

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE GANDÍA  
Ingeniería Técnica Forestal



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



“Evaluación temprana de tolerancia de clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.)  
y melina (*Gmelina arborea* Roxb) a suelos ácidos”

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor: Victor Bataller Lozano

Director: Olman Murillo Gamboa, Ph.D.

GANDIA, 2010

Evaluación temprana de tolerancia de clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.)  
y melina (*Gmelina arborea* Roxb) a suelos ácidos

Víctor Bataller Lozano  
Trabajo Final de Carrera  
Ingeniería Técnica Forestal, especialidad en explotaciones forestales  
Escuela Politécnica Superior de Gandia  
Universidad Politécnica de Valencia

Septiembre 2010

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Cartago, Costa Rica

# ÍNDICE GENERAL

I. DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS .....	4
II. ÍNDICE DE CUADROS.....	5
III. ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
IV. RESUMEN.....	8
V. ABSTRACT .....	10
VI. ACREDITACIÓN .....	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2.3. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO: GENFORES	15
3.2. SELECCIÓN DE ESPECIES	17
3.3. DESCRIPCIÓN DEL SITIO	18
3.4. CARACTERIZACIÓN ZONA DEL ENSAYO	18
3.5. ORIGEN Y REPRODUCCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL	18
3.6. TRANSPLANTE O REPIQUE DE LAS ESTAQUILLAS ENRAIZADAS	20
3.7. CÁLCULO DE LOS ENVASES NECESARIOS PARA EL TRANSPLANTE DE LAS ESTAQUILLAS	20
3.8. CONDICIONES PARA LA PROPAGACIÓN DE LAS ESTAQUILLAS EN EL INVERNADERO	20
3.8.1. FACTORES ATMOSFÉRICOS	21
3.8.2. FACTORES EDÁFICOS	21
3.8.2.1. SELECCIÓN DEL SUSTRATO	21
3.8.2.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO	21
3.8.2.3. METODOLOGÍA EMPLEADA EN LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUSTRATO	22
3.8.3. FACTORES BIÓTICOS	22
3.9. ENSAYO DE CAMPO. DISEÑO EXPERIMENTAL	23
3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN	24
3.11. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	25
4. RESULTADOS y DISCUSIÓN	25
4.1. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS	25
4.1.1. RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICO	25
4.1.2. RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO (ANÁLISIS TEXTURAL)	29
4.2. ANÁLISIS FENOTÍPICOS DE CLONES DE TECA ( <i>Tectona grandis</i> Linn f.) SOBRE HORIZONTE A DEL SUELO EXPERIMENTAL	30
4.3. ANÁLISIS GENÉTICOS DE CLONES DE TECA ( <i>Tectona grandis</i> Linn f.) SOBRE HORIZONTE A DEL SUELO EXPERIMENTAL	33

4.4. ANÁLISIS FENOTÍPICOS DE CLONES DE TECA ( <i>Tectona grandis</i> Linn f.) SOBRE HORIZONTE B DEL SUELO EXPERIMENTAL	36
4.5. ANÁLISIS GENÉTICOS DE CLONES DE TECA ( <i>Tectona grandis</i> Linn f.) SOBRE HORIZONTE B DEL SUELO EXPERIMENTAL	38
4.6. ANÁLISIS FENOTÍPICOS DE CLONES DE MELINA ( <i>Gmelina arborea</i> Roxb) SOBRE HORIZONTE A DEL SUELO EXPERIMENTAL	42
4.7. ANÁLISIS GENÉTICOS DE CLONES DE MELINA ( <i>Gmelina arborea</i> Roxb) SOBRE HORIZONTE A DEL SUELO EXPERIMENTAL	45
4.8. ANÁLISIS FENOTÍPICOS DE CLONES DE MELINA ( <i>Gmelina arborea</i> Roxb) SOBRE HORIZONTE B	48
4.9. ANÁLISIS GENÉTICOS DE CLONES DE MELINA ( <i>Gmelina arborea</i> Roxb) SOBRE HORIZONTE B	52
4.10. Depuración de la base de datos. Corrección del error experimental	56
5. CONCLUSIONES	57
6. RECOMENDACIONES	58
7. LITERATURA	59
8. ANEXOS	62

# I. DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

## Dedicatoria:

- A mamá, principal aliada en esta aventura americana. Sin tu apoyo infinito nada hubiera sido posible.
- A papá, por transmitirme siempre su paciencia, saber hacer y malestar hacia el sistema imperialista y capitalista.
- A mi hermano Guillermo, por su valentía para seguir adelante.
- A mi tía Amadora, mi segunda mamá.
- A mis primos Aurelio, Almudena y Vicente. Os quiero.
- A mi tía Antonia+, donde quiera que esté, D.E.P.

## Agradecimientos:

- A Ayşe y a Eiko, por entregarme su corazón en algún momento de sus vidas.
- A mi abuela Rosario, por entenderme y apoyarme. Gracias por mantener un espíritu joven.
- Al Tec (Instituto Tecnológico de Costa Rica) por darme la oportunidad de un intercambio académico que me permitió tropicalizarme y conocer este bello país que es Pura Vida.
- A los compañeros alumnos y profesores de la escuela de Ingeniería Forestal del Tec por permitirme la integración en su escuela como uno más, y por las giras. Entre otros Julio Calvo, Marcela Arguedas, Braulio Vilchez, Dorian, César Jiménez, Edgar Ortiz, Gustavo Torres, los Carlos (bueno y malo), etc.
- A Olman Murillo, por enseñarme más allá de la genética.
- A Benito (vivero forestal Tec Santa Clara), por sus enseñanzas.
- Al Laboratorio de Suelos y Foliare y al Laboratorio de Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica por los análisis químicos y físicos realizados respectivamente del suelo experimental de mi tesis.
- A los profesores de Ingeniería Técnica Forestal en Gandía. Entre otros, Mariano Fos, Jose Luis Lopez, Pepe Pastor, Silvia Martínez.
- A mis amigos de Cartago, especialmente a la gente de la Casa del Indio y de las Juventudes Progresistas por enseñarme a creer en la lucha por causas injustas. Entre otros, Victor Rojas, Taty, Bernal, Claudia, Marcia, Marilyns, etc.; y a Elizabeth.
- A Geovanny (Chilamate-Puerto Viejo del Sarapiquí) por tener un espíritu natural.
- A mis amigos del Tec de Santa Clara, en especial a Luis Castillo, Garrobo y a Marlon (siempre tendré presentes las aventuras por el Sarapiquí).
- A los compañeros de Forestales en Gandía. En especial Álvaro F. , Nacho Pipo, Txeri, Mak, etc. A la family: Ague, Anika, Jaume, Jana, Esther, Elena,...
- A mi familia de Majada Carrasca (Albacete).
- A mis amigos de Gandía y Göttingen.

A TOD@s, Y POSIBLEMENTE A ALGUN@ MÁS QUE NO RECUERDO, MIL GRACIAS

El camino no es fácil, hay que aprender a sortear los obstáculos con humildad y alegría.

VBL

## II. ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadros 1 y 2.** Resultados análisis químicos del suelo natural ácido del ensayo proveniente de la Zona Norte de Costa Rica.

**Cuadro 3.** Resultados análisis textural del suelo natural ácido del ensayo. Proveniente de la Zona Norte de Costa Rica.

**Cuadro 4.** Ranking fenotípico de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 5.** Parámetros genéticos por carácter de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 6.** Ranking genético de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 7.** Ranking fenotípico de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 8.** Parámetros genéticos por carácter de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 9.** Ranking genético de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 10.** Ranking fenotípico de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 11.** Parámetros genéticos por carácter de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 12.** Ranking genético de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 13.** Ranking fenotípico de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 14.** Parámetros genéticos por carácter de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

**Cuadro 15.** Ranking genético de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

### III. ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Disposición del diseño experimental establecido en la sede del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Santa Clara (Alajuela). Columnas 1 y 2: clones de tecla (*Tectona grandis* Linn f.) y melina (*Gmelina arborea* Roxb) respectivamente sobre suelo ácido del ensayo en su horizonte A. Columnas 3 y 4: clones de tecla y melina sobre suelo ácido del ensayo en su horizonte B.

**Figura 2.** Variación en la altura promedio (cm) de 25 clones de tecla a los 75 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela

**Figura 3.** Variación en la altura promedio (cm) de 25 clones de tecla a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela

**Figura 4.** Variación en peso seco de la parte aérea (g) de 25 clones de tecla a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela.

**Figura 5.** Clon 8, tolerante al suelo ácido (izq.) vs clon 3, no tolerante (der.) en un experimento con 25 clones de tecla a los 135 días expuestos al horizonte A de un suelo natural ácido, de la Zona Norte de Costa Rica

**Figura 6.** Clon 94, tolerante al suelo ácido (izq.) vs clon 46, no tolerante (der.), en un experimento con 25 clones de tecla a los 135 días expuestos al horizonte A de un suelo natural ácido, de la Zona Norte de Costa Rica.

**Figura 7.** Variación en la altura promedio (cm) de 25 clones de tecla a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte B), Santa Clara, San Carlos, Alajuela

**Figura 8.** Raíces clon 1, intolerante al suelo ácido vs raíces clon 94, tolerante al suelo natural ácido de Zona Norte de Costa Rica.

**Figuras 9 y 10.** Clones 52 y 49, tolerantes al suelo ácido (izq.) vs clones 2 y 1 no tolerantes (der.) en cada una de las dos fotografías, en un experimento con 25 clones de tecla a los 135 días expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido, de la zona norte de Costa Rica

**Figura 11.** Las 4 estaquillas de tecla de la izquierda corresponden al clon 94, tolerante al suelo ácido y las 4 repeticiones de la derecha corresponden al clon 3, intolerante al suelo, en un experimento con clones de tecla expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido de la Zona Norte de Costa Rica.

**Figura 12.** Las 4 estaquillas de tecla de la izquierda corresponden al clon 2, intolerante al suelo ácido y las 4 repeticiones de la derecha corresponden al clon 49, tolerante al suelo, en un experimento con clones de tecla expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido de la Zona Norte de Costa Rica.

**Figura 13.** Variación en la altura promedio (cm) de 49 clones de melina a los 75 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela.

**Figura 14.** Variación en la altura promedio (cm) de 49 clones de melina a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela.

**Figura 15.** Comparación de algunos clones de melina sobre horizonte A de un suelo natural ácido de la Zona Norte de Costa Rica a los 135 días. A la izquierda de la imagen se muestran algunos clones intolerantes al suelo con supervivencia

**Figura 16.** Comparación clon 51, intolerante al suelo ácido, a la izquierda, con clon 28, tolerante al mismo suelo a la derecha, en un experimento con 49 clones de melina a los 135 días expuestos al horizonte A de un suelo natural ácido, de la zona norte de Costa Rica.

**Figura 17.** Variación en la altura promedio (cm) de 49 clones de melina a los 75 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte B), Santa Clara, San Carlos, Alajuela.

**Figura 18.** Variación en la altura promedio (cm) de 49 clones de melina a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte B), Santa Clara, San Carlos, Alajuela.

**Figura 19.** Clon 56, tolerante al suelo ácido (izq.) vs clon 58, no tolerante (der.) en un experimento con 49 clones de melina a los 135 días expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido, de la zona norte de Costa Rica.

**Figura 20.** Clon 28, tolerante al suelo ácido (izq.) vs clon 20, no tolerante (der.) en un experimento con 49 clones de melina a los 135 días expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido, de la zona norte de Costa Rica

## IV. RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta una evaluación de la respuesta de dos colecciones de clones en fase de vivero de teca (*Tectona grandis* Linn F). y melina (*Gmelina arborea* Roxb) sobre suelos ácidos.

Una de las formas de adaptación de las plantas a los efectos adversos de la acidez del suelo es la tolerancia de las mismas hacia esa acidez.

El ensayo de campo se realizó en el vivero forestal de la Sede Regional de San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, ubicada en Santa Clara, latitud 10° 21' N y longitud 84°30' O, en la provincia de Alajuela.

Las colecciones de clones constaban de estaquillas provenientes de reproducción asexual de material vegetativo enraizadas en pellets (de 30 mm de diámetro por 50 mm de alto) de la empresa Giffy. Tratándose de un ensayo para evaluar colecciones de clones y pretendiéndose que el material vegetativo fuese lo más uniforme posible, las estaquillas provenientes de plantas madre eran las más adecuadas para el ensayo.

En total se disponía de estaquillas de 25 clones de Teca, provenientes de la empresa Expomaderas S.A. y de bases genéticas seleccionadas en Upala de San Carlos, Alajuela; y de 49 clones de melina seleccionados en el antiguo programa de mejoramiento genético de esta especie, desarrollado por la empresa Ston Forestal en la zona sur de Costa Rica en los años 90. El suelo del ensayo, proveniente de un cultivo de Teca en Bella Vista de Cutris, en el cantón de San Carlos, provincia de Alajuela, estaba separado en sus horizontes A (suelo proveniente de los 30 primeros cm de profundidad) y B (suelo comprendido entre los 30 y 60 cm de profundidad). Así, se determinó transplantar para cada horizonte 4 repeticiones por clon en cada una de las dos especies.

Este trabajo tiene por objeto principal el de contribuir al abastecimiento de material de propagación vegetativa o asexual mejorado, clones, de las especies teca (*Tectona grandis* Linn f.) y melina (*Gmelina arborea* Roxb), con buena tolerancia y adaptación a suelos ácidos. Estas dos especies son de las más cultivadas en Costa Rica para producción industrial de madera y derivados. Así, se pretende utilizar la especificidad por tolerancia a suelos ácidos de estos clones superlativos para producción masiva de individuos y potenciación de su expresión en suelos ácidos.

## V. ABSTRACT

The next work present an evaluation of the reply in two clon collections on nursery phase of teak (*Tectona grandis* Linn f.) and melina (*Gmelina arborea* Roxb) on acid soils.

An adaptation form against adverse effects of soil acidity in plants is it tolerance to this acidity.

Field experiment was realized on forest nursery in San Carlos Regional Seat of Instituto Tecnológico de Costa Rica, located in Santa Clara, 10°21'N latitude and 84°30'W longitude, in Alajuela province.

The collections of clones had rooted cuttings of asexual vegetative reproduction in pellets (30 mm diameter and 50 mm high) of Giffy's company. This kind of reproductive material is the most suitable for the experiment because of we wanted that it was uniform.

We had cuttings of 25 clones of teak, taken of Expomaderas S. A. company and genetic bases selected in Upala, San Carlos, Alajuela; and 49 clones of melina selected in the genetic improvement old program of this tree specie, developed by Ston Forestal company in the south region of Costa Rica in 90's. Experiment's soil was taken of a teak crop in Bella Vista de Cutris, in San Carlos canton of Alajuela's province. This soil was separated in their A and B horizons. A horizon was taken of the first 30 cm depth and B horizon borded between 30 and 60 cm depth. Then, we decided transplant 4 repetitions per clone and for each specie and horizon.

Main objective of this experiment is contribute to the supply of improved propagation vegetative material with clones of teak (*Tectona grandis* Linn f.) and melina (*Gmelina arborea* Roxb), that having high tolerance and adaptation to acid soils. These tree species are two of the most cultivate in Costa Rica for wood's industrial production and derived. And then, it try to use the specific tolerance to acid soils by these superlative clones for massive individual production and potentiation of their expression in acid soils.

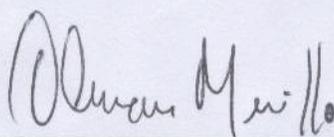
## VI.ACREDITACIÓN

### VI.ACREDITACIÓN

Evaluación temprana de tolerancia de clones de teca (*Tectona grandis*)  
y melina (*Gmelina arborea*) a suelos ácidos

Informe Presentado a la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto  
Tecnológico de Costa Rica como parte de la convalidación del Proyecto Final  
de Carrera en Ingeniería Técnica Forestal, especialidad en explotaciones  
forestales de la Universidad Politécnica de Valencia

Miembro del Tribunal-Tutor



---

Ingeniero Olman Murillo, Ph.D.

Asesor-ITCR

# 1. INTRODUCCIÓN

Mesoamérica tiene una gran variedad de suelos e interacciones climáticas. La región, al ubicarse en la zona tropical, cuenta con la presencia de suelos con problemas de acidez y baja fertilidad (Sánchez, 1976).

La acidez del suelo es un problema conocido desde hace muchos años, tanto así que este ha sido uno de los principales criterios empleados en los sistemas de clasificación de suelos, sea estimado como pH, saturación de bases, o simplemente dominancia de elementos como Al y Fe (pedalferes).

Así, la acidez de los suelos constituye un problema de importancia en la producción agroforestal de Costa Rica. Un 20-25% de los suelos del país tienen características ácidas.

Muchos de estos suelos han sido sometidos a usos agropecuarios por varias décadas, por lo que presentan degradación de sus propiedades físico-químicas (Montagnini et al, 2003). Estos suelos son sujetos a proyectos de reforestación comercial con especies de rápido crecimiento, en los cuales es importante disminuir los costos de establecimiento y manejo a lo largo del turno de cosecha.

La degradación de los suelos se ha convertido en un serio problema, especialmente en los trópicos y subtrópicos, donde muchos suelos son inherentemente pobres en nutrientes y tienen un elevado riesgo de erosión. Así, en ciertas circunstancias las plantaciones forestales o sistemas agroforestales pueden ayudar a reducir la erosión y a mantener la producción agronómica de un país (FAO, 2010).

En Costa Rica y en otros países de América Central, la mayoría de las plantaciones de especies forestales no han alcanzado la productividad esperada. Las principales causas están asociadas con una inapropiada selección de sitio, uso de un pobre material de siembra y la falta de programas silviculturales apropiados (Pérez y Kanninen 2005).

La actividad forestal ha aumentado significativamente como consecuencia de la escasez de madera del bosque natural y la creciente demanda de productos forestales por parte de la población. Sin embargo, para convertir la actividad forestal en un proceso productivo rentable y seguro, es necesario desarrollar programas de mejoramiento y manejo que conduzcan a la obtención de materia prima de la más alta calidad, con el menor costo posible (Murillo & Badilla, 2004).

La baja productividad y calidad de nuestras plantaciones forestales ha venido siendo documentada y denunciada en Costa Rica desde la década de los 90 (Murillo, 1992; Murillo et al., 1996; Torres et al., 1995; Rojas y Murillo, 2000). Con valores tan bajos de rentabilidad, es muy difícil que las plantaciones industriales logren ser un atractivo para la inversión foránea y nacional. Uno de los elementos clave para aumentar los niveles de rentabilidad, es sin duda, la inversión en ciencia y tecnología aplicada. En el caso concreto de las plantaciones industriales, el principal cambio está en pasar del concepto de *Reforestación* al concepto de *Cultivo de Madera*.

Bajo este nuevo concepto, se plantan solo individuos provenientes de árboles superiores, que han sido obtenidos de programas de mejoramiento genético. Los árboles han sido elegidos con base en su superioridad en crecimiento, calidad de fuste y de hábitos de ramificación, sanidad y calidad de su madera. Estos árboles plus son propagados masivamente en forma sexual (semilla) o asexual (vegetativa o clonal), con el uso de nuevas tecnologías de producción de plantas en invernadero. (Murillo, 2001)

A fin de incrementar la producción en condiciones adversas, es necesario formar variedades cuyo aumento de producción se deba a su capacidad genética para resistir dichas condiciones, tales como la sequía, exceso de humedad, calor, frío, salinidad o alcalinidad del suelo (exceso de sales solubles), deficiencia o exceso de minerales, mal drenaje, etc.

La mayoría de las veces el potencial productivo de los cultivos es reducido por el efecto de las condiciones ambientales adversas que se presentan durante el ciclo vegetativo. Por lo tanto, es necesario incorporarles fuentes de resistencia que amortigüen los efectos de tales factores. En el presente ensayo se pretende buscar o formar plantas con potencial genético que desarrollen tolerancia a la acidez.

La aplicación de biotecnologías en plantaciones forestales es una oportunidad única para generar nueva información sobre los patrones y funcionamiento de la diversidad genética de los árboles; así como para proveer de nuevas variedades de árboles y de material reproductivo adaptado a cambios ambientales y socioeconómicos. (Fenning and Gershenzon, 2002).

Así, en este ensayo se evalúa el efecto de un sustrato ácido (diferenciado en sus horizontes A y B) en colecciones de clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y de melina (*Gmelina arborea* Roxb). Estas especies son empleadas en proyectos de reforestación o sistemas agroforestales en Mesoamérica. Así, se evaluó la tolerancia de los distintos clones a la acidez.

La forestación clonal de teca y melina conforma una realidad en Costa Rica. La silvicultura clonal constituye un sistema de producción altamente eficiente y de elevado impacto en la rentabilidad del negocio forestal. En la medida en que los clones generados incorporen atributos de calidad por su tolerancia y adaptabilidad a condiciones adversas, mayor será el uso de esta tecnología en auge.

De acuerdo con Ugalde (2003b), en los últimos años se han detectado nuevos problemas de plagas y enfermedades, así como limitaciones en el crecimiento de las plantaciones de teca, especialmente en zonas con alta humedad, sin un período seguido de estación seca, en suelos ácidos y con desbalances nutricionales.

La evaluación del potencial genético de colecciones de clones es una manera de contribuir a disminuir los problemas fitosanitarios por la vía de la mejora genética, al obtener material resistente a los diversos factores negativos que pueden afectar el normal desarrollo de la planta.

El éxito de un programa de mejoramiento genético depende de la calidad e intensidad de selección (rigor) de los árboles parentales. Las ganancias esperadas dependen tanto del control genético de las características de interés como de la variabilidad existente en la población (Zobel & Talbert, 1988; Balcorta & Vargas, 2004). La heredabilidad en sentido estricto y el diferencial de selección son útiles para predecir la respuesta de la selección en especies forestales (Zobel & Talbert, 1988). El diferencial de selección es importante, porque está altamente correlacionado con la ganancia genética, que es el fin de un programa de mejoramiento genético (Balcorta & Vargas, 2004).

De manera general, se ha utilizado el diferencial de selección fenotípico obtenido durante la selección de los árboles plus, como base para estimar el progreso genético esperado en teca (Vallejos et al. 2010). Las estimaciones de ganancia genética esperada le permiten al mejorador forestal conocer su progreso genético potencial y decidir al inicio del programa, cuáles individuos componen la población comercial y cuáles la población de mejoramiento (Vallejos et al. 2010).

La FAO reconoce que la ingeniería genética tiene el potencial de ayudar a incrementar la producción y productividad de las plantaciones forestales y puede generar material vegetal más resistente a insectos dañinos y enfermedades, escasez de agua o a los impactos del cambio climático. Sin embargo, la FAO es también consciente de la preocupación sobre los potenciales riesgos medioambientales planteados por ciertos aspectos de la biotecnología. La FAO percibe la biotecnología moderna como una herramienta que será utilizada como ayuda o complemento de las tecnologías convencionales para solventar problemas y encontrar las necesidades que tengan los humanos.

Esta investigación está dirigida hacia la búsqueda de los clones más tolerantes por su crecimiento a suelos con problemas de acidez.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la tolerancia a suelos ácidos de colecciones de clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y melina (*Gmelina arborea* Roxb) en fase de vivero.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto en el crecimiento en suelos ácidos de una colección de clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.).
- Evaluar el efecto en el crecimiento en suelos ácidos de una colección de clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb).
- Determinar los mejores clones de teca con alta tolerancia a suelos ácidos.
- Determinar los mejores clones de melina con alta tolerancia a suelos ácidos.

