implicaron la puesta en marcha del ensayo Jardín Clonal hidropónico, cuyos detalles se muestran en el cuadro 21.

Cuadro 21. Detalle de los costos de establecimiento del ensayo jardín clonal.

Rubro	Precio Unitario(colones)	Cantidad utilizada	Total
Barilla de construcción 1/4"	730 (6 metros)	2,67	1946,67
Bomba de achique	24000	1	24000
Canoa "pecho paloma"	6499 (6 metros)	3,33	21641,67
Codo 1/2"	49	2	98
Codo 1"	173	4	692
Concremix	2170(1 saco)	1	2170
Gasa	23	20	460
Unión hembra 1/2"	69	20	1380
Llave de paso	408	13	5304
Unión Macho 1/2"	46	20	920
Manguera verde	563 (metros)	6,5	3659,5
Mano de obra	100000	1	100000
Nutrientes mayores	1950 (galón)	1	1950
Nutrientes menores	1950 (galón)	1	1950
Pegamento de canoa	1157	1	1157
Piedra cuarta	5525 (m ³)	2	11050
Pintura, brocha y barsol	2884	1	2884
Plástico de invernadero	1050(6 m2)	7,33	7696,5
Sustrato hidropónico	1750 (15 litro)	20	2333,33
Tablilla 1 x 2" Laurel	205 (0,83 metros)	53,01	10867,05
Tapas de canoa	437 (dos)	10	4370
Unión te 1/2"	50	9	450
Unión te 1"	176	1	176
Tubo de hierro cuadrado 2"x1"	1908 (6 metros)	20	38160
Tubo PVC de 1/2"	917 (6 metros)	0,5	458,5
Tubo PVC de 1"	1696 (6 metros)	1,67	2832,32
TOTAL			238 606,54

Fuente: Ferretería El Pochote , Ferretería la Florida, FGsuministros y Depósito San Luis.

El costo total de establecimiento del ensayo Jardín Clonal hidropónico fue de 238 607 colones.

CONCLUSIONES

A los 16 días de iniciado el ensayo el sustrato que presentaba mayor altura promedio era el de piedra quinta con carbón vegetal con 83,10 milímetros, seguido por piedra quinta con aserrín con un 81,90 milímetros.

A los 16 días de iniciado el ensayo el sustrato que presentaba la menor altura promedio era el testigo (potes) con 72,85 milímetros.

El sustrato de piedra quinta con aserrín presentó el mayor índice de mortalidad (35,71%) y un incremento en la altura promedio de 33,43 milímetros (40,82% de tasa de crecimiento) con respecto a la primera evaluación.

Al finalizar el ensayo el sustrato piedra quinta con carbón presentó la menor tasa de mortalidad, los individuos con mejor porte, el mayor incremento (4,17mm/día) y la mayor altura promedio (137,26 mm).

Al finalizar el ensayo el testigo (potes) presentó la menor altura promedio (84,35mm), el menor incremento (0,88 mm/día) con una mortalidad del 0%.

Las plántulas de *Eucalyptus globulus* sometidas al tratamiento raíz libre desarrollaron un nuevo tipo de raíces. Mientras que el sistema radicular inicial se iba pudriendo gradualmente, lo anterior sin ocasionar la muerte a los individuos.

El costo total de establecimiento del ensayo jardín clonal hidropónico fue de 238 607 colones.

No se encontró diferencia significativa en la altura evaluada en la semana 2, para ninguna de las fuentes de variabilidad evaluadas.

Existe diferencia significativa en la altura medida en la semana 5 entre sustratos.

Existe diferencia significativa en la altura medida en la semana 5 entre repeticiones.

Existe una relación entre el comportamiento de las familias con el tiempo, respecto a la altura promedio.

Las familias que presentaron mayor altura promedio en las dos evaluaciones fueron 35, 34 y 33, sin presentar diferencias significativas entre sí, con una confiabilidad del 95%.

Los sustratos piedra quinta con carbón y piedra quinta con aserrín presentaron las mayores alturas promedio; presentando diferencias significativas con el resto de los sustratos evaluados (con 95% de confiabilidad).

