

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

**Mejoramiento tecnológico de suelos para el incremento  
de la productividad en plantaciones de *Tectona grandis***

Dagoberto Arias Aguilar (Coordinador)  
Marcela Arguedas Gamboa  
Elemer Briceño Elizondo  
Rodolfo Canessa Mora  
Adrián Chavarría Vidal  
Edwin Esquivel Segura  
Mario Guevara Bonilla

**Vicerrectoría de Investigación y Extensión  
2016**



# Contenido

1. INFORMACIÓN GENERAL .....	2
2. RESUMEN.....	3
3. PRESENTACIÓN .....	4
4. CAPÍTULO 1: Diagnóstico inicial de estado físico de suelos que afecta a la productividad .....	8
5. CAPÍTULO 2: Efecto de la fertilización en combinación con labranza .....	14
6. CAPÍTULO 3: Efecto de mecanización en plantaciones recién establecidas.....	48
7. CAPÍTULO 4: Análisis financiero de la inversión en la mecanización .....	61
8. CAPÍTULO 5: Transferencia de conocimientos.....	63
9. ANEXOS .....	65

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre del proyecto: Mejoramiento tecnológico de suelos para el incremento de la productividad en plantaciones de *Tectona grandis*.

Código del proyecto: 5402-1401-1025

Investigadores

Nombre y grado	Dirección electrónica
Dagoberto Arias Aguilar, Ph.D. *	<a href="mailto:darias@itcr.ac.cr">darias@itcr.ac.cr</a>
Marcela Arguedas Gamboa, M.Sc.	<a href="mailto:marguedas@itcr.ac.cr">marguedas@itcr.ac.cr</a>
Elemer Briceño Elizondo, Ph.D.	<a href="mailto:ebriceno@itcr.ac.cr">ebriceno@itcr.ac.cr</a>
Rodolfo Canessa Mora, M.Sc.	<a href="mailto:rcanessa@itcr.ac.cr">rcanessa@itcr.ac.cr</a>
Adrián Chavarría Vidal, M.Sc.	<a href="mailto:adchavarria@itcr.ac.cr">adchavarria@itcr.ac.cr</a>
Edwin Esquivel Segura, Ph.D.	<a href="mailto:eesquivel@itcr.ac.cr">eesquivel@itcr.ac.cr</a>
Mario Guevara Bonilla, M.Sc.	<a href="mailto:maguevara@itcr.ac.cr">maguevara@itcr.ac.cr</a>

- **Investigador responsable: Dagoberto Arias Aguilar**

## 2. RESUMEN

*Tectona grandis* es una de las especies más conocidas a nivel mundial, y goza internacionalmente de un lugar privilegiado en el contexto de demanda y comercialización de su madera. Esta especie fue introducida en Costa Rica hace más de 6 décadas y su cultivo ofrece ventajas por el valor de su madera, por su crecimiento y adaptación y mejoramiento genético en la última década. Sin embargo, esta especie tiene condiciones muy definidas para un desarrollo de aceptable a óptimo, donde una de las principales limitantes para el fomento de nuevas plantaciones es la disponibilidad de tierras con aptitud para su cultivo. Muchas empresas han optado por la adquisición y siembra en terrenos con suelos del orden ultisol y alfisol, de texturas pesadas que limitan la aireación y el drenaje. Este tipo de suelos limitan la disponibilidad de nutrientes (especialmente las bases: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) por su baja concentración y problemas de acidez. Estas tierras se caracterizan por su historial de uso prolongado en ganadería intensiva, lo que ha provocado problemas de compactación, erosión y bajos contenidos de materia orgánica. Sin un adecuado acondicionamiento inicial del terreno, los árboles crecen hasta que la disponibilidad de nutrientes se convierte en una limitación y las barreras físicas del suelo impidan el desarrollo radical. La combinación de estas variables da como resultado plantaciones con bajo crecimiento y susceptibles a las deficiencias nutricionales, facilitando el desarrollo de problemas de fitosanitarios.

A nivel internacional existe un creciente auge para el establecimiento de nuevas plantaciones con esquemas de inversión extranjera, esto ha generado encadenamientos productivos a través de empresas nacionales que brindan diversos servicios desde la plantación hasta el aprovechamiento e industrialización. Algunas empresas por su experiencia en el cultivo de la Teca, han comprendido que para maximizar la productividad es necesario invertir en todas las etapas del cultivo, especialmente y como aspecto clave: la buena preparación del suelo. Con este proceso se imitarían las prácticas agronómicas desarrolladas para otros cultivos como los cítricos, los mangos o la palma aceitera. Es una realidad que las tierras disponibles para el cultivo de la Teca presentan limitaciones químicas y especialmente físicas que requieren de mayor estudio y alternativas de solución. También es una realidad que cada vez es menos factible encontrar fincas óptimas para el cultivo de la Teca por la competencia con otros cultivos agrícolas (palma, arroz, caña, melón, banano, yuca, piña, entre otros). Para el país, es una necesidad mantener las superficies dedicadas a la reforestación bajo el mismo uso y todavía no se tiene claro, a nivel nacional, el tema de la segunda rotación del cultivo forestal y las consideraciones de continuar con la misma especie, cambiar la especie, estado de las condiciones nutricionales del sitio después del aprovechamiento y las medidas más recomendables para garantizar la sustentabilidad de la producción. Lo que sí debería quedar claro, es que las tierras dedicadas al cultivo de Teca y otras especies que han mostrado una productividad media a alta, deberían mantenerse para la producción de madera.

El presente informe de proyecto atendió la problemática de cómo incrementar la productividad de las plantaciones de Teca mediante el mejoramiento tecnológico de los suelos, atendiendo a dos conceptos diferentes pero complementarios: el primero respondió a las preguntas: ¿Qué hacer con las plantaciones de Teca ya establecidas en terrenos de baja productividad? ¿Se podrá manejar el suelo para disminuir las limitaciones físicas y químicas? y lo segundo: ¿Qué alternativas tecnológicas se pueden utilizar en las nuevas áreas de plantación para disminuir las limitaciones químicas y físicas del suelo? Para ello se establecieron varios sitios experimentales multi-propósito para evaluar, entre otros aspectos, el efecto de la labranza profunda y la aplicación de enmiendas en el crecimiento y la sanidad de los árboles en plantaciones jóvenes ya establecidos; y las mismas respuestas en sitios donde se establecerán plantaciones nuevas.

**Palabras clave:** plantaciones forestales, *Tectona grandis*, labranza profunda, raíces, área foliar suelos, crecimiento.

### 3. PRESENTACIÓN

La alta demanda de Teca a nivel mundial, ha fomentado el cultivo de esta especie e intensificado el concepto de manejo tecnológico de la plantación forestal como ha ocurrido en Malasia. Esta especie ha sido empleada en sistemas agroforestales y plantaciones masivas. Ramachandran et al. (2009) remarcan la importancia de los ecosistemas agroforestales como sumideros de carbono, en donde la validación de las tasas de fijación de carbono depende de los factores de sitio. Mientras que las plantaciones forestales de carácter masivo, requieren un nivel más complejo de desarrollo. El mejoramiento genético ha posibilitado un incremento en la productividad esperada y se tienen diversos estudios como el descrito por Goh y Monteuis (2005) quienes mencionan los beneficios de la silvicultura clonal de Teca del proyecto de reforestación ICSB, en donde la selección de árboles plus facilita la implementación de plantaciones forestales en condiciones ambientales menos favorables. Sin embargo, la selección del sitio y el manejo tecnológico del suelo puede todavía adicionar más posibilidades de incrementar la productividad especialmente en terrenos poco productivos.

Como una tendencia a nivel global, la mayoría de las plantaciones comerciales son de carácter mono-específico. Como respuesta a esto, Nichols et al. (2006) exploran las tendencias sobre la adopción de los monocultivos forestales en vez de los policultivos forestales. Ellos plantean el vacío de información a escala del manejo silvicultural y del manejo del suelo y sobre la falta de análisis financieros confiables de los policultivos. Adicionalmente a los policultivos, la agroforestería ha sido vista como una opción para la silvicultura rural y/o a pequeña escala. Miley et al. (2007) describen las condiciones de los sistemas agroforestales y de pequeñas plantaciones de Teca en el norte de Laos. Ellos exploran sistemas tales como la implementación de la Teca en sistemas agrícolas de secano para la producción de madera por pequeños productores como una opción viable. Esto se debe a que las decisiones de estos pequeños productores se basan en variables tales como la disponibilidad de tierras, carga laboral, recursos económicos y conocimiento. Para Costa Rica, la diversificación de los modelos de plantaciones es fundamental ya que el tamaño promedio de fincas de pequeños y medianos productores es de aproximadamente 6 hectáreas.

Bajo un concepto de producción sostenible, las plantaciones de Teca no solo proveen beneficios económicos por la producción de madera; sino que pueden ser vistas como plantaciones con capacidad de regenerar ambientes degradados. Kaewkrom et al. (2005) han analizado la capacidad de las plantaciones puras y mixtas para la regeneración de vegetación bajo el dosel de Teca en Tailandia. Por otra parte, en regiones donde la Teca funge como especie exótica, puede ser utilizada para mejorar las condiciones físico-químicas del suelo. Un ejemplo de ello, es el estudio realizado por Boley et al. (2009), quienes muestran el efecto de las plantaciones forestales como restauradores de las condiciones físico químicas del suelo en Costa Rica. Este estudio basado en el efecto de cambio de uso del suelo: Bosque->Pasto->Plantación; remarca el efecto positivo del cambio Pasto->Plantación pero remarcan la importancia de nuevas posibilidades de manejo del suelo en las plantaciones forestales para restaurar las condiciones iniciales.

#### **Crecimiento, manejo y ambiente**

Para todo tipo de cultivo, el adecuado manejo del mismo es relacionado a conceptos tales como entendimiento del crecimiento, manejo de recursos (agua y suelo), y efecto ambiental durante y después de la cosecha, donde la estabilidad en la reserva de materia orgánica y nutrientes es fundamental.

Upadhyay et al. (2005) desarrollaron curvas de índices de sitio para Teca en la India. Sin embargo, aplicaron el método de ecuación diferencial (difference equation method) con formulaciones anamórficas y polimórficas. Este método resultó con un menor cuadrado medio de error en relación con el método tradicional para determinar curvas de sitio guiadas, aportando relaciones hiperbólicas entre edad y altura para los 11 índices de sitio propuestos. Buvanewaran et al. (2006) desarrollaron una serie de modelos de predicción de biomasa con variables de fácil medición para plantaciones de Teca, pero resaltan la importancia de desarrollar ecuaciones regionales. Es posible caracterizar

la productividad de las plantaciones establecidas mediante índices de productividad, pero lo más valioso para el manejo forestal y la toma de decisiones, es la capacidad de predecir productividad en sitios antes de establecer las plantaciones.

Así como el crecimiento es una respuesta a los factores principales: especie, edad, sitio, manejo y genética-ambiente; las condiciones de la competencia entre los individuos, son la base del manejo silvícola y el efecto de los raleos es muy importante para la productividad, especialmente para alcanzar tozas con los mayores diámetros. Pérez y Kanninen (2005) analizaron los efectos de los raleos sobre los factores de forma de la Teca. Ellos determinaron principalmente que los efectos de los raleos sobre esta variable, no son significativos cuando se compara el efecto del raleo en relación con el tiempo. Adicionalmente, sugieren la posibilidad de crear diversos regímenes de manejo en las etapas iniciales de la plantación sin afectar negativamente la calidad de la madera. Mientras que Zimmermann et al. (2006) reportan el efecto negativo sobre el suelo ocasionado por el pastoreo intensivo, y visible después de 10 años de cultivo de Teca. Este efecto implica la rápida saturación de las capas superficiales de suelo ocasionando un flujo superficial de agua.

El efecto ambiental continúa siendo un factor decisivo en la toma de decisiones sobre selección de la especie y el manejo posterior. Pedram et al. (2006) emplearon el método de relación-Bowen (Bowen-ratio method) y la ecuación de Penman-Monteith para determinar evapo-transpiración actual y potencial respectivamente. Este trabajo desarrollado en Tailandia, requirió el uso de un complejo set de datos climáticos entre los cuales cabe mencionar: la radiación solar, la precipitación, la temperatura, la humedad relativa, la humedad del suelo, entre otras. Por medio de estas variables es posible determinar los coeficientes de cosecha requeridos en la ecuación Penman-Monteith para el manejo hídrico de cualquier tipo de cultivo, y mejorar el desarrollo de plantaciones tanto forestales como agrícolas. Varghese et al. (2000) encontraron el efecto de la humedad ambiental disponible sobre el contenido de albura de los árboles, correlacionándose negativamente demostrando la importancia que tienen las condiciones ambientales en la calidad de la madera. Razón por la cual es indispensable incluir parámetros hídricos dentro de las prácticas de manejo de plantaciones forestales. Por otra parte, Moya et al. (2009) compararon el efecto de un clima seco tropical y un clima húmedo tropical sobre las características de la madera de Teca en plantaciones de 13 años. Ellos mencionan el efecto del clima sobre la longitud de las fibras solamente, mientras que la calidad de sitio no afectó características tales como la densidad normal promedio, máxima y su variación dentro del anillo.

### **Biomasa, carbono y nutrientes**

Debido a la importancia que tienen las plantaciones forestales como sumideros de carbono, Takahashi et al. (2009) evaluaron la respiración del suelo en plantaciones de Teca en Tailandia. Estas mediciones se realizaron por medio del método de "cámara cerrada" (Closed Chamber Method). Para las mediciones se implementaron tres tratamientos para determinar las fuentes de CO<sub>2</sub>: la eliminación de la capa de materia orgánica, eliminación de la capa de materia orgánica y raíces, y el tercero representaba las condiciones inalteradas de las plantaciones bajo estudio. Mientras que Grossman (2008) menciona el gran potencial como sumideros de CO<sub>2</sub> que tienen en los bosques naturales, las plantaciones de especies exóticas, las plantaciones de especies nativas y los sistemas agroforestales en Centroamérica y Panamá. Además hace hincapié en la necesidad de investigación, inversión y soporte institucional para el desarrollo de las mismas. Kau et al. (2010) aplicaron un modelo de crecimiento dinámico (CO<sub>2</sub>FIX) para determinar el potencial de secuestro de carbono de plantaciones forestales. Ellos determinaron que las plantaciones de corta rotación contribuyen a reducir las emisiones de gases invernadero. Es importante recalcar el hecho que no solo el carbono es fijado en los árboles, sino también en el suelo, así como lo muestran Nirmal Kumar et al. (2009), quienes cuantificaron el contenido de nutrientes de plantaciones de Teca sembradas entre 1998-1999.