### 2.3. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Para obtener las poblaciones microbianas del suelo del ensayo y demostrar que el mismo estaba infectado de patógenos asociados al síndrome de podredumbre, se quiso realizar un análisis microbiológico, y así determinar la presencia de hongos patógenos asociados al mal de talluelo, así como para determinar otros microorganismos patógenos como bacterias y actinomicetes. En Costa Rica se ha reportado la presencia de *Fusarium oxysporum*, que ataca la raíz y el tallo de la Teca en vivero y en plantaciones jóvenes (CATIE 1991, citado por Pinzón y Moreno 1999). El análisis microbiológico se iba a realizar en el Laboratorio de Biocontroladores de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica en su sede de Santa Clara en San Carlos, Alajuela. Sin embargo, después de obtener una buena muestra representativa de cada horizonte del suelo al sacar las estaquillas de los envases para su secado en estufa, se desautorizó el uso del citado laboratorio por discrepancias con la patóloga gerente de dicho laboratorio, por lo que el mismo no pudo realizarse. Con todo y con ello, se dará una descripción básica de la metodología que se iba a utilizar en el análisis que se pretendía realizar para demostrar que el suelo ácido del ensayo estaba infectado de patógenos asociados al síndrome de podredumbre. Para ello, 48 horas antes del procesado y análisis microbiológico se recogieron dos muestras representativas de cada uno de los horizontes A y B del suelo del ensayo y se depositaron en bolsas plásticas. Seguidamente con las muestras recogidas se procedió a dos cuarteos sucesivos mediante extensión del suelo en una superficie lisa, desechando una cuarta parte del suelo cada vez. Las muestras resultantes se etiquetaron y se almacenaron durante 48 horas a temperatura constante para análisis posterior en laboratorio.

Para la realización del análisis microbiológico en laboratorio, se debía proceder a preparar los medios de cultivo y a esterilizar todo el material a utilizar. Así, se procedería a preparar suficientes cantidades de medios de cultivo para el análisis. Los medios que se prepararían serían:

- PDA (Potato Dextrosa Agar), para determinación de los hongos y levaduras presentes en el suelo.
- Agar Nutritivo, para determinación de bacterias aerobias y anaerobias del suelo.
- Agar Actino, para determinación de los hongos actinomicetos presentes.

Así, con los tres medios de cultivo de microorganismos y con todo el material de laboratorio esterilizado (micropipeta, puntas, placas Petri, espátulas de Drigalsky, tubos para dilución, etc.) se procedería al análisis microbiológico en cámara de flujo laminar, para evitar contaminación, y siguiendo los protocolos básicos del mismo: dilución de una muestra de suelo en 100 ml de agua estéril, agitación durante 5 minutos para suspensión de partículas, para posteriormente diluir progresivamente en tubos con agua esterilizada a concentraciones de  $1 \cdot 10^{-2}$ ,  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 10^{-4}$ ,  $1 \cdot 10^{-5}$  y  $1 \cdot 10^{-6}$ . Luego, se usaban los tubos con las 4 últimas concentraciones para mediante siembra por extensión con espátulas de drigalsky (desde la

concentración  $10^{-6}$  a la concentración  $10^{-3}$  para no contaminar) en los distintos medios de cultivo ya solidificados en placas Petri hacer el cultivo de microorganismos. A cada placa Petri con el respectivo medio de cultivo (PDA, Agar Actino o Agar Nutritivo) se inoculaba 0,3 ml de la respectiva concentración de suelo diluida y se procedía a la citada siembra por extensión. Así, seguidamente se precintaban cuidadosamente todas las placas petri con parafilm y se almacenaban en cámara de incubación a temperatura constante de  $26 \pm 2$  °C y 80% HR durante 48 horas para cultivo de bacterias tanto aerobias como anaerobias (estas últimas en cámara de anaerobiosis), y durante 8 días y también a  $26 \pm 2$  °C y 80% HR para cultivo de hongos, levaduras y actinomicetes. Así, en placas Petri con medio PDA y con concentraciones de suelo diluido de  $1 \cdot 10^{-3}$  se obtendrían las poblaciones fungales y levaduras; para concentraciones de suelo de  $1 \cdot 10^{-4}$  sobre medio Agar Nutritivo se obtendrían las bacterias anaerobias (estas últimas se incubarian en cámara de anaerobiosis, no en cámara normal de incubación); para concentraciones de suelo  $1 \cdot 10^{-5}$  se obtendrían los actinomicetes presentes; y para concentraciones de suelo diluido de  $1 \cdot 10^{-6}$  se obtendrían las bacterias aerobias presentes en el suelo experimental. Al cabo de los distintos tiempos se procedía a extracción de las placas Petri de la cámara de incubación, y al conteo en placa para obtención de las UFC/g (Unidades Formadoras de Colonia/gramo) de los hongos y bacterias cultivados. Posteriormente se procedería a la interpretación de los resultados obtenidos para constatar el grado de infección por patógenos en el suelo muestral del ensayo.

Así, en lo referente a las limitaciones del presente trabajo cabe nombrar el título original del mismo: 'Evaluación temprana de tolerancia de clones de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) a suelos ácidos infectados de patógenos asociados al síndrome de podredumbre'.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO: GENFORES

**GENFORES** es el programa de Mejoramiento y Conservación Genética Forestal que se desarrolla en la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica), dirigido por el Dr. Olman Murillo Gamboa, especialista en genética forestal, que busca promover el mejoramiento de la productividad de la reforestación comercial en Costa Rica. GENFORES fue designada por FUNDATEC para que desarrolle programas de consultoría y auditoría en los Programas Clonales y de Mejoramiento Genético de empresas como Expomaderas S.A., entre otras.

GENFORES viene funcionando desde el año 2001 como la primera cooperativa de mejoramiento genético forestal en Costa Rica. Su misión es promover la exploración, conservación, utilización racional y mejoramiento de los recursos genéticos forestales. Todas las empresas y organizaciones miembros aportan recursos para financiar la operación y parte de la investigación aplicada. El estado costarricense, a través del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), ha venido contribuyendo con GENFORES, a través del financiamiento para apoyar a organizaciones de pequeños y medianos reforestadores a formar parte de la cooperativa. Las organizaciones miembro comparten su material genético, conformando una base genética colectiva mucho más amplia. (Murillo, 2001).

El mejoramiento genético es el arte y la ciencia de incrementar el rendimiento o la productividad, la resistencia a agentes abióticos y bióticos adversos, la belleza, la calidad o el rango de adaptación de las especies animales y vegetales domésticas por medio de los cambios en el genotipo (la constitución genética) de los individuos. Como disciplina científica está basada en las leyes de la herencia, la genética cuantitativa y la genética de poblaciones. El rendimiento y la productividad hacen referencia al peso por unidad de superficie de un determinado bien para consumo humano que sea producido por una planta o un animal. Los agentes bióticos adversos a los que hace referencia la definición son todas las plagas o

enfermedades (insectos dañinos, hongos, bacterias y virus perjudiciales) que tienden a deprimir, a disminuir el rendimiento o la productividad de cultivos y animales domésticos. Los agentes abióticos adversos son todas las variables del tiempo, del clima y del suelo que tienden también a reducir el rendimiento o productividad, como por ejemplo el exceso de sales en los suelos o la acidez excesiva (Wikipedia.org, 2010).

Estos factores adversos pueden ser atacados desde distintos puntos para mejorar el suelo. En general, se pueden considerar 5 formas o técnicas para mejorar la adaptación de las plantas al terreno. Estas son la selvicultura (podas, raleos, etc.), la fertilización, la preparación del terreno, el encalado o corrección de pH y la producción de material genético resistente. Esta última técnica es la que nos ocupa en este ensayo, y es sin duda la más novedosa. Actualmente, los programas de mejora genética están en fases iniciales de desarrollo, aunque los notorios resultados prácticos alcanzados en los últimos años por la mejora genética de plantas en la producción de especies cultivadas, superiores a las existentes, han demostrado la importancia de esta ciencia, ya universalmente reconocida y aceptada. Así, se acepta que los programas de mejora genética tendrán una gran importancia en el futuro, sobretodo en lo que a producción de material vegetal para plantaciones comerciales se refiere.

Según Wilmer Paredes Fernández, 2007, el avance de todo programa de mejoramiento genético de plantas depende de la conservación de una amplia variación genética, por lo que es necesario preservar dichas fuentes de variación en condiciones controladas que garanticen su existencia indefinida para uso de las generaciones presentes y futuras. A estas colecciones vivientes se les denomina bancos de genes, bancos de germoplasma o bancos de plasma germinal, y los materiales preservados pueden ser semillas, plantas vivas, polen o cultivos de tejidos.

Una estricta escogencia de la fuente de germoplasma (semilla o clon) determina en gran medida la productividad de la plantación (Rojas et al, 2004).

La función principal de los bancos de genes consiste en tener disponible para los fitomejoradores, en cualquier momento, muestras de semilla que involucren un factor genético en particular, o grupos de factores que se deseen estudiar con un propósito definido. Para que esta función sea efectiva es indispensable que periódicamente se actualice la información acerca de las características específicas de los materiales que se van concentrando en los bancos de germoplasma. Asimismo, en estos bancos se debe reunir toda la variabilidad genética posible de cada especie que se considera importante o con potencial.

Por otro lado, cuando en una región o país la explotación de los cultivos mejorados descansa sobre una reducida base genética, se está ante una genética de desastre, ya que con el tiempo implica un peligro muy serio que no debe pasar inadvertido. Este peligro consiste en que se presentan epifitas que traen como consecuencia una plataforma (estancamiento) en la productividad, lo cual es desastroso para una región, país o incluso para el mundo.

La creación de variedades resistentes o tolerantes a condiciones climáticas extremas ha permitido incrementar la producción en estas condiciones y, a la vez, se, ha extendido el cultivo de algunas plantas a regiones en las que era imposible o antieconómico.

### 3.2. SELECCIÓN DE ESPECIES

Las dos especies seleccionadas para el ensayo fueron *Tectona grandis* Linn f. (teca) y *Gmelina arborea* Roxb (melina), esto debido a su importancia en la reforestación comercial (Weaver, 1993; Kijkar, 2003; Fonseca, 2004; Rojas *et al*, 2004; Arce y Barrantes, 2006) (Citados por Calvo *et al*, 2008).

***Tectona grandis*** L.f., de la familia Verbenaceae, es conocida comúnmente como teca o 'teak' (en inglés), es un árbol caducifolio de tamaño grande, natural al sudeste de Asia, en donde alcanza los 45 m de altura y desarrolla un tronco con contrafuertes al llegar a la madurez.

La teca es una especie con gran potencial para los programas de reforestación en los trópicos, por su rápido crecimiento en gran variedad de sitios. Originaria de Birmania, Tailandia y algunas partes de la India, en los bosques secos y húmedos deciduos (Briscoe, 1995).

***Gmelina arborea*** Roxb. de la familia Verbenaceae, es una especie de rápido crecimiento, oportunista en los bosques húmedos y se clasifica como una pionera de vida larga. Su capacidad de rebrote es excelente y los brotes presentan un crecimiento rápido y vigoroso. Es caducifolia, en las zonas secas, puede llegar a medir 30 m de altura y presentar más de 80 cm de diámetro. Crece usualmente con un fuste limpio de 6 hasta 9 m y con una copa cónica. Presenta una copa amplia en sitios abiertos, pero en plantación su copa es densa y compacta. En América tropical se le conoce como melina, en Indonesia se le conoce como yemane y en la India gamari o gumadi.

Estas especies son naturales del sudeste asiático (regiones tropicales y subtropicales de Asia), aproximadamente entre las latitudes 5°N y 30°N, donde constituyen una importante fuente de madera. Además, han sido introducidas y naturalizadas con éxito en muchos países tropicales en plantaciones bien establecidas del sudeste de Asia, Australia, África y Latinoamérica. Así, han sido introducidas en muchos países tropicales como Filipinas, Malasia, Brasil, Gambia, Costa Rica, Burkina Faso, Costa de Marfil, Nigeria y Malawi; también es común en Cuba, Colombia, Brasil, Venezuela, Guatemala y en la zona tropical de México.

La teca es una de las fuentes de madera tropicales más valiosa, mejor conocidas y extensamente cultivada, debido a que es una madera de gran calidad y con excelentes rendimientos (Chaves y Fonseca, 1991; Weaver, 1993)

La madera de teca por su solidez, resistencia, trabajabilidad, calidades estéticas y variedad de uso, es la madera tropical con mayor demanda y valor de sus productos en el mercado internacional de maderas (Ladrach, 2010; Trujillo, 2009).

Las plantaciones de teca mejoran la calidad de los sitios, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Fonseca, 2004).

Debido a su éxito en el mercado, la teca es una de las especies de rápido crecimiento más empleada en la reforestación comercial en Costa Rica y la única especie "fina" con la que se está reforestando a gran escala en el mundo, abarcándose cerca de 5.7 millones de ha plantadas con esta especie. Para el año 2005, el 20 % del total del área nacional (Costa Rica) plantada con especies forestales correspondía a teca y actualmente se cuenta con aproximadamente 30 000 ha sembradas (Guzmán 2007).

La teca es una madera apreciada por su excelente calidad y usos. Es una madera muy solicitada para la fabricación de muebles, decorados, barcos, etc. ha sido plantada extensamente para la producción de madera para construcción naviera, muebles y carpintería en general (Suatunce *et al*, 2009).

La madera de melina es una de las especies reforestadas de mayor uso en la industria forestal en Costa Rica, y junto con la teca, son las especies reforestadas de mayor demanda en el mercado, con cerca de 20% (cerca de 225 mil metros cúbicos) de la madera consumida por los aserraderos (Moya, 2004).

En América Central existe un total de 225 000 ha de plantaciones forestales, de las cuales 52000 ha (23%) han sido plantadas con melina (*Gmelina arborea*). Esta ha sido plantada con propósitos comerciales tanto en Costa Rica como en Guatemala. (Alfaro y de Camino, 2002).

En Costa Rica se ha presentado una clara preferencia por usar melina en proyectos de reforestación por presentar una rotación corta (10 - 12 años) que se traduce en un período corto de tiempo para recuperar la inversión inicial (Alfaro y de Camino, 2002).

### 3.3. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

El vivero forestal donde se montó el ensayo está ubicado en la Sede Regional del Instituto Tecnológico de Costa Rica ubicada en Santa Clara de San Carlos, latitud N10°21'40" N y longitud 84°30'26" O, en la provincia de Alajuela, que corresponde a la Zona de Vida Bosque Muy Húmedo Tropical según el sistema de clasificación de Holdridge (1967).

### 3.4. CARACTERIZACIÓN ZONA DEL ENSAYO

(Fuente: INM (Instituto Nacional de Meteorología))

Tanto la zona de ubicación del ensayo en Santa Clara, como el suelo usado en el mismo, proveniente de Bella Vista de Cutris, pertenecen al cantón de San Carlos en la provincia de Alajuela. Las dos localidades se hallan en la llamada **Zona Norte** de Costa Rica.

**Ubicación.** La Zona Norte se localiza al norte del país, haciendo frontera con Nicaragua y el río San Juan. Al Sur limita con la Cordillera Volcánica Central, al oeste con la cordillera de Guanacaste y la Cordillera de Tilarán. El Río Chirripó forma el límite convencional este entre la zona Norte y la Región Caribe.

**Ecología.** Los suelos forman parte de las llanuras inundables del Caribe, y su relieve es por lo tanto plano, producto del relleno aluvial con material de base de origen volcánico. El perfil topográfico se caracteriza por colinas de hasta 382 msnm, terrazas con altitudes entre 50 y 100 msnm y llanuras aluviales de terrenos, algunos de ellos pantanosos. El tipo de bosque que se presenta es el Bosque Tropical Húmedo y hacia el noroeste, transición a lo seco.

**Clima.** Según Bergoeing (1998), la zona Norte pertenece a la unidad estructural denominada la Fosa de Nicaragua, que abarca toda la Zona Norte desde el Lago de Nicaragua, hasta el Caribe Sur del país. Además, presenta parte de la unidad estructural formada por las cordilleras volcánicas y la Sierra de Tilarán. Esta región pertenece al régimen de precipitación del Caribe, que es lluvioso todo el año, con una disminución relativa de las lluvias en los meses de febrero, marzo y abril. Es una región de contrastes en la lluvia, ya que en ella interactúan tanto elementos climáticos como factores geográficos debido a su relieve montañoso y la presencia de llanuras extensas, aparte de la influencia del Lago de Nicaragua al noroeste. Los lagos moderan las temperaturas, modifican el flujo de los vientos y son factores importantes en el ciclo hidrológico.

### 3.5. ORIGEN Y REPRODUCCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL

Los clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.) provenían de *reproducción vegetativa* en estaquillas de 25 árboles plus provenientes de la empresa *Expomaderas S.A.*, y también de árboles plus seleccionados en Upala, Alajuela. Los 49 árboles plus de melina (*Gmelina arborea* Roxb) fueron seleccionados en el

antiguo programa de mejoramiento genético de esta especie, desarrollado por la empresa *Ston Forestal*, en la zona sur de Costa Rica en los años 90. Este material se considera el mejor material existente de melina a nivel regional (Hodge y Dvorak, 2003).

Estas estaquillas justo antes de ponerlas en *pellets* para su enraizamiento, se sometieron a reducción de la lámina foliar para evitar su deshidratación y a inmersión en agente enraizador (AIB), para al cabo de 2 semanas proceder al repique o trasplante a los envases rellenos con el suelo pobre del ensayo.

*Expomaderas S.A.* es una empresa dedicada a la reforestación, que está iniciando con el desarrollo de un programa de mejoramiento genético y silvicultural para aumentar la productividad y calidad del material utilizado en su programa de reforestación, así como un servicio de auditoría externa en el proceso de desarrollo de este programa.

*Reproducción asexual o vegetativa.* La melina es una de las especies forestales de mayor facilidad de propagar vegetativamente. Es una especie con gran capacidad de rebrote y enraizamiento y no requiere de condiciones especiales para lograrlo (Murillo, 2003).

La reproducción asexual se caracteriza porque en ella no intervienen las células reproductivas (sexuales); por lo tanto, no hay reducción cromosómica. Las células se reproducen por mitosis, y originan células con el mismo genoma, es decir, su constitución genética y sus cualidades hereditarias son idénticas. La reproducción asexual vegetativa se lleva a cabo en plantas a través de partes vegetativas.

La reproducción asexual, vegetativa o apomíctica no es, en realidad, una reproducción sino una multiplicación, puesto que cada organismo producido no es otra cosa que un fragmento del organismo del que procede. Las plantas propagadas asexualmente constituyen un clon. Todas las plantas que forman un clon son genéticamente idénticas en herencia y tienen las mismas características de la planta progenitora original; esto significa que una variedad puede conservar perfectamente todas sus características, aun cuando tal variedad sea totalmente heterocigota. De modo que si se presenta una mutación o un cruzamiento favorable, se puede seleccionar de inmediato y sostenerla como variedad (por ejemplo, naranjas o uvas sin semilla) (Paredes, 2007).

La importancia de la reproducción asexual en el fitomejoramiento radica en que la descendencia no presenta variación genética, debido a que todos los individuos provienen de divisiones mitóticas. Por lo tanto, los individuos son genéticamente iguales, y originan un clon cuyas características son fenotípica y genotípicamente idénticas (Paredes, 2007).

En términos de mejoramiento, la vía clonal o asexual es la más indicada, dado que se logra capturar el 100% de la varianza genética. Además permite uniformizar la plantación y disminuir costos de manejo (Rojas et al, 2004).

*Pellets.* Los pellets utilizan un medio o sustrato inocuo de turba conocido como Peat-Moss de la variedad Sphagnum, la cual ayuda en la prevención de malezas y enfermedades de las raíces y a su vez estimula considerablemente el desarrollo radicular en la etapa de vivero (Jiffy, s f).

Su descomposición es lenta y no se infectan por virus ni hongos. Raramente son alimento de herbívoros. Estas condiciones de la turba la convierten en un excelente medio para la propagación vegetativa de plántulas a la vez permite hacer un uso sostenible del recurso.

Los pellets son fabricados a partir de turba con un porcentaje de fibra de madera para permitirle mayor longevidad a la forma del recipiente durante su manejo en el vivero. Es un excelente recipiente para el confinamiento de plántulas, las cuales son transplantadas directamente a campo sin necesidad de retirar el contenedor, evitando así el daño de raíces, dando así una formación radicular natural y evitando el retraso en crecimiento de la planta luego de la siembra (estrés de trasplante) (Jiffy, s f).

La función principal de los pellets es ayudar en el vivero a producir un sistema natural de raíces para que la plántula, después de ser sembrada, se ancle rápidamente y maximice su potencial de desarrollo. En resumen, los pellets son contenedores de plántulas con paredes blandas que permiten el desarrollo de raíces laterales en forma natural (Jiffy, s f).

En los últimos años la teca ha sido reproducida bajo este método; las plántulas de esta especie forestal se consideran listas para llevar al campo en tres semanas después del trasplante (Fonseca, 2004).

El pellet ha dado buenos resultados en el enraizamiento directo de estacas de *Tectona grandis*, *Hieronyma alchorneoides* y *Vochysia guatemalensis*. El objetivo es el de poder eliminar el trasplante (estrés y costos) que se debe realizar cuando se pone a enraizar las estacas en las bandejas plásticas (Murillo, 2003).

### 3.6. TRANSPLANTE O REPIQUE DE LAS ESTAQUILLAS ENRAIZADAS

La selección de las estaquillas de cada clon para el ensayo se hizo en base a su vigor y sobretodo al principio de que tuvieran al menos 4 hojas verdaderas formadas.

Se determinó transplantar para cada horizonte 4 repeticiones por especie. Para algunos clones se dispuso tan solo de 2 o 3 repeticiones por horizonte. Así, se procedió a seleccionar las estaquillas más vigorosas por clon, y al trasplante de las mismas con sus pellets a envases rellenos con el suelo ácido. Así, se procedió al ahoyado en cada envase con el suelo ácido y al trasplante de cada pellet con su respectiva estaquilla enraizada. En total, se dispuso de 600 envases llenos con este suelo para poder transplantar todas las estaquillas enraizadas en pellets.

### 3.7. CÁLCULO DE LOS ENVASES NECESARIOS PARA EL TRANSPLANTE DE LAS ESTAQUILLAS

El cálculo de los envases o bolsas plásticas necesarias para el trasplante de las estaquillas enraizadas en pellets resultó:

- Para Teca:

$(25 \text{ clones} + 1 \text{ repetido}) * 4 \text{ repeticiones/clon} * 2 \text{ horizontes} = 208 \text{ envases}$

**Nota:** Por error el clon 42 fué repetido en el ensayo. En los análisis genéticos y fenotípicos se corrigió uniendo las dos repeticiones y sacando la media de ambas.

- Para Melina:

$49 \text{ clones} * 4 \text{ repeticiones/clon} * 2 \text{ horizontes} = 392 \text{ envases}$

Los envases en que se transplantaron las estaquillas ya enraizadas en pellets son del tipo bolsa plástica color negro de dimensiones 15 cm de alto por 10 cm de ancho.

### 3.8. CONDICIONES PARA LA PROPAGACIÓN DE LAS ESTAQUILLAS EN EL INVERNADERO

Un ambiente de propagación contiene varios factores que están relacionados entre sí. Estos son: los factores atmosféricos, edáficos y bióticos.

### **3.8.1. FACTORES ATMOSFÉRICOS**

Los principales factores del ambiente atmosférico son: luz, temperatura, humedad y dióxido de carbono. Ver **Anexo 1**: Medias climáticas en Santa Clara de San Carlos, Alajuela. Período 1983-2004.

### **3.8.2-3.8.3. Factores Edáficos y Bióticos**

En forestería, como en agricultura, muchos factores físicos, químicos y biológicos contribuyen a disminuir la productividad. Si el establecimiento de plántulas, crecimiento y rendimientos finales son pobres, puede ser que una deficiencia de nutrientes o algún factor ambiental adverso puedan estar involucrados.

Estos factores adversos pueden ser atacados desde distintos puntos, para mejorar el suelo o para una mejor adaptación de las plantas a este. En general, se pueden considerar 5 formas o técnicas para mejorar la adaptación de las plantas al terreno. Estas son: la selvicultura (podas, raleos, etc.), la fertilización, la preparación del terreno, el encalado o corrección de pH y la producción de material genético resistente. Esta última técnica es la que nos ocupa en este ensayo, y es sin duda la más novedosa. Actualmente, los programas de mejora genética están en fases iniciales de desarrollo, pero ya se puede afirmar que tendrán una gran importancia en el futuro, sobretodo en lo que a producción de material vegetal para plantaciones comerciales se refiere.