Se puede asegurar con una confiabilidad del 95%, que existen diferencias significativas entre sustratos en cuanto a la tasa de mortalidad.

Se puede asegurar con una confiabilidad del 95%, que existen diferencias significativas entre repeticiones en cuanto a la tasa de mortalidad.

Piedra pómez con fibra de coco, piedra quinta con viruta y piedra quinta con aserrín no presentan diferencias significativas entre sí. Estos sustratos presentaron las mayores tasas de mortalidad.

RECOMENDACIONES

El sistema debe de estar en pleno funcionamiento en el momento de incorporar la plántulas al mismo.

La precisión de las llaves de paso debe de ser la mayor posible para lograr así el funcionamiento óptimo del sistema.

El diseño estructural del invernadero para el jardín clonal hidropónico debe de modificarse para disminuir el efecto de las altas temperaturas generadas por el movimiento del aire caliente y por el plástico de invernadero. Se podrían eliminar la paredes de plástico en las cuales la influencia del viento no sea significativa

Realizar más mediciones de altura, para determinar si existe una relación entre la edad y la tasa de crecimiento de algunas familias de *Eucalyptus globulus*.

CAPÍTULO CUARTO

ANÁLISIS FITOSANITARIO DEL ENSAYO JARDÍN CLONAL

Para determinar el estado fitosanitario general del ensayo Jardín Clonal y principalmente la causa de mortalidad de los individuos presentes se procedió a la extracción de los individuos muertos o que presentaran alguna sintomatología anormal para realizar el respectivo análisis. La extracción se realizó el día 23 de mayo y el análisis se efectuó el 29 del mismo mes del año 2002.

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYOS

El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Protección Forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal, ubicado en el edificio G2 en el campus del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

METODOLOGÍA

La descripción de los daños se realizó luego de que los individuos evaluados permanecieran 7 días en cámaras húmedas.

Como parte del análisis se realizó una disolución con las raíces de uno de los individuos que presentaba el sistema radical dañado. Mediante el análisis con microscopio se determinó la presencia de nemátodos (figuras 20 y 21).

Con ayuda del Estereoscopio se analizó minuciosamente el sistema radical y la parte aérea de los individuos estudiados. El detalle de los principales daños encontrados se presentan en las figuras 23, 24, 25 y 26.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los individuos fueron identificados de acuerdo a la canoa en la cual se desarrollaban y a la familia a la cual pertenecían. Una vez realizado el análisis individual se obtuvieron los resultados presentados en el cuadro 22.

Cuadro 22. Diagnóstico fitosanitario de individuos enfermos de *Eucalyptus globulus* del ensayo jardín clonal hidropónico.