Para evaluar la mayoría de los aspectos mencionados anteriormente, se establecieron una serie de experimentos en el campo, que comprendieron siete objetivos específicos, y el proyecto se desarrolló en cuatro componentes (capítulos). A continuación, se describen estos objetivos y la nominación de los componentes.

<b>Componente</b>	<b>Objetivo específico</b>
<b>Capítulo 1: Diagnóstico inicial del estado físico de suelos que afectan la productividad</b>	- Caracterizar morfológicamente las limitantes físicas y químicas del suelo y su efecto en el desarrollo radical, desarrollo del área foliar, sanidad y la productividad de plantaciones de Teca en suelos de baja productividad actual.
<b>Capítulo 2: Efecto de labranza profunda en plantaciones establecidas de Teca</b>	- Demostrar el efecto de la labranza profunda (varios tratamientos) en el desarrollo radical, desarrollo del área foliar, sanidad y la productividad de plantaciones de Teca ya establecidas.
<b>Capítulo 2: Efecto de la fertilización en combinación con labranza</b>	- Evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas (encalado, fertilización, micorrizas) en combinación de diferentes tratamientos de labranza profunda del suelo. Monitorear las dinámicas de flujos de carbono en el suelo y la biomasa, dinámica de raíces finas, hojarasca, actividad biológica del suelo, materia orgánica y balance hídrico de las plantaciones en los distintos tratamientos a evaluar
<b>Capítulo 3: Efecto de mecanización profunda en plantaciones recién establecidas</b>	- Cuantificar el efecto de la mecanización (labranza profunda y megasurcos) en el desarrollo inicial de plantaciones de Teca en nuevas áreas de cultivo.
<b>Capítulo 4. Análisis financiero de la inversión en la mecanización</b>	-Realizar el análisis financiero de la inversión en mecanización
<b>Capítulo 5: Transferencia de conocimientos</b>	- Transferir los conocimientos y las experiencias generadas a los grupos meta.

Dadas las particularidades metodológicas para cada uno de los componentes, en este informe se presentan sus respectivos resultados por capítulos.

## REFERENCIAS CITADAS

Vóley, J.D., Drew, A.P. & Andrus, R.E. (2009). Effects of active pasture, Teak (*Tectona grandis*) and mixed native plantations on soil chemistry in Costa Rica. *Forest and Management*. No. 257, 2254-2261p.

Buvaneswaran, C. George, M. Pérez, D. & Kanninen, M. (2006). Biomass or teak plantations in Tamil Nadu, India and Costa Rica compared. *Journal of Forest Science*. No. 18(3), 195-197 p.

Fondo Nacional del Ambiente – Perú. 2007. Guía práctica para la instalación y manejo de plantaciones forestales. Lima, Perú. 46 p.

Kaul, M., Mohren, M.J. & Dadhwal, K. (2010). Carbon storage and sequestration potential of selected tree species in India. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. No.15, 489-510 p.

Midgley, S., Blyth, M., Mounlamai, K., Midgley, D. & Brown, A. (2007). Towards improving profitability of teak in integrated smallholder farming systems in northern Laos. *ACIAR Technical Reports*. No. 64, 95 p.

Moya, R., Berrocal, J., Serrano, J.R., & Tomazello, M. (2009). Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de Teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. *Investigación Agraria: Sistema y Recursos Forestales*. No. 18(2), 119-131p.

Nirmal, J.I., Kumar, R.N., Kumar, R. & Sajish, P.R. (2009). Quantification of nutrient content in the aboveground biomass of Teak plantation in a tropical dry deciduous forest of Udaipur, India. *Journal of Forest Science*. No. 55(6), 251-256 p.

Pérez, D & Kanninen, M. (2005). Effect of thinning on stem form and wood characteristics of Teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. *Silva Fennica*. No. 39(2), 217-225 p.

Takahashi, M., Hirai, K., Limong, P., Leungvutivirog, C., Suksawang, S., Panuthai, S, Anusontpornperm, S & Marod, D. (2009). Soil respiration in different ages of Teak plantations in Thailand. *JARQ*. No. 43(4), 337-343 p.

Ugalde, A. L. (2006). Perspectivas económicas y ambientales de las plantaciones de Teca bajo manejo sostenible, en Panamá. AED, Panamá. 83 p.

Upadhyay, A., Tron, E. & Sankhayan, P.L. (2005). Construction of site index equations for even aged stands of *Tectona grandis* (Teak) from permanent plot data in India. *Forest Ecology and Management*. 14-22 p.

## 4. CAPÍTULO 1: Diagnóstico inicial de estado físico de suelos que afecta a la productividad

La información presentada en este capítulo fue indispensable como punto de partida de la investigación, así como para la formulación de los artículos científicos. La mayoría de los resultados presentados en este capítulo se encuentran incluidos en el artículo que fue publicado en la revista *Journal of Agriculture & Life Sciences* y que lleva como título: “**Effects of high intensity tillage applications to improve productivity on established teak (*Tectona grandis*) plantations in Specific site conditions in Northern Costa Rica**”.

A continuación, se presenta un resumen en español del artículo y se adjunta la versión en inglés que salió publicada.

### INTRODUCCIÓN

Las experiencias de la reforestación en Costa Rica entre los éxitos y los fracasos, apuntan a dos decisiones clave: la selección de la especie y genotipo y el manejo del suelo. Los aspectos posteriores, con excepción del manejo de las malezas, han sido bien desarrollados técnicamente y mejorado en los últimos años (podas, raleos). En la actualidad, las empresas están reconociendo que el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo son cruciales en la preparación del sitio por las siguientes razones:

- a. Mejoramiento del aprovechamiento del agua en el suelo y su drenaje.
- b. Reducir la compactación y mejorar la aireación del suelo por efecto de prácticas de uso anteriores.
- c. Favorecer considerablemente el crecimiento de los árboles y su sanidad.

No obstante, las prácticas de labranza del suelo en el campo forestal en Costa Rica, carecen de lineamientos de buenas prácticas y las experiencias de empresas en diferentes regiones del país no obedecen a métodos validados sobre los efectos en la productividad y la sostenibilidad de la producción.

El objetivo del presente capítulo fue realizar una caracterización inicial de las propiedades físicas y químicas del suelo en los sitios seleccionados para la realización de los ensayos para determinar los principales factores limitantes para el crecimiento de Teca en plantaciones ya establecidas.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Los sitios del experimento se localizaron en plantaciones comerciales pertenecientes a la empresa Reforestación Grupo Internacional (RGI) en Pavón, Alajuela, Costa Rica (10°50'18.51"N; 84°39'40.12"W) y en Corazón de Jesús, Muelle, San Carlos. Ambos sitios no tuvieron preparación previa a la siembra y tenían un uso anterior agrícola (caña de azúcar) y ganadero.

Previo al establecimiento del experimento, se establecieron calicatas de un metro por un metro y se evaluaron los siguientes aspectos:

1. Descripción morfológica del suelo identificando las limitaciones físicas y químicas para el cultivo de Teca incluye la toma de muestras para su respectivo análisis.
2. Textura en los horizontes del suelo (esta solamente se realizó al inicio de la investigación debido a que la textura no varía en periodos de tiempo cortos).
3. Densidad aparente, conductividad hidráulica, macroporos, mesoporos y microporos y porosidad, curvas de des-absorción, resistencia a la penetración, resistencia la corte a los 20 y 40 cm de profundidad a la mitad del entresurco (área disturbada) y al centro de dos plantas contiguas sin disturbar.

Adicionalmente se realizó una inspección general en los sitios de los ensayos para determinar el estado fitosanitario de la plantación. Se registraron las plagas y enfermedades existentes y se determinó su incidencia y severidad.

## RESULTADOS

La mayoría de los resultados de esta sección se encuentran incluidos en los artículos científicos producidos. A continuación se muestran aspectos generales de los mismos:

### Descripción morfológica

Con base en la información recopilada (cuadro 1) se determinó que el tipo de suelo es del orden Alfisol, con una coloración rojiza, con Horizonte A - B quebrado.

### Cuadro 1. Descripción de los horizontes en el perfil del suelo al inicio de experimentos. Sitio Gallito

Profundidad y horizonte correspondiente		
0-29 cm	29-40 cm	40- > 100 cm
A	B	C
Horizonte de textura arcillosa, con porosidad media de tamaño de gruesos a finos con abundancia comunes. Presenta un mayor crecimiento secundario y terciario de raíces saludables y no presenta crecimiento de raíces de anclaje o pivotantes. Además, presenta estructura de bloque subangulares de muy gruesa a media de grado de desarrollo moderado. Los colores de este horizonte encontrados fueron café oscuro (7,5YR 3/3)h y café amarillento (10YR 5/4)s	Horizonte de textura arcillosa, con porosidad media de tamaño de gruesos a finos con abundancia comunes. Presenta un mayor crecimiento secundario y terciario de raíces saludables pero con raíces muertas y no presenta crecimiento de raíces de anclaje o pivotantes. Además, presenta estructura de bloque subangulares de gruesa a media de grado de desarrollo moderado. Los colores de este horizonte encontrados fueron café oscuro (7,5YR 3/3)h y café amarillento (10YR 5/4)s	Horizonte de textura arcillosa, con porosidad muy baja de ninguno a muy pocos, de tamaño muy finos. No presenta ningún crecimiento radical. Además, no presenta estructura (o es del tipo masiva). Los colores de este horizonte encontrados fueron Café oscuro rojizo (5YR 3/4)h y café amarillento (10YR 5/6)s



**Figura 1.** Caracterización y descripción de perfiles de una calicata en Pavón de Los Chiles

La descripción morfológica de este suelo que se presenta en el cuadro 1 manifiesta un perfil de suelo con problemas físicos serios a partir de los 40 – 100 centímetros de profundidad, donde el crecimiento radical no existe, manifestando esto un problema de compactación hasta el nivel de no permitir ni el crecimiento radical de anclaje, lo cual se ve manifestado en el volcamiento de árboles de Teca (*Tectona grandis*) como se muestra en la figura 2. Lo anterior se confirma por medio de la medida de la conductividad hidráulica que para el horizonte “A” fue de 0,59 m/d, para el horizonte “B” fue de 0,17 m/d y para el horizonte “C” fue de 0,00 m/d; lo cual indica también que a partir de los 40 centímetros de profundidad existen problemas de conducción de aire en el suelo.



**Figura 2.** Volcamiento de árboles de Teca (*Tectona grandis*) debido al crecimiento radical superficial no mayor a 40 cm de profundidad

## Propiedades químicas

**Cuadro 2. Análisis de fertilidad en finca Gallito**

<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
RGI - GALLITO HORIZONTE A	S-13-05177	5,2	0,64	3,27	1,17	0,04	5,12	13	3	1,0	12	143	27
RGI - GALLITO - HORIZONTE B	S-13-05175	5,6	0,21	2,47	0,95	0,02	3,65	6	3	0,4	9	57	1
GALLITO - HORIZONTE C	S-13-05174	5,5	0,31	2,67	1,22	0,02	4,22	7	1	0,4	11	33	1

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los niveles críticos generales para la solución extractora usada

CICE=Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K

SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)\*100

RGI - GALLITO HORIZONTE A: Este horizonte presenta un pH ácido juntamente con un valor moderadamente alto de aluminio aunque debido a la capacidad de intercambio catiónico efectiva que presenta este horizonte no manifiesta un porcentaje de saturación de acidez problemático. La cantidad de calcio es bajo, el magnesio es medio y el potasio juntamente con el fósforo son muy bajos. Además presenta un fuerte desbalance de bases del calcio respecto al potasio, del magnesio respecto al potasio y del calcio y el magnesio juntos respecto al potasio. La capacidad de intercambio catiónico efectiva se encuentra en límite inferior para pasar a ser un horizonte poco fértil.

RGI - GALLITO - HORIZONTE B: Este horizonte presenta un pH moderadamente ácido juntamente con un valor no problemático de aluminio. La cantidad de calcio es bajo, el magnesio es bajo y el potasio juntamente con el fósforo son muy bajos. Además presenta un fuerte desbalance de bases del calcio respecto al potasio, del magnesio respecto al potasio y del calcio y el magnesio juntos respecto al potasio. La capacidad de intercambio catiónico efectiva se encuentra con un valor perteneciente a un horizonte poco fértil.

GALLITO - HORIZONTE C: Este horizonte presenta un pH moderadamente ácido juntamente con un valor no problemático de aluminio. La cantidad de calcio es bajo, el magnesio es medio y el potasio juntamente con el fósforo son muy bajos. Además presenta un fuerte desbalance de bases del calcio respecto al potasio, del magnesio respecto al potasio y del calcio y el magnesio juntos respecto al potasio. La capacidad de intercambio catiónico efectiva se encuentra con un valor perteneciente a un horizonte poco fértil.

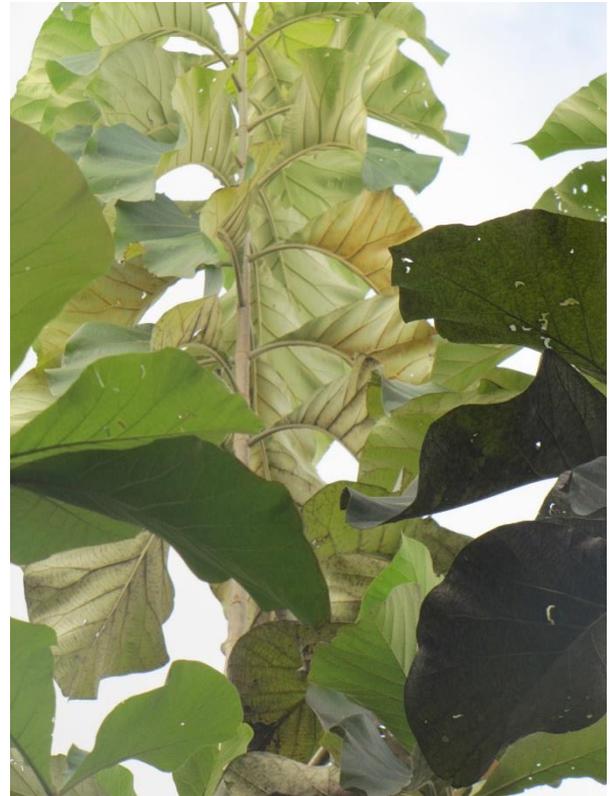
Del estudio de la morfología del suelo y las propiedades químicas del mismo podemos ver un suelo cuyo perfil manifiesta muy poca fertilidad, problemas de acidez en la superficie, problemas en la cantidad de cada una de las bases y fuertes desbalances de bases juntamente con problemas de compactación a partir de los 40 cm de profundidad manifestando problemas de conducción de agua y aire, y además, no permite el crecimiento radical a mayores profundidades de los 40 cm.