A continuación se presenta una caracterización general del sustrato utilizado en el ensayo, así como la metodología básica empleada para sus correspondientes análisis físicos y químicos en laboratorio. También se presenta la metodología básica para el análisis microbiológico de ese sustrato, con el que se pretende describir las poblaciones fungales y bacterianas del mismo (Vease 2.3. Limitaciones del Trabajo).

### **3.8.2. FACTORES EDÁFICOS**

#### **3.8.2.1. SELECCIÓN DEL SUSTRATO**

El suelo del ensayo, pertenecía al orden de suelos Ultisoles proveniente de un cultivo de Teca (*Tectona grandis* Linn f.) en Bella Vista de Cutris, en el cantón de San Carlos, provincia de Alajuela.

Este suelo estaba separado en sus horizontes A (suelo proveniente de los 30 primeros cm de profundidad) y B (suelo comprendido entre los 30 y 60 cm de profundidad). De cada horizonte se colectó una cantidad representativa y suficiente para el ensayo. Así, del horizonte A se colectó tierra de los 30 primeros cm del suelo, y del horizonte B se colectó entre los 30 y los 60 cm del suelo. Cada una de las muestras de cada horizonte fue mezclada hasta homogeneización de las mismas, antes de llenar cada envase donde se transplantaría cada una de las estaquillas enraizadas en pellets. De cada una de estas mezclas se colectaron otras tantas muestras representativas de unos 500 gramos para los análisis físicos y químicos que se realizarían en los Laboratorios de Suelos de la Universidad de Costa Rica (CIA-UCR).

#### **3.8.2.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO**

El sustrato básico diferenciado en sus horizontes A y B representa un suelo pobre con problemas de acidez. Este suelo es del orden:

**Ultisol**, clasificado como *Ustic Kandihumult*, ubicados en cultivo de teca (*Tectona grandis* Linn f.) en la localidad de Bella Vista de Cutris en el cantón de San Carlos, Alajuela. La textura de estos suelos es arcillosa, aunque por la concentración de óxidos de hierro y aluminio tienen muy buena estructura. Son suelos ácidos con severas limitaciones químicas para el crecimiento de las plantas. Son suelos bajos en bases (Ca, Mg, K, P y N). Tienen pH bajo y alta concentración de Al y Fe.

### **3.8.2.3. METODOLOGÍA EMPLEADA EN LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUSTRATO**

De cada horizonte del suelo experimental se tomaron dos muestras representativas de aproximadamente 500 g., que fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Foliareos y al Laboratorio de Recursos Naturales del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, donde se realizó el análisis químico para las siguientes variables: pH, acidez intercambiable (Al), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), fósforo (P), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), nitrógeno (N), sodio (Na), azufre (S), materia orgánica (MO), saturación intercambiable de acidez en porcentaje, capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE), conductividad eléctrica (CE); y el análisis de textura o granulométrico (% de arena, limo y arcilla), siguiendo los métodos de rutina utilizados por estos laboratorios. Con base en la descripción de campo y los análisis de laboratorio, los suelos se clasificaron taxonómicamente a nivel de subgrupo, tomando como referencia la Clave para la Taxonomía de Suelos (SSS 2006).

Los protocolos de los análisis químicos son los recomendados para suelos tropicales: pH en agua, acidez, Ca y Mg con KCl 1M; P, K, Zn, Fe, Mn y Cu con Olsen modificado a pH 8 (Laboratorio de Suelos de la Universidad de Costa Rica, Sánchez, 1976; Bertsch, 1995, 1986).

La única cualidad física que se analizó en las dos muestras de suelo fue la textura. En base a los resultados porcentuales de arenas, limos y arcillas obtenidos se procedió a relacionarlos en el triángulo del USDA de clases texturales de suelos.

Con el análisis de suelos se pretende determinar el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo, así como las condiciones adversas que pueden perjudicar a los cultivos, tales como la acidez excesiva, la salinidad, y la toxicidad de algunos elementos. El análisis de suelo permite determinar el grado de fertilidad del suelo. La fertilidad es vital para que un suelo sea productivo, aunque un suelo fértil no necesariamente es productivo, debido a que existen otros factores de tipo físico como el mal drenaje, escasa profundidad, piedra superficial, déficit de humedad, etc., que pueden limitar la producción, aún cuando la fertilidad del suelo sea adecuada. El grado de potencial productivo de un suelo está determinado por sus características químicas y físicas.

### **3.8.3. FACTORES BIÓTICOS**

Organismos que pueden afectar el crecimiento de la planta tanto positiva como negativamente.

Durante el primer mes del ensayo se reportó un ataque de la hormiga Zompopa (*Atta* sp.), causando defoliación parcial en algunos clones teca y de melina especialmente, lo que pudo proporcionar un cierto estrés a las estaquillas. El problema se solucionó al descubrir la vía de entrada de las hormigas y con la correspondiente aplicación de formicida en dicho lugar.

En Costa Rica se ha reportado el ataque de *Atta* sp. que consumen las hojas de teca durante los primeros años (Arguedas 1997; CATIE 1991, citados por Pinzón y Moreno 1999).

**Análisis microbiológico:** Ver '2.3. LIMITACIONES DEL TRABAJO'.

En casos extremos, se observa que en los árboles afectados por acidez pueden prosperar con mayor facilidad microorganismos oportunistas, causales de la muerte descendente de los mismos; este problema puede asociarse al bajo contenido de pectato de calcio en la pared celular de los tejidos, lo que facilita el proceso de infección de los patógenos (Alvarado y Fallas 2004).

### 3.9. ENSAYO DE CAMPO. DISEÑO EXPERIMENTAL

El ensayo fue establecido a mediados de diciembre de 2009 en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) en Santa Clara de San Carlos, provincia de Alajuela. Un vivero forestal es un sitio especialmente dedicado a la producción de árboles de la mejor calidad, al menor costo posible (Rojas, 2001).

Este ensayo se inició con el trasplante de las estaquillas enraizadas en pellets de la marca Jiffy a los envases con suelo ácido. La selección de las estaquillas enraizadas de cada clon se hizo en base a su vigor y a la condición de que dispusieran al menos de 4 hojas verdaderas formadas. Así, las estaquillas transplantadas se ubicaron bajo sarán o malla negra, y con paredes de sarán.

La estructura del invernadero debe ser lo más simple y funcional posible. Para sostener un techo y paredes de sarán o plástico no es necesario utilizar una estructura costosa y de gran resistencia. Si se cuenta con suficientes recursos, esta estructura puede ser construida con tubo delgado (de 1 pulgada) acoplado o soldado en sus esquinas (Murillo, 2003).

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 (Murillo, 2003).

Así, con estos elementos de protección en el invernadero se crearon las condiciones ambientales apropiadas para el cultivo de las estaquillas del ensayo experimental, proporcionando a las mismas una cobertura transparente a la luz y que a su vez ofreciera protección contra algunos factores agresivos del clima, como el viento, lluvias, radiación solar, etc., que podrían afectar la vida de las estaquillas.

El diseño estadístico fue de bloques completamente al azar, con 4 repeticiones por cada uno de los 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb) para cada uno de los dos horizontes de suelo (A y B).

La disposición de las estaquillas ya transplantadas a los envases con el suelo ácido en el vivero quedó como se muestra en la fotografía. Las dos primeras columnas corresponden a estaquillas de teca y melina transplantadas a envases con suelo perteneciente al horizonte A (suelo proveniente de los 30 primeros cm. de plantación de Teca en Bella Vista de Cutris en San Carlos). En cada una de las filas se dispusieron las 4 repeticiones por clon para cada una de las dos especies citadas respectivamente. Así, la disposición para teca quedó con 25 filas o clones en la primera columna. Para melina se dispusieron de 49 filas o clones con sus respectivas 4 repeticiones en la segunda columna. Igualmente que para el horizonte A, se dispuso a continuación de dos columnas para estaquillas transplantadas a envases rellenos con suelo perteneciente al horizonte B (suelo comprendido entre los 30 y 60 cm. de plantación de Teca en Bella Vista de Cutris en San Carlos). E igualmente, se dispusieron de 4 repeticiones por fila o clon para idéntico número de bases genéticas que para el horizonte A y para las dos especies utilizadas: 25 filas o clones para teca en la tercera columna con sus respectivas 4 repeticiones por clon y 49 filas o clones para melina en la cuarta columna con sus respectivas 4 repeticiones por clon.



**Figura 1.** Disposición del diseño experimental establecido en la sede del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Santa Clara (Alajuela). Columnas 1 y 2: clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y melina (*Gmelina arborea* Roxb) respectivamente sobre suelo ácido del ensayo en su horizonte A. Columnas 3 y 4: clones de teca y melina sobre suelo ácido del ensayo en su horizonte B. Ver **Anexo 2.** Diseño experimental gráfico.

Tras una semana de asentamiento de las estaquillas transplantadas se procedió a medir la variable altura (altura inicial), que también se midió cada mes durante los siguientes 4 meses. En el último mes además de la altura, se procedió a medir también el diámetro de cada estaquilla con un pie de rey. El ensayo tuvo cuatro controles manuales de hierbas durante el experimento.

**Nota:** La segunda medición, no se hizo al mes de la primera medición ( $H_0$  o altura inicial), sino a los 45 días de esta. Las siguientes mediciones ( $H_2$ ,  $H_3$  y  $H_4$ ) si siguieron secuencias de medición mensuales.

Después de una sesión fotográfica que ayudó a mostrar las diferencias en cuanto a crecimiento en altura de algunos clones seleccionados (se muestran en estas fotos ejemplos de algunos de los mejores y peores clones en el ensayo), se procedió a la extracción de cada estaquilla del envase, separando la parte aérea de la raíz, y a su posterior secado en estufa durante 27 horas a una temperatura constante de 105 °C para su posterior pesaje en balanza analítica.

Para la extracción de las estaquillas de los envases se tuvo que proceder en algunas de ellas a excavación del sustrato sobre el que se sustentaban los envases del ensayo, debido a que las raíces de algunas de estas estaquillas habían profundizado en éste, debiéndose tener en cuenta como parte del error experimental del ensayo.

### 3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Para realizar comparaciones estadísticas se aplicó un análisis fenotípico y un análisis genético con el software SELEGEN. Las variables que se analizaron para cada una de los rametos de cada clon fueron: la altura total a los 45 días; altura total a los 75 días; altura total a los 105 días; altura total a los 135 días posterior al trasplante de las estaquillas; diámetro al cuello a los 135 días; peso seco de la parte aérea (PSPA) y peso seco de las raíces (PSR).

El análisis de los datos del ensayo fue realizado empleando el modelo 2 del software SELEGEN-REML/BLUP (Resende...), para el análisis de clones no emparentados, establecidos en una sola localidad. El modelo estadístico está dado por  $y = Xr + Za + Wp + e$ , donde “y” es el vector de datos; “r” es el vector de los efectos de repetición o bloque (asumidos como fijos) y sumados a la media general; “a” es el vector de los efectos genéticos aditivos individuales (asumidos como aleatorios); “p” es el vector de los efectos de parcela (asumidos como aleatorios); y “e” es el vector del término del error o residuos (aleatorio). Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos.

### 3.11. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información se separaron las dos especies utilizadas (*Tectona grandis* Linn f. y *Gmelina arborea* Roxb) y se establecieron dos profundidades para cada una de ellas. La primera se extendía desde la superficie del suelo hasta los 30 centímetros de profundidad, que correspondía al horizonte A del suelo para el ensayo. La segunda se extendía entre los 30 y los 60 centímetros de profundidad y correspondía al horizonte B del mismo suelo extraído de cultivo de teca en Bella Vista de Cutris de San Carlos, Alajuela.

## 4. RESULTADOS y DISCUSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Dos muestras (horizontes A y B) duplicadas y representativas del suelo utilizado en el ensayo se enviaron a dos Laboratorios de Suelos de la Universidad de Costa Rica (CIA-UCR). Dos de las muestras (horizontes A y B) fueron analizadas por sus características químicas en el Laboratorio de Suelos y Foliare de la UCR, y las otras dos muestras representativas del mismo suelo se analizaron en el Laboratorio de Recursos Naturales de la UCR para obtención de la clase textural mediante análisis físico.

#### 4.1.1. RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICO

En Costa Rica se utiliza la solución Olsen Modificado para análisis de P, K, Fe, Cu, Zn, y Mn disponibles, y el KCl para acidez intercambiable, Ca y Mg (Díaz-Romeu y Hunter 1978).

Para el análisis de las características químicas del suelo se empleó el mencionado Método de Olsen Modificado, y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Cuadros 1 y 2.** Resultados análisis químico del suelo natural ácido de la Zona Norte de Costa Rica

<b>ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS</b>													
Solución Extractora: <b>KCl-Olsen Modificado</b>		pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
		H <sub>2</sub> O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
HORIZONTE A	S-09-03819	5,1	0,71	3,96	1,75	0,15	6,57	11	1	0,9	12	92	168
HORIZONTE B	S-09-03820	5,3	0,38	2,80	1,02	0,03	4,23	9	ND	0,3	10	38	70

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada  
 CICE=Capacidad de intercambio de Cationes  
 SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)\*100  
 Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K

		%	cmol/L	mS/cm	%	mg/L
		N	Na	CE	MO	S
ID USUARIO	ID LAB	0,3máx		1,5	5	12
HORIZONTE A	S-09-03819	0,37	0,09	0,18	4,6	28
HORIZONTE B	S-09-03820	0,18	0,06	0,05	1,4	39

En resumen, se puede indicar que los problemas de acidez aumentan cuando se presentan las siguientes condiciones del suelo:

- pH < 5.5
- Acidez o Al intercambiable > 0.5 cmol(+)/L.
- Suma de bases (Ca + Mg + K) < 5 cmol (+)/L
- Saturación de acidez > 20%

Así, se discutirán los resultados de los análisis químicos en función de estos valores principalmente, aunque también por algunas citas encontradas.

- Un pH superior a 5.5, la disponibilidad de los elementos esenciales es adecuada (Bertsch 1995), por lo tanto las especies del ensayo se consideran tolerantes a cierto grado de acidez los resultados de los

análisis muestran que en promedio de  $\text{pH}=5,2$  para las dos profundidades (horizontes A y B) no cumplen la condición antes mencionada, por lo que se puede considerar que este suelo respecto al valor de  $\text{pH}$  puede dar problemas de acidez por encontrarse su valor por debajo del nivel crítico.

Ugalde (2003) menciona que en América Central la teca crece bien en suelos arenosos y ligeramente arcillosos, fértiles, profundos y bien drenados, con  $\text{pH}$  neutro a ligeramente ácido; suelos ácidos ( $\text{pH}<5,5$ ) y propensos a inundación durante la época lluviosa, limitan el crecimiento de la teca. Para Shoji (2002) la teca es capaz de crecer en una gran variedad de suelos, sin embargo, su mejor crecimiento se presenta en suelos aluviales, porosos, profundos, fértiles y bien drenados, con  $\text{pH}$  neutro.

b) En la segunda mitad del siglo XX se descubre que en el sistema suelo, la hidrólisis del  $\text{Al}^{3+}$  es la causante de producir grandes cantidades de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$ , siendo la presencia de este ión igualmente negativa para el crecimiento normal de las raíces de las plantas, para las cuales es tóxico (Kamprath 1967, Pearson 1975). Para este entonces, queda claro que la forma de  $\text{Al}^{3+}$  no puede ocurrir a valores de  $\text{pH}$  superiores a 5,5, por lo que este valor puede considerarse como “neutro” en el ecosistema suelo, y es por debajo de este valor que los contenidos de saturación de  $\text{Al}$  o de acidez aumentan exponencialmente.

Para el caso de *T. grandis*, en África Oriental se considera que valores de  $\text{Al}$  intercambiable entre 2,55 y 6,55  $\text{cmol}(+) \text{ l}^{-1}$  son altos, mientras que en otros lugares se recomienda mantener el nivel de saturación de  $\text{Al}$  en el suelo por debajo del 8% (Expomaderas y Coillte 2002).

c) Vásquez y Ugalde (1996) concluyen que los mejores sitios para teca estuvieron asociados con contenidos de  $\text{Ca}$  mayores a 10  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  en el primer horizonte; y Dreschel y Zech (1994) mencionan que la mayoría de los autores recomiendan suelos que presenten 10  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  de  $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}$  en los primeros 15 cm de suelo. Por otro lado, Herrera y Alvarado (1998) reportan contenidos de entre 21-30  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  de  $\text{Ca}$  para sitios de alto rendimiento; y valores entre 16-17  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  en sitios de bajo rendimiento; y que contenidos de  $\text{K}$  entre 0.1 y 0.3  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  para sitios de alto rendimiento. El  $\text{K}$  es sumamente importante para la teca por la gran cantidad de éste que acumula en sus tejidos.

Así, al nivel de la suma de bases cambiables del suelo ( $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}$ ) puede afirmarse que en el primer horizonte la suma de estas (5,75  $\text{cmol}/\text{L}$ ) se encuentra en un nivel ligeramente por encima del nivel crítico para el desarrollo de la teca y la melina, si bien el  $\text{Ca}$  disponible se encuentra en el nivel crítico para su desarrollo. Según Suzuki et al (2007) la teca es una especie calcidófila que requiere de una relativamente alta cantidad de  $\text{Ca}$  en el suelo para su crecimiento y desarrollo. Una deficiencia de este elemento se traduce en raquitismo de los árboles (Krishnapillay 2000). La disponibilidad de  $\text{K}$  está ligeramente por debajo del nivel crítico de crecimiento. Esto puede deberse según Bertsch (1987) al método de análisis utilizado en el laboratorio ya que existe una fracción de potasio fijado entre las capas de arcillas que no es detectado. Stuhmann et al (1994), citado por Herrera (1996), en un estudio en la Zona del Atlántico Norte de Costa Rica, encontraron que los factores edáficos que afectan el crecimiento en altura de *G. arborea*, fueron: grosor del horizonte A, disponibilidad de potasio, la densidad de partículas y el porcentaje de saturación de aluminio. El segundo horizonte del suelo se encuentra con deficiencias de  $\text{Ca}$  y  $\text{K}$ , y el  $\text{Mg}$  se encuentra en el umbral crítico para los requerimientos de las especies.

Así, se puede concluir que las condiciones nutricionales de bases cambiables del suelo del ensayo están ligeramente por debajo del nivel crítico, lo que da un nivel medio-bajo de fertilidad al suelo en su conjunto (los dos horizontes).

El efecto del  $\text{Ca}$  y del  $\text{Mg}$  sobre el crecimiento de la teca en suelos ácidos ha sido mencionado por varios autores (Laurie 1975, Hase y Foelster 1983) y se atribuye al hecho de que la especie crece en forma natural en suelos derivados de materiales parentales básicos en su lugar de origen (p.e. calizas y suelos aluviales fértiles). En estudios sobre los factores ambientales que determinan la calidad de sitio para teca en Costa Rica, también se ha encontrado una correlación significativa y positiva con los contenidos de  $\text{Ca}$  y  $\text{Mg}$  en el suelo (Vallejos 1996, Montero 1999).

d) El incremento medio anual en altura (IMA-H) de la teca en suelos de Costa Rica con pH inferior a 6 se reduce de 3,9 a 1,5 m\*año<sup>-1</sup> cuando la saturación de acidez del suelo aumenta de 1 a 5,8% y que a valores de saturación de acidez mayores, los árboles tienden a crecer aún menos (en promedio 1,45 m\*año<sup>-1</sup>). Este comportamiento coincide con el conocimiento que sobre esta especie se ha desarrollado en África (Zech y Drechsel 1990, Expomaderas y Coillte 2002) y en Brasil (Oliveira 2003).

El P es uno de los elementos limitantes más comunes en los trópicos ya que muchos de estos suelos presentan una alta capacidad para fijarlo, lo cual causa una baja disponibilidad para las plantas (Bertsch 1995).

Según los datos de Nwoboshi (1984) presentados por Alvarado (2007), la teca no demanda grandes cantidades de P. Según Thielle (2008) en un estudio en Costa Rica, ningún tipo de suelo alcanzó el valor medio de 10 mg/L de P, que es considerado como el nivel mínimo de suficiencia en la mayoría de suelos agrícolas (Bertsch 1995).

Bertsch (1987), indica que la mayor parte de los suelos de Costa Rica presentan deficiencias en el contenido de fósforo, situación que se confirma al analizar los resultados obtenidos para el horizonte A que tiene déficit en fósforo, ya que da un resultado de 1 mg/litro, cuando el nivel crítico para este elemento se sitúa en un mínimo de 10 mg/litro en teoría para suelos agrícolas. El hecho de que se de un contenido de P tan bajo (1 mg/L) podría explicarse en parte por la capacidad de la teca de formar relaciones simbióticas con hongos micorrízicos vesículo arbusculares. Mohanan y Sheeba (2003) realizaron una investigación de la asociación entre las micorrizas y la teca en el estado de Kerala (India) entre 1998 y 2002, y detectaron la asociación fúngica con micorrizas arbusculares en las raíces absorbentes jóvenes de todos los árboles evaluados. Alvarado et al (2004) en su artículo sobre características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de teca en Costa Rica, encontraron que la gran mayoría de los árboles presentaron raíces infectadas por micorrizas y que los sitios que presentaron los mayores valores de infección de raíces y de número de esporas en el suelo coincidieron con una amplia diversidad de especies del género *Glomus*. Por todo lo anterior se le puede dar a esta relación cierto grado de responsabilidad de que aún a contenidos bajos de P la teca no resintió de manera evidente esa deficiencia. Los hongos que forman micorrizas mejoran el suplemento de nutrientes minerales de baja movilidad en la solución del suelo, principalmente fósforo, que queda disponible para el árbol a cambio de un porcentaje del carbono que éste fija en la fotosíntesis. Como regla, la tasa de absorción de P en plantas micorrízicas por unidad de longitud de raíz es 2 a 3 veces mayor que en plantas no micorrízicas (Marschner 1995).

Además de lo anterior, según los datos de Nwoboshi (1984) presentados por Alvarado (2007), la teca no demanda grandes cantidades de P, pues teca en Nigeria a los 15 años extrajo unos 450 kg de P por hectárea, lo cual se puede considerar bajo si se compara con las casi 3 toneladas de K y las poco más de 2 toneladas por hectárea de Ca absorbidas a la misma edad.

Para el horizonte B no se detectó la presencia de P, lo que puede ser debido a un contenido tan bajo del mismo que no puede detectarse en laboratorio. Pero como se ha constatado que la teca no requiere de grandes cantidades de P para su normal desarrollo, este elemento no se utilizará para obtener conclusiones acerca del grado en que puede afectar la acidez del suelo del ensayo al normal desarrollo de las estaquillas del mismo.

En la literatura no se encontraron datos de CICE para teca; sin embargo, con base en los contenidos de bases cambiables requeridos para el cultivo, se estimó que el valor de CICE debe ser mayor de 15 a 20 cmol(+)/L para lograr crecimientos dentro de la mejor clase de IS. Aunque en base al nivel crítico propuesto por el laboratorio donde se realizó el análisis, se darían problemas de acidez con valores inferiores a 5 cmol/L.

Se debe tener en consideración que CICE es la suma de los contenidos de Ca+Mg+K+acidez disponibles, por lo que pueden presentarse suelos con una CICE alta, pero que esté dada en gran parte por el contenido de acidez en el suelo. Es por esto que para considerar la CICE como uno de los criterios de decisión, deben conocerse también los datos de Ca, Mg, K y acidez; y recordar que el principal uso de

esta variable en estudios de este tipo, es como precursora del cálculo de porcentajes de saturación de acidez y bases, especialmente Ca.

La saturación de acidez es una medida del porcentaje del complejo de intercambio catiónico, que está ocupado por Al y H. Es el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez. Casi ningún cultivo soporta más de 60% de saturación de acidez y el valor deseable para la mayoría de las plantas oscila entre 10 y 25%.

La teca en su condición natural se presenta en diversos tipos de suelos, pero su mejor desarrollo se da en suelos franco-arenosos a arcillosos, fértiles, bien drenados y profundos y con pH 5.0 a 8.5 (Briscoe, 1995).