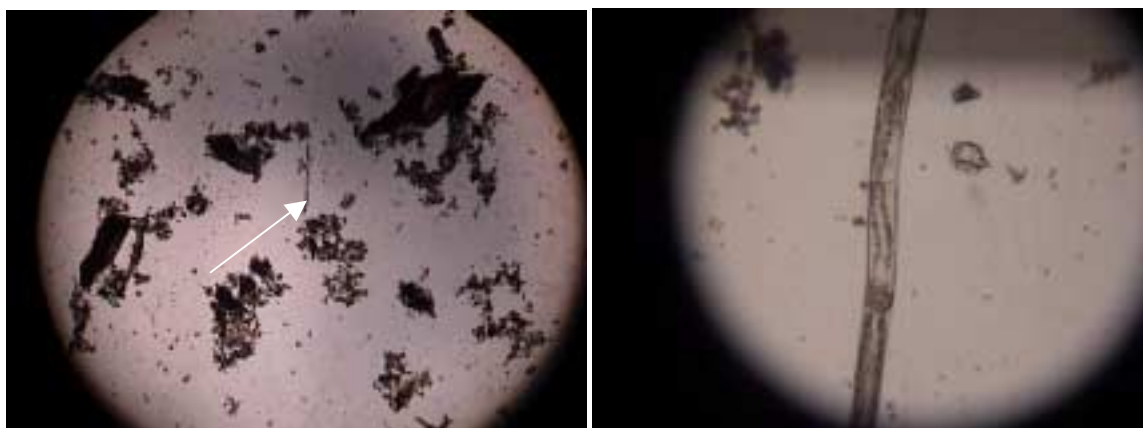
Individuo	Descripción del daño	Diagnóstico
C₁ F₃₃	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₁ F₃₅	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₁ F₅	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₂ F₈	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₃ F₆	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₃ F₃₅	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₃ F₂₇	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₃ F₃₄	- Raíz secundaria truncada - Cancro en base de tallo - Hojas secas	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₅ F₄	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₅ F₃₅	- Raíz secundaria truncada - Base tallo oscura	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i> - <i>Fusarium sp</i>
C₆ F₉	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco - Base tallo oscura	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i> - <i>Fusarium sp</i>
C₆ F₄	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₆ F₃₄	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco - Base tallo oscura	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i> - <i>Fusarium sp</i>
C₇ F₇	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco - Base tallo oscura	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i> - <i>Fusarium sp</i>
C₈ F₃₅	- Raíz secundaria truncada - Follaje seco	- Nemátodos - <i>Pestalotia sp</i>
C₉ F₇	- Raíz secundaria truncada - Presencia de micelio en base de tallo	- Nemátodos - <i>Cylindrocladium sp</i>
C₉ F₃₄	- Raíz secundaria truncada - Presencia de micelio en base de tallo	- Nemátodos - <i>Cylindrocladium sp</i>

Donde: Ci: Número de canoa de donde se encontraba el individuo.

Fi: Familia a la cual pertenecía el individuo analizado.

A continuación se presenta la información generada del análisis fitosanitario en forma ilustrada.

Se recurrió a un análisis más profundo del sistema radical, los principales resultados los muestran las figuras 21 y 22.



Figuras 21 y 22. Fotografías al microscopio (10x10 derecha y 10x40 izquierda) del montaje de disolución de raíces de *Eucalyptus globulus* en el ensayo jardín clonal hidropónico.

El nemátodo analizado se identificó como *Pratylenchus sp.* y se clasifica como un hectoparásito, de acuerdo al tipo de daño encontrado (Arguedas, 1999).

Al presentaban el mismo tipo de daño en su sistema radical el 100% de los individuos estudiados, se asume que en todos los sustratos existe presencia de nemátodos en mayor o menor grado.



Figura 23. Estado general del sistema radicular de las plántulas de *Eucalypto globulus* evaluadas en el jardín clonal hidropónico.

La totalidad de los individuos evaluados presentaron daños (raíces truncadas) en el sistema radical (figura 23). En el caso específico del individuo perteneciente a la familia 34 y presente en la canoa 3 ($C_3 F_{34}$), se encontraron daños a nivel de tallo, sin embargo no presentaban ningún tipo de signo, por lo que no se pudo concretar su diagnóstico. La Figura 24 muestra el detalle del daño encontrado en dicho individuo.



Figura 24. Cancro (sin signos) presente en la base del tallo del individuo de *Eucalyptus globulus* $C_3 F_{34}$.

Raíz libre fue el único tratamiento donde se obtuvo presencia de *Cylindrocladium sp.* Las Figuras 25 y 26 muestran el micelio de *Cylindrocladium sp.* encontrado en los individuos C₉ F₇ y C₉ F₃₄.



Figuras 25 y 26. Micelio de *Cylindrocladium sp.* presente en la base del tallo de los individuos de *Eucalyptus globulus* C₉ F₇ y C₉ F₃₄.

Todos los individuos de *Eucalyptus globulus* (excepto los de las canoas 9 y 10) presentaron *Pestalotia sp.* en el follaje (figura 27). Este daño es considerado secundario, puesto que generalmente se presenta cuando la planta sufre alguna deficiencia en su funcionamiento normal.



Figura 27. *Pestalotia sp* en hojas de *Eucalyptus globulus* en el ensayo jardín clonal hidropónico.