### Diagnóstico inicial de plagas y enfermedades

En el cuadro 3 se presentan las principales plagas y enfermedades encontradas durante el diagnóstico fitosanitario inicial.

**Cuadro 3.** Principales plagas y enfermedades encontradas durante el diagnóstico fitosanitario inicial

Especie	Fecha	Tipo de daño	Agente causal	Valoración
Teca	Marzo 2013	Defoliador/follaje	<i>Rabdobterus sp</i>	
Los adultos se alimentan de follaje de la Teca, y producen perforaciones características de forma elongada y curva de aproximadamente 1,3 de largo y 0,16 cm de ancho.				
Teca	Marzo 2013	Cancro/fuste	<i>Dothiorella sp.</i>	
Resquebrajamiento longitudinal de la corteza que puede profundizar hasta el xilema. En algunos casos, se desarrolla en forma extensiva y cubre áreas en promedio de 12 x 6 cm; cuando se corta la corteza superficial es posible observar los tejidos internos totalmente necrosados (coloración parda oscura). En otros casos aparentemente los canchros más viejos el resquebrajamiento se prolonga a lo largo del fuste (hasta 60 cm) y el árbol forma callos en los bordes, lo cual delimita la extensión perimetral de los mismos. Es el cancro más común en la región centroamericana.				
Teca	Marzo 2013	Roya/Follaje	<i>Olivea tectonae</i>	
Afecta el follaje de árboles adultos. Las hojas afectadas son las más viejas, especialmente las de las partes bajas. Estas hojas presentan inicialmente manchas necróticas de tamaño y forma variable, de color verdoso que cambia a tonos claros y luego a café y grises. Las hojas severamente afectadas pueden caer. En el envés se forman estructuras llamadas uredinios, los cuales son eruptivos, cilíndricos y curvados; su abundancia es tan grande que las esporas o urediniosporas que liberan cubren toda la superficie inferior de la hoja, dándole un color anaranjado y una apariencia polvosa;				



**Figura 3.** Plagas y enfermedades encontradas en el sitio de ensayo durante el diagnóstico inicial (presencia de cancro y de roya del follaje).

**Conclusiones generales del diagnóstico inicial de las plantaciones:**

1. Los suelos evaluados no fueron intervenidos al momento del establecimiento de las plantaciones. En estas condiciones los árboles crecen hasta que llegan a un límite definido por las limitaciones nutricionales y las limitaciones físicas de suelo.
2. Las limitaciones físicas más importantes están relacionadas con los horizontes adensados que a su vez influyen en la disponibilidad de aireación y la capacidad del suelo de infiltrar y drenar el agua.
3. No se han encontrado problemas fitosanitarios fuera de los hallazgos normales en plantaciones de teca, inclusive después de la aplicación de las combinaciones de mecanización.

## 5. CAPÍTULO 2: Efecto de la fertilización en combinación con labranza

Este capítulo resume los resultados del experimento realizado en plantaciones ya establecidas de Teca y en las cuales se implementó un diseño experimental completo para evaluar diferentes efectos. Los principales resultados fueron publicados en dos artículos y en el desarrollo de este capítulo se detallan con profundidad.

Es importante es esta introducción aclarar que los resultados de este capítulo se vieron limitados por la instalación de alguna instrumentación en el campo. Tal y como se documentó en varios memorandos enviados directamente a la Vicerrectoría y en los informes de avance del proyecto, existía alto riesgo de dejar los sensores de flujo de sabia directamente en el campo (con un valor de más \$12.000 dólares) y de las cámaras de medición de oxígeno en el suelo (\$4.000 dólares). No hubo una solución que eximiera de responsabilidad a los investigadores en caso de hurto o robo de los equipos; por lo tanto, se valoró que, sin respaldo institucional, ninguno de los participantes del proyecto serían responsables por el hurto y robo de dicho equipo. Ante esta situación no fueron consideradas las siguientes mediciones que son parte del objetivo específico 4: flujos de carbono, hojarasca, actividad biológica del suelo y el balance hídrico en tiempo real.

Dado que las mediciones de algunas variables dependían de la instrumentación que no fue instalada en el campo (sensores de flujo de sabia y cámaras de respiración del suelo), como alternativa se valoró trabajar con otras variables clave del rodal y que se encuentran relacionadas; fue así como se desarrolló un protocolo innovador para la determinación del Índice de Área Foliar (IAF) en plantaciones de Teca. Este protocolo fue también el resultado de una tesis de maestría titulada “Caracterización fisiológica e hidráulica de *Eucaliptus tereticornis*, *Eucaliptus camedulensis* y *Gliricidia sepium* en plantaciones de alta densidad para la producción de biomasa en Costa Rica” del estudiante Juan Carlos Valverde. El protocolo desarrollado en esta tesis fue validado en *Tectona grandis* y a su vez permitió escribir un artículo científico adicional y que forma parte de los resultados del proyecto, la publicación lleva como título “**Efectos de las actividades de labranza en el índice de área foliar en una plantación de *Tectona grandis* en la zona norte de Costa Rica**”.

**La evaluación de los efectos de la aplicación de enmiendas (encalado) en combinación con los diferentes tratamientos de labranza profunda del suelo, están presentes en dos artículos.** Se aclara que en los experimentos se dispuso un testigo absoluto sin encalado ni mecanización, un testigo relativo con encalado sin mecanización y el resto de los tratamientos consideraron mecanización en combinación con encalado. De igual manera la dinámica de las raíces finas fue incorporada en el **Artículo 1: “Effects of high intensity tillage applications to improve productivity on established teak (*Tectona grandis*) plantations in Specific site conditions in Northern Costa Rica”**.

A continuación, se extrae del artículo aprobado, los párrafos donde se especifica la aplicación en el experimento:

**Artículo 1, Materiales y métodos:** *Material and Methods: The treatments are a combination of two tillage depths and three different tillage intensities, defined by the number of chisel plows used, and a general application of dolomite (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) at 3 tons/ha to reduce soil acidity for all treatments except a full control (página 4 párrafo 1)*

**Artículo 2, Materiales y métodos:** *Tratamientos implementados. La labranza se realizó en el año 2013 y se implementaron dos profundidades de labrado con la adición de cal y magnesio (se implementó la dosis de 3 ton ha<sup>-1</sup> de formulación CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) recomendada para llevar la acidez del suelo hasta un 10 %, en conjunto a tres aditamentos de subsolado con distinta cantidad de cinceles, formando ocho tratamientos (cuadro 1);*

En esta investigación se demostró que la cal dolomita en combinación con la aplicación de cinceles a distintas profundidades, mejoran propiedades físicas del suelo como resistencia al corte, resistencia a la penetración y densidad aparente (ver artículo 1, cuadro 3); e inciden en la mejora del Índice de Área Foliar (IAF), con respecto a los tratamientos testigo. (Ver cuadro 2, Artículo 2). Sin

embargo, no se pudo demostrar estadísticamente, en el período de evaluación del proyecto, un incremento en los valores de diámetro y altura. Se mantiene la hipótesis que los efectos esperados son a más largo plazo y de parte de los investigadores y la empresa RGI se mantiene el compromiso de seguir midiendo y analizando para futuras publicaciones al menos hasta el año 5 del establecimiento del ensayo. Información más específica referente al tema se puede encontrar en ambos artículos.

Artículo 2. cuadro 2:

**Cuadro 2.** Valores promedio y desviación estándar del diámetro, altura total, índice de Área Foliar (IAF) directo e indirecto en individuos de una plantación de *Tectona grandis* en la Zona Norte de Costa Rica.

Tratamiento	Diámetro (cm)	Altura total (m)	IAF directo	IAF indirecto
T	11,80 <sup>a</sup> (1,22)	9,90 <sup>a</sup> (1,20)	3,51 <sup>a</sup> (0,88)	3,40 <sup>a</sup> (0,94)
DT	11,83 <sup>a</sup> (1,37)	10,20 <sup>a</sup> (1,10)	3,79 <sup>a</sup> (0,51)	3,75 <sup>a</sup> (0,63)
1P25	10,80 <sup>a</sup> (0,77)	11,20 <sup>a</sup> (1,25)	<b>5,69<sup>b</sup> (0,49)</b>	<b>5,67<sup>b</sup> (0,55)</b>
3P25	12,03 <sup>a</sup> (1,69)	10,10 <sup>a</sup> (0,95)	<b>5,58<sup>b</sup> (0,37)</b>	<b>5,52<sup>b</sup> (0,40)</b>
5P25	11,55 <sup>a</sup> (1,16)	12,20 <sup>a</sup> (1,30)	<b>5,88<sup>b</sup> (0,42)</b>	<b>5,83<sup>b</sup> (0,45)</b>
1P40	11,40 <sup>a</sup> (1,37)	11,62 <sup>a</sup> (1,50)	<b>5,61<sup>b</sup> (0,41)</b>	<b>5,57<sup>b</sup> (0,49)</b>
3P40	10,97 <sup>a</sup> (0,89)	12,31 <sup>a</sup> (0,94)	<b>4,92<sup>b</sup> (0,41)</b>	<b>4,87<sup>b</sup> (0,49)</b>
5P40	12,50 <sup>a</sup> (1,37)	10,60 <sup>a</sup> (1,23)	<b>5,79<sup>b</sup> (0,40)</b>	<b>5,75<sup>b</sup> (0,52)</b>

Nota: datos entre paréntesis corresponden a la desviación estándar; letras distintas en cada columna muestran diferencias significativas (Tukey, P < 0,05)

Artículo 1 cuadro 3:

Table 3. Growth variables for the tillage treatments used in the study.

Treatment t	Height (m)			Diameter (cm)		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
1) [C]	9.16 a	10.18 c	12.15 c	9.31 b	10.15 b	11.55 b
2) [OPD]	8.19 a	9.51 ab	11.77 b	9.17 ab	10.05 ab	11.47 b
3) [1P25]	8.79 a	9.63 ab	11.79 b	9.25 ab	9.95 ab	11.25 ab
4) [3P25]	8.92 a	9.77 abc	11.74 b	9.20 ab	9.94 ab	11.26 ab
5) [5P25]	8.71 a	9.91 bc	11.76 b	9.39 b	10.13 b	11.41 ab
6) [1P40]	9.09 a	9.95 bc	11.83 bc	9.31 b	10.04 ab	11.07 ab
7) [3P40]	8.81 a	9.62 ab	11.69 b	8.81 ab	9.42 a	10.77 ab
8) [5P40]	8.67 a	9.33 a	11.14 a	8.64 a	9.40 a	10.54 a

Definition: (1) control [C]; (2) no tillage with dolomite [OPD]; (3) 1 chisel plow at 25 cm of depth [1P25]; (4) 3 chisel plows at 25 cm of depth [3P25]; (5) 5 chisel plows at 25 cm of depth [5P25]; (6) 1 chisel plow at 40 cm of depth [1P40]; (7) 3 chisel plows at 40 cm of depth [3P40]; (8) 5 chisel plows at 40 cm of depth [5P40].

La siguiente foto ilustra la aplicación de cal dolomita en toda el área experimental con excepción de las parcelas del testigo absoluto (sin cal ni mecanización). Con la implementación de las combinaciones de mecanización y encalado, se aseguró adicionalmente que a través del paso de los cinceles del arado, se permitió a su vez la incorporación de la cal a profundidad.



Figura 1. Foto Aplicación de cal dolomita en tratamientos.

#### **Ausencia de un tratamiento con micorrizas**

La propuesta original consideraba la aplicación de micorrizas como otro factor a evaluar, sin embargo, dos aspectos fueron analizados y se decidió la no aplicación de productos micorrízicos. El primer aspecto analizado fueron las publicaciones realizadas por dos investigaciones diferentes. La primera realizada por Alvarado et al. (2004) titulada **Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica**. En esta publicación se analizó el número de esporas de hongos micorrízicos presentes en los suelos de plantaciones de teca en Guanacaste, sin embargo, no se logró demostrar que una cepa en particular forme un complejo hongo-raíz en los árboles estudiados. Por otra parte, una nueva publicación realizada por Hernández y Salas (2009) que lleva como título: **“La inoculación con *Glomus fasciculatum* en el crecimiento de cuatro especies forestales en vivero y campo”**, no lograron demostrar éxito de inoculación de esta cepa de hongo micorrízico en Teca. El segundo aspecto fueron las pruebas llevadas a cabo durante el curso internacional “APLICACIONES DE LA SIMBIOSIS MICORRÍZICA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE SISTEMAS FORESTALES Y AGRÍCOLAS” llevado a cabo en el 2013 por el Dr. Antonio Andrade en la Escuela de Biología de la UCR, en donde el Dr. Dagoberto Arias participó y dentro de las prácticas de laboratorio se analizó la presencia de micorrizas en varias especies de interés forestal, entre ellas Teca y Melina. En este taller tampoco se demostró la eficacia de las cepas comerciales de hongos micorrízicos en algunas especies forestales tropicales.

En función de los resultados anteriores, se decidió no utilizar cepas de micorrizas por dos razones: la primera fue la no evidencia de efectividad y segundo por la alteración causada por la aplicación de enmiendas.

**Artículo 1:** Effects of high intensity tillage applications to improve productivity on established teak (*Tectona grandis*) plantations in Specific site conditions in Northern Costa Rica.

Este artículo fue aceptado para publicación en: **Journal of Agriculture & Life Sciences**. Este artículo salió publicado en la edición del 30 de junio del 2016.



*Journal of Agriculture and Life Sciences*  
432 Claremont Avenue  
New York, NY 10027  
United States of America  
Website: [www.jalsnet.com](http://www.jalsnet.com)  
E-mail: [editor@jalsnet.com](mailto:editor@jalsnet.com)

---

March 22, 2016

**Elemer Briceño-Elizondo (Corresponding Author)**  
Forest Engineering School  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Cartago, Costa Rica  
E-mail: [ebriceno@itcr.ac.cr](mailto:ebriceno@itcr.ac.cr)

**Subject:** Review report of the research paper

**Title:** Effects of high intensity tillage applications to improve productivity on established teak (*Tectona grandis*) 1 plantations in Specific site conditions in Northern Costa Rica.