En un estudio sobre acidez y enclado en suelos ácidos en Costa Rica, Alvarado y Fallas (2004) encontraron que valores de saturación de acidez del 3 % disminuyeron significativamente el incremento medio anual en altura. Mollinedo et al (2005) en un estudio en la zona Oeste de la Cuenca del Canal de Panamá, concluyeron que una de las principales variables de suelo que explica las diferencias de crecimiento en teca fue el porcentaje de saturación de acidez, el cual debe ser menor del 8 % para lograr los mejores valores de crecimiento de los árboles.

Porcentajes de saturación de acidez altos en el suelo afectan el crecimiento de la mayoría de las plantas, siendo la inhibición de la elongación radical el primero y más evidente de los síntomas a este estrés, al inhibirse la división celular. Sin embargo, muchas especies poseen mecanismos de tolerancia, algunos genéticos y otros, como la producción de ácidos orgánicos que actúan como sustancias quelatantes del Al<sup>3+</sup> en la rizosfera que pueden reducir la toxicidad (Matsumoto 2002). Marschner (1995) menciona la existencia del mucílago o mucigel, un material gelatinoso de alto peso molecular consistente principalmente de polisacáridos, los cuales pueden ser exudados por las plantas como mecanismo de evitación, pues estos pueden ser capaces de acomplejar el aluminio. La secreción de mucílago en las raíces depende de la concentración extracelular de Ca. Si bien se desconoce la capacidad de la teca para utilizar este mecanismo de defensa ante el Al, en caso de que sea capaz de secretar mucigel.

La acidez de los suelos constituye un problema de importancia en la producción agroforestal de Costa Rica. Un 20-25% de los suelos del país tienen características ácidas.

El nivel de acidificación se ha incrementado, por diversos factores:

- Pérdida de la capa arable por erosión.
- Extracción de nutrientes en sistemas de cultivo intensivo.
- Efecto residual ácido de fertilizantes nitrogenados amoniacales.
- Manejo inadecuado del enclado.
- Deforestación y habilitación para el cultivo de suelos ácidos.
- Escaso uso de técnicas de diagnóstico de la fertilidad de los suelos.

El fenómeno de la acidez provoca los siguientes efectos negativos:

- Reduce el crecimiento de las plantas.
- Ocasiona disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como Ca, Mg, K y P.
- Favorece la solubilización de elementos tóxicos para las plantas como el Al y Mn.

El enclado junto con la siembra de especies tolerantes constituyen las prácticas más apropiadas y económicas para corregir los problemas de acidez. Así, en el presente ensayo se evalúan dos colecciones de clones de teca y melina por su tolerancia a suelos ácidos. Con ello se pretende obtener los mejores clones para plantación en esos suelos ácidos.

Según Thielle (2008) aún con bajos contenidos de nutrientes en el suelo pero con adecuadas condiciones climáticas y de relieve, los árboles de teca pueden lograr buenos crecimientos.

#### 4.1.2. RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO (ANÁLISIS TEXTURAL)

Se llama textura a la composición elemental de una muestra de suelo, definida por las proporciones relativas de sus separados individuales en base a masa (arena, limo y arcilla). Para determinar la textura se utilizan los triángulos texturales. Los triángulos texturales son utilizados por quienes deben interpretar los resultados provenientes del análisis de laboratorio de suelos. El triángulo utilizado en Costa Rica, es el diseñado por el USDA.

Los resultados de análisis físicos del suelo del ensayo respecto a la textura dieron los siguientes resultados:

**Cuadro 3.** Resultados análisis textural del suelo natural ácido del ensayo

ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELOS					
ID USUARIO	ID LAB	(%)			NOMBRE TEXTURAL
		ARENA	LIMO	ARCILLA	
HORIZONTE A	RN-525-09	28	13	58	ARCILLOSO
HORIZONTE B	RN-526-09	30	13	57	ARCILLOSO

Así, los resultados del análisis textural muestran que la fracción predominante en los dos horizontes del suelo del ensayo es la arcilla. Además, los porcentajes de arenas, limos y arcillas son casi idénticos en los horizontes A y B, dando una clase textural **arcillosa** en ambos al trazar las líneas porcentuales de cada fracción textural en el triángulo del USDA.

**Textura Arcillosa:** constituye un suelo de textura fina que usualmente forma terrones duros al estado seco y es muy plástico como también pegajoso al mojarse. Cuando el suelo húmedo es oprimido entre el pulgar y los dedos restantes se forma una cinta larga y flexible.

Según Thielle Mora (2008) en su estudio de variables edáficas que afectan el crecimiento de la teca, de manera general a mayor contenido de arcilla, menor resultó ser el crecimiento de la teca, lo cual concuerda con Shoji (2002), quien menciona que plantaciones de teca establecidas en sitios de suelo arcilloso y con mal drenaje están destinadas al fracaso.

Se puede afirmar que la arcilla en contenidos muy altos relacionados con un pobre desarrollo de estructura puede limitar el crecimiento de las raíces. Porta et al (2003) menciona que la vida en el suelo es posible gracias a que las partículas no forman una masa continua, sino que al unirse crean un espacio de huecos, muchos de los cuales se comunican entre sí, creando un espacio adecuado para el crecimiento de las raíces de las plantas y otros organismos del suelo.

No obstante los resultados obtenidos para textura del suelo, el contenido de arcilla no debe ser visto de manera independiente, pues además de esta variable, debe analizarse el desarrollo de estructura de los suelos y el contenido de los nutrientes que la teca y la melina requieren en mayor cantidad.

Según Rao (2003), las condiciones de suelo en las áreas donde mejor crece la teca en bosques de Andhra Pradesh, India (uno de sus sitios de origen), son suelos areno limosos bien drenados; conforme el suelo tiende a ser más arcilloso, la teca va desapareciendo, dando espacio a otras especies del bosque. Ugalde (2003) menciona que en América Central la teca crece bien en suelos arenosos y ligeramente arcillosos.

#### 4.2. ANÁLISIS FENOTÍPICOS DE CLONES DE TECA (*Tectona grandis* Linn f.) SOBRE HORIZONTE A DEL SUELO EXPERIMENTAL

**Cuadro 4.** Ranking fenotípico de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Clon	H75 <sub>1</sub>	Clon	h135	Clon	PSPA <sub>2</sub>	Clon	PSR <sub>3</sub>	Clon	Δ75 <sub>4</sub>	Clon	Δ105	Clon	Δ135
8	6,90	52	8,28	30	0,69	8	0,68	94	1,60	67	1,58	67	1,10
52	6,90	94	8,10	52	0,66	49	0,67	67	1,48	94	1,38	2	0,93
93	6,60	93	7,75	49	0,64	55	0,65	42	1,01	2	1,25	42	0,75
4	6,53	8	7,53	8	0,64	22	0,60	31	0,98	42	0,98	94	0,75
23	6,25	42	7,15	10	0,59	52	0,59	6	0,98	30	0,90	93	0,60
49	6,15	23	7,15	67	0,57	30	0,58	30	0,95	51	0,80	52	0,58
94	5,98	4	7,05	100	0,56	100	0,58	52	0,88	52	0,80	6	0,55
7	5,80	67	7,03	94	0,56	6	0,57	23	0,88	32	0,78	31	0,55
10	5,50	49	6,93	7	0,55	7	0,56	93	0,88	31	0,73	55	0,55
48	5,45	30	6,85	22	0,55	5	0,55	51	0,83	1	0,73	7	0,53
30	5,43	7	6,63	2	0,53	42	0,54	55	0,78	48	0,63	51	0,53
42	5,43	2	6,53	42	0,51	31	0,53	1	0,75	49	0,60	30	0,53
100	5,40	48	6,40	48	0,51	4	0,51	32	0,75	55	0,55	46	0,50
55	5,18	10	6,28	31	0,50	3	0,51	3	0,73	93	0,55	22	0,48
6	5,00	55	6,28	46	0,50	48	0,50	8	0,70	100	0,52	23	0,48
1	4,93	100	6,25	1	0,50	32	0,49	100	0,63	5	0,48	10	0,45
51	4,83	51	6,15	55	0,49	93	0,48	2	0,63	23	0,43	5	0,45
31	4,58	1	6,08	51	0,46	23	0,46	4	0,55	46	0,43	3	0,43
32	4,58	6	5,95	93	0,46	1	0,45	22	0,55	6	0,40	1	0,43
5	4,53	31	5,85	32	0,43	51	0,42	48	0,50	22	0,40	32	0,40
2	4,35	32	5,75	23	0,42	46	0,39	46	0,48	8	0,35	100	0,33
67	4,35	5	5,45	5	0,42	10	0,38	5	0,43	10	0,33	48	0,33
22	4,20	22	5,08	6	0,40	94	0,36	7	0,43	7	0,30	8	0,28
46	4,08	46	5,00	3	0,40	67	0,32	10	0,40	3	0,30	4	0,28
3	3,80	3	4,53	4	0,38	2	0,28	49	0,35	4	0,25	49	0,18

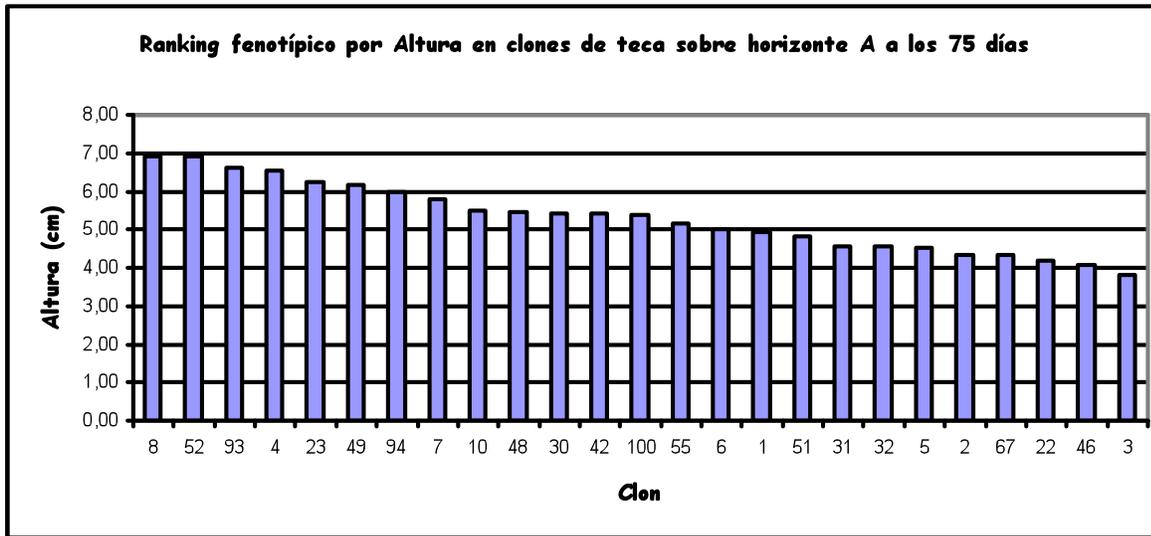
**Nota:** Celdas en amarillo corresponden al/a los clon/clones promedio para cada variable.

1) Altura total (cm) a los 75 días; 2) Peso Seco de la Parte Aérea (g) a los 135 días; 3) Peso Seco de las Raíces (g) a los 135 días; 4) Incremento en altura a los 75 días (cm).

En el cuadro 4 puede observarse el comportamiento en crecimiento de los clones de teca, en relación con su grado de tolerancia al suelo ácido en su horizonte A. La respuesta clonal al medio ácido permite distinguir dos grupos de clones, aquellos con un comportamiento estable a lo largo de los 135 días de evaluación (no cambian posición dentro del ranking), y otro grupo con un comportamiento errático, por lo general, de más a menos. En el primer grupo (estables) se incluyen los clones 52, 8, 93, 4, 23, 3, 46, 22, 5, 32, 31, 51, 1, principalmente. En el segundo grupo (inestables) se incluyen los clones 10, 67, 2, 42 y 94. Sin embargo, si se observa el comportamiento en incremento de este grupo, se puede observar que estos mismos cinco clones son estables.

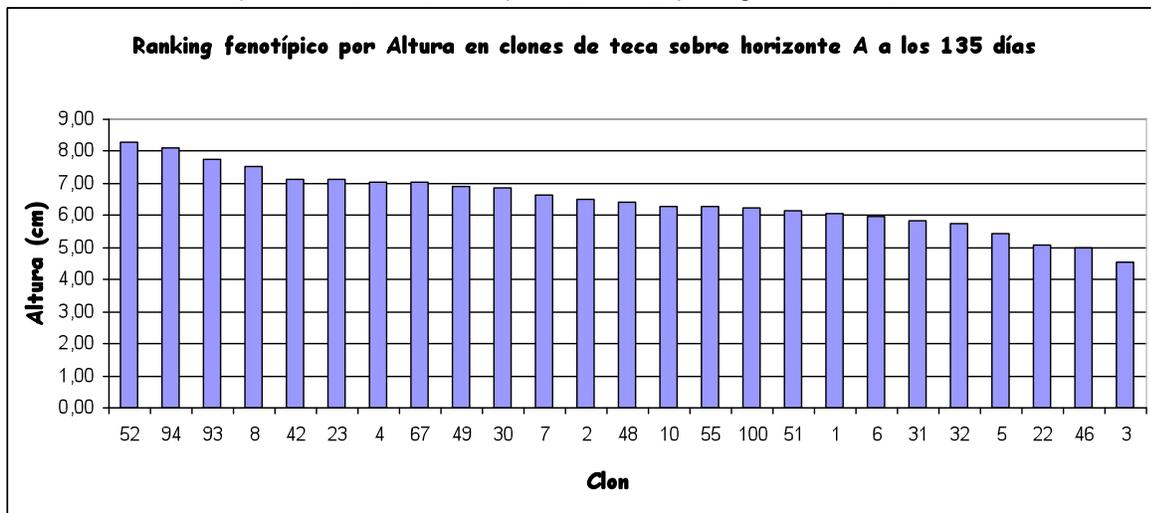
En relación con el Peso Seco Parte Aérea (PSPA) y el Peso Seco de Raíces (PSR), se puede observar que los mejores clones en ambas variables coinciden en su posicionamiento en el Ranking (30, 52, 49, 8 y 10). Sin embargo, los peores clones contrastan radicalmente en su ubicación en el Ranking de ambas variables (clones 2, 67, 94 y 4, 3, 6 y 5). Si se compara el ranking de los mejores clones en el PSR, se

encuentra una relación inversamente proporcional en ranking del incremento a los 75, 105 y 135 días. Los mejores clones en PSR, son de los peores en incremento en crecimiento (clones 8, 49, 2, 67, 94). La tasa de incremento se observa que sigue un patrón de disminución paulatina. Si se determina el incremento medio diario en altura (IMD), se obtiene que esta tasa es de 0,1009 cm a los 45 días, 0,071 a los 75 días, 0,057 a los 105 días y de tan solo 0,048 cm a los 135 días de observación. Finalmente, los mejores clones en cuanto a incremento en altura son el 67, 2, 42 y 94, mientras que los peores clones en cuanto a este factor son el 8, el 4 y el 49.



**Figura 2.** Variación en la altura promedio (cm) de 25 clones de teca a los 75 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela

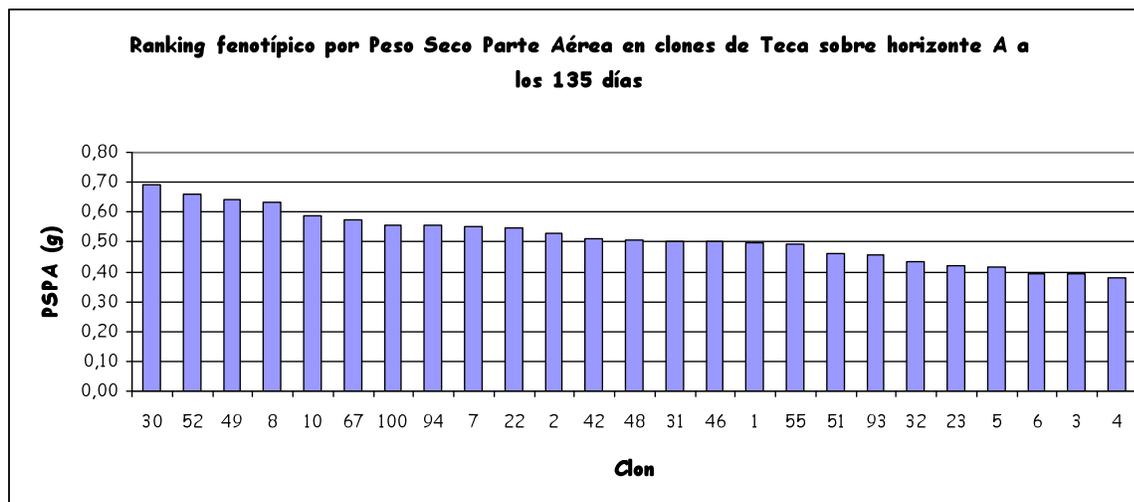
En la figura 2 se muestra una variación importante en el crecimiento en altura promedio a los 75 días de los 25 clones de teca evaluados en el suelo ácido (pH = 5,2). Puede notarse que los mejores cinco clones (8, 52, 93, 4 y 23) superan en más de 2,5 cm (6,5 cm vs 4 cm) a los peores cinco clones (2, 67, 22, 46 y 3), lo que representa una superioridad de un 62%. Estos mismos cinco clones superan al valor promedio de todos los clones (Cuadro 4,  $x = 5,31$  cm) en 1,19 cm, que significa un 22,5%.



**Figura 3.** Variación en la altura promedio (cm) de 25 clones de teca a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela

En la figura 3 se puede notar que las diferencias se mantienen entre los mejores y peores clones, en cuanto a su crecimiento en altura a los 135 días de observación. Entre los mejores cinco clones se ubica

ahora el clon 42 desplazando ligeramente al clon 23. Entre los peores cinco clones, los tres últimos permanecen en las mismas posiciones y aparecen ahora los clones 5 y 32. Por el contrario, los clones 2 y 67 dan un gran salto desde las últimas posiciones y se ubican ahora en posiciones levemente por encima del valor promedio de la población. Se tiene entonces, que a los 135 días, los mejores cinco clones superan en promedio en 2,8 cm a los peores cinco (7,6 cm vs 4,8 cm), lo que representan una superioridad de un 58%. La diferencia con el promedio de todos los clones es de 1,12 cm (17,3%).



**Figura 4.** Variación en peso seco de la parte aérea (g) de 25 clones de teca a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela.

Las diferencias en cuanto a peso seco aéreo (PSPA) entre los clones evaluados son semejantes en proporción a las registradas en crecimiento en altura. Los mejores cinco clones superan en promedio en 2,5 g a los peores cinco clones (0,65 g vs 0,4 g), lo que representa un 62% de superioridad. Estos mismos cinco clones superan en un 25% en PSPA al promedio de todos los clones.

### 4.3. ANÁLISIS GENÉTICOS DE CLONES DE TECA (*Tectona grandis* Linn f.) SOBRE HORIZONTE A DEL SUELO EXPERIMENTAL

**Cuadro 5.** Parámetros genéticos por carácter de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

TECA	Caracter	H2	Promedio	Exactitud	Desv. Est.
Horizonte A	H45 <sub>1</sub>	0,692	4,540	0,832	0,436
	H75	0,633	5,310	0,796	0,434
	h105	0,630	5,970	0,794	0,441
	h135	0,602	6,480	0,776	0,459
	D135 <sub>2</sub>	0,021	3,010	0,144	0,034
	PSPA <sub>3</sub>	0,245	0,520	0,495	0,035
	PSPR <sub>4</sub>	0,203	0,510	0,451	0,042

<b>Δ45<sub>s</sub></b>	0,166	0,510	0,408	0,068
<b>Δ75</b>	0,588	0,780	0,767	0,155
<b>Δ105</b>	0,654	0,660	0,809	0,163
<b>Δ135</b>	0,394	0,520	0,627	0,103

1) Altura Promedio total a los 45 días. 2) Diámetro Promedio al cuello a los 135 días. 3) Peso Seco Promedio Parte Aérea a los 135 días; 4) Peso Seco Promedio de las Raíces a los 135 días; 5) Incremento Promedio en altura a los 45 días.

En el cuadro 5 puede observarse el registro de valores altos de heredabilidad en el sentido amplio (clones) para todos los caracteres investigados. En particular, para los caracteres de crecimiento superaron todos el 60% del valor genético, excepto en el diámetro al cuello. En concordancia, se determinaron valores altos de exactitud y baja desviación estándar en este parámetro genético. Los valores más altos de heredabilidad en altura total de las plantas, se alcanzaron a la edad de 45 y 75 días. Sin embargo, a los 105 días persisten valores muy similares a los 75 días. En cuanto a incremento en altura, los valores de heredabilidad más altos se alcanzaron a los 105 días. El incremento medio diario (IMD) disminuyó desde 0,10 cm/día (a los 45 días), 0,065 cm/día (75 días), hasta 0,052 y 0,0057 cm/día a los 105 y 135 días respectivamente.

**Cuadro 6.** Ranking genético de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

<b>Ranking A</b>	<b>h45<sup>1</sup></b>	<b>H75</b>	<b>H105</b>	<b>H135</b>	<b>D135<sup>2</sup></b>	<b>PSPA<sup>3</sup></b>	<b>PSR<sup>4</sup></b>	<b>Δ45<sup>5</sup></b>	<b>Δ75</b>	<b>Δ105</b>	<b>Δ135</b>
<b>1</b>	8	8	52	52	22	30	8	23	94	67	67
<b>2</b>	52	52	94	94	23	52	49	94	67	94	2
<b>3</b>	4	93	8	93	52	49	55	3	23	2	42
<b>4</b>	49	4	93	8	8	8	22	49	42	42	94
<b>5</b>	93	23	4	42	4	10	52	46	6	30	93
<b>6</b>	7	49	49	23	49	67	30	52	31	52	52
<b>7</b>	23	94	23	4	100	100	23	31	30	51	6
<b>8</b>	10	7	42	67	7	94	100	4	52	32	31

9	48	10	30	49	51	7	6	5	93	1	55
10	100	42	7	30	55	22	7	67	51	31	7
11	30	48	48	7	48	23	42	7	55	48	30
12	55	30	67	2	30	2	5	100	1	49	51
13	42	100	100	48	10	42	31	22	32	55	46
14	94	55	10	55	32	48	4	6	3	93	22
15	1	6	55	10	67	46	3	8	8	100	23
16	5	1	1	100	42	31	48	32	100	5	5
17	6	51	51	51	93	1	32	48	2	10	10
18	51	31	2	1	1	55	93	42	4	23	1
19	32	32	6	6	5	51	1	2	22	46	3
20	2	5	32	31	94	93	51	30	48	22	32
21	22	2	31	32	31	32	46	51	46	6	48
22	46	67	5	5	46	5	10	1	49	8	100
23	31	22	22	22	3	6	94	93	5	3	4
24	3	46	46	46	6	3	67	10	7	7	8
25	67	3	3	3	2	4	2	55	10	4	49

Nota: Celdas en naranja corresponden al clon promedio del análisis genético.

1) Ranking clones por altura total a los 45 días; 2) Ranking clones por diámetro al cuello a los 135 días;

3) Ranking clones por Peso Seco Parte Aérea a los 135 días; 4) Ranking clones por Peso Seco Raíces a los 135 días;

5) Ranking clones por Incremento en altura a los 45 días de iniciado el ensayo.

En los cuadros 4 y 6 puede observarse que el ranking fenotípico y genotípico para los 25 clones de teca evaluados son prácticamente iguales. Los clones que se localizan en las primeras y últimas posiciones en el ranking, para todos los caracteres evaluados, son los mismos y únicamente varían levemente en el orden de aparición. En este ranking genético los clones 52, 94, 8, 93 y 42 son los que mejor crecimiento en altura reportan, mientras que los clones 22, 23, 52, 8 y 4 registran el mejor crecimiento en diámetro al cuello. De estos dos caracteres, solamente los clones 52 y 8 coinciden (40%). Por otro lado, los clones con el menor crecimiento en altura total fueron el 3, 46, 22, 5 y 32.