Otro daño observado durante el análisis fitosanitario fue el de una coloración oscura a lo largo del tallo de algunos individuos. Este daño es asociado a un alto nivel freático, el cual causó la pudrición de los tejidos del tallo (figura 28).



Figura 28. Pudrición de los tejidos del tallo en *Eucalyptus globulus* presente en algunos individuos en el ensayo jardín clonal hidropónico.

El cuadro 23 muestra los resultados del análisis fitosanitario.

Cuadro 23. Resultados del análisis fitosanitario realizado en el ensayo jardín clonal hidropónico.

Sustrato	Incidencia de individuos(%)			
	Nemátodos	<i>Pestalotia sp</i>	<i>Fusarium sp</i>	<i>Cilindrocladium sp</i>
Fibra de coco más piedra pómez	30	30	5	0
Piedra más aserrín	15	15	0	0
Piedra más carbón	5	5	5	0
Piedra más viruta	35	35	10	0
Raíz libre	10	0	0	10

En general se puede afirmar que el sustrato de piedra con carbón vegetal fue el que presentó un mejor estado fitosanitario, puesto que un solo individuo fue sometido al análisis. Este presentaba daños por presencia de nemátodos, *Pestalotia sp* y *Fusarium sp*. El sustrato de piedra más viruta fue el que presentó mayor incidencia de individuos con ataque de Nemátodos, *Pestalotia sp* y *Fusarium sp*. Por otro, lado el tratamiento de raíz libre fue el único en el cual se presentó *Cilindrocladium sp*, con una incidencia del 10% correspondiente a dos individuos afectados.

CONCLUSIONES

El sustrato que presentó un mayor cantidad de individuos muertos e individuos enfermos fue el de piedra quinta con viruta.

Los individuos del sustrato de piedra quinta con carbón vegetal fueron los que presentaron mejores condiciones fitosanitarias.

La totalidad de los individuos que se sometieron al análisis fitosanitario presentaron daños por nemátodos, independientemente del sustrato de cual provenían.

RECOMENDACIONES

El establecimiento del sistema jardín clonal hidropónico debe de ir acompañado de un plan de análisis y monitoreo del estado fitosanitario de los individuos así como de una estrategia de prevención.

CAPÍTULO QUINTO

USO DE SUSTRATO MIXTO PARA EL EMBOLSE DE PLÁNTULAS DE VIVERO

El presente capítulo contempla la adaptación de técnicas hidropónicas en busca de una mejora en la producción de plántulas a nivel de vivero. Para este último capítulo se contó con el apoyo de dos estudiantes del curso de Semillas y Viveros Forestales, los cuales tuvieron a cargo la producción de *Tabebuia rosea* (roble sabana), bajo la técnica denominada “50/50”; la cual se puede considerar como un sistema de embolse con sustrato mixto.

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE REALIZARON LOS ENSAYOS

Los ensayos se realizaron en las instalaciones del vivero del Instituto Tecnológico de Costa Rica ubicado en la provincia de Cartago, Costa Rica; a una altitud de 1440 m.s.n.m y registros promedios anuales de temperatura de 21 grados centígrados y 1947 milímetros de precipitación. La zona de vida según la clasificación del sistema Holdridge corresponde al Bosque húmedo premontano (Bh-p). Específicamente en los bancales designados para los proyectos de los estudiantes del curso de semillas y viveros forestales.

DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA “50/50” (embolse con sustrato mixto)

La técnica consiste en una variación a las técnicas utilizadas en el llenado de bolsas destinadas al repique de plántulas. Las bolsas convencionalmente utilizadas en los viveros forestales, son llenadas hasta el 50% de su capacidad con tierra colada y el restante 50 % es llenado con otro sustrato. En este ensayo se utilizó el sustrato compuesto por piedra pómez y fibra de coco distribuido por Biorganic S.A. Una vez preparadas las bolsas se procedió al repique de las plántulas. A partir de ese día se inició el riego con una regadera con la disolución hidropónica (0,5 ml de nutrientes mayores y 0,5 ml de nutrientes menores por cada litro de agua) una vez al día por un período de cuatro semanas.