**Manuscript ID:** D-10131

**Dear Elemer Briceño-Elizondo,**

Thanks a lot for your interest in *Journal of Agriculture and Life Sciences*. Your research problem is of interest to us. Your manuscript has been reviewed by two reviewers. Please find the reviewers' comments and suggestions as attached with this letter. The editorial board has decided to publish your paper with no modification.

Please don't feel hesitation to contact with the editor for any query.

I look forward to hearing from you.

With thanks,

**Dr. David V. Martin**  
The Chief Editor  
Journal of Agriculture and Life Sciences  
E-mail: [editor@jalsnet.com](mailto:editor@jalsnet.com)

**Attachments:**

1. Terms and Conditions (Page 2)
2. Reports of Reviewers (Page 3 & 4)
3. Payment Instructions (Page 5)

---

1 | Page

**Effects of high intensity tillage applications to improve productivity on established teak (*Tectona grandis*) plantations in Specific site conditions in Northern Costa Rica.**

**Elemer Briceño-Elizondo<sup>1</sup>, Dagoberto Arias-Aguilar<sup>1</sup>, Adrián Chavarría-Vidal<sup>2</sup>, Mario Guevara-Bonilla<sup>1</sup>, Edwin Esquivel Segura<sup>1</sup>, Marcela Arguedas-Gamboa<sup>1</sup>, Rodolfo Canessa-Mora<sup>1</sup>, Björn Jakobsen<sup>3</sup>,**

*1: Forest Engineering School, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica*

*2: Agriculture Engineering School, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica*

*3: Reforestation Group International*

**Abstract**

Available land for Teak (*Tectona grandis*), cultivation has specific chemical and physical limitations to productivity of teak plantations, which requires further study and possible solutions. This research has addressed improvements of soil conditions to enhance growth, by applying physical not used in reforestation. A three-block experimental design was established using eight treatments, combining the effect of two deep tillage levels and three “intensities” of tillage implements, using 1, 3 and 5 Chisel ploughs; additionally two treatments more including a fertilized non-tilt treatment and a control plot. The experiment was conducted at a 4 years of age-established plantation, with a 2.8 x 3 m spacing with no previous soil preparation. Physical conditions such as bulk density and shear resistance were improved, however growth responses area inconclusive relative to control treatments, indicating that root pruning might have been severe and that the plantation has not yet reacted to improved conditions.

## 1. Introduction

ByY 2012, the area of teak (*Tectona grandis*) planted around the world was distributed as follows: 469 800 ha in Africa (10.8%), 3 598 040 ha in Asia (82.8 %), 15 320 ha in the Caribbean (0.4%), 132 780 ha in Central America (3%), 8 130 ha in Oceania (0.2% and 122 300 in South America (2.8%) (Kollert 2012). In the past few years Latin America's forest sector has increased its production and trade of plantation based products.

Teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations have been widely established in Central America, initially in Costa Rica and Panama and more recently in Guatemala, El Salvador and Nicaragua. Teak has become an important species in the quality tropical hardwood sector (Fernández-Moya and Alvarado *et al.* 2014). Teak is the most commercially important timber species planted in Asia, totaling around 1 million hectares (Enters and Nair 2000). High teak demand worldwide has intensified the concept of technological management of forest plantations. Tree breeding programs have allowed an increase in productivity, as mentioned by Goh and Monteuiis (2005) where they describe the benefits of clonal forestry in the Teak ICSB reforestation project, where the selection of plus trees facilitates the implementation of forest plantations in less favorable environmental conditions. Nevertheless, site preparation and the propagative material of plants go a long way to determine the growth performance and biomass production. A good stock will always depend on adequate site conditions, and genetic material alone is not a guarantee of a successful plantation in terms of timber production, therefore proper tillage activities could offer the possibility to enhance yield on soils with low productivity. One example is the study by Boyle *et al.* (2009) who showed the effect of forest plantations as restorers of soil physicochemical conditions in Costa Rica; while Zimmermann *et al.* (2006) report the negative effect on soil caused by intensive grazing and visible after 10 years of cultivation of teak. This effect involves the rapid saturation of the surface layers causing water overflow.

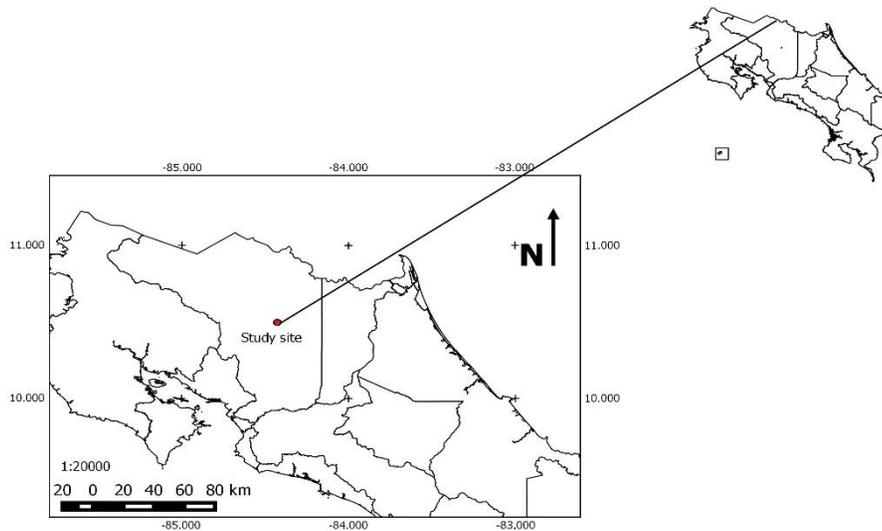
Reforestation experiences in Costa Rica, including successes and failures point to two key decisions: the selection of the species (and its genotype) and soil management. Subsequent aspects, except for weed management, have been well developed and technically improved in recent years (pruning, thinning). At present, companies are recognizing that improving the physical and chemical soil conditions are crucial in site preparation in order to improve the use of water in the soil and drainage, to minimize compaction and improve aeration effect, which greatly favors growth and health of the stand (Alvarado *et al.* 2004) Nevertheless, tillage practices in forestry in Costa Rica, offer no good practice guidelines, and companies do not follow validated methods of tillage aimed at improving productivity and sustainability of production.

This study aims to increase the productivity of plantations of *Tectona grandis* with delay in growth and which were established without initial soil preparation, through deep tillage levels, not used in the forestry species before, with the fundamental hypothesis that mechanization after establishment would have a positive effect on growth of plantations.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Experimental trials

The study was established at plantation sites of the Reforestation Group International (RGI), a company dedicated to teak plantation establishment for commercial purposes (RGI). The sites selected site are characterized by obvious delays in growth, believed to be an influence on soil conditions and fertility (Table 1). This site is located at Los Chiles County, Alajuela Province, Costa Rica, approximately 10 km west of Pavón town (Figure 1).



**Figure 1. Site location of Tillage experiment at RGI teak farms, Los Chiles, Costa Rica.**

**Table 1. Chemical analysis of plantation site at different horizons before tillage operations.**

<b>Horizon</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Depth</b>	Cm	0-29	29-40	40->100
<b>pH</b>	H <sub>2</sub> O	5.2	5.6	5.5
<b>Acidity</b>		0.64	0.21	0.31
<b>Ca</b>		3.27	2.47	2.67
<b>Mg</b>		1.17	0.95	1.22
<b>K</b>		0.04	0.02	0.02
<b>CICE</b>	cmol(+)/L	5.12	3.65	4.22
<b>AS</b>	%	13	6	7
<b>P</b>		3	3	1
<b>Zn</b>		1.0	0.4	0.4
<b>Cu</b>		12	9	11
<b>Fe</b>		143	57	33
<b>Mn</b>	mg/L	27	1	1
<b>C</b>	%	1.98	0.84	0.50
<b>N</b>		0.23	0.11	0.09
<b>OM</b>		2.83	1.20	0.72
<b>Rate</b>	C/N	8.6	7.6	5.6
<b>S</b>	mg/L	6	49	68

## 2.2 Tillage experiment.

The field experiment was carried out at a 4 years of age-established plantation (2013), with a 2.8 x 3 m spacing with no previous soil preparation. The plantation was established using seedlings from a certified seed orchard; pruning and weed control were applied according to the silvicultural program for the plantation. Growth and current yield is notoriously deficient, and the farm's previous land use were cattle husbandry and marginal agricultural use. The experimental design consisted of 3 complete random blocks with a factorial arrangement of 8 treatments with 3 repetitions each. A trapezoid rectangle area consisting of 8X 8 trees comprised the treatment area; an effective number

of 20 trees per experimental unit were used for analysis of information, in order to avoid edge effect from the treatment and the block edge (Figure 2).

The treatments are a combination of two tillage depths and three different tillage intensities, defined by the number of chisel plows used, and a general application of dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) at 3 tons/ha to reduce soil acidity for all treatments except a full control; the experimental units had a random distribution within each block (Figure 3). The resulting combination gave the following treatments: (1) control, no tillage and no dolomite application [C]; (2) no tillage with dolomite application [OPD]; (3) 1 chisel plow at 25 cm of depth [1P25]; (4) 3 chisel plows at 25 cm of depth [3P25]; (5) 5 chisel plows at 25 cm of depth [5P25]; (6) 1 chisel plow at 40 cm of depth [1P40]; (7) 3 chisel plows at 40 cm of depth [3P40]; (8) 5 chisel plows at 40 cm of depth [5P40]. The implement used was a Same tractor of 65 hp (figure 3), where the three average speeds of tillage were  $1.33 \text{ ms}^{-1}$  for 1 chisel,  $0.75 \text{ ms}^{-1}$  for 3 chisels and  $0.56 \text{ ms}^{-1}$  for 5 chisels. Each experimental unit consisted of 64 trees on a  $576 \text{ m}^2$  plot which gave 0.46 ha per block and a total of 1.4 ha for the whole experiment.

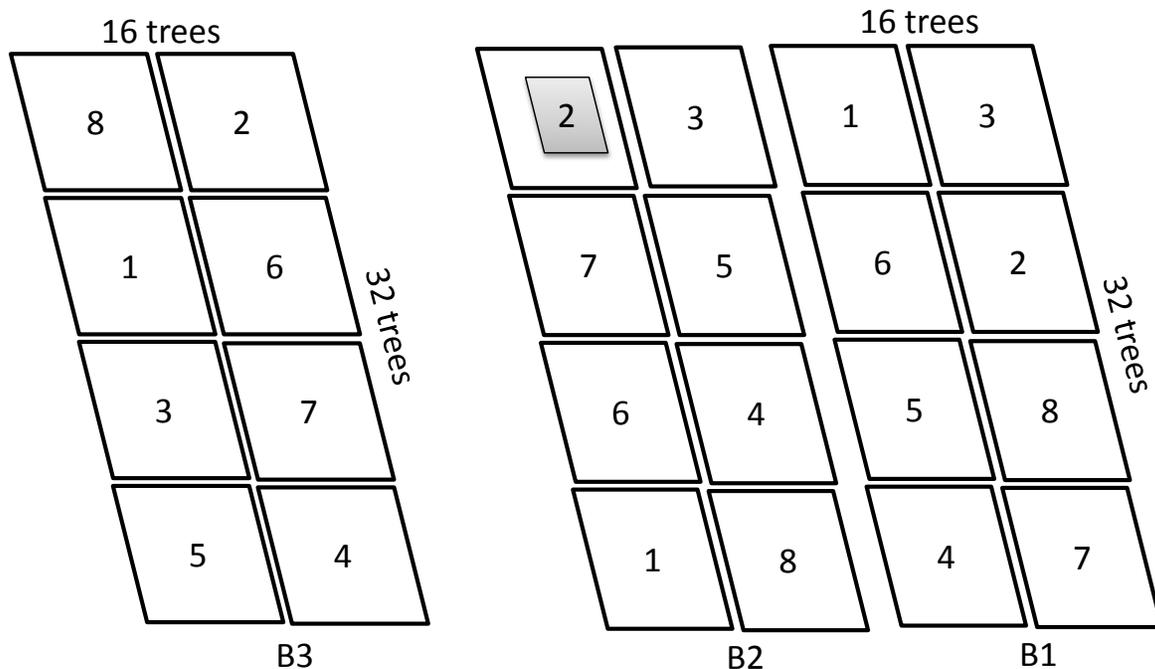


Figure 2. Tillage experimental design and treatment distribution within blocks, where: (1) control, no tillage and no dolomite application [C]; (2) no tillage with dolomite application [OPD]; (3) 1 chisel plow at 25 cm of depth [1P25]; (4) 3 chisel plows at 25 cm of depth [3P25]; (5) 5 chisel plows at 25 cm of depth [5P25]; (6) 1 chisel plow at 40 cm of depth [1P40]; (7) 3 chisel plows at 40 cm of depth [3P40]; (8) 5 chisel plows at 40 cm of depth [5P40]. Emphasized grey area in block 2 treatment 2 represents the effective number of trees for variable analysis.



Figure 3. Tractor and implement used on treatment implementation and dolomite application.

### 2.3 Physical soil properties

An initial soil profile characterization was made with a 1x1m soil pit of 1 meter depth to evaluate conditions prior to the beginning of the experiment (Table 1). The physical characteristics evaluated included, texture, bulk density, and shear strength and penetration resistance. Texture for each horizon was determined using a 2 mm sieve in the laboratory. Smaller pits were dug-out following the strips of treatment application to compare physical properties and to make observations on root development at each experimental unit. Both shear resistance (using a vane penetrometer) and penetration resistance. Physical properties after treatment application were averaged for all treatments, since the pass of the chisel would have the same effect be this 1, 3 or 5 chisels; the values are presented by horizon. Average values for non-tillage areas were obtained from the control treatment and non-tillage with dolomite treatment. Bulk density (Bd) was determined by taking 6 samples at each experimental unit at depths of 0-20 cm and 20-40 cm, taking them with a borehole for Bd sampling with cylinders of 5 cm in diameter. The volume of each cylinder was determined ( $\pm 0.01$  mm) as well as soil dry weight ( $\pm 0.1$  g) in order to use the formula:

$$B_d = \frac{Sdw_{105^\circ C}}{V_c}$$

Where: Bd: Bulk density

Sdw 105°C : Soil dry weight at 105°C (g)

Vc :Cylinder volume (cm<sup>3</sup>)

### 2.4 Measured variables

Growth variables (diameter at breast height and total height) were measured every nine months coinciding with rainy season. DBH was measured with a simple diameter tape and total height with a laser hypsometer (Trimble Laser Ace 1000 rangefinder). Commercial volume was calculated using growth models from Perez 2008. Visual confirmation of the tillage effect on root development was recorded after a year, by digging low depth soil pits where treatment was applied; the length of the pit varied according to the width of application.