Si se observa el ranking para el incremento en altura, los clones 6, 94, 2, 42 y 93 se ubican en las mejores 5 posiciones. El clon 94 coincide en las mejores posiciones en ambos ranking (altura total e incremento en altura). Los peores clones en cuanto a su tasa de crecimiento fueron el 49, 8, 4, 100 y el 48. Ninguno de ellos coincidió con los peores clones en altura total.

Finalmente, si se analiza el comportamiento de los clones en cuanto a su Peso Seco Parte Aérea (PSPA) al final del experimento, se observa que los clones 30, 52, 49, 8, 10 y 67 se ubican en las mejores posiciones. Únicamente el clon 67 coincide con el de máxima tasa de incremento en altura. Mientras que los clones 52 y 8 coinciden con los de mayor crecimiento en altura. Los peores clones para este carácter fueron el 4, 3, 6, 5 y 32. De estos, el clon 3, 5 y el 32 repiten en las peores posiciones con los registrados como peores en crecimiento absoluto en altura (60% de coincidencia). En relación con el Peso Seco de las Raíces (PSR), los clones 8, 49, 55, 22 y 52 aparecen como los de mayor peso o mejor ubicados en el ranking. De estos, coinciden el clon 8, 49 y 52 con el ranking de los mejores clones en cuanto al PSPA. Coinciden también los clones 8 y 52 con los mejor ubicados en cuanto a su crecimiento absoluto en altura.

Importante observar que algunos clones exhiben un comportamiento inestable, en el sentido de su aparición en posiciones bajas o intermedias, para luego escalar a las mejores posiciones en el ranking.

Tal es el caso del clon 93, que se ubica en posiciones de privilegio en el ranking del incremento en altura total a los 135 días, después de iniciar en las peores posiciones a los 45 días.



**Figura 5.** Clon 8, tolerante al suelo ácido (izq.) vs clon 3, no tolerante (der.) en un experimento con 25 clones de teca a los 135 días expuestos al horizonte A de un suelo natural ácido, de la Zona Norte de Costa Rica



**Figura 6.** Clon 94, tolerante al suelo ácido (izq.) vs clon 46, no tolerante (der.) en un experimento con 25 clones de teca a los 135 días expuestos al horizonte A de un suelo natural ácido, de la Zona Norte de Costa Rica.

#### 4.4. ANÁLISIS FENOTÍPICOS DE CLONES DE TECA (*Tectona grandis* Linn f.) SOBRE HORIZONTE B DEL SUELO EXPERIMENTAL

**Cuadro 7.** Ranking fenotípico de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Clon	H75 <sub>1</sub>	Clon	H135	Clon	PSPA <sub>2</sub>	Clon	PSR <sub>3</sub>	Clon	Δ75 <sub>4</sub>	Clon	Δ105	Clon	Δ135
94	6,28	94	7,53	94	0,26	48	0,39	94	0,85	23	4,80	42	2,60
93	6,20	52	7,28	52	0,25	52	0,38	32	0,65	67	4,70	10	1,70
52	6,00	93	7,03	49	0,24	49	0,38	6	0,63	42	4,40	52	1,50
49	5,90	49	6,68	93	0,23	42	0,33	30	0,60	94	3,70	2	1,30
22	5,63	67	6,45	42	0,22	94	0,32	4	0,55	52	3,60	8	1,30
55	5,33	23	6,18	23	0,20	55	0,32	46	0,50	5	3,40	94	1,30

42	5,20	22	6,15	51	0,20	93	0,31	93	0,47	30	3,40	1	1,20
10	5,20	42	6,08	67	0,19	7	0,30	42	0,44	32	3,20	5	1,20
48	5,10	55	6,05	48	0,19	22	0,29	51	0,40	3	3,20	100	1,20
67	5,10	10	5,93	46	0,19	4	0,29	67	0,38	51	3,10	48	1,10
8	4,95	5	5,93	5	0,18	31	0,24	23	0,35	6	2,80	46	1,10
4	4,90	48	5,85	55	0,18	5	0,24	52	0,35	49	2,60	6	1,00
5	4,78	51	5,73	32	0,17	46	0,24	3	0,33	46	2,30	4	0,90
23	4,78	4	5,65	22	0,17	51	0,23	49	0,28	93	2,20	23	0,80
51	4,75	30	5,65	4	0,17	23	0,23	55	0,28	100	2,20	30	0,80
7	4,73	6	5,63	3	0,16	32	0,23	2	0,25	55	2,20	51	0,80
100	4,70	32	5,63	30	0,16	10	0,23	7	0,23	4	2,10	55	0,70
6	4,68	100	5,55	10	0,16	67	0,23	100	0,23	2	1,90	67	0,70
32	4,68	8	5,50	100	0,15	3	0,22	5	0,20	48	1,90	31	0,60
30	4,60	7	5,43	7	0,15	6	0,22	1	0,20	7	1,70	3	0,60
31	4,53	3	5,03	6	0,15	30	0,22	48	0,15	1	1,60	22	0,60
46	4,18	31	5,03	8	0,13	100	0,22	10	0,13	22	1,50	32	0,60
3	4,08	46	5,03	31	0,12	8	0,20	31	0,10	31	1,40	49	0,50
2	3,25	2	4,05	1	0,10	2	0,11	22	0,10	10	1,20	7	0,40
1	2,38	1	3,08	2	0,08	1	0,10	8	0,07	8	0,90	93	0,30

**Nota:** Celdas en naranja corresponden al clon o clones promedio para cada variable.

1) Altura total (cm) a los 75 días; 2) Peso Seco de la Parte Aérea (g) a los 135 días; 3) Peso Seco de las Raíces (g) a los 135 días; 4) Incremento en altura a los 75 días (cm).

En el cuadro 7 los resultados del ranking fenotípico de los clones de teca en el horizonte B de suelo, muestran un comportamiento mucho más estable que los observados en el mismo ranking de las plantas que crecieron en el horizonte A. En cuanto al crecimiento en altura absoluto, los clones 94, 52, 93, 49 y 67 se ubican en las mejores posiciones, De estos clones, el 52, 94 y 93 coinciden con los mejores clones del horizonte A. Los peores clones en crecimiento absoluto fueron el 1, 2, 46, 31 y 3, de lo cuales repiten el clon 3 y el 46, que también se ubicaron en las peores posiciones en el horizonte A.

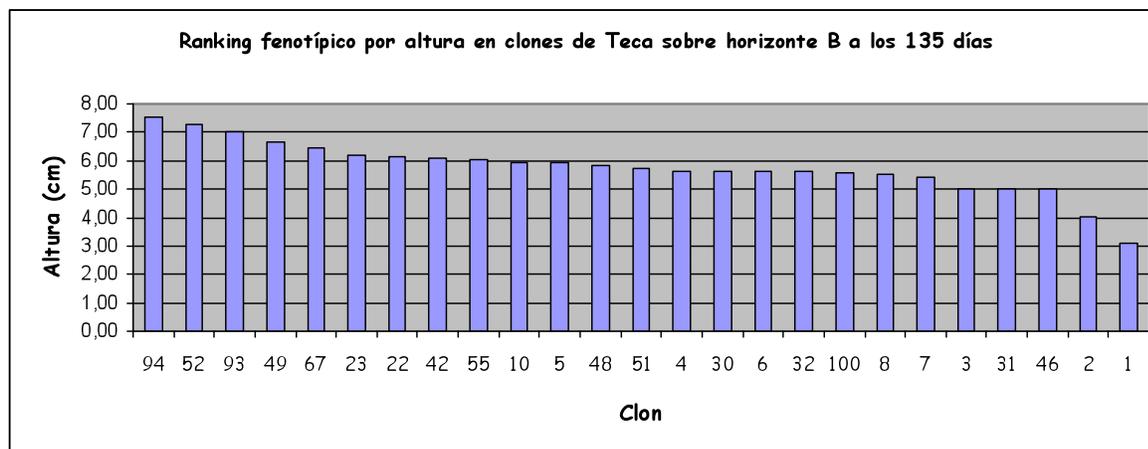
En relación con el incremento en altura, los clones 42, 10, 52, 2 y 8 se ubican a los 135 días como los mejores. Sin embargo, debe señalarse el comportamiento altamente inestable de los clones 10, 2 y 8, que variaron su ubicación radicalmente en el ranking de incremento inicial con el de incremento al final del experimento. El clon 52 repite tanto en incremento (tasa de crecimiento) como en crecimiento absoluto como uno de los mejores del grupo de 25. Los peores clones en incremento en altura a los 135 días fueron el 93, 7, 49, 32 y 22. De manera errática o inestable, se comportan los clones 93 y 32, los cuales variaron fuertemente su ubicación en el ranking según si se determinó a los 75, 105 ó 135 días.

El ranking del PSPA ubica como los mejores a los clones 94, 52, 49, 93 y 42, mientras que los peores fueron el 2, 1, 31, 8 y 6 respectivamente. Interesante de observar es que todos los mejores clones en cuanto al PSPA, excepto el clon 42, coinciden con los mejores clones en cuanto a crecimiento absoluto en altura a los 135 días.

Para el ranking del PSR, los clones 48, 52, 49, 42 y 94 se ubican como los mejores, mientras que los clones 1, 2, 8, 100 y 30, como los peores. Si se relaciona con el ranking del PSPA, los clones 52, 49, 42 y 94 (80%) coinciden en los mejores 5 lugares. Así también los clones 1, 2, y 8 coinciden como los peores en ambos ranking.

Si se compara los resultados de este ranking realizado con los clones creciendo en el horizonte B con los resultados del horizonte A, se puede observar que en cuanto a crecimiento absoluto, los clones 52, 94 y 93 repiten en ambos experimentos como los mejores. Como los peores en crecimiento absoluto, repiten los clones 3 y 46. En cuanto a la tasa de incremento en altura, los clones 42 y 2 repiten como los mejores

en ambos suelos, mientras que el clon 49 repite como el peor clon en ambos experimentos. El PSPA ubica a los clones 52 y 49 como los mejores en ambos experimentos y al clon 6 como el peor en los dos tipos de suelos. Finalmente, en cuanto al PSR, el clon 49 repite como el mejor y el clon 2 repite como el peor clon de teca para ser plantado en suelos ácidos.



**Figura 7.** Variación en la altura promedio (cm) de 25 clones de teca a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte B), Santa Clara, San Carlos, Alajuela.

De la figura 7 puede observarse que los mejores cinco clones superan en un 57% a los peores cinco clones. Así también, estos mismos cinco mejores clones superan en un 21% en altura total, al promedio de todos los clones.

#### 4.5. ANÁLISIS GENÉTICOS DE CLONES DE TECA (*Tectona grandis* Linn f.) SOBRE HORIZONTE B DEL SUELO EXPERIMENTAL

**Cuadro 8.** Parámetros genéticos por carácter de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

TECA	Caracter	H2	Promedio	Exactitud	Desv. Est.
Horizonte B	H45 <sub>1</sub>	0,693	4,520	0,833	0,379
	h75	0,706	4,870	0,841	0,383
	H105	0,766	5,520	0,875	0,396
	H135	0,767	5,760	0,876	0,391
	D135 <sub>2</sub>	0,549	2,280	0,741	0,139
	PSPA <sub>3</sub>	0,619	0,170	0,787	0,022
	PSPR <sub>4</sub>	0,469	0,260	0,685	0,037

$\Delta 45_5$	0,564	0,590	0,751	0,151
$\Delta 75$	0,694	0,370	0,833	0,085
$\Delta 105$	0,697	0,660	0,835	0,122
$\Delta 135$	0,537	0,250	0,733	0,042

1) Altura Promedio total a los 45 días. 2) Diámetro Promedio al cuello a los 135 días. 3) Peso Seco Promedio Parte Aérea a los 135 días; 4) Peso Seco Promedio de las Raíces a los 135 días; 5) Incremento Promedio en altura a los 45 días.

Del cuadro 8 puede observarse valores sumamente altos para la heredabilidad en el sentido amplio de los clones de teca en todos los caracteres, inclusive para el diámetro a la altura del cuello. Estos valores incluso superan a los registrados para los análisis de los clones en los suelos con el horizonte A (cuadro....). Estos resultados reflejan un alto grado de control del experimento y un muy buen control experimental (efectos ambientales). Los estimados de exactitud, son en consecuencia bien altos, lo que implica seguridad en la estimación de la heredabilidad. Así también la desviación estándar es sumamente baja para todos los caracteres.

**Cuadro 9.** Ranking genético de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Ranking B	H45 <sup>1</sup>	H75	H105	H135	D135 <sup>2</sup>	PSPA <sup>3</sup>	PSR <sup>4</sup>	$\Delta 45^5$	$\Delta 75$	$\Delta 105$	$\Delta 135$
1	52	94	94	94	94	94	48	52	94	23	10
2	49	52	52	52	52	52	52	94	32	67	52
3	22	93	93	93	23	49	49	23	6	52	100
4	93	49	49	49	49	42	42	51	30	94	42
5	94	22	67	67	67	93	94	93	4	30	2
6	10	55	22	23	4	23	55	48	46	5	8
7	55	42	23	22	30	51	7	67	93	3	94
8	48	10	55	42	22	67	93	7	42	32	1
9	8	48	42	55	48	48	22	8	52	51	5
10	42	67	5	10	93	46	4	22	51	93	48

11	67	8	48	5	42	5	31	5	67	6	46
12	7	4	51	48	5	55	5	55	23	49	6
13	5	7	10	51	32	32	46	1	49	46	4
14	100	23	32	4	46	22	51	31	3	7	32
15	23	5	30	30	6	4	23	49	55	55	30
16	31	51	4	32	100	3	32	42	5	100	23
17	51	100	6	6	8	30	10	30	2	42	51
18	4	6	7	100	51	10	67	3	7	4	31
19	6	32	100	8	3	7	3	4	100	48	93
20	32	30	8	7	10	100	6	32	31	2	67
21	30	31	3	46	55	6	30	6	22	1	55
22	3	46	31	3	7	8	100	46	1	22	22
23	46	3	46	31	31	31	8	100	10	31	3
24	2	2	2	2	1	1	2	2	48	10	7
25	1	1	1	1	2	2	1	10	8	8	49

Celdas en naranja corresponden al clon promedio del análisis genético.

1) Ranking clones por altura total a los 45 días; 2) Ranking clones por diámetro al cuello a los 135 días;

3) Ranking clones por Peso Seco Parte Aérea a los 135 días; 4) Ranking clones por Peso Seco Raíces a los 135 días;

5) Ranking clones por Incremento en altura a los 45 días de iniciado el ensayo.

En cuanto al comportamiento del ranking genético para los caracteres investigados en este grupo de 25 clones de teca sobre horizonte B del suelo natural ácido, los resultados del cuadro 9 muestran un comportamiento casi idéntico al del análisis fenotípico. Dado los valores tan altos de heredabilidad, mostrados en cuadro 8, se puede deducir que los efectos ambientales son menores y por tanto, explican este comportamiento tan similar entre el ranking fenotípico y el genotípico.

Puede observarse que los mismos cinco clones registrados como los mejores y los mismos cinco clones como los peores en el ranking fenotípico para la altura absoluta, repiten nuevamente para el ranking genotípico (clones 94, 52, 93, 49 y 67 como los mejores; clones 1, 2, 31, 3 y 46 como los peores). El ranking para el carácter diámetro al cuello a los 135 días, ubica como los mejores a los clones 94, 52, 23, 49 y 67, donde coinciden 4 de los cinco clones con los mejores en crecimiento absoluto en altura. Los peores clones en cuanto a crecimiento diamétrico fueron el 2, 1, 31, 7 y 45, de los cuales coinciden 3 de 5 con los peores en altura absoluta.

En relación con el carácter incremento en altura a los 135 días, los mejores clones son el 10, 52, 100, 42 y el 2. Aunque todos estos clones, con excepción del 52, registran cambios muy fuertes en su posición dentro del ranking en las lecturas anteriores (a los 75 días y 105 días), que los caracteriza como clones sumamente inestables en cuanto a incremento.

El ranking para el PSPA y el PSR ubica como los mejores y peores a los mismos clones que los reportados en el análisis para el ranking fenotípico. Interesante de señalar es sin embargo, la alta coincidencia entre los mejores y peores clones de estos dos caracteres.

En forma general, puede mencionarse, que los resultados del comportamiento de los 25 clones investigados, es mucho más estable cuando se analiza su desempeño en el horizonte B que en el horizonte A.



**Figura 8.** Raíces clon 1, intolerante al suelo ácido vs raíces clon 94, tolerante al suelo natural ácido de Zona Norte de Costa Rica.



**Figuras 9 y 10.** Clones 52 y 49, tolerantes al suelo ácido (izq.) vs clones 2 y 1 no tolerantes (der.) en cada una de las dos fotografías, en un experimento con 25 clones de teca a los 135 días expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido, de la zona norte de Costa Rica



**Figura 11.** Las 4 estaquillas de teca de la izquierda corresponden al clon 94, tolerante al suelo ácido y las 4 repeticiones de la derecha corresponden al clon 3, intolerante al suelo, en un experimento con clones de teca expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido de la Zona Norte de Costa Rica.



**Figura 12.** Las 4 estaquillas de teca de la izquierda corresponden al clon 2, intolerante al suelo ácido y las 4 repeticiones de la derecha corresponden al clon 49, tolerante al suelo, en un experimento con clones de teca expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido de la Zona Norte de Costa Rica.

#### 4.6. ANÁLISIS FENOTÍPICOS DE CLONES DE MELINA (*Gmelina arborea* Roxb) SOBRE HORIZONTE A DEL SUELO EXPERIMENTAL

**Cuadro 10.** Ranking fenotípico de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Clon	H75 <sub>1</sub>	Clon	h135	Clon	PSPA <sub>2</sub>	Clon	PSR <sub>3</sub>	Clon	Δ75 <sub>4</sub>	Clon	Δ105	Clon	Δ135
28	24,03	30	36,00	5	2,08	11	1,47	38	5,93	38	7,47	46	11,35
47	23,43	28	33,53	46	2,04	56	1,36	47	5,00	30	7,20	45	8,80
1	23,13	47	32,00	30	2,02	62	1,26	35	4,53	56	7,13	60	7,90
30	20,98	1	31,88	28	1,90	59	1,23	41	4,47	37	6,75	30	7,83
33	20,40	38	30,30	56	1,87	5	1,22	39	4,15	27	6,73	9	7,27
29	19,75	56	30,18	19	1,81	4	1,20	26	4,00	41	6,33	38	6,90
26	19,60	9	28,27	9	1,72	22	1,17	32	3,88	54	5,88	39	6,88
19	19,33	5	28,25	1	1,58	28	1,16	3	3,80	40	5,83	1	6,58
4	19,05	19	27,68	27	1,55	33	1,13	100	3,80	58	5,73	37	6,43
2	18,90	37	27,18	11	1,42	27	1,10	58	3,75	42	5,67	59	6,33
5	18,85	27	26,88	59	1,39	54	1,10	42	3,73	62	5,47	35	6,23
56	18,75	54	26,45	47	1,38	1	1,05	44	3,70	45	5,30	5	6,08
12	18,20	39	26,35	24	1,36	57	1,05	15	3,57	57	5,10	40	5,53
34	17,95	33	25,78	54	1,35	30	1,05	33	3,53	47	4,98	62	5,00

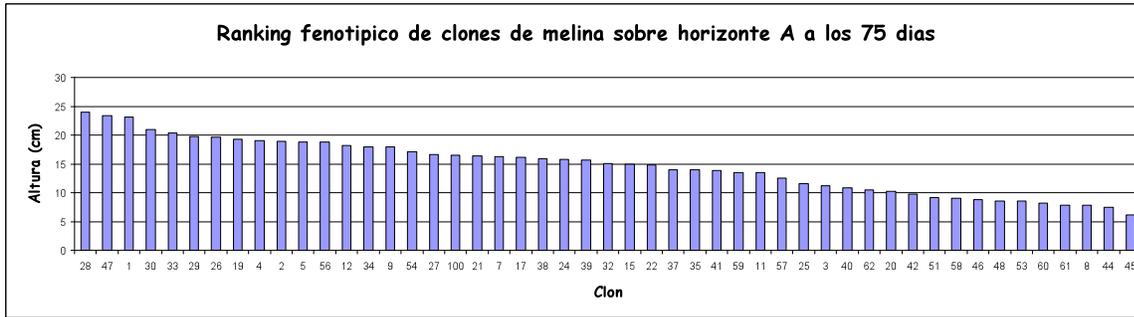
9	17,90	2	25,60	37	1,35	29	1,04	19	3,43	60	4,95	58	4,98
54	17,05	34	25,40	38	1,33	39	1,03	40	3,35	32	4,93	61	4,85
27	16,60	12	24,63	33	1,31	37	1,03	54	3,23	28	4,75	28	4,75
100	16,48	35	24,53	7	1,28	17	1,02	37	3,23	3	4,60	15	4,63
21	16,33	15	24,07	45	1,27	35	1,01	12	3,13	44	4,60	19	4,60
7	16,25	41	23,60	15	1,23	2	1,01	56	2,88	15	4,50	56	4,30
17	16,10	29	23,58	40	1,21	100	1,01	46	2,70	35	4,33	34	3,98
38	15,93	59	23,50	39	1,17	19	1,01	30	2,58	20	4,23	21	3,87
24	15,73	46	23,25	34	1,17	34	0,96	8	2,53	39	3,80	20	3,83
39	15,68	100	23,20	26	1,17	24	0,93	9	2,50	19	3,75	2	3,65
32	15,10	21	22,63	100	1,16	40	0,92	62	2,43	59	3,63	47	3,60
15	14,93	32	22,48	29	1,16	26	0,91	2	2,40	34	3,48	100	3,58
22	14,80	40	22,23	60	1,16	15	0,88	28	2,23	48	3,40	27	3,55
37	14,00	26	22,20	62	1,15	7	0,87	45	2,10	5	3,33	54	3,53
35	13,97	4	21,55	22	1,15	44	0,86	53	2,00	12	3,33	41	3,37
41	13,90	24	21,38	32	1,14	46	0,86	51	1,93	8	3,30	12	3,10
59	13,55	60	21,10	2	1,13	45	0,84	48	1,87	100	3,15	42	3,00
11	13,47	62	20,97	17	1,09	41	0,81	61	1,85	9	3,10	3	2,97
57	12,58	57	20,55	35	1,08	9	0,78	21	1,83	46	3,10	57	2,88
25	11,63	7	20,48	57	1,08	38	0,78	11	1,83	2	3,05	11	2,87
3	11,17	45	20,20	21	1,06	47	0,77	27	1,80	24	3,00	48	2,83
40	10,88	58	19,73	4	1,05	48	0,75	22	1,80	29	2,98	53	2,73
62	10,50	17	19,55	3	0,96	8	0,75	4	1,70	22	2,90	24	2,65
20	10,25	22	19,18	41	0,96	32	0,74	7	1,68	33	2,85	51	2,60
42	9,80	11	19,17	61	0,93	12	0,74	24	1,65	11	2,83	7	2,53
51	9,20	3	18,73	48	0,93	21	0,72	57	1,63	61	2,83	33	2,53
58	9,03	42	18,47	20	0,91	3	0,66	59	1,60	17	2,55	32	2,45
46	8,80	20	18,30	12	0,90	60	0,66	5	1,60	21	2,43	44	2,18
48	8,60	61	15,55	44	0,86	51	0,63	20	1,58	53	2,37	26	2,00
53	8,53	48	14,83	58	0,84	61	0,61	17	1,50	1	2,18	22	1,48
60	8,25	44	14,23	42	0,79	20	0,57	60	1,40	4	2,03	25	1,08
61	7,88	53	13,63	8	0,72	42	0,55	34	1,28	7	1,70	17	0,90
8	7,80	51	13,40	51	0,65	58	0,44	1	1,05	51	1,60	29	0,85
44	7,45	8	11,73	53	0,51	53	0,31	29	0,77	25	1,00	8	0,63
45	6,10	25	8,10	25	0,30	25	0,16	25	0,73	26	0,60	4	0,48

**Nota:** Celdas en azul corresponden al/a los clon/clones promedio para cada variable

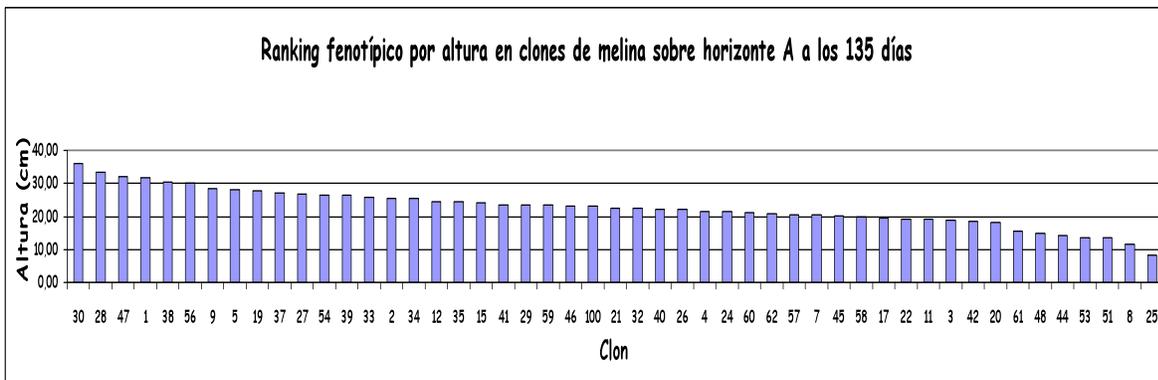
1) Altura total (cm) a los 75 días; 2) Peso Seco de la Parte Aérea (g) a los 135 días; 3) Peso Seco de las Raíces (g) a los 135 días; 4) Incremento en altura a los 75 días (cm).