El día 3 de mayo se repicaron un total de sesenta individuos de *Tabebuia rosea*, treinta en bolsas “50/50” y treinta en bolsas llenadas únicamente con tierra (testigo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figuras 29 y 30 muestran las plántulas de *Tabebuia rosea* 10 días después de ser repicadas en las bolsas “50/50” y en el testigo, respectivamente.



Figura 29 y 30. Plántulas de *Tabebuia rosea* 10 días después de ser repicadas en bolsas con sustrato tradicional(izquierda) y en el sistema “50/50”(derecha).

Es importante anotar que en el momento en el cual se tomaron las fotografías (13 de mayo de 2002) las plántulas establecidas en el sistema “50/50” ya presentaban hojas verdaderas, mientras que las plántulas en el testigo se mantenían únicamente con las hojas cotiledonales. Lo que indica que la aplicación de este sistema de sustrato mixto acelera el proceso de formación de hojas verdaderas en plántulas recién repicadas.

El día 25 de mayo de 2002, al cumplirse 23 días de ser repicadas las plántulas se evaluó el ensayo. La evaluación consistió en medir las alturas de los individuos repicados en las bolsas “50/50” y los repicados en las bolsas con sustrato convencional (testigo); el cuadro 24 muestra los resultados obtenidos.

Cuadro 24. Altura y mortalidad de las plántulas de *Tabebuia rosea* a los 23 días en el ensayo “50/50”.

Tratamiento	Mortalidad(%)	Altura promedio
50/50	3,33	60,55
Testigo	13,33	29,79

Las plántulas repicadas en el tratamiento “50/50” presentaron una menor tasa de mortalidad y una altura promedio mayor que las presentadas por el testigo. Para realizar un análisis comparativo, se tomaron los individuos que presentaban mejor desarrollo, tanto en el testigo como en el sistema “50/50”. Las Figuras 31 y 32 muestran al mejor individuo tanto del sistema “50/50 como del testigo.



Figura 31 y 32. Plántula de *Tabebuia rosea* que presentó el mejor crecimiento 23 días después del repique en bolsas con sustrato “50/50”(izquierda) y en bolsa con sustrato tradicional(derecha).



Figuras 33 y 34. Plántulas de *Tabebuia rosea* 27 días después de ser repicadas en las bolsas “50/50”(izquierda) y en las bolsas con sustrato tradicional (derecha).

A los 27 días de repicadas las plántulas de *Tabebuia rosea* es notoria la diferencia que se presenta entre las plántulas repicadas en las bolsas “50/50” y en las bolsas testigo (figuras 33 y 34). El sistema “50/50” presenta una menor tasa de mortalidad, lo demuestra que la aplicación de la técnica tiene buenos resultados en los primeros estadíos de las plántulas recién repicadas.

Análisis estadístico

Con ayuda del programa Excel (2000) se procedió a realizar una comparación de medias, mediante la prueba de t-student. Para dicho análisis estadístico se planteó la siguiente hipótesis:

1.H₀: Existe diferencia significativa en el promedio de altura registrado, entre el sistema “50/50” y el embolse con sustrato tradicional.

H_a: No existe diferencia significativa en el promedio de altura registrado, entre el sistema “50/50” y el embolse tradicional.

En el cuadro 25 se muestran los resultados de la prueba t-student.

Cuadro 25. Comparación de medias de las alturas a los 23 días de repicadas, mediante la prueba t-student, entre el sistema con sustrato “50/50” y el embolse tradicional testigo.

	Sustrato 50/50	Sustrato tradicional
Media de altura a los 23 días	60,55	29,79
Varianza	314,68	246,24
Observaciones	29,00	29,00
Coefficiente de correlación de Pearson	0,02	
Grados de libertad	28,00	
Estadístico t	7,07	

El valor de t para una confiabilidad del 95% y con 28 grados de libertad es de 1.701, por lo que se afirma que existe una diferencia altamente significativa entre las alturas promedio del sistema “50/50” y el testigo, por lo que se acepta la hipótesis nula.