### 2.5 Statistical analysis

Data were analyzed by a general ANOVA. The InfoStat® software was used to run tests of significant differences among treatments and Tukey's HSD (honestly significant difference) test was performed for post-hoc comparisons between treatments mean at the 95% probability level ( $p < 0.05$ ). Shapiro Wilks normality test was applied ahead of analysis to check the normality, to ensure that assumptions of the model were met. Homoscedasticity was verified with Levene test.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Horizon characterisation

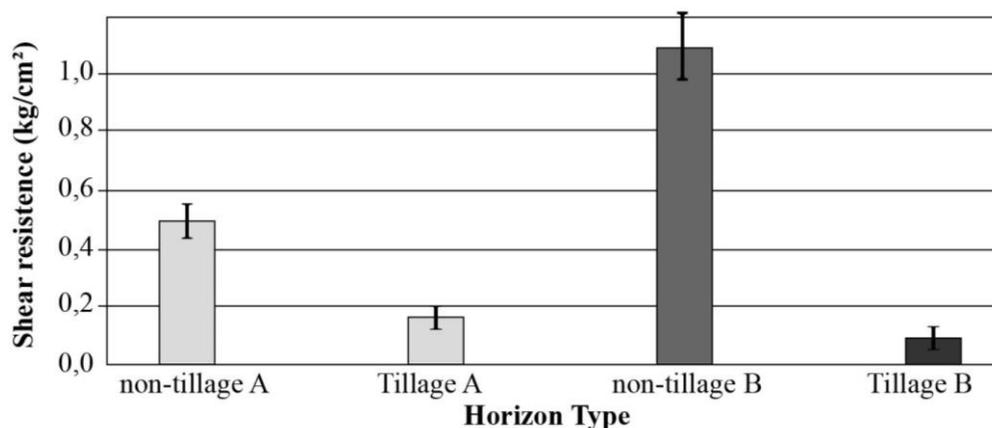
In general, soil characteristics are uniform at the site. Soil characteristics indicate acid Alfisol with a reported depth of more than 100 cm with three defined horizons. The A horizon is clayish with a depth of 29 cm, root presence is high secondary and tertiary development, with poor structure, large lumps, with identified compaction and loss of structure. Horizon B is also clayish with a depth from 29 to 40 cm, secondary and tertiary root growth is still present, with mostly dead roots with horizontal growth. The C horizon has a depth from 40 to more than 100 cm, with pseudo-clay structure and the existence of roots is not perceived (Table 2). Both horizons A-B have a blocked structure with pronounced porosity. The site, as other close by areas, can be considered as a bad quality site for teak growth (Alvarado 2004).

**Table 2. RGI Horizon characteristics in terms of porosity and particle size distribution percentage**

Horizon	Texture and root presence	Depth (cm)	Particle size distribution (%)		
			Sand	Clay	Silt
A	Clayish with apparent presence of roots	0-29	5.8	79.8	14.4
B	Clayish with small presence of roots	29-40	2.05	89.8	8.15
C	Clayish with no presence of roots	40->100	3.3	88.55	8.15

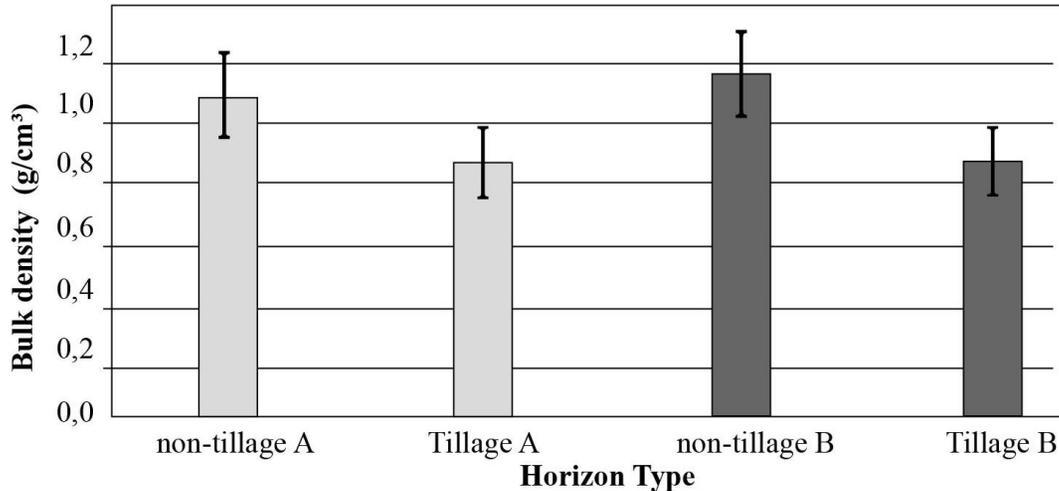
#### 3.2 Physical properties.

The physical properties changed after treatment application (Figure 4). Average values for shear resistance and penetration resistance were calculated according to tillage or non-tillage application. The change of shear resistance is evident passing from  $0.5 \text{ kgcm}^{-2}$  to  $0.16 \text{ kgcm}^{-2}$  in the A horizon, and even more successful at the B horizon, passing from  $1.08 \text{ kgcm}^{-2}$  in the non-tillage area to  $0.08 \text{ kgcm}^{-2}$  in the tillage area.



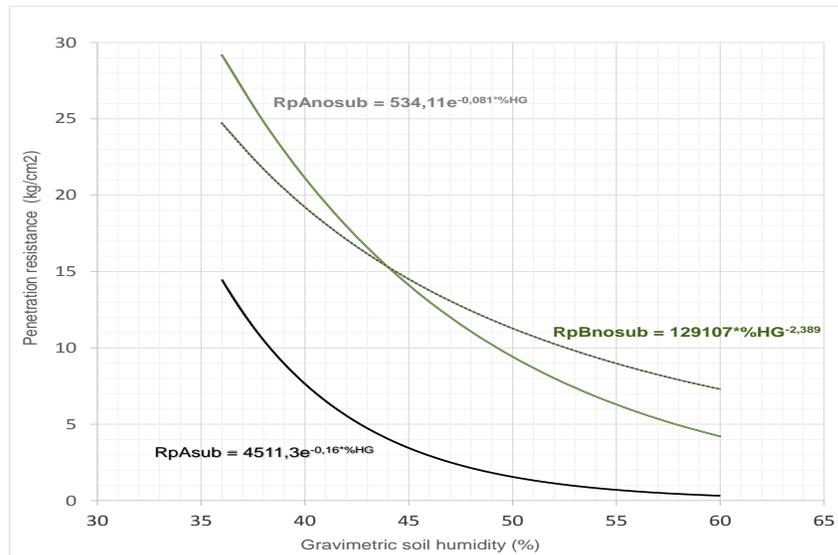
**Figure 4.** Average shear Resistance at non-tillage and tillage areas from treatment application.

Average bulk density was equally improved by the treatments, which is reflected on the decrease of its value, passing from  $1.08 \text{ g cm}^{-3}$  and  $1.16 \text{ g cm}^{-3}$  in the A and B horizon respectively before treatment application to  $0.86 \text{ g cm}^{-3}$  after treatment application in both horizons (Figure 5). The results indicate an obvious improvement especially for the B horizon, allowing the radical system to access with greater ease to this layer, which can improve the absorption area of fine roots, allowing the uptake of available nutrients from this previously un-accessed area, as long as acid saturation percent allows it (Edmeades *et al.* 1995).



**Figure 5.** Average bulk density (Bd: g/cm<sup>3</sup>) at non-tillage and tillage areas from treatment application.

Field data for the resistance to penetration test was adjusted to exponential models to explain the behavior of this physical property for non-tillage and tillage sections of the soil as a function of gravimetric humidity change. The A horizon penetration resistance improves considerably as shown in figure 6. Penetration resistance is equally decreased for B horizon with increasing gravimetric humidity. The scope of change in humidity for tillage B horizon samples did not offer enough data points to adjust the exponential curve. Mechanization obviously improves the access by the root system in the soil as demonstrated by the changes of this variable in the A horizon.



**Figure 6.** Average penetration resistance (Rp) at non tillage and tillage areas at both A and B horizons, following and exponential model as a function of gravimetric humidity (%).

It has been thoroughly demonstrated that tillage would have effects on physical parameters (Gardner 1999) and that would allow an easier penetration of the soil by the root system; this should be reflected on changes in growth, as the radical system would have an ease to colonize previously denied regions of the soil matrix at a deeper level and on an easier manner. Parallely this would increase anchorage and root network and given than teak has association with arbuscular mycorrhizal (AM), it would increase the absorption area and even possible nutrient transfer among trees (Rajan, Reddy *et al.* 2000). Ideal commercial plantation's soil preparation should include soil reaping at a depth of 50 cm (normally done with one chisel pass) (Ugalde 2014). With an improvement on soil physical conditions, an increase in growth should be expected, which in turn should be reflected on improvement of growth

variables like height, diameter and the consequent total volume (González-Barrios *et al.* 2015). When evaluating the effect reported in absolute growth from the treatments applied through time, the analysis of these variables indicate adverse results; as the intensity of treatments could have been more severe, affecting root biomass, and consequent capacity for nutrient and water uptake as compared to controls.

### 3.3 Growth variables

The behavior of growth variables through time can be seen in table 3. For average height, there were no immediate significant differences the first year after treatment application; in 2014 the response in height, showed a statistical tendency towards grouping, however an inference on a preferred treatment vs another cannot be made. This confirms that mechanization applied here, represented a root pruning, which effects are not clearly shown on a short term basis. In 2015 statistical analysis ratifies that the most intensive treatment [5P40], was the most severe against growth and recovery of root biomass in the plantation, producing a negative effect on height growth.

A plantation as low quality evaluated is considered to have a 14 m site index (SI) at rotation age and 26 m to 22 m when is considered from high to excellent, for Costa Rica (Vallejos and Ugalde 1998). Based on Ugalde 2014, an expected height of 9 m for a low quality site and of 21 m for an excellent site at age five, places the plantation at a bad quality site (de Camino and Morales 2013), which justifies corrective measures, be physical of chemical to improve yield.

Throughout the experiment, no changes in leaf area index were recorded. Diameter growth, as a density depended variable, was not affected since thinning did not take place within the experimental units (Arias and Camacho 2004).

Table 3. Growth variables for the tillage treatments used in the study.

<i>Treatment</i> <i>t</i>	<i>Height (m)</i>			<i>Diameter (cm)</i>		
	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>
1) [C]	9.16 a	10.18 c	12.15 c	9.31 b	10.15 b	11.55 b
2) [0PD]	8.19 a	9.51 ab	11.77 b	9.17 ab	10.05 ab	11.47 b
3) [1P25]	8.79 a	9.63 ab	11.79 b	9.25 ab	9.95 ab	11.25 ab
4) [3P25]	8.92 a	9.77 abc	11.74 b	9.20 ab	9.94 ab	11.26 ab
5) [5P25]	8.71 a	9.91 bc	11.76 b	9.39 b	10.13 b	11.41 ab
6) [1P40]	9.09 a	9.95 bc	11.83 bc	9.31 b	10.04 ab	11.07 ab
7) [3P40]	8.81 a	9.62 ab	11.69 b	8.81 ab	9.42 a	10.77 ab
8) [5P40]	8.67 a	9.33 a	11.14 a	8.64 a	9.40 a	10.54 a

Definition: (1) control [C]; (2) no tillage with dolomite [0PD]; (3) 1 chisel plow at 25 cm of depth [1P25]; (4) 3 chisel plows at 25 cm of depth [3P25]; (5) 5 chisel plows at 25 cm of depth [5P25]; (6) 1 chisel plow at 40 cm of depth [1P40]; (7) 3 chisel plows at 40 cm of depth [3P40]; (8) 5 chisel plows at 40 cm of depth [5P40].

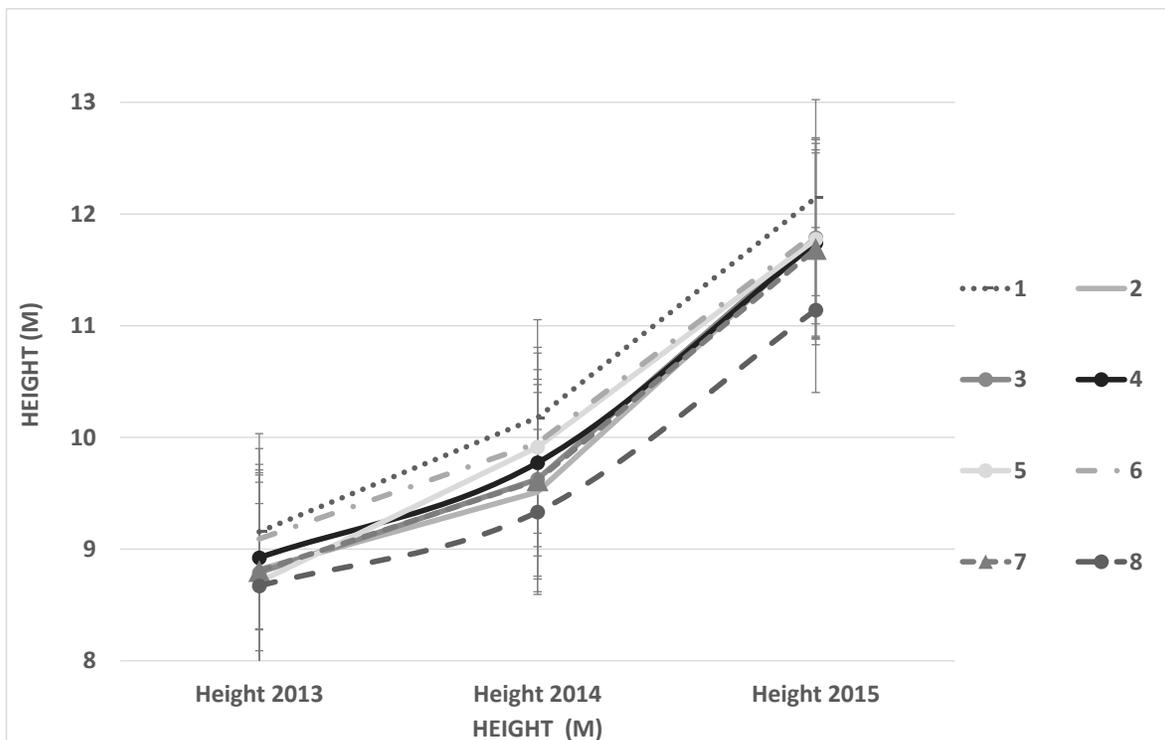


Figure 6. Treatment height growth during the three year period at RGI Teak (*Tectona grandis*) plantations in Los Chiles, Costa Rica. (1) control [C]; (2) no tillage with dolomite application [0PD]; (3) 1 chisel plow at 25 cm of depth [1P25]; (4) 3 chisel plows at 25 cm of depth [3P25]; (5) 5 chisel plows at 25 cm of depth [5P25]; (6) 1 chisel plow at 40 cm of depth [1P40]; (7) 3 chisel plows at 40 cm of depth [3P40]; (8) 5 chisel plows at 40 cm of depth [5P40].