En el cuadro 10 puede observarse el comportamiento en crecimiento de clones de melina en relación con su grado de tolerancia al suelo ácido en su horizonte A. La respuesta clonal permite distinguir 2 grupos de clones interesantes. Un grupo con un comportamiento estable a lo largo de los 135 días de evaluación, y el otro grupo con un comportamiento errático. En el primer grupo (estables), se incluyen los clones 28, 47, 19, 54, 8, 53, 44, 48, 42, 51, 58, 25, y 61, principalmente. En el segundo grupo (muy inestables), se incluyen los clones 27, 37, 9 y 46. Se observa que los clones del segundo grupo son especialmente inestables en cuanto al incremento mensual durante el período de evaluación, y también

en cuanto a su ascenso en el ranking. Esto puede deberse a que las raíces sobresalieron de la bolsa plástica al final del experimento, y profundizaron en el suelo sobre el que se sustentaban las mismas bolsas plásticas o envases con suelo experimental, favoreciendo así el crecimiento de las estaquillas. Así, esta causa anormal de crecimiento debe tomarse en cuenta como parte del error experimental del ensayo. Cabe comentar que algunas de esas estaquillas enraizaron en suelo fuera del envase hasta unos 40 centímetros aproximadamente. Por esto, no se tomará en cuenta para discusión los resultados en cuanto a los pesos secos debido a la dificultad que supuso en algunas estaquillas la extracción completa de sus raíces del suelo, fuera del envase experimental, constatando una posible pérdida de raíces laterales y raicillas.



**Figura 13.** Variación en la altura promedio (cm) de 49 clones de melina a los 75 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela



**Figura 14.** Variación en la altura promedio (cm) de 49 clones de melina a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte A), Santa Clara, San Carlos, Alajuela.

En la figura 15 (75 días) puede observarse una gran dispersión del crecimiento de las estaquillas, en función de su tamaño original, y en respuesta al suelo ácido. Los mejores cinco clones superan en crecimiento a los peores cinco en un 200%. Estos mismos cinco clones superan al promedio de los 49 clones evaluados en un 53%. A los 75 días de iniciado el experimento, no se había observado el problema de la salida de raíces de la bolsa. Por tanto, los resultados sí reflejan el efecto del vigor de los materiales evaluados en relación con el suelo ácido.

Si se realizan las mismas comparaciones a los 135 días (figura 16), se obtiene un diferencial de un 168% entre los cinco mejores y los cinco peores clones; así como un 44% con respecto al promedio de los 49 clones. A pesar del problema de raíces que crecieron fuera de la bolsa en algunos clones, el patrón del diferencial se mantiene y el potencial de tolerancia a los suelos ácidos es evidente y muy prometedor.

Observando las dos figuras (15 y 16) se observa que los primeros 4 clones del ranking en cuanto a crecimiento total a los 75 días (28, 47, 1 y 30) se mantienen en las 4 primeras posiciones del ranking a los 135 días. El clon 38 experimenta en ese mismo intervalo un ascenso importante en el ranking, ya que pasa de la 22ª a la 5ª posición en el mismo intervalo de tiempo. Este ascenso puede deberse al error

experimental en melina, con la tendencia de salir las raíces de algunos clones de esta especie fuera de los envases, buscando un sustrato más adecuado para su crecimiento.

#### 4.7. ANÁLISIS GENÉTICOS DE CLONES DE MELINA (*Gmelina arborea* Roxb) SOBRE HORIZONTE A DEL SUELO EXPERIMENTAL

**Cuadro 11.** Parámetros genéticos por carácter de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Melina	Carácter	H2	Promedio	Exactitud	Desv. Est.
Horizonte A	h45 <sub>1</sub>	0,892	12,460	0,944	1,515
	h75	0,896	15,080	0,947	1,412
	h105	0,890	19,130	0,944	1,484
	h135	0,836	23,390	0,915	1,952
	D135 <sub>2</sub>	0,602	4,440	0,776	0,250
	PSPA <sub>3</sub>	0,616	1,260	0,785	0,177
	PSPR <sub>4</sub>	0,544	0,930	0,737	0,120
	Δ45 <sub>5</sub>	0,485	1,440	0,697	0,318
	Δ75	0,654	2,700	0,809	0,531
	Δ105	0,588	4,130	0,767	0,743
Δ135	0,452	4,350	0,672	0,943	

1) Altura Promedio total a los 45 días. 2) Diámetro Promedio al cuello a los 135 días. 3) Peso Seco Promedio Parte Aérea a los 135 días; 4) Peso Seco Promedio de las Raíces a los 135 días; 5) Incremento Promedio en altura a los 45 días.

En el cuadro 11 puede observarse los valores de heredabilidad en los distintos caracteres analizados en melina (*Gmelina arborea* Roxb) sobre horizonte A del suelo experimental. Desde un punto de vista teórico la heredabilidad varía de 0 a 1. Así, en el cuadro pueden observarse heredabilidades altas (cercanas a 1) en cuanto a crecimiento total en las 4 fechas de evaluación. Esto significa que la variación ambiental fue debidamente controlada durante el experimento.

Respecto al resto de caracteres, se observan heredabilidades medias-altas. Correlacionando los caracteres de crecimiento total con los incrementos en las 4 fechas de evaluación, se puede observar que la medición de la altura a los 75 días es la más fiable, ya que tiene heredabilidades altas en los dos caracteres correlacionados.

**Cuadro 12.** Ranking genético de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Ranking A	h45 <sup>1</sup>	H75	H105	H135	D135 <sup>2</sup>	PSPA <sup>3</sup>	PSR <sup>4</sup>	Δ45 <sup>5</sup>	Δ75	Δ105	Δ135
1	1	28	28	30	30	5	11	61	38	30	46
2	28	47	47	28	57	30	56	54	47	56	30
3	24	1	30	47	24	28	59	41	35	38	59
4	7	7	56	1	19	56	62	60	41	37	9
5	29	24	1	56	28	19	5	39	39	27	39
6	47	30	24	38	5	46	24	15	32	41	60
7	30	33	7	24	47	24	4	4	100	54	1
8	4	29	27	5	27	9	22	56	3	40	37
9	5	19	33	9	11	7	28	37	58	58	38
10	33	4	19	19	3	1	7	3	44	42	61
11	25	2	54	7	59	27	33	47	42	62	35
12	34	5	29	37	100	11	27	12	33	57	45
13	2	56	38	27	9	59	54	26	15	47	5
14	19	26	5	54	40	47	57	45	19	32	40
15	56	12	2	39	2	54	1	40	40	45	58
16	9	34	12	33	12	37	30	28	30	28	15
17	12	9	34	2	1	33	29	2	54	3	28
18	21	54	4	34	4	45	39	27	37	44	62
19	27	21	9	35	46	38	37	33	26	60	19

20	26	27	37	12	33	15	17	38	12	15	56
21	17	100	41	15	39	61	35	32	56	35	34
22	54	17	32	41	26	26	2	21	8	20	48
23	22	39	100	29	34	40	100	19	61	24	20
24	100	25	39	59	21	34	19	100	9	61	41
25	59	38	15	100	7	39	34	57	46	39	7
26	39	32	21	45	29	60	26	17	45	19	21
27	11	22	26	21	56	62	40	44	62	59	57
28	32	15	17	32	37	29	46	62	2	48	2
29	15	37	35	46	17	100	15	53	7	34	47
30	57	35	22	40	48	22	45	8	28	8	100
31	37	41	57	26	32	32	44	5	24	5	27
32	38	59	59	4	62	2	41	24	53	12	54
33	41	11	40	61	38	17	9	11	51	46	42
34	35	57	62	62	45	35	38	30	11	9	24
35	62	3	11	60	41	21	61	35	48	100	11
36	20	62	3	57	15	57	48	20	21	2	26
37	61	40	25	58	54	4	8	42	22	29	3
38	3	61	42	11	35	41	47	34	27	11	53
39	40	20	61	3	22	3	21	1	4	22	51
40	48	42	58	17	60	48	60	46	60	33	12
41	51	46	45	22	51	20	32	9	17	17	17
42	45	45	20	42	44	12	12	48	57	25	25
43	46	48	60	20	61	44	51	7	5	21	33
44	60	51	48	25	8	42	3	59	59	53	32
45	53	58	46	48	58	58	42	58	20	7	8
46	42	53	44	53	25	25	20	22	34	26	44
47	8	60	8	44	42	8	25	25	25	1	22
48	58	8	53	51	20	51	58	51	1	4	29
49	44	44	51	8	53	53	53	29	29	51	4

1) Ranking clones por altura total a los 45 días; 2) Ranking clones por diámetro al cuello a los 135 días; 3) Ranking clones por Peso Seco Parte Aérea a los 135 días; 4) Ranking clones por Peso Seco Raíces a los 135 días; 5) Ranking clones por Incremento en altura a los 45 días de iniciado el ensayo.

Observando el ranking genético en el cuadro 12 del crecimiento absoluto de la colección de clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb) sobre horizonte A del suelo ácido en el cuadro 12 observamos un grupo de clones estables y con elevado crecimiento durante las fechas de evaluación (clones 1, 28, 24, 47, 30, 5 y 19). En la parte baja del ranking durante las 4 fechas de evaluación observamos también clones estables pero con bajo crecimiento (clones 44, 8, 42, 53, 60, 51 y 48). En otro grupo y clasificados como inestables encontramos los clones 4 y 29.

Correlacionando el crecimiento total con el diámetro total (h135/D135) al final del período de evaluación, es decir a los 135 días, encontramos que los clones 30, 28, 47, 24, 5 y 19 correlacionan positivamente por la parte alta del ranking mientras que los clones 1, 56 y 38 correlacionan negativamente. En la parte baja del ranking los clones 53, 8, 44, 25, 20, 42 y 22 correlacionan positivamente, mientras el clon 48 correlaciona inversamente proporcional.

Correlacionando los clones de la parte superior del ranking en cuanto a los pesos secos de la parte aérea con los pesos secos de las raíces (PSPA/PSR), encontramos correlaciones positivas en los clones 5, 56, 24, 7 y 28, mientras que los clones 30, 19, 46, 47 y 9 correlacionan inversamente proporcional. En la parte inferior del ranking los clones correlacionan más bien negativamente.

Así, al relacionar la altura a los 135 días con el diámetro al cuello a los 135 días, y, PSPA con PSR, encontramos, que los clones 28, 24, 5 y 19 correlacionan positivamente en los 3 factores correlacionados anteriormente (h135-D135, PSPA-PSR y estabilidad en el ranking); los clones 47 y 30 correlacionan bien en cuanto a crecimiento total con h135/D135.

Si se observa los incrementos encontramos, que los clones 24 y 28 registran un comportamiento estable en el ranking; mientras que los clones 5, 30, 1 y 47 tienen una participación inestable en el ranking.



**Figura. 15.** Comparación de algunos clones de melina sobre horizonte A de un suelo natural ácido de la Zona Norte de Costa Rica a los 135 días. A la izquierda de la imagen se muestran algunos clones intolerantes al suelo (51, 44, 48, 25, 53, 8, 26) y a la derecha se muestran algunos clones intolerantes al suelo(56, 1, 28, 30, 47).



**Figura 16.** Comparación clon 51, intolerante al suelo ácido, a la izquierda, con clon 28, tolerante al mismo suelo a la derecha, en un experimento con 49 clones de melina a los 135 días expuestos al horizonte A de un suelo natural ácido, de la zona norte de Costa Rica.

#### 4.8. ANÁLISIS FENOTÍPICOS DE CLONES DE MELINA (*Gmelina arborea* Roxb) SOBRE HORIZONTE B

**Cuadro 13.** Ranking fenotípico de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Clon	H75 <sub>1</sub>	Clon	H135	Clon	PSPA <sub>2</sub>	Clon	PSR <sub>3</sub>	Clon	Δ75 <sub>4</sub>	Clon	Δ105	Clon	Δ135
34	20,48	30	31,68	30	3,40	3	1,63	30	3,68	30	7,53	51	13,23
1	20,43	56	30,40	100	3,23	100	1,58	100	3,53	100	6,47	54	10,77
28	20,30	28	30,38	51	2,95	30	1,56	56	2,98	56	6,00	48	9,20
33	18,43	54	29,63	3	2,73	56	1,39	3	2,95	8	6,00	53	9,05
24	17,93	51	27,83	56	2,40	34	1,19	51	2,95	37	5,90	56	7,95
4	17,83	37	26,35	26	1,94	51	1,18	26	2,67	51	5,85	37	7,70
27	17,33	34	25,80	21	1,84	54	1,01	15	2,40	53	5,45	26	6,87
30	17,30	53	25,30	54	1,72	15	0,97	40	2,33	54	5,20	30	6,85
56	16,45	27	25,03	34	1,53	26	0,92	8	2,30	28	4,63	46	6,50
100	16,23	100	24,63	27	1,31	40	0,89	62	2,15	57	4,53	100	5,83
47	15,60	29	24,43	40	1,29	4	0,86	37	2,15	26	4,30	28	5,45
32	15,37	33	23,83	29	1,20	29	0,84	39	1,93	27	4,30	21	5,25

29	15,33	1	23,00	57	1,14	27	0,77	54	1,93	3	4,25	29	5,03
7	14,83	26	21,87	2	1,13	37	0,77	27	1,90	29	4,08	3	4,88
59	14,33	32	21,83	33	1,11	57	0,75	2	1,90	39	4,00	62	4,55
54	13,67	57	21,40	48	1,03	11	0,74	46	1,85	40	3,48	57	4,38
22	13,18	4	20,53	28	0,99	33	0,73	32	1,77	62	3,40	39	3,50
15	13,10	3	20,10	53	0,97	7	0,68	44	1,68	2	3,35	40	3,43
5	13,00	24	19,85	4	0,95	17	0,67	57	1,65	32	3,13	27	3,40
37	12,75	7	18,25	37	0,93	21	0,65	35	1,60	41	3,10	32	3,33
57	12,50	40	18,15	7	0,87	24	0,63	11	1,53	45	3,10	2	3,28
19	12,13	46	18,10	39	0,85	1	0,62	41	1,40	44	2,95	38	2,87
38	12,10	48	18,10	24	0,83	2	0,60	29	1,38	61	2,87	34	2,70
9	11,47	2	17,13	32	0,83	28	0,58	28	1,28	33	2,80	41	2,70
17	11,43	62	16,60	15	0,78	48	0,55	17	1,25	34	2,63	33	2,60
40	11,25	8	16,55	46	0,77	39	0,55	34	1,25	48	2,60	22	2,30
3	10,98	19	16,05	1	0,71	32	0,50	42	1,25	9	2,47	47	2,15
39	10,90	21	15,38	62	0,71	61	0,50	47	1,23	58	2,37	19	1,90
53	10,80	15	14,75	19	0,67	44	0,44	24	1,20	46	2,25	44	1,90
11	10,73	47	14,73	44	0,64	62	0,44	33	1,18	22	2,20	61	1,73
26	10,70	5	14,43	11	0,62	5	0,42	4	1,15	38	2,20	7	1,70
2	10,50	9	14,33	8	0,61	53	0,41	61	1,07	42	2,10	4	1,63
8	9,40	41	14,25	61	0,60	45	0,40	38	1,03	47	2,08	1	1,15
46	9,35	44	13,90	22	0,58	8	0,36	53	1,00	19	2,03	8	1,15
44	9,05	61	13,53	17	0,55	9	0,35	7	0,98	35	1,90	11	0,97
61	8,93	11	13,37	45	0,52	19	0,34	58	0,93	59	1,75	45	0,80
35	8,80	17	12,43	38	0,51	46	0,30	45	0,80	7	1,73	15	0,75
21	8,75	45	11,30	47	0,47	20	0,30	19	0,73	11	1,67	42	0,75
51	8,75	39	11,20	5	0,47	47	0,27	20	0,73	24	1,65	58	0,73
62	8,65	58	10,43	41	0,42	38	0,26	48	0,70	1	1,43	35	0,50
25	8,45	12	9,50	20	0,39	41	0,26	1	0,65	21	1,38	60	0,43
41	8,45	59	9,10	42	0,34	12	0,25	25	0,63	12	1,33	59	0,43
12	8,18	38	9,10	9	0,30	22	0,25	5	0,57	60	1,13	5	0,40
45	7,40	25	8,93	58	0,29	42	0,24	12	0,55	4	1,08	9	0,40
58	7,33	42	8,15	12	0,24	59	0,21	22	0,53	5	1,03	20	0,40
60	6,87	22	8,08	59	0,24	60	0,19	9	0,50	15	0,90	17	0,32
20	6,75	20	7,85	60	0,20	58	0,19	60	0,50	20	0,70	24	0,27
48	6,30	35	6,25	25	0,17	35	0,18	21	0,38	17	0,68	25	0,13
42	5,30	60	6,13	35	0,15	25	0,15	59	0,25	25	0,35	12	0,00

Nota: Celdas en naranja corresponden al/a los clon/clones promedio para cada variable.

1) Altura total (cm) a los 75 días; 2) Peso Seco de la Parte Aérea (g) a los 135 días; 3) Peso Seco de las Raíces (g) a los 135 días; 4) Incremento en altura a los 75 días (cm).

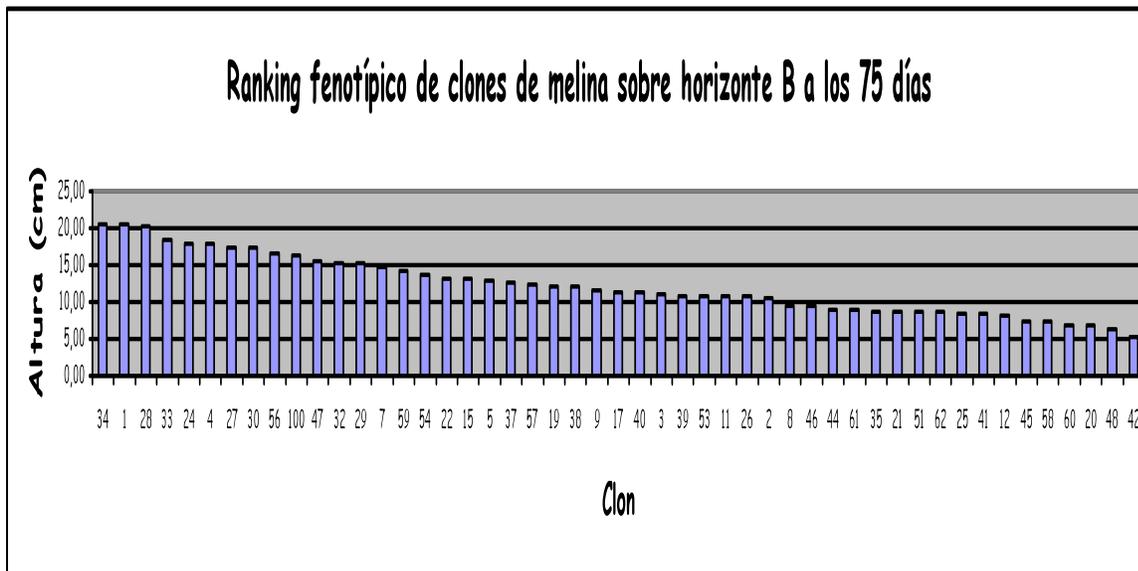
Observando el ranking fenotípico del cuadro 13 en cuanto a crecimiento absoluto de la colección de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb) sobre horizonte B del suelo experimental observamos un grupo de clones estables y con elevado crecimiento durante el período de evaluación (clones 21, 27, 28 y 34). En la parte baja del ranking durante los 135 días de evaluación observamos también clones estables pero con bajo crecimiento (clones 20, 35, 41, 44, 58, 60 y 61). En otro grupo y clasificados como inestables encontramos los clones 30, 47 y 100 con buen crecimiento total, y los clones 1, 4, 5, 7, 12, 24, 25, 33, 39, 48, 51, 54, 56 y 62, inestables también, pero con menor crecimiento.

Correlacionando el crecimiento total con el diámetro total (h135/D135) al final del período de evaluación (135 días) encontramos por la parte alta el ranking que los clones 27, 30, 34, 37, 51 y 100 correlacionan positivamente. En la parte baja del ranking los clones 20, 58 y 59 correlacionan como los peores en ambos caracteres. Finalmente, los clones 28 y 54 están inversamente correlacionados.

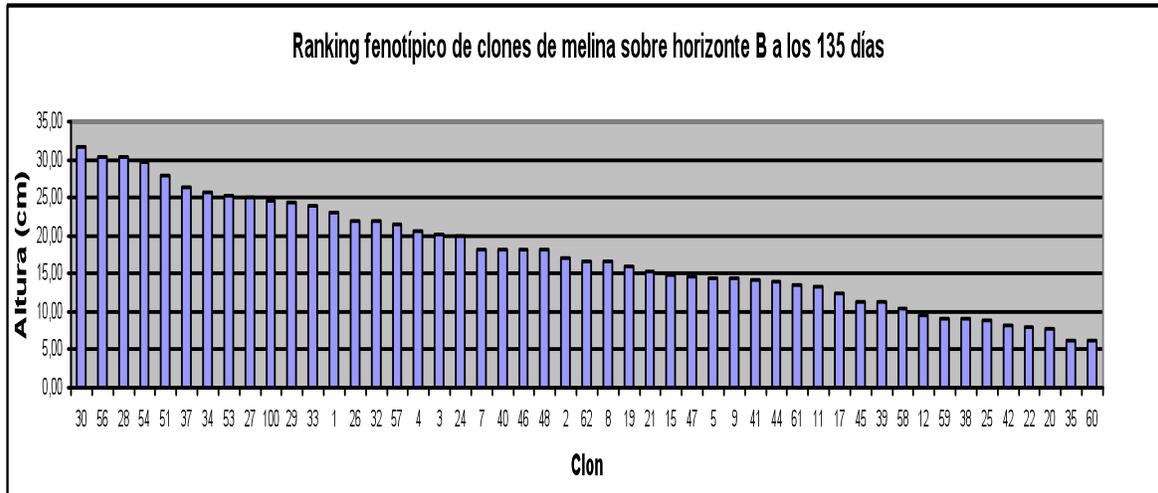
Correlacionando los clones de la parte superior del ranking en cuanto a los pesos secos de la parte aérea con los pesos secos de las raíces (PSPA/PSR) encontramos correlaciones positivas en los clones 3, 21, 27, 30, 51, 54, 56 y 100. En la parte inferior del ranking los clones correlacionan 25, 58, 60, 59, 42, 12, 41, 47 y 20 correlacionan negativamente para ambos caracteres.

Si se relacionan los 2 factores (h135/D135 y PSPA/PSR) con los crecimientos totales encontramos, que los clones 21 y 27 correlacionan positivamente en los 3 factores. El clon 34 correlaciona bien solo en cuanto a crecimiento total con h135/D135; los clones 30, 37, 39, 51 y 100 correlacionan positivamente solo en cuanto a h135/D135 con PSPA/PSR.