CONCLUSIONES

Las plántulas de *Tabebuia rosea* repicadas en el sistema “50/50” presentaron hojas verdaderas en menor tiempo y de mayor tamaño que las repicadas en las bolsas tradicionales.

Las plántulas de *Tabebuia rosea* presentes en el sistema “50/50” registraron una diferencia de altura promedio de 30,76 milímetros con respecto al sustrato tradicional.

El tratamiento “50/50” presentó 3,33 de porcentaje de mortalidad, mientras que el sustrato tradicional presentó 13,33%.

Se encontró diferencias significativas entre las alturas promedios de las plántulas repicadas en las bolsas “50/50” y en las bolsas con sustrato tradicional, para una confiabilidad del 95%.

BIBLIOGRAFÍA

- ALPI, A. y TOGNONI, F. (1991). Cultivos en invernadero. 3ra ed. Madrid, España. Mundi Prensas. 348 p.
- ANDRADE, L. y PACHECO, J. (1997). Respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a cuatro métodos de aireación en el sistema hidropónico de raíz flotante. Trabajo de graduación para optar por el título de ingeniero agrónomo. Escuela Nacional de Agricultura. La libertad, El Salvador. 11-15p.
- ARGUEDAS, M. (1999). Protección forestal. Fundamentos y guía de laboratorio, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 49 p.
- ARNON, D. (1950). Inorganic micronutrient requirements of higher plants. Madison: Univ. Wisconsin Press. 41-313 p.
- BLAZICH, F. (1999). Chemicals and formulations used to promote adventitious rooting. In adventitious root formation in cuttings. (Eds. Davis, T., Haissing, B., Sankhla, N.). Portland, Oregon. Dioscorides Press. 132-149 p.
- DÍAZ, E., SALAZAR, R., MESÉN, F. (1991). Enraizamiento de estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. Silvoenergía No. 51. 4p.
- DÍAZ, E., SALAZAR, R., MESÉN, F. (1991). Enraizamiento de estacas juveniles de *Gmelina arborea*. Silvoenergía No. 49. 4p.
- FREESE, F. (1970). Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. México, D.F., México. 23 p.
- HARTMANN, H. y KESTER, D. (1983). Plant Propagation-Principles and Practices. 2nd. Ed. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall. 702 p.
- HOWARD, M. (1997). Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. 5ta ed. Mundi-prensa. Madrid, España. 39-52 p.
- MARULANDA, C. (1993). La huerta hidropónica popular. Santiago de Chile, Chile. FAO. 118 p.
- MARULANDA, C. (1999). Hidroponía familiar. Guía técnica. San Salvador, El Salvador. 31-38, 43-45 p.
- MESÉN, F. (1988). Propagación vegetativa de *Araucaria hunsteinii* mediante enraizamiento de estacas. Tesis Lic. Agr., Facultad de Agronomía, Univesidad de Costa Rica. 77p.
- MESÉN, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 1, 15-19 p.

- MONTERO, W. 2002. Cultivo hidropónico. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Regional San Carlos. Santa Clara, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Mimeo.8 p.
- MURILLO, O., ROJAS, L. y BADILLA, Y.(2001). Reforestación clonal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Taller de publicaciones. Cartago, Costa Rica. 12-17, 12-13 p.
- MURILLO, O.; BADILLA, L. y OBANDO, G. (2002). Posibilidades de reforestación con especies nativas en las zonas altas de Costa Rica. En: Seminario Nacional sobre Especies Nativas. 3-5 de abril, 2002. Heredia, Costa Rica
- RESH, M. (1987). Cultivos hidropónicos y en turba. Mundi prensa.Madrid, España.. 89-98 p.
- SALISBURY, F. y ROSS, C. (1994). Fisiología vegetal. México, D.F., México. 759 p.
- ZOBEL, B., TALBERT, J. (1984). Técnicas de Mejoramiento Genético de Arboles Forestales. México D.F. Limusa. 545 p.
- MONTERO, W. 2002. Cultivo hidropónico. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Regional San Carlos. Santa Clara, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Mimeo.8 p.