In spite of the restrain in growth experienced by each treatment, a clear tendency of height and diameter increase still occurs through time. The tendency of growth is maintained through time, shadowing the control treatment. For height, the 5P40 shows the lowest value, clearly separated from the rest of the treatments. Diameter (Figure 7) shows the same tendency, however the gap between the control treatment and the immediate best treatments (5P25 and 1P40) is shorter; treatment 7 (3P40) and 8 (5P40) clearly show the lowest diameter with a considerable gap from all other treatments.

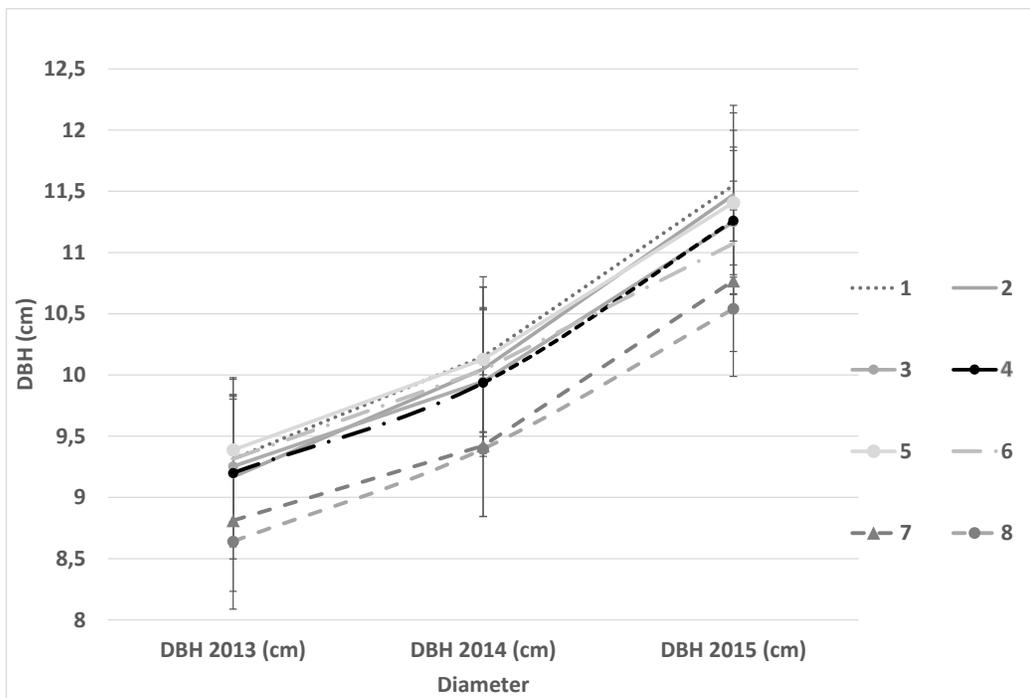


Figure 7. DBH growth during the three year period at RGI Teak (*Tectona grandis*) plantations in Los Chiles, Costa Rica. (1) control [C]; (2) no tillage with dolomite application [0PD]; (3) 1 chisel plow at 25 cm of depth [1P25]; (4) 3 chisel plows at 25 cm of depth [3P25]; (5) 5 chisel plows at 25 cm of depth [5P25]; (6) 1 chisel plow at 40 cm of depth [1P40]; (7) 3 chisel plows at 40 cm of depth [3P40]; (8) 5 chisel plows at 40 cm of depth [5P40].

Although the control comes with the highest values for diameter and height, increments show a reflection for improvement on certain treatments, which in turns suggests that the time frame to assess improvement from application should be longer than two growth periods, thus further measurements from these studies might be needed. It can be seen from figure 8 than treatment 4 (3 chisels at 25 cm depth) and 8 (5 chisels at 40 cm depth) for diameter show a relative higher increment than other treatments; and treatments 3 (1 chisel plow at 25 cm of depth), 5 (5 chisel plows at 25 cm) and 7 (3 chisel plows at 40 cm) show the highest relative increment for height in 2015. This can be considered a burst of growth that will later be seen; however it is not well established whether low or high intensity tillage systems are more beneficial, and reports regarding the effect of tillage intensities on tree growth are not consistent and may be site-specific (González-Barrios *et al.* 2015). Even further, there are no significant differences among treatments for such increments as compared to control (Table 4).

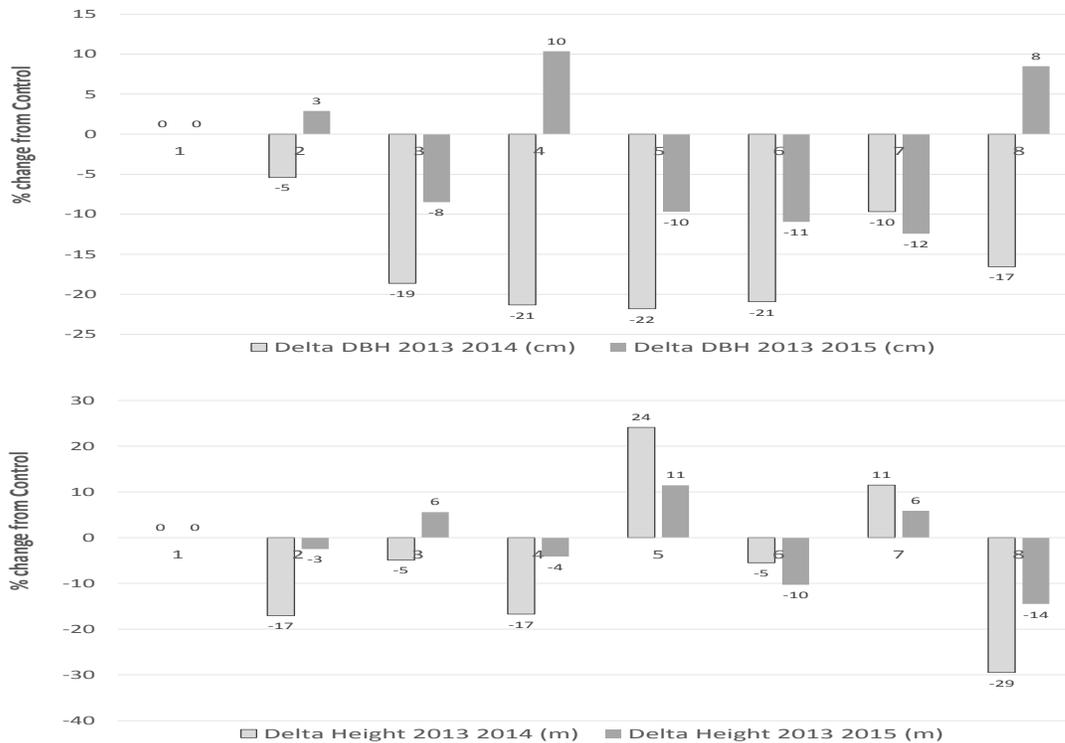


Figure 8. Treatment DBH and Height deltas for 2013 to 2014 and 2013 to 2015 during the three year period at RGI Teak (*Tectona grandis*) plantations in Los Chiles, Costa Rica. (1) control [C]; (2) no tillage with dolomite application [0PD]; (3) 1 chisel plow at 25 cm of depth [1P25]; (4) 3 chisel plows at 25 cm of depth [3P25]; (5) 5 chisel plows at 25 cm of depth [5P25]; (6) 1 chisel plow at 40 cm of depth [1P40]; (7) 3 chisel plows at 40 cm of depth [3P40]; (8) 5 chisel plows at 40 cm of depth [5P40].

Table 4. Absolute increments for height and diameter growth tillage treatments used in the study.

Treatment t	Height (m)		Diameter (cm)	
	Period 2013-2014	Period 2013-2015	Period 2013-2014	Period 2013-2015
1) [C]	1.28 a	3.46 a	1.05 a	2.65 a
2) [0PD]	1.06 a	3.38 a	0.99 a	6.89 a
3) [1P25]	1.22 a	3.66 a	0.85 a	6.97 a
4) [3P25]	1.07 a	3.32 a	0.82 a	7.38 a
5) [5P25]	1.59 a	3.86 a	0.82 a	5.10 a
6) [1P40]	1.21 a	3.11 a	0.83 a	6.10 a
7) [3P40]	1.43 a	3.67 a	0.95 a	6.48 a
8) [5P40]	0.90 a	2.96 a	0.87 a	5.86 a

Definition: (1) control [C]; (2) no tillage with fertilization [0PD]; (3) 1 chisel plow at 25 cm of depth [1P25]; (4) 3 chisel plows at 25 cm of depth [3P25]; (5) 5 chisel plows at 25 cm of depth [5P25]; (6) 1 chisel plow at 40 cm of depth [1P40]; (7) 3 chisel plows at 40 cm of depth [3P40]; (8) 5 chisel plows at 40 cm of depth [5P40].

### 3.4 Improvement of physical conditions vs growth variables change

The information presented in figures 4 through 6 clearly demonstrates that an improvement in physical soil properties took place with the application of chisel plows, regardless of its intensity for the sector where it was applied. However, this improvement does not reflect positively on neither height nor diameter on any of the experimental units; on the contrary treatments seem to have a negative effect on growth when compared to control. As an analogy, crown pruning has obvious advantages on increasing yield, however, excess pruning can have detrimental effects on growth

variables, which can make trees susceptible to decreased diameter (Ugalde 2013), and therefore lower volume growth. It is evidently difficult to evaluate the percentage of fine root and medium size root biomass removed by each treatment; and no direct evidence is given in literature on the effect on fine root reduction with these systems for teak yet (Ugalde 2013). Evidence in literature, suggest that a consequence of root biomass pruning would have a reduction on growth (Poni *et al.* 1992, Geisler and Ferree 1984, Richards and Rowe 1977). A consequent reduction in root biomass could have also affected leaf biomass and therefore photosynthetic area. It was not possible for this study, to conduct photosynthetic measurements due to logistics such as tree height. Parallely, it is possible that the tillage experiment has been performed at an age in which the plantation experiences more damage than benefits, severing root networks already established.

Only a change in physical properties, does not seem sufficient to improve the conditions that limit the growth of teak on that particular site. As chemical requirements for teak goes, the quantity of nutrients absorbed by a plantation can be calculated by the concentration of the specific nutrient and the amount of dry biomass, multiplying these values would indicate the quantity absorbed (de Camino & Morales 2013); however, this is linked to the actual concentration of nutrients at the site. A change in physical properties do not increase productivity. When a tree has a limitation on growth, improve chemical conditions are subject to Liebig minimum law, so that the lowest element is the limiting factor. This test demonstrates that if physical conditions are improved but chemical characteristics are not heavily considered, the trees will not respond to treatment. Although the root system distribution cannot be directly assessed, it seems that the methods used were more drastic than the tree can bear on those conditions at that age. Analysis conducted and published in closed by sites (Alvarado 2004) suggest chemical deficiencies in the area; therefore if the limiting factor is not improved, growth would remain halted. In light of the above if the trees have a physical and chemical limitations, working on only one strategy would be insufficient to improve growth. This study presents the effect on fine root demography (Table 5 and 6) after treatment application. Treatment 4 showed an increase significantly different from other treatments for both depths; and again the more intensive treatment seems to be the most severe as fine root not only did not recover but also keeps being lower than the control treatment. A preference for treatment 4 intensity can be justified, by the amount of dead vs live root, where no significant difference can be found overall for the treatments. A consequent reduction in root biomass could have also affected leaf biomass and therefore photosynthetic area. Parallely, it is possible that the tillage experiment has been performed at an age in which the plantation experiences more damage than benefits, severing root networks already established.

Table 5. Amount of live and dead fine roots treatment application at the last measuring period in Ton/ha and Ton/m<sup>3</sup> for 2 depths (0-20 cm and 20-40 cm).

Condition	Depth variable	0-20 cm		20-40 cm	
		Ton/ha	Ton/m <sup>3</sup>	Ton/ha	Ton/m <sup>3</sup>
Live roots		6.36a	0.0032a	5.00a	0.0025a
Dead roots		4.87a	0.0024a	4.24a	0.0021a

Table 6. Fine root proliferation after treatment application at the last measuring period in Ton/ha and Ton/m<sup>3</sup> for 2 depths (0-20 cm and 20-40 cm).

Treatment	Depth variable	0-20 cm		20-40 cm	
		Ton/ha	Ton/m <sup>3</sup>	Ton/ha	Ton/m <sup>3</sup>
1) [C]		6.1ab	0.0031ab	4.10ab	0.0020ab
2) [0PD]		8.43b	0.0042b	5.03ab	0.0025ab
3) [1P25]		8.2b	0.0041b	7.33ab	0.0037ab
4) [3P25]		8.58b	0.0043b	7.98b	0.0040b
5) [5P25]		6.26ab	0.0031ab	3.63ab	0.0018ab
6) [1P40]		3.35ab	0.0017ab	4.45ab	0.0022ab
7) [3P40]		1.66a	0.00083a	2.07a	0.0010a
8) [5P40]		2.33a	0.0012a	2.35a	0.0012a

Definition: (1) control [C]; (2) no tillage with fertilization [0PD]; (3) 1 chisel plow at 25 cm of depth

[1P25]; (4) 3 chisel plows at 25 cm of depth [3P25]; (5) 5 chisel plows at 25 cm of depth [5P25]; (6) 1 chisel plow at 40 cm of depth [1P40]; (7) 3 chisel plows at 40 cm of depth [3P40]; (8) 5 chisel plows at 40 cm of depth [5P40].