Si se relaciona estas correlaciones con los incrementos encontramos, que los clones 37 y 39 tienen un comportamiento de incrementos estables en el ranking; y los clones 3, 15, 20, 21, 22, 25, 62 tienen un comportamiento inestable en el ranking.



**Figura 17.** Variación en la altura promedio (cm) de 49 clones de melina a los 75 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte B), Santa Clara, San Carlos, Alajuela.



**Figura 18.** Variación en la altura promedio (cm) de 49 clones de melina a los 135 días, sometidos a crecimiento en suelos ácidos (horizonte B), Santa Clara, San Carlos, Alajuela

En la figura 22 (75 días) puede observarse una muy amplia variación entre los mejores y peors clones. Si se comparan los cinco mejores contra los cinco peores clones, se registra una diferencia de un 200% en crecimiento con respecto al promediode los 49 clones La superioridad es ahora de un 60%, lo que manifiesta un enorme potencial de selección y de progenie al utilizar clones con alguna tolerancia a crecer en suelos ácidos.

Al analizar los resultados a los 135 días (figura 23), el mismo patrón tiende a aumentar, de un 200 a un 300%, así como de un 60% a un 70%, co relación a los cinco peores y con relación al promedio de los 49 clones respectivamente. En este caso, muy probablemente, se explique un aumento en el diferencial de los cinco mejores clones con relación a todos los demás, con la salida de sus raíces de lad bolsas.

Comparando las figuras 22 y 23, observamos un grupo de clones de melina que se mantienen en las primeras posiciones del ranking tanto a los 75 como a los 135 días de evaluación en cuanto al crecimiento total en el horizonte B del suelo natural del ensayo, son los clones 34, 28, 33, 27, 30, 56 y 10. Se observa también un grupo de clones dudosos por su ascenso en el ranking en el mismo intervalo de tiempo, son los clones 51, 37, 54, 37 y 53. E igualmente se observa un grupo de clones que originan un descenso importante en el ranking, son los clones 1, 4 y 24. Por la parte inferior del ranking se observa un grupo de clones que se mantienen en las últimas posiciones en las dos fechas de evaluación, son los clones 42, 20, 60, 58, 45, 12, 25, 35. Así puede considerarse que estos, son los peores clones del ensayo y que bajo ningún concepto deberían utilizarse para plantaciones en suelos ácidos.

#### 4.9. ANÁLISIS GENÉTICOS DE CLONES DE MELINA (*Gmelina arborea* Roxb) SOBRE HORIZONTE B

**Cuadro 14.** Parámetros genéticos por carácter de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Melina	Caracter	H2	Promedio	Exactitud	Desv. Est.
Horizonte B	h45 <sub>1</sub>	0,878	11,920	0,937	1,377

<b>h75</b>	0,828	13,710	0,910	1,469
<b>h105</b>	0,634	17,580	0,796	2,022
<b>h135</b>	0,485	21,790	0,696	2,948
<b>D135<sub>2</sub></b>	0,019	4,040	0,138	0,077
<b>PSPA<sub>3</sub></b>	0,022	1,350	0,149	0,125
<b>PSPR<sub>4</sub></b>	0,017	0,826	0,130	0,049
<b>Δ45<sub>5</sub></b>	0,814	1,290	0,902	0,291
<b>Δ75</b>	0,142	1,820	0,377	0,272
<b>Δ105</b>	0,474	3,690	0,688	0,892
<b>Δ135</b>	0,666	4,570	0,816	1,700

1) Altura Promedio total a los 45 días. 2) Diámetro Promedio al cuello a los 135 días. 3) Peso Seco Promedio Parte Aérea a los 135 días; 4) Peso Seco Promedio de las Raíces a los 135 días; 5) Incremento Promedio en altura a los 45 días.

En el cuadro 14 se observan los estimados de heredabilidad para los caracteres analizados en melina (*Gmelina arborea* Roxb) sobre horizonte B del suelo experimental. Así, en el cuadro pueden observarse heredabilidades altas (cercanas a 1) en cuanto a crecimiento total en las 2 primeras mediciones (a los 45 y 75 días). Esto significa que la variación ambiental que afecta a los clones afecta poco a la varianza fenotípica hasta los 75 días de evaluación. En las siguientes mediciones de la altura se observa un decrecimiento de la heredabilidad, es decir, es más probable que la variación ambiental que afecta a los clones se incremente progresivamente conforme avanza el ensayo. Esta variación ambiental podría deberse a que las raíces salieron de las bolsas plásticas con suelo experimental, y profundizaron en el sustrato en que se sustentaban dichos envases. Por tanto, la variación ambiental podría estar asociada por un cambio en el ambiente edáfico.

Si se relaciona los caracteres de crecimiento total con los incrementos en las 4 fechas de evaluación (h45-Δ45,...) se observa que la medición de la altura a los 45 días es la única que presenta similitudes en las mismas fechas de evaluación respectivamente. Respecto a los caracteres analizados diámetro y pesos secos de la parte aérea y de las raíces, se observan heredabilidades muy bajas (cercanas a 0). Esto implica que no hay varianza genética aditiva en los clones en el ambiente particular creado para los clones en el vivero. La varianza fenotípica se debe casi enteramente a la variación ambiental.

**Cuadro 15.** Ranking genético de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

<b>Ranking A</b>	<b>H45<sup>1</sup></b>	<b>h75</b>	<b>h105</b>	<b>H135</b>	<b>D135<sup>2</sup></b>	<b>PSPA<sup>3</sup></b>	<b>PSR<sup>4</sup></b>	<b>Δ45<sup>5</sup></b>	<b>Δ75</b>	<b>Δ105</b>	<b>Δ135</b>
<b>1</b>	1	34	28	51	51	30	3	45	30	30	51
<b>2</b>	47	1	30	30	26	51	30	40	3	100	21
<b>3</b>	34	28	100	100	100	100	100	15	51	51	54
<b>4</b>	7	47	34	56	21	3	56	62	100	56	48
<b>5</b>	28	7	56	28	30	21	51	39	56	22	39
<b>6</b>	5	33	47	39	39	56	34	46	39	37	53
<b>7</b>	25	5	39	21	34	39	21	37	26	39	56
<b>8</b>	33	24	27	22	27	22	39	41	15	3	37

<b>9</b>	24	4	1	54	2	26	15	3	40	8	22
<b>10</b>	4	27	22	37	3	27	22	8	8	38	100
<b>11</b>	12	30	33	34	56	34	27	53	2	53	30
<b>12</b>	27	25	7	27	4	38	37	58	62	54	38
<b>13</b>	21	39	5	47	37	54	11	35	37	28	46
<b>14</b>	59	21	24	29	24	48	54	30	27	57	26
<b>15</b>	29	56	19	53	5	2	40	44	42	27	3
<b>16</b>	32	19	29	38	7	37	38	61	46	2	57
<b>17</b>	30	100	37	33	15	15	4	11	44	26	28
<b>18</b>	56	12	21	1	22	40	26	19	11	29	29
<b>19</b>	19	32	4	7	48	46	29	56	54	42	62
<b>20</b>	100	29	25	19	42	53	7	26	41	47	2
<b>21</b>	2	59	32	2	60	42	48	59	25	45	19
<b>22</b>	22	2	2	26	38	45	5	2	32	35	27
<b>23</b>	39	15	51	32	45	19	45	51	57	62	47
<b>24</b>	54	37	12	5	25	29	42	100	12	41	41
<b>25</b>	38	22	38	57	35	62	2	54	45	40	40
<b>26</b>	15	54	54	46	47	5	57	32	22	59	45
<b>27</b>	9	38	57	48	11	57	12	33	34	48	32
<b>28</b>	37	57	59	4	19	33	35	34	53	61	42
<b>29</b>	57	9	53	25	61	35	33	42	47	32	25
<b>30</b>	17	17	42	3	17	8	61	47	61	21	35
<b>31</b>	53	42	15	12	12	7	62	28	33	19	11
<b>32</b>	11	11	8	24	54	11	53	27	38	12	34
<b>33</b>	45	40	45	42	33	61	19	12	5	46	33
<b>34</b>	40	51	26	45	41	41	46	38	35	44	61
<b>35</b>	26	26	3	15	8	12	17	29	19	9	15
<b>36</b>	46	3	9	62	46	25	8	60	21	33	8
<b>37</b>	3	45	40	8	29	28	25	20	48	34	60
<b>38</b>	42	53	35	59	40	47	60	48	29	60	7
<b>39</b>	51	46	46	40	28	60	41	57	7	58	44
<b>40</b>	61	41	41	41	62	4	24	4	28	5	5
<b>41</b>	41	8	11	35	57	32	1	5	17	7	4

42	35	61	62	9	1	24	9	9	24	11	9
43	44	20	61	61	59	9	47	1	4	15	59
44	8	44	48	11	53	59	28	7	60	25	1
45	58	62	17	60	32	1	32	24	9	24	58
46	20	35	44	44	9	20	59	25	20	1	20
47	60	48	60	17	44	44	20	21	58	20	24
48	48	58	20	20	20	17	44	17	59	4	17
49	62	60	58	58	58	58	58	22	1	17	

1) Ranking clones por altura total a los 45 días; 2) Ranking clones por diámetro al cuello a los 135 días; 3) Ranking clones por Peso Seco Parte Aérea a los 135 días; 4) Ranking clones por Peso Seco Raíces a los 135 días; 5) Ranking clones por Incremento en altura a los 45 días de iniciado el ensayo.

En el cuadro 15 se observa el ranking genético de una colección de clones de melina por su tolerancia a suelos ácidos en su horizonte B. Así, analizando los resultados en cuanto a crecimiento de los diferentes clones y a su posicionamiento en el ranking en cuanto a crecimiento en altura absoluta en las distintas fechas de evaluación, encontramos un gran aumento del con 39 desde la posición 23 a los 45 días de evaluación a la posición 6 a los 135 días de evaluación. Así, también se observan buenos incrementos y subida en su posicionamiento desde la fecha de evaluación 1 (a los 45 días) a la fecha 4 (a los 135 días). Estos clones son el 100 (pasa de la posición 20 a los 45 días hasta la 3ª posición en altura a los 135 días); el clon 37 (pasa de la posición 28ª a la 10ª en el mismo período); el clon 51 (pasa de la 39ª a la 1ª posición); el clon 30 (pasa de la 17ª posición a la 2ª); y el clon 56 (pasa de la 18ª a a 4ª posición).

Se observa también, un segundo grupo de clones con elevados incrementos en altura absoluta y que son estables o con tendencia a subir su posicionamiento en el ranking, son los clones: 28, 27, 21, 2, 22, 54, 38, 53, 40, 26, 46, 3, 8 y 54. Así mismo, en un tercer grupo de clones destacable se englobarían clones con bajo crecimiento en altura desde la primera evaluación y/o se mantienen en las últimas posiciones, o que protagonizan un descenso notable en su posicionamiento en el ranking. Son los clones: 1, 7, 24, 4, 59, 9, 17, 11, 44, 58, 20 y 60. Este tercer grupo de clones de melina sobre horizonte B de suelo natural ácido experimental, se contrastará en las conclusiones del presente trabajo con el grupo de los peores clones de melina sobre horizonte A del suelo natural experimental, para obtener así los peores clones del ensayo, y así poder recomendar los clones que deben ser apartados provisoriamente de cualquier programa de producción de árboles de melina sobre suelos ácidos.



**Figura 19.** Clon 56, tolerante al suelo ácido (izq.) vs clon 58, no tolerante (der.) en un experimento con 49 clones de melina a los 135 días expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido, de la zona norte de Costa Rica.



**Figura 20.** Clon 28, tolerante al suelo ácido (izq.) vs clon 20, no tolerante (der.) en un experimento con 49 clones de melina a los 135 días expuestos al horizonte B de un suelo natural ácido, de la zona norte de Costa Rica.

#### **4.10. DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS. CORRECCIÓN DEL ERROR EXPERIMENTAL**

La depuración de la base de datos se realizó mediante el análisis genético, que permitió visualizar y eliminar datos dudosos o no representativos de las condiciones generales del ensayo.

## 5. CONCLUSIONES

- Comparando los análisis tanto fenotípicos como genotípicos de clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.) sobre los dos horizontes del suelo experimental, los clones 52, 93 y 94 exhiben superioridad evidente respecto al resto por su tolerancia y crecimiento en el suelo ácido.
- Encontramos un segundo grupo de clones de teca con tolerancia alta al suelo ácido experimental en sus dos horizontes, clones 23 y 49. A estos les siguen de cerca los clones 42 y 67, también con alta tolerancia al suelo ácido.
- Comparando los análisis tanto fenotípicos como genotípicos de clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.) sobre los dos horizontes del suelo experimental, encontramos que los clones 3, 46 y 31 están en las últimas posiciones en todos los análisis. Analizando todos los resultados se concluye que los clones 3, 31, 46 y 2 son los peores del ensayo, seguidos de cerca por otro grupo con los clones 32, 1, 6, 100 y 51. Por tanto, estos clones deberían ser excluidos temporalmente y previsoramente de la población comercial a utilizar en la zona norte de Costa Rica.
- Comparando los análisis tanto fenotípicos como genotípicos de clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb) sobre los dos horizontes del suelo experimental, los clones 28, 30 y 56 exhiben superioridad evidente respecto al resto por su tolerancia y crecimiento en el suelo ácido.
- Encontramos un segundo grupo de clones de melina con tolerancia alta al suelo ácido experimental en sus dos horizontes: 1, 27, 37, 47 y 54.
- Comparando los análisis tanto fenotípicos como genotípicos de clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb) sobre los dos horizontes del suelo experimental, encontramos que el clon 20 está en las últimas posiciones en todos los análisis. Analizando todos los resultados se concluye que los clones 20 y 44 son los peores del ensayo, seguidos de cerca por otro grupo con los clones 8, 11, 17, 22, 25, 42 y 58. Por tanto, estos clones deberían ser excluidos temporalmente y previsoramente de la población comercial a utilizar en la zona norte de Costa Rica.

## 6. RECOMENDACIONES

- Usar envases más grandes que los utilizados para el ensayo en experimentos similares con melina (*Gmelina arborea* Roxb) de más de 2 meses de duración, ya que las raíces tienden a salir de las bolsas plásticas buscando un sustrato más idóneo para su crecimiento.
- Se recomienda utilizar para proyectos en plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* Linn f.) con suelos ácidos los clones 52, 93 y 94 preferentemente, seguido de los clones 23 y 49. En un tercer grupo y considerados clones de alta tolerancia se ubicarían los clones 42 y 67.
- Se recomienda utilizar para proyectos en plantaciones forestales de melina (*Gmelina arborea* Roxb) con suelos ácidos los clones 28 y 30 preferentemente, seguido de los clones 56, 1, 27, 37, 47 y 54.

## 7. LITERATURA

- Alfaro, M; de Camino, R. 2002. Melina (*Gmelina arborea*) in Central América. Editado por M. Varmola. FAO, Working Paper FP/20. Roma, Italia 18 p.
- Alvarado, A; Chavarría, M; Guerrero, R; Boniche, J; Navarro, JR. 2004. Características edáficas y presencia de micorrización en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 89-100.
- Alvarado, A; Fallas, J. 2004. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28 (1): 81-87.
- Alvarado, A. 2007. Nutrición y fertilización de *Tectona grandis*. In Alvarado, A.; Raigosa, J. eds. Nutrición y fertilización forestal en las regiones tropicales. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. p. 333-353.
- Arce, H; Barrantes, A. 2006. La madera en Costa Rica situación actual y perspectivas. San José, CR, FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal) y Oficina Nacional Forestal. 23 p.
- Arguedas, M; Mata, R; Herrera, W; Arias, D; Calvo, J; Salas, B. 2006. Síndrome de Decaimiento Lento de la Teca en Costa Rica. Segunda Etapa. Cartago, CR, Escuela de Ingeniería Forestal, Centro de Investigación en Integración Bosque-Industria. 186 p.
- Bertsch, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, CR, Editorial Universidad de Costa Rica. 76 p. \_\_\_\_\_ 1995. La Fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo - UCR. 157 p.
- Bertsch, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Segunda Ed. Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Acción Social, Vicerrectoría de Investigación, Escuela de Fitotécnica. San José, Costa Rica. 78 p.
- Bertsch, F. 1995. Fertilidad de suelos y su manejo. Asociación Costarricense de Suelos. San José, Costa Rica. 157 p.
- Briscoe, B. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 270. 45 p.
- Calvo, A. J., J., Arias Alvarado, D., Jiménez, C., Solano, J.C., 2008. Efecto de cinco sustratos en el contenido foliar de nutrientes y crecimiento inicial de tres especies forestales empleadas en Mesoamérica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 5 (14), 2008. 15p.).
- Chaves, E; Fonseca, W. 1991. Teca, *Tectona grandis* L.f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 47 p.
- Díaz-Romeu, R., Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 68p.
- Dreschel, P; Zech, W. 1994. DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L.f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on teak growth in West Africa. *Forest Ecology and Management* 70: 121-133.
- EXPOMADERAS, COILLTE. 2002. Technical criteria for the cultivation of teak (*Tectona grandis* Linn f.) plantations. Issue No. 2. Ciudad Quesada, Costa Rica. Internal Report. 24 p.
- FAO, 2010. Planted forest in sustainable forest management. A statement of principles. Consultado en [www.fao.org/plantedforests](http://www.fao.org/plantedforests)
- Fenning, T.M. & Gershenson, J. 2002. *Where will the wood come from? Plantation forests and the role of biotechnology. Trends in Biotechnology*, 20(7): 273-313.
- Fonseca, W. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L.f) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 115p.
- Guzmán, N. 2007. Evaluación del doblamiento de teca (*Tectona grandis* L.f.) en plantaciones jóvenes de la empresa Barca S.A. Informe de práctica de especialidad. B.Sc., Cartago, CR, ITCR, Esc. de Ing. Forestal. 110 p.
- Hase H., Foelster A. 1983. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in West Venezuela. *Forest Ecology and Management* 6(1): 33-57.
- Hodge, G.R. y W.S. Dvorak, 2003. The CAMCORE International Provenance/Progeny Trials of *Gmelina arborea*: genetic parameters and potential gain. In *Recent Advances with Gmelina arborea* (eds. W. S. Dvorak, G. R. Hodge, W. C. Woodbridge and J. L. Romero). CD-ROM. CAMCORE, North Carolina State University. Raleigh, NC. USA. 20p.

- Jiffy, s f. Sistema de propagación forestal: La solución natural. E & E Promotora. San José, Costa Rica. 14p.
- Kamprath E.J. 1967. Acidez del suelo y su respuesta a encalado. International Soil Testing. Bol. Téc. No. 4. Raleigh, North Carolina. 24 p.
- Kijkar, S. 2003. *Gmelina arborea* Roxb. En: Vozzo, J.A. (Ed). Tropical tree seed manual. US. United States Department of Agriculture. Forest Service. 476-478.
- Krishnapillay, B. 2000. Silvicultura y ordenación de plantaciones de teca (en línea). Unasyuva. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/x4565s/x4565s04.htm>
- INM (Instituto Meteorológico Nacional). [www.imn.ac.cr](http://www.imn.ac.cr)
- Ladrach, W. 2010. Expansion of pulp production in the third world. [http://www.alleghenysaf.org/winter\\_2010.htm](http://www.alleghenysaf.org/winter_2010.htm)
- Laurie M.V. 1975. Prácticas de plantación de árboles en la sabana africana. FAO. Cuadernos de Fomento Forestal No. 19. Roma. 2033 p.
- Matsumoto H. 2002. Plant roots under aluminium stress: toxicity and tolerance. In: Plant roots, the hidden half. 3 ed. Ed. Marcel Dekker, Inc. p. 821-838.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2a ed. Cambridge, Great Britain. Academic Press Limited. pp. 566-595.
- Mohanan, C; Sheeba, K.K. 2003. Productivity of teak stands in Kerala: role of arbuscular mycorrhizal association and diversity of AM fungi. In: Quality Timber Products of Teak from Sustainable Management. India. pp. 472-484.
- Mollinedo, M; Ugalde, L; Alvarado, A; Verjans, J; Rudy, L. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.) en la zona Oeste de la cuenca del Canal de Panamá. Agronomía Costarricense, 29 (1): 67-75.
- Montero M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis Mag. Ciencias. Universidad Austral de Chile, Valdivia/ CATIE, Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- Murillo, O., Obando, G., Badilla, Y. y Azofofeifa, M. 2001. ¿Creación de GENFORES, una Cooperativa e Mejoramiento Genético Forestal en Costa Rica. Instituto Tecnológico de costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago. Costa Rica. 11 p.
- Murillo, O.; Rojas, J; Badilla, Y. 2003. Reforestación clonal. 2ª Edición en español. Cartago, Costa Rica, Taller de publicaciones del ITCR. 36 p.
- Oliveira J.R.V. de. 2003. Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e edubação de povoamentos de teca- NUTRITECA. Tesis Mg. Sc. Programa de Pósgraduação em Solo e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil. 76p.
- Paredes, F. W. 2007. Formas de reproducción de las plantas cultivadas. En: Mejoramiento genético en plantas. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. Perú. Cap. 8.
- Pearson R.W. 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. Cornell Inter. Agric. Bul. No. 30. Ithaca, Cornell. 66 p.
- Pinzón, F, OP; Moreno B, H. 1999. Problemas Fitosanitarios de *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*; Una revisión. Boletín de Protección Forestal 4: 11-16.
- Rao, PS. 2003. Status of teak in Andhra Pradesh, India. In Proceedings of the International Conference on Quality Timber Products of Teak from Sustainable Forest Management. India. KFRI/ITTO. pp. 31-44.
- Rojas, F. 2001. Viveros Forestales. San José, Costa Rica, EUNED. 248p.
- Rojas, F; Arias, D; Moya, R; Meza, A; Murillo, O; Arguedas, M. 2004. Manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. Cartago, CR. 314 p.
- Sánchez, P. 1976. Properties and Management of soils in the tropics. New York, US. John Wiley & Sons. 618 p.
- Shoji, D. 2002. Estudio físico de suelos de dos sitios para determinar la factibilidad del establecimiento de Caoba (*Sweitenia humilis* Zucc.) y Teca (*Tectona grandis* L.f.). Tesis de Licenciatura, Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. pp. 9-11.
- SSS (Soil Survey Staff). 2006. Claves para la taxonomía de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 10ª ed. Trad. Ortiz, C.; Gutiérrez, M. 2007. México. 339 p.
- Suatunce, C. P., Díaz, C. G., García, C. L. , Ramos, G. L., Tapia, V. C., González, O. B. 2009. *Tectona grandis* L. f. (Teca). Una madera valiosa para el Ecuador. Quevedo, Ecuador. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 70 p.

- Suzuki, R; Takeda, S; Maung Thein, H. 2007. Chronosequence changes in soil properties of teak (*Tectona grandis*) plantations in the Bago Mountains, Myanmar. *Journal of Tropical Forest Science* 19(4): 207-217.
- Thielle, M. H. 2008. Variables edáficas que afectan el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en la vertiente del pacífico de Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Sistema de Estudios de Posgrado. San José. Costa Rica. 198p
- Trujillo, E. 2009. Guía de reforestación. 2ª Edición. Los árboles. Adaptación, características, producción, usos, manual de vivero, plantación y manejo silvicultural. 255p.
- Ugalde, L. 2003a. Sistema para el manejo de información arbórea y silvícola (Mirasilv). Turrialba, Costa Rica. \_ -----.
- Ugalde, L. 2003b. Advancements on Management and teak Productivity in Central America. Paper presented at the International Conference Quality Timber Productions of Teak from Sustainable Forest Management. Peechi, Kerala, India. 2-5 December 2003. (*in press*)
- Vallejos B.O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.f., *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. En Costa Rica. Tesis Mag. Ciencias. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 147 p.
- Weaver, PL. 1993. *Tectona grandis* L.f. Teak. New Orleans, US, United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 18 p.
- Zech W., Drechsel P. 1991. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Tectona grandis*) plantations in the rainforest zone of Liberia. *Forest Ecology and Management* 41: 221-235.
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Mejoramiento\\_genetico](http://es.wikipedia.org/wiki/Mejoramiento_genetico)

## 8. ANEXOS

Al situarse el ensayo en un vivero al aire libre bajo sarán o malla negra y con paredes de sarán, se consideraran las medias de los factores ambientales de la localidad donde se ubica el vivero, Santa Clara.