A crucial part of the experiment, dolomite fertilization, seemed to have had no effect on growth variables; even though a chemical deficiency by Ca was present (Table 1); the percentage of acidity saturation was found also to be high for the site. According to review (Ugalde 2014) the relationship between soil fertility and teak growth is not clear. Although the species can remove great quantities of nutrients from good sites, it can also thrive in relatively infertile soils when good physical conditions are present. Appropriate root development would present a well-developed tap root, which gives anchorage and the possibility to establish a wide fine root system. Observations from this study show the impediment of root development and actions to correct it (Figure 9).



Figure 9. Soil physical profile characteristics and treatment application in established plantations at RGI's site "Gallito", Los Chiles Costa Rica; a) Initial soil profile conditions, b) root development 2 years after treatment application, c) machinery implement set for treatment application, d) application of treatments.

#### 4. Conclusion

The fundamental hypothesis, that tillage on established plantations, would have a positive effect on growth, cannot be confirmed by the findings of this experiment. Results show the necessity to apply soil physical improvement methods at the moment of plantation establishment, given that no effects on growth improvement was found.

#### 5. Bibliografía

1. Alvarado, A., Chavarría, M., Guerrero, R., Boniche, J., Navarro, J.R. 2004. Nota Técnica: Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 89-100.
2. Arias, A. D., & Camacho, P. (2004). Validación del Índice de Densidad del Rodal para el manejo de plantaciones forestales de *Tectona grandis* en el trópico. *Kurú: Revista Forestal* (Costa

- Rica), 1(1), 1-7.
3. Boyle, J.D., Drew, A.P. & Andrus, R.E. (2009). Effects of active pasture, Teak (*Tectona grandis*) and mixed native plantations on soil chemistry in Costa Rica. *Forest and Management*. No. 257, 2254-2261p.
  4. De Camino, R., & Pierre, J. (2013). Las plantaciones de Teca en América Latina: mitos y realidades. Serie técnica, Informe técnico número 397. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
  5. Edmeades, D. C., Blarney, F. P. C., & Farina, M. P. W. (1995). Techniques for assessing plant responses on acid soils. In *Plant-Soil Interactions at Low pH: Principles and Management* (pp. 221-233). Springer Netherlands.
  6. Enters, T. and C.T.S. Nair (eds.). 2000. Site, technology and productivity of teak plantations. FORSPA Publication No. 24/2000. Forestry Research Support Programme for Asia and the Pacific, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok. 273 pp.
  7. Fernández-Moya, J., A. Alvarado. (2014). "Soil erosion under teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations: General patterns, assumptions and controversies." *Catena* 123: 236-242.
  8. Gardner, CMK, Laryea, KB and Unger, PW. 1999. Soil physical constraints to plant growth and crop production. *FAO AGL/MISC*, 24/99
  9. Geisler, D., & Ferree, D. C. (1984). Response of plants to root pruning. *Horticultural reviews*.
  10. Goh, D. & Monteuis, O. (2005). Rationale for developing intensive teak clonal plantations, with special reference to Sabah. *Bois et forets des tropiques*. No.285, 5-15 p.
  11. González-Barrios, P., Pérez-Bidegain, M., & Gutiérrez, L. (2015). Effects of tillage intensities on spatial soil variability and site-specific management in early growth of *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecology and Management*, 346, 41-50.
  12. Kollert, W., Cherubini, L., 2012. Teak resources and market assessment 2010. *FAO Planted Forests and Trees Working Paper FP/47/E*, Rome.
  13. Poni, S., Tagliavini, M., Neri, D., Scudellari, D., & Toselli, M. (1992). Influence of root pruning and water stress on growth and physiological factors of potted apple, grape, peach and pear trees. *Scientia Horticulturae*, 52(3), 223-236.
  14. Rajan, S. K., B. J. D. Reddy. (2000). "Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis*." *Forest Ecology and Management* 126(2): 91-95
  15. Richards, D., & Rowe, R. N. (1977). Effects of root restriction, root pruning and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings. *Annals of Botany*, 41(4), 729-740.
  16. Ugalde, A. L. (2006). Perspectivas económicas y ambientales de las plantaciones de Teca bajo manejo sostenible, en Panamá. *AED*, Panamá. 83 p.
  17. Ugalde, A.L. 2013. Teak: New trends in silviculture commercialization and Wood utilization. Ed 1. Cartago Costa Rica. *International Forestry and Agroforestry (INFOA)*. 568 p.
  18. Vallejos Barra, O. S., & Ugalde Arias, L. A. (1998). Índice de sitio dasométrico y ambiental para *Tectona grandis* L.f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. creciendo en Costa Rica. In 1. Congreso Latinoamericano IUFRO (No. CATIE V182).
  19. Zimmermann, B., Elsenbeer, H. & De Moraes, J.M. (2006). The influence of land-use changes on soil hydraulic properties implications for runoff generation. *Forest Ecology and Management*. 29-38p.

**Artículo 2:** Efectos de las actividades de labranza en el índice de área foliar en una plantación de *Tectona grandis* en la zona norte de Costa Rica

Este artículo fue sometido para publicación en: **Madera y Bosques.**

De: Paula Zarate  
Enviado: viernes 3 junio 10:00  
Asunto: MB16-35 RE: Presentación de Artículo Científico  
Para: Juan Carlos Valverde Otárola  
Cc: Raymundo Dávalos Sotelo

Estimado M.C. Valverde:

Estimado acusamos el recibido de su artículo y procedemos al análisis del mismo con la primera revisión por parte del comité editores apenas tengamos el resultado le estaremos comunicando resultado, de ser preaceptado estar a entrando a revisión por parte de los pares.

Agradeciendo su interés por publicar en Madera y Bosques, me despido con un atento saludo.

M. en I. Reyna Paula Zárate Morales

Producción Editorial

*Madera y Bosques*

**Efectos de las actividades de labranza en el índice de área foliar en una plantación de  
*Tectona grandis* en la zona norte de Costa Rica**  
**Effects of tillage activities in leaf area index in a *Tectona grandis* plantation in northern  
Costa Rica**

Juan Carlos Valverde <sup>a\*</sup>, Mario Guevara <sup>a</sup>, Dagoberto Arias <sup>a</sup>, Elemer Briceño <sup>a</sup>, Edwin Esquivel <sup>a</sup>,  
Adrián Chavarría<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola, Cartago, Costa Rica

\*Autor para Correspondencia: jcvalverde@itcr.ac.cr

## RESUMEN

*Tectona grandis* es una de las especies más reforestadas en Costa Rica, pero tiene la limitación de crecimiento en suelos compactados, haciendo necesario desarrollo actividades labranza; para valorar su efecto el desarrollo de los individuos se utilizó el índice de área foliar (IAF) que es la relación del área de tejido foliar por unidad de superficie. El presente estudio evaluó lo efectos en el IAF de ocho tratamientos de labranza (testigo, testigo con dolomita, labrado con uno, tres y cinco cinceles tanto a 25 como a 40 cm de profundidad en combinación con dolomita) aplicados durante el 2013 en una plantación de *T. grandis*. Los resultados mostraron que tres años después de la labranza no se encontraron diferencias significativas en el diámetro y en altura de los árboles (en promedio 11,74 cm y 11,1 m respectivamente), en cambio el IAF mostró la formación de dos agrupaciones de tratamientos, una conformada por el testigo y testigo con dolomita que presentaron IAF menores a 3,80 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, con correlaciones de LAI-altura inferiores al 15 % y modelos alométricos con errores estándar altos, esto se debió a la poca homogeneidad del área foliar de los individuos causada por el estrés en la ruptura de raíces; en cambio los individuos con condiciones de suelo bajo labranza presentaron IAF superiores a 4,5 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, con correlaciones inversas de IAF-altura superiores al 56 % y modelos alométricos con errores estándar menores a 0,20. El aumento en el área foliar se debe al proceso de reactivación del crecimiento de los individuos producto de la mejoras del suelo, aumento de porosidad aireación y disminución de densidad.

**Palabras clave:** suelo, fotografía hemisférica, labranza, plantación forestal, crecimiento de los árboles.

## ABSTRACT

*Tectona grandis* is the most reforested species in Costa Rica, but it has the limitations of growth in compacted soils, making tillage necessary development activities; to assess its effect on the development of individuals. We used the leaf area index, which is the ratio of the area of leaf tissue by horizontal unit area. This study evaluated the effects on leaf area index on eight tillage treatments (control, witness with dolomite, carved with one, tree and five chisels both 25 and 40 cm depth in combination with dolomite) applied during 2013 in a *T. grandis* plantation. The results showed that the tillage did not generate significant difference in the diameter and height of trees after three years (11.74 cm and 11.1 m respectively). Whereas the leaf area index showed the formation of two treatment groups, one consisting of the control and control with dolomite had leaf area index lower to 3.80 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>, with correlations of leaf area index -height less than 15 % and allometric models with high standard errors, this is due to the lack of homogeneity of individuals caused by stress generated by the ground. However, individuals with tilled soil presented leaf area index above 4.5 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>, inverse correlations with leaf area index -height more than 56 % and allometric models with standard errors less than 0.20, the increase is due to the process of revival of growth in product improvements, soil aeration porosity increase and density decrease.

**Key words:** soil, hemispherical photography, tillage, forest plantation, tree growth.

## INTRODUCCIÓN

*Tectona grandis* (Teca) es una de las especies que más se ha implementado en proyectos de reforestación en Costa Rica (Boley *et al.* 2009, Isotupa y Tyynela 2010), se caracteriza por tener una madera con excelentes propiedades físicas (Tewari *et al.* 2014), mecánicas (Aristide *et al.* 2015) y atractivo estético (Boley *et al.* 2009), que inciden que sea cotizada en los mercados internacionales (Isotupa y Tyynela 2010). En el proceso de establecimiento de la *T. grandis* se deben considerar las características de suelo, debido que es uno de los elementos de mayor inferencia en su desarrollo (Khanduri *et al.* 2008); requiere de suelos con densidad y acidez baja, con niveles nutricionales elevados, drenajes profundos y poca pendiente (Khanduri *et al.*, 2008; Zhou *et al.*, 2012). En Costa Rica es común encontrar plantaciones juveniles de *T. grandis* establecidas en sitios anteriormente dedicados a la ganadería (Boley *et al.*, 2009; Isotupa y Tyynela 2010), presentando limitaciones como niveles de compactación elevados que afectan directamente el crecimiento y calidad de las plantaciones (Khanduri *et al.*, 2008; Vyas *et al.*, 2010; Fernández-Moya y Alvarado 2014).

Para contrarrestar los efectos de la compactación y tener suelos con mayor calidad se han desarrollado actividades como la labranza o mecanización de suelo (Aruga *et al.*, 2013), que inciden en cambios de la estructura (Aruga *et al.*, 2013) y en la densidad (Engler *et al.*, 2016), mejora la aeración (Aruga *et al.*, 2013) y genera cambios en el movimiento superficial e interno del agua e inclusive en la disponibilidad de nutrientes (Bottinelli *et al.*, 2014). Estimulando en el mediano plazo el crecimiento de la *T. grandis* y con ello incidiendo en la reducción de los turnos de cosecha y en el aumento de la calidad de la madera (Culshaw y Stokes, 1995).

Para evaluar los efectos de la labranza en el tiempo se han desarrollado múltiples pruebas como son los análisis de desarrollo radicular (Kumar, 2014), análisis nutricionales foliares (Fernández-Moya *et al.* 2014), pruebas de compactación, infiltración y estructura de suelo (Yoshifuji *et al.*, 2009) y análisis de Índice de área foliar (IAF) (Vyas *et al.*, 2010, Zhang *et al.*, 2011). Este último parámetro es uno de los más efectivos debido a su susceptibilidad al grado de salud del individuo y a las condiciones ambientales del sitio (Vyas *et al.*, 2010). Además, es una variable fisiológica clave para desarrollo de modelos de crecimiento (Demarez *et al.*, 2008, Chianucci *et al.*, 2014), fijación de carbono (Liu *et al.*, 2013) y dinámica de desarrollo de especies y poblaciones (Poblete-Echeverría *et al.*, 2015, Vyas *et al.*, 2010). El IAF se define según Arias (2004), Van Wijk *et al.* (2004), Xiao *et al.* (2006), Demarez *et al.* (2008) y Chianucci *et al.* (2015) como la relación del área de tejido foliar vivo por unidad horizontal de superficie.

La medición de IAF puede ser directa e indirecta; el primero consiste cosechar el individuo o una parte de su copa (Mason *et al.*, 2012), es un método de alta precisión, pero con una complejidad y costo elevado (Mason *et al.*, 2012, Leblanc y Fournier, 2014). En cambio el indirecto no es destructivo y con un impacto mínimo en los individuos y lo que facilita la continuidad en el monitoreo en el tiempo (Vyas *et al.*, 2010); entre las técnicas indirectas más implementadas se encuentran las fotografías digitales hemisféricas requieren la utilización de lentes de tipo “ojo de pez” que se pueden incorporar tanto en cámaras como teléfonos móviles y recientemente se han desarrollado aplicaciones que permiten recrear la angulación del lente (Leblanc y Fournier, 2014, Chianucci *et al.*, 2015), con ello facilitan las mediciones. Además, que se puede complementar con *software* libre que contiene modelos algorítmicos basados en la Ley de Beer-Lambert que simplifican el procesamiento de la información (Vyas *et al.*, 2010, Mason *et al.*, 2012).

Entre los estudios desarrollados para evaluar el efecto de la labranza en cultivos forestales que implementen el IAF se destaca Aruga *et al.* (2013) que evaluaron los efectos de la mecanización con más de 3 especies forestales de Japón encontrando aumentos de IAF en suelos mecanizados; por su parte Engler *et al.* (2016) en plantaciones dendroenergéticas de Eucalipto encontraron aumentos en la productividad de biomasa y de IAF de un 10 a 15 % en suelos mecanizados; Por su parte Bottinelli *et al.* (2014) encontró para especies de Eucalipto y Pino aumento en la homogeneidad de las plantaciones, mejoras en desarrollo diamétrico siete años después de la mecanización en suelos a 30 cm de profundidad. Sin embargo, no se han encontrado estudios puntuales que relacionen la *T. grandis* con la labranza y el IAF como indicador de desarrollo.