**Anexo 1.** Medias climáticas en Santa Clara de San Carlos, Alajuela. Período: 1983-2004.

<b>INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL</b> <b>GESTION DE INFORMACION Y COMERCIALIZACION</b> <b>PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS</b>																	
<b>SANTA CLARA</b> <small>ESTACION</small>										<b>SN.CARLOS</b> N° 69579		Lat. 10° 21' N	Altit ud 170 m.			Long. 84° 30'O	
Elemento	Periodo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Año			
<b>LLUVIA</b>	1983-2004	166	102	83.8	73.4	291	350	417	394	378	387	345	280	<b>3268</b>			
<b>T°.MAX</b>	1984-2004	28.7	29.5	30.3	31.4	30.8	29.9	29.3	29.7	30.3	29.7	28.8	28.2	<b>29.7</b>			
<b>T°.MIN.</b>	1984-2004	20.0	19.9	20.0	20.3	21.8	22.0	22.0	21.6	21.4	20.6	21.4	20.8	<b>21.0</b>			
<b>T°.MED</b>	1984-2004	24.4	24.7	25.2	25.9	26.3	26.0	25.7	25.7	25.9	25.2	25.1	24.5	<b>25.4</b>			
<b>B.SOL.</b>	1984-2004	5.3	6.0	5.9	5.4	4.0	3.3	3.0	3.7	3.8	3.4	3.2	3.7	<b>4.2</b>			
<b>HUMED.</b>	1984-2004	82	77	75	76	83	87	87	87	85	85	87	86	<b>83</b>			
<b>VIENTO</b>	1983-1998	8.9	9.6	8.8	7.5	6.2	5.2	6.1	5.7	4.9	4.5	5.5	7.5	<b>6.7</b>			
<b>RADIAC.</b>	1987-2001	13.6	15.6	15.4	15	15.4	13.9	13.6	14.3	14.3	14.4	13	12.5	<b>14.3</b>			
Lluvia en Mm – 1Mm. = 1 LitroxM2 Brillo Solar en Horas y Décimas Temperatura en Grados Hum.Relat.en %. Viento en km/h																	
							Dirección Predom.N		Radiacion en megajulios			<b>IMN</b>					

**Anexo 2.** Diseño experimental gráfico. (Nota: Cada celda en blanco corresponde a un envase con una estaquilla, excepto las que están sin número de clon delante).

Horizonte A					Horizonte B														
Teca				Melina				Teca				Melina							
Clon	1	2	3	4	Clon	1	2	3	4	Clon	1	2	3	4	Clon	1	2	3	4
10					46					10					46				
31					48					31					48				
100					51					100					51				
2					53					2					53				
42					54					42					54				
6					56					6					56				
32					45					32					45				
46					44					46					44				
30					42					30					42				
94					41					94					41				
67					8					67					8				
42					3					42					3				
55					40					55					40				
22					39					22					39				
7					38					7					38				
48					37					48					37				
49					35					49					35				
23					100					23					100				
3					62					3					62				
5					61					5					61				
93					60					93					60				
52					59					52					59				
4					58					4					58				
51					57					51					57				
8					22					8					22				
1					20					1					20				
					33										33				
					32										32				
					29										29				
					28										28				
					27										27				
					34										34				
					47										47				
					30										30				
					11										11				
					15										15				
					1										1				
					2										2				
					4										4				
					5										5				
					7										7				
					9										9				
					17										17				
					12										12				
					19										19				
					21										21				
					24										24				
					25										25				
					26										26				

**Anexo 3.** Evaluación fenotípica de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Clon	h45 <sup>1</sup>	h75	h105	h135	D135 <sup>2</sup>	PSPA <sup>3</sup>	PSR <sup>4</sup>	Δ45 <sup>5</sup>	Δ75	Δ105	Δ135
1	4,18	4,93	5,65	6,08	2,88	0,50	0,45	0,28	0,75	0,73	0,43
2	3,73	4,35	5,60	6,53	2,55	0,53	0,28	0,40	0,63	1,25	0,93
3	3,08	3,80	4,10	4,53	2,73	0,40	0,51	0,73	0,73	0,30	0,43
4	5,98	6,53	6,78	7,05	3,23	0,38	0,51	0,55	0,55	0,25	0,28
5	4,10	4,53	5,00	5,45	2,80	0,42	0,55	0,55	0,43	0,48	0,45
6	4,03	5,00	5,40	5,95	2,70	0,40	0,57	0,50	0,98	0,40	0,55
7	5,38	5,80	6,10	6,63	3,18	0,55	0,56	0,53	0,43	0,30	0,53
8	6,20	6,90	7,25	7,53	3,25	0,64	0,68	0,49	0,70	0,35	0,28
10	5,10	5,50	5,83	6,28	2,93	0,59	0,38	0,23	0,40	0,33	0,45
22	3,65	4,20	4,60	5,08	3,45	0,55	0,60	0,53	0,55	0,40	0,48
23	5,38	6,25	6,68	7,15	3,35	0,42	0,46	0,93	0,88	0,43	0,48
30	4,48	5,43	6,33	6,85	3,10	0,69	0,58	0,40	0,95	0,90	0,53
31	3,60	4,58	5,30	5,85	2,78	0,50	0,53	0,58	0,98	0,73	0,55
32	3,83	4,58	5,35	5,75	2,93	0,43	0,49	0,48	0,75	0,78	0,40
42	4,41	5,43	6,40	7,15	2,96	0,51	0,54	0,45	1,01	0,98	0,75
46	3,60	4,08	4,50	5,00	2,75	0,50	0,39	0,48	0,48	0,43	0,50
48	4,95	5,45	6,08	6,40	3,10	0,51	0,50	0,35	0,50	0,63	0,33
49	5,80	6,15	6,75	6,93	3,23	0,64	0,67	0,70	0,35	0,60	0,18
51	4,00	4,83	5,63	6,15	3,13	0,46	0,42	0,33	0,83	0,80	0,53
52	6,03	6,90	7,70	8,28	3,30	0,66	0,59	0,58	0,88	0,80	0,58
55	4,40	5,18	5,73	6,28	3,13	0,49	0,65	0,08	0,78	0,55	0,55
67	2,88	4,35	5,93	7,03	2,93	0,57	0,32	0,30	1,48	1,58	1,10
93	5,73	6,60	7,15	7,75	2,88	0,46	0,48	0,25	0,88	0,55	0,60
94	4,38	5,98	7,35	8,10	2,80	0,56	0,36	0,90	1,60	1,38	0,75
100	4,78	5,40	5,93	6,25	3,23	0,56	0,58	0,53	0,63	0,52	0,33
<b>Promedio</b>	<b>4,54</b>	<b>5,31</b>	<b>5,96</b>	<b>6,48</b>	<b>3,01</b>	<b>0,52</b>	<b>0,51</b>	<b>0,48</b>	<b>0,76</b>	<b>0,66</b>	<b>0,52</b>

1) Promedio Altura total (cm) a los 45 días; 2) Diámetro Promedio al cuello (cm) a los 135 días; 3) Peso Seco Promedio Parte Aérea (g) a los 135 días; 4) Peso Seco Promedio Raíces (g) a los 135 días; 5) Incremento Promedio en altura (cm) a los 45 días de iniciado el ensayo.

**Anexo 4.** Evaluación fenotípica de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 25 clones de teca (*Tectona grandis* Linn f.), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Clon	h45 <sup>1</sup>	H75	H105	H135	D135 <sup>2</sup>	PSPA <sup>3</sup>	PSR <sup>4</sup>	Δ45 <sup>5</sup>	Δ75	Δ105	Δ135
1	2,18	2,38	2,78	3,08	1,83	0,10	0,10	0,50	0,20	0,40	0,30
2	3,00	3,25	3,73	4,05	1,50	0,08	0,11	0,15	0,25	0,48	0,33
3	3,75	4,08	4,88	5,03	2,13	0,16	0,22	0,40	0,33	0,80	0,15
4	4,35	4,90	5,43	5,65	2,48	0,17	0,29	0,38	0,55	0,53	0,23
5	4,58	4,78	5,63	5,93	2,33	0,18	0,24	0,55	0,20	0,85	0,30
6	4,05	4,68	5,38	5,63	2,23	0,15	0,22	0,35	0,63	0,70	0,25
7	4,50	4,73	5,30	5,43	2,07	0,15	0,30	0,73	0,23	0,57	0,13
8	4,88	4,95	5,18	5,50	2,15	0,13	0,20	0,70	0,07	0,23	0,33
10	5,08	5,20	5,50	5,93	2,10	0,16	0,23	0,15	0,13	0,30	0,43
22	5,53	5,63	6,00	6,15	2,45	0,17	0,29	0,70	0,10	0,38	0,15
23	4,43	4,78	5,98	6,18	2,58	0,20	0,23	0,98	0,35	1,20	0,20
30	4,00	4,60	5,45	5,65	2,48	0,16	0,22	0,43	0,60	0,85	0,20
31	4,43	4,53	4,88	5,03	2,00	0,12	0,24	0,33	0,10	0,35	0,15
32	4,03	4,68	5,48	5,63	2,30	0,17	0,23	0,38	0,65	0,80	0,15
42	4,76	5,20	5,75	6,08	2,35	0,22	0,33	0,48	0,44	0,55	0,33
46	3,68	4,18	4,75	5,03	2,28	0,19	0,24	0,23	0,50	0,58	0,28
48	4,95	5,10	5,58	5,85	2,45	0,19	0,39	0,85	0,15	0,48	0,28
49	5,63	5,90	6,55	6,68	2,58	0,24	0,38	0,45	0,28	0,65	0,13
51	4,35	4,75	5,53	5,73	2,13	0,20	0,23	0,95	0,40	0,78	0,20
52	5,65	6,00	6,90	7,28	2,68	0,25	0,38	1,25	0,35	0,90	0,38
55	5,05	5,33	5,88	6,05	2,10	0,18	0,32	0,50	0,28	0,55	0,18
67	4,73	5,10	6,28	6,45	2,48	0,19	0,23	0,83	0,38	1,18	0,18
93	5,73	6,20	6,93	7,03	2,43	0,23	0,31	0,90	0,47	0,73	0,10
94	5,43	6,28	7,20	7,53	2,80	0,26	0,32	1,23	0,85	0,93	0,33
100	4,48	4,70	5,25	5,55	2,15	0,15	0,22	0,30	0,23	0,55	0,30
<b>Promedio</b>	<b>4,53</b>	<b>4,87</b>	<b>5,53</b>	<b>5,76</b>	<b>2,28</b>	<b>0,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,59</b>	<b>0,35</b>	<b>0,65</b>	<b>0,24</b>

1) Promedio Altura total (cm) a los 45 días; 2) Diámetro Promedio al cuello (cm) a los 135 días; 3) Peso Seco Promedio Parte Aérea (g) a los 135 días; 4) Peso Seco Promedio Raíces (g) a los 135 días; 5) Incremento Promedio en altura (cm) a los 45 días de iniciado el ensayo.

**Anexo 5.** Evaluación fenotípica de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte A) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Clon	H45 <sup>1</sup>	h75	H105	h135	D135 <sup>2</sup>	PSPA <sup>3</sup>	PSR <sup>4</sup>	Δ45 <sup>5</sup>	Δ75	Δ105	Δ135
1	22,08	23,13	25,30	31,88	4,65	1,58	1,05	0,95	1,05	2,18	6,58
2	16,50	18,90	21,95	25,60	4,75	1,13	1,01	1,58	2,40	3,05	3,65
3	7,37	11,17	15,77	18,73	4,93	0,96	0,66	1,93	3,80	4,60	2,97
4	17,35	19,05	21,08	21,55	4,65	1,05	1,20	2,25	1,70	2,03	0,48
5	17,25	18,85	22,18	28,25	5,03	2,08	1,22	1,15	1,60	3,33	6,08
7	19,58	16,25	17,95	20,48	3,35	1,28	0,87	0,83	1,68	1,70	2,53
8	5,27	7,80	11,10	11,73	3,53	0,72	0,75	1,20	2,53	3,30	0,63
9	15,40	17,90	21,00	28,27	4,80	1,72	0,78	0,87	2,50	3,10	7,27
11	11,63	13,47	16,30	19,17	4,93	1,42	1,47	1,10	1,83	2,83	2,87
12	15,08	18,20	21,53	24,63	4,73	0,90	0,74	1,85	3,13	3,33	3,10
15	11,37	14,93	19,43	24,07	4,13	1,23	0,88	2,63	3,57	4,50	4,63
17	14,60	16,10	18,65	19,55	4,40	1,09	1,02	1,10	1,50	2,55	0,90
19	15,90	19,33	23,08	27,68	5,13	1,81	1,01	1,38	3,43	3,75	4,60
20	8,68	10,25	14,48	18,30	3,63	0,91	0,57	1,05	1,58	4,23	3,83
21	14,50	16,33	18,77	22,63	4,50	1,06	0,72	1,37	1,83	2,43	3,87
22	13,00	14,80	17,70	19,18	4,03	1,15	1,17	0,73	1,80	2,90	1,48
24	19,70	15,73	18,73	21,38	3,90	1,36	0,93	1,15	1,65	3,00	2,65
25	16,73	11,63	7,03	8,10	1,68	0,30	0,16	0,58	0,73	1,00	1,08
26	15,60	19,60	20,20	22,20	4,60	1,17	0,91	2,20	4,00	0,60	2,00
27	14,80	16,60	23,33	26,88	5,00	1,55	1,10	1,58	1,80	6,73	3,55
28	21,80	24,03	28,78	33,53	5,03	1,90	1,16	1,60	2,23	4,75	4,75
29	18,98	19,75	22,73	23,58	4,48	1,16	1,04	0,43	0,77	2,98	0,85
30	18,40	20,98	28,18	36,00	5,48	2,02	1,05	1,08	2,58	7,20	7,83
32	11,23	15,10	20,03	22,48	4,33	1,14	0,74	1,50	3,88	4,93	2,45
33	16,88	20,40	23,25	25,78	4,63	1,31	1,13	1,58	3,53	2,85	2,53
34	16,68	17,95	21,43	25,40	4,55	1,17	0,96	0,98	1,28	3,48	3,98
35	9,43	13,97	18,30	24,53	3,93	1,08	1,01	1,07	4,53	4,33	6,23
37	10,78	14,00	20,75	27,18	4,43	1,35	1,03	2,20	3,23	6,75	6,43
38	10,00	15,93	23,40	30,30	4,30	1,33	0,78	1,50	5,93	7,47	6,90
39	11,53	15,68	19,48	26,35	4,60	1,17	1,03	1,98	4,15	3,80	6,88
40	7,53	10,88	16,70	22,23	4,78	1,21	0,92	1,65	3,35	5,83	5,53
41	9,43	13,90	20,23	23,60	4,17	0,96	0,81	2,83	4,47	6,33	3,37
42	6,07	9,80	15,47	18,47	3,47	0,79	0,55	1,03	3,73	5,67	3,00
44	3,75	7,45	12,05	14,23	3,83	0,86	0,86	1,25	3,70	4,60	2,18
45	4,00	6,10	11,40	20,20	3,90	1,27	0,84	2,20	2,10	5,30	8,80
46	6,10	8,80	11,90	23,25	4,75	2,04	0,86	0,55	2,70	3,10	11,35
47	18,43	23,43	28,40	32,00	5,00	1,38	0,77	1,85	5,00	4,98	3,60
48	6,73	8,60	12,00	14,83	4,30	0,93	0,75	0,33	1,87	3,40	2,83
51	7,27	9,20	10,80	13,40	3,70	0,65	0,63	0,43	1,93	1,60	2,60
53	6,53	8,53	10,90	13,63	3,30	0,51	0,31	1,23	2,00	2,37	2,73
54	13,83	17,05	22,93	26,45	4,05	1,35	1,10	2,73	3,23	5,88	3,53

56	15,88	18,75	25,88	30,18	4,45	1,87	1,36	2,25	2,88	7,13	4,30
57	10,95	12,58	17,68	20,55	5,23	1,08	1,05	1,33	1,63	5,10	2,88
58	5,28	9,03	14,75	19,73	3,68	0,84	0,44	0,78	3,75	5,73	4,98
59	11,95	13,55	17,18	23,50	4,83	1,39	1,23	0,80	1,60	3,63	6,33
60	6,85	8,25	13,20	21,10	3,70	1,16	0,66	2,05	1,40	4,95	7,90
61	7,68	7,88	10,70	15,55	2,80	0,93	0,61	2,80	1,85	2,83	4,85
62	8,07	10,50	15,97	20,97	4,27	1,15	1,26	1,17	2,43	5,47	5,00
100	12,68	16,48	19,63	23,20	4,83	1,16	1,01	1,35	3,80	3,15	3,58
<b>Promedio</b>	<b>12,39</b>	<b>14,66</b>	<b>18,56</b>	<b>22,70</b>	<b>4,31</b>	<b>1,22</b>	<b>0,90</b>	<b>1,43</b>	<b>2,64</b>	<b>4,01</b>	<b>4,14</b>

1) Promedio Altura total (cm) a los 45 días; 2) Diámetro Promedio al cuello (cm) a los 135 días; 3) Peso Seco Promedio Parte Aérea (g) a los 135 días; 4) Peso Seco Promedio Raíces (g) a los 135 días; 5) Incremento Promedio en altura (cm) a los 45 días de iniciado el ensayo.

**Anexo 6.** Evaluación fenotípica de la respuesta en crecimiento en suelos ácidos (horizonte B) de 49 clones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), en Santa Clara de San Carlos, Alajuela.

Clon	h45 <sup>1</sup>	h75	H105	h135	D135 <sup>2</sup>	PSPA <sup>3</sup>	PSR <sup>4</sup>	Δ45 <sup>5</sup>	Δ75	Δ105	Δ135
1	19,78	20,43	21,85	23,00	3,70	0,71	0,62	0,60	0,65	1,43	1,15
2	12,85	10,50	13,85	17,13	3,48	1,13	0,60	1,08	1,90	3,35	3,28
3	8,03	10,98	15,23	20,10	4,35	2,73	1,63	1,98	2,95	4,25	4,88
4	16,68	17,83	18,90	20,53	4,28	0,95	0,86	0,45	1,15	1,08	1,63
5	18,30	13,00	14,03	14,43	2,87	0,47	0,42	0,67	0,57	1,03	0,40
7	19,10	14,83	16,55	18,25	3,33	0,87	0,68	0,60	0,98	1,73	1,70
8	7,10	9,40	15,40	16,55	3,45	0,61	0,36	2,00	2,30	6,00	1,15
9	10,97	11,47	13,93	14,33	3,13	0,30	0,35	0,67	0,50	2,47	0,40
11	9,20	10,73	12,40	13,37	3,67	0,62	0,74	1,57	1,53	1,67	0,97
12	15,43	8,18	9,50	9,50	1,80	0,24	0,25	0,87	0,55	1,33	0,00
15	10,70	13,10	14,00	14,75	4,15	0,78	0,97	3,05	2,40	0,90	0,75
17	10,18	11,43	12,10	12,43	3,90	0,55	0,67	0,45	1,25	0,68	0,32
19	12,95	12,13	14,15	16,05	2,75	0,67	0,34	1,35	0,73	2,03	1,90
20	6,78	6,75	7,45	7,85	2,28	0,39	0,30	0,80	0,73	0,70	0,40
21	14,95	8,75	10,13	15,38	2,60	1,84	0,65	0,47	0,38	1,38	5,25
22	12,65	13,18	5,78	8,08	1,08	0,58	0,25	0,43	0,53	2,20	2,30
24	16,73	17,93	19,58	19,85	4,25	0,83	0,63	0,58	1,20	1,65	0,27
25	17,43	8,45	8,80	8,93	1,85	0,17	0,15	0,58	0,63	0,35	0,13
26	8,03	10,70	15,00	21,87	5,27	1,94	0,92	1,10	2,67	4,30	6,87
27	15,43	17,33	21,63	25,03	4,37	1,31	0,77	0,87	1,90	4,30	3,40
28	19,03	20,30	24,93	30,38	3,75	0,99	0,58	0,90	1,28	4,63	5,45
29	13,95	15,33	19,40	24,43	3,78	1,20	0,84	0,85	1,38	4,08	5,03
30	13,63	17,30	24,83	31,68	4,58	3,40	1,56	1,65	3,68	7,53	6,85

32	13,60	15,37	18,50	21,83	3,43	0,83	0,50	0,90	1,77	3,13	3,33
33	17,25	18,43	21,23	23,83	3,88	1,11	0,73	0,93	1,18	2,80	2,60
34	19,23	20,48	23,10	25,80	4,48	1,53	1,19	0,92	1,25	2,63	2,70
35	7,20	8,80	5,75	6,25	1,75	0,15	0,18	1,70	1,60	1,90	0,50
37	10,60	12,75	18,65	26,35	4,25	0,93	0,77	2,25	2,15	5,90	7,70
38	11,07	12,10	6,23	9,10	1,30	0,51	0,26	0,85	1,03	2,20	2,87
39	12,30	10,90	14,90	11,20	1,80	0,85	0,55	2,60	1,93	4,00	3,50
40	8,93	11,25	14,73	18,15	3,75	1,29	0,89	3,23	2,33	3,48	3,43
41	7,05	8,45	11,55	14,25	3,35	0,42	0,26	2,05	1,40	3,10	2,70
42	7,40	5,30	7,40	8,15	2,00	0,34	0,24	0,90	1,25	2,10	0,75
44	7,38	9,05	12,00	13,90	3,30	0,64	0,44	1,63	1,68	2,95	1,90
45	6,60	7,40	10,50	11,30	3,60	0,52	0,40	4,30	0,80	3,10	0,80
46	7,50	9,35	11,60	18,10	3,35	0,77	0,30	2,80	1,85	2,25	6,50
47	19,25	15,60	12,58	14,73	2,05	0,47	0,27	0,90	1,23	2,08	2,15
48	5,60	6,30	8,90	18,10	3,85	1,03	0,55	0,75	0,70	2,60	9,20
51	7,93	8,75	14,60	27,83	4,35	2,95	1,18	1,03	2,95	5,85	13,23
53	9,80	10,80	16,25	25,30	3,00	0,97	0,41	1,95	1,00	5,45	9,05
54	11,73	13,67	18,87	29,63	3,97	1,72	1,01	1,00	1,93	5,20	10,77
56	13,48	16,45	22,45	30,40	4,30	2,40	1,39	1,25	2,98	6,00	7,95
57	10,85	12,50	17,03	21,40	3,73	1,14	0,75	0,75	1,65	4,53	4,38
58	6,40	7,33	9,70	10,43	2,90	0,29	0,19	1,77	0,93	2,37	0,73
59	14,08	14,33	8,68	9,10	1,73	0,24	0,21	1,13	0,25	1,75	0,43
60	6,37	6,87	5,70	6,13	2,53	0,20	0,19	0,80	0,50	1,13	0,43
61	7,87	8,93	11,80	13,53	3,63	0,60	0,50	1,63	1,07	2,87	1,73
62	6,50	8,65	12,05	16,60	3,30	0,71	0,44	2,85	2,15	3,40	4,55
100	12,70	16,23	18,80	24,63	3,93	3,23	1,58	1,03	3,53	6,47	5,83
<b>Promedio</b>	<b>11,81</b>	<b>12,16</b>	<b>14,35</b>	<b>17,55</b>	<b>3,31</b>	<b>1,00</b>	<b>0,62</b>	<b>1,34</b>	<b>1,49</b>	<b>3,03</b>	<b>3,35</b>

1) Promedio Altura total (cm) a los 45 días; 2) Diámetro Promedio al cuello (cm) a los 135 días; 3) Peso Seco Promedio Parte Aérea (g) a los 135 días; 4) Peso Seco Promedio Raíces (g) a los 135 días; 5) Incremento Promedio en altura (cm) a los 45 días de iniciado el ensayo.