## OBJETIVO

El objetivo de este estudio consistió en evaluar los efectos en el IAF tres años después de haberse aplicado ocho tratamientos de labranza en una plantación juvenil en la zona norte de Costa Rica; con la hipótesis que no se van a obtener diferencias significativas en los valores de IAF posterior a

tres años de la aplicación de los ocho tratamientos de labranza, siendo necesario esperar periodos más largos para evaluar el efecto de la labranza en el crecimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Sitio de estudio.*

Se evaluaron 48 individuos (seis individuos por tratamiento) de *T. grandis* de 72 meses de edad, con un espaciamiento de siembra de 3 x 3 m, además, contaban con una poda en los primeros 2,5 m de altura.

El sitio de estudio se ubicó en una plantación comercial del Grupo de Reforestación Internacional (RGI) en Pavón, Alajuela, Costa Rica (10°50'18.51"N; 84°39'40.12"W), a una altitud de 792 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 29 °C y una precipitación anual de 2.700 mm (IMN, 2016). Además, el sitio no había tenido preparación previa del suelo al momento de la siembra, con un uso de suelo anterior dedicado a actividades agrícolas y ganaderas.

*Tratamientos implementados.* La labranza se realizó en el año 2013 y se implementaron dos profundidades de labrado con la adición de cal y magnesio (se implementó la dosis de 3 ton ha<sup>-1</sup> de formulación CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) recomendada para llevar la acidez del suelo hasta un 10 %, en conjunto a tres aditamentos de subsolado con distinta cantidad de cinceles, formando ocho tratamientos (cuadro 1); los tratamientos se aplicaron en parcelas de 8 x 8 árboles y se acomodaron aleatoriamente dentro de un bloque de 16 x 32 árboles. En el proceso de labranza se realizó con un tractor marca Same de 65 caballos de fuerza, que función a tres velocidades labranza según el tipo de subsolador empleado (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Tratamientos de labranza evaluados en una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica.

### *Mediciones en campo.*

Se desarrollaron mediciones de altura y diámetro a cada uno de los árboles evaluados en el año del 2016; la medición diamétrica se realizó a una altura de 1,3 m sobre nivel del suelo con una cinta diamétrica marca Forestry Suppliers® graduada a milímetros. Mientras la altura total se evaluó con una vara telescópica de 15 m de altura máxima marca Hastings®.

### *Medición indirecta de IAF.*

Se implementó el IAP como parámetro generador del IAF indirecto, generado a partir de imágenes fotográficas hemisféricas (obtenidas con la aplicación móvil); las mediciones se desarrollaron en el mes de marzo del 2016 implementando la metodología propuesta de (Mougin *et al.* 2014), en clima totalmente nublado y sin presencia de viento.

Para el proceso obtención de fotografías digital hemisféricas se utilizó un teléfono móvil marca ASUS® Modelo Zenfone 5 con un cámara de 8MP (una resolución de 2024 x 2024 pixeles en

formato RGB) y con la aplicación móvil Fisheye Pro versión 1.2 (R22 *software*) para Android. Todas las fotografías se tomaron niveladas a una altura de 60 cm sobre nivel del suelo y con la dirección hacia el norte previamente marcada.

La fotografías hemisféricas se procesaron con el *software* CAN\_EYE versión 6.3.13 (Weiss *et al.* 2004), previamente se calibraron según el método descrito en el manual del CAN\_EYE (versión 6.3.6) (Weiss *et al.* 2004). Se limitó el grado de visión de las imágenes a 60° y con la opción de recorte en CAN\_EYE se eliminaron las copas de los árboles que rodeaban a cada árbol de estudio con el fin de prevenir las distorsiones y sesgos el cálculo del IAF; igualmente se implementó un ángulo zenith de 2,5° y azimut de 5° (Mougin *et al.* 2014), con un análisis de pixeles de tipo *No mixed pixels* (2 clases); el algoritmo seleccionado fue el LAI-2000 4 *rings* debido que en pruebas previas mostró los mejores resultados.

#### *Medición directa de IAF:*

En los árboles evaluados se tomaron muestras foliares siguiendo la metodología de Mason *et al.* (2012), se escanearon a color y con una calidad de 900 DPI utilizando un escáner Epson® modelo TX-110 y se les calculó el AFE (Área Foliar Específica) con el *software* WINFOLIA® versión 2012 pro. Seguidamente las hojas se secaron a 65 °C por 48 horas para determinar el peso seco y con este se determinó el IAF (ecuación 1).

$$IAF = \left( \frac{\sum AFE}{\sum PS} \right) * NH * UA$$

[1]

Donde,

$\sum AFE$  = sumatoria del área foliar específica (m<sup>2</sup>).

$\sum PS$  = sumatoria del peso seco de las hojas (en g).

NH = número de hojas contabilizadas en la copa del árbol.

UA = unidad de área del suelo (en este caso de 9 m<sup>2</sup>).

#### *Análisis estadístico.*

Primeramente se evaluó si existían diferencias significativas en los valores de diámetro, altura total, IAF directo e indirecto de cada uno de los tratamientos implementados, para lo cual se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANDEVA), en los parámetros que se obtuvieron diferencias se procedió a realizar la prueba de Tukey, considerando previamente la prueba de verificaron la normalidad de los residuos y la homogeneidad de las varianzas. Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson para valorar los grados de relación entre la altura total y el IAF indirecto,

siguiendo las recomendaciones de Piayda *et al.* (2015). Finalmente se generaron modelos alométricos para relacionar las variables IAF indirecto y IAP implementado la metodología de Mason *et al.* (2012), que consistió en regresiones lineales (ecuación 2) en las cuales el IAP fue la variable independiente y el IAF indirecto la dependiente.

$$IAF = a + b \cdot IAP$$

[2]

Donde,

IAF = índice de área foliar

IAP = índice de área de la planta,

$a$  = punto de intersección

$b$  = pendiente.

Estos análisis se realizaron con una significancia de 0,05 en el programa STATISTICA 9.0.

## RESULTADOS

### *Efectos de la labranza en el IAF.*

Los resultados no mostraron diferencias significativas en los valores de diámetro y altura total de los árboles evaluados, obteniendo diámetros de 10,97 a 12,50 cm y alturas de 9,9 a 12,3 m (cuadro 2). El IAF destructivo generó valores de AFE de 12,63 a 59,99 cm<sup>2</sup> que incidió que el IAF de 3,51 a 5,88 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, mostrando dos agrupaciones con diferenciaciones significativas entre sí, el primer grupo conformado por T y TD que reportaron los valores significativamente menores de IAF (inferiores a 3,75 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>); en cambio la segunda agrupación conformada por los tratamientos de mecanización mostraron valores superiores a 4,87 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> pero sin tener diferenciaciones significativas entre los tratamientos de labranza; no obstante es importante destacar la tendencia de los tratamiento que se usaron a 25 cm de profundidad, generaron valores levemente superiores de IAF con respecto a los que se usaron a 40 cm de profundidad.

En cuanto el IAF indirecto presentó valores de 3,40 a 5,83 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, con una subestimación de los valores de IAF de un 15 a 35 % con respecto a los IAF directos, pero manteniendo la tendencia de agrupación de T y DT con los valores menores (3,30 a 3,75 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) y el grupo del tratamientos con labranza de suelo (superiores a 4,87 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) que no mostraron diferencias entre sí.

**Cuadro 2.** Valores promedio y desviación estándar del diámetro, altura total, IAF directo e Indirecto en individuos de una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica.

### *Correlación del IAF y la altura total*

Al relacionar los valores de IAF indirecto con la altura total (figura 1) se encontró una correlación inferior al 15 % para los tratamientos T y TD (figura 1a y 1b), mostrando que la variabilidad en IAF de los árboles de ambos tratamientos es amplia. En cambio, los individuos con suelo labrado mostraron relaciones superiores al 59 %, con la tendencia que conforme aumente la altura el IAF decrece; igualmente se muestra dicho comportamiento de manera más clara en los tratamientos con labranza superficial: 1P25 (figura 1c), 3P25 (figura 1d) y 5P25 (figura 1e) con correlaciones entre el 65 y 81 %, en comparación a los tratamientos de labranza profunda 1P40 (figura 1f), 3P40 (figura 1g) y 5P40 (figura 1h) que mostraron correlaciones moderadas entre el 59 y 75 %.

**Figura 1.** Correlación de la altura total y el IAF Indirecto en individuos juveniles de una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica

### *Modelos alométricos de cálculo de IAF indirecto*

De manera general todos los modelos de IAF indirecto (figura 2) mostraron la tendencia que de aumento lineal de IAF en función del IAP (figura 2). Los tratamientos 1P40 y 3P40 mostraron el comportamiento de valores IAP superiores a  $5,3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  se sobrestima el LAI y en valores inferiores se subestima, mientras los restantes seis tratamientos se presenta una subestimación el IAF entre un 10 y 40 %.

**Figura 2.** Comportamiento de los valores de Índice de Área Foliar (IAF) indirecto en función al Índice de Área de la Planta (IAP) de los ocho tratamientos de labranza de los individuos juveniles de una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica.

Al evaluar los modelos obtenidos, se obtuvo que el modelo de T y TD ( $\text{IAF}=0,46 \cdot \text{IAP}+3,86$  y  $\text{IAF}=0,46 \cdot \text{IAP}-0,54$ ) mostraron la menor precisión, debido a que son los que más subestiman el IAF, presentan los coeficientes de determinación menores y tienen errores estándar superiores a 0,19 (cuadro 3); en cambio con los modelos de labranza a 25 cm de profundidad, se obtuvieron subestimaciones de LAI entre 5 y 15 %, siendo las menores en todos los tratamientos evaluados, con coeficientes de determinación ente 0,72 y 0,84 y errores estándar inferiores a 0,16. Finalmente con los modelos con labranza a 40 cm presentaron tendencia a subestimar el IAF en árboles de porte pequeño y sobreestimar en lo de IAF elevado, con coeficientes de determinación que variaron de 0,62 a 0,84 y errores estándar intermedios que oscilaron de 0,09 a 0,16.

**Cuadro 3. Coeficientes de regresión del modelo  $\text{IAF}=a \cdot \text{IAP}+b$  para determinar el IAF a partir del IAP de una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica una significancia de 0,05.**

## DISCUSIÓN

La implementación de actividades de labranza generó cambios significativos en el IAF (cuadro 2), visualizándose claramente en el mediano plazo (Khanduri *et al.*, 2008; Fernández-Moya y Alvarado, 2014). Este resultado se debe a que los árboles establecidos en terrenos mecanizados tienden a presentar tres fases de adaptación a las nuevas condiciones del suelo: 1. Estrés radicular, 2. Generación foliar y radicular y 3. Aumento de crecimiento (Pugnaire y Valladares, 1999; Huzsvai y Rajkai, 2009; Pessarakli, 2014; Tausz *et al.*, 2014). En la primera fase los individuos entran en estrés, producto del cambio de la estructura del suelo que infiere en pérdida de raíces secundarias y terciarias (producto de los cortes que -se generan en el suelo), cambios en la porosidad, densidad y humedad del suelo (Bottinelli *et al.*, 2014). Culshaw y Stokes (1995) y Engler *et al.* (2016) mencionan que en esta fase los árboles disponen de menos área de absorción de agua y nutrientes, además, presentan una serie de heridas que pueden ser infectadas por patógenos, por lo cual tiende a disminuir las tasas de transpiración, detienen el crecimiento y asimilación fotosintética. Lo anterior puede ser visto como una respuesta preventiva, pero en algunos casos puede llevar a la pérdida de hojas y yemas apical. Por su parte Jones (1993) y Meinzer *et al.* (2011) destacan que para especies maderables en la fase de estrés los árboles se estancan en crecimiento radial y de altura debido a que se deben reasignar recursos energéticos e hidráulicos para la readaptación radicular; en algunos casos esto sucede rápidamente ya que las condiciones de labranza derivan en mejoras de densidad y formación de nuevos espacios para el desarrollo radicular (Meinzer *et al.*, 2011). Queda claro que en el tratamiento testigo se tiene limitaciones debido a una estructura de macro poros reducida (por compactación de suelo) y menor disponibilidad de nutrientes por la compactación y formación de capas elásticas, con una filtración de agua de limitada a nula (Zhang *et al.*, 2011)

En la segunda fase de adaptación, Culshaw y Stokes (1995) y Engler *et al.* (2016) destacan que el árbol entra en un proceso de restablecimiento fisiológico debido a la recuperación radicular (el volumen radicular puede crecer entre 10 y 30 %) propiciando aumentos en el área foliar para satisfacer las necesidades de síntesis de azúcares y moléculas necesarias para crecimiento (Meinzer *et al.*, 2011); también se tiende a la producción de hojas con un AFE mayores. Bottinelli *et al.* (2014) demostró en tres especies arbóreas aumentos de 20 a 40 % del AFE producto de mecanizar suelos hasta 30 cm de profundidad, además, encontró aumentos en los niveles de nitrógeno y fósforo foliar que propician mayor capacidad de fotosíntesis. Adicionalmente se incide en el aumento de la actividad hidráulica por el aumento del volumen radicular que incidirá en el aumento del crecimiento diamétrico y en altura (fase 3) (Sofo *et al.*, 2009; Vyas *et al.*, 2010), correspondiendo al comportamiento explicado en la figura 1 donde se interpreta que los árboles responden a su condición en la plantación y empiezan a homogenizarse. Las condiciones de suelo similares inciden a su vez que los modelos alométricos (cuadro 3) tengan un grado de sesgo menor y mayor precisión a la realidad.

La tendencia de diferenciación entre los valores de IAF a profundidades de 25 y 40 cm

(cuadro 2 y figura 1) no es clara, pero se puede notar la tendencia a largo plazo de encontrar diferencias significativas en sus valores. Esto debido que las intervenciones superficiales, los árboles tienen una mejor capacidad de recuperación ya que invierten su energía en los primeros horizontes del suelo para el desarrollo de raíces que absorben agua y nutrientes; mientras en profundidades mayores a 30 cm las raíces se enfatizan a sostén y en menor medida a la absorción de nutrientes (Meinzer *et al.*, 2011; Pessaraki, 2014). Por otra parte, una mecanización profunda puede extender el periodo de estrés del árbol ya que el volumen radicular afectado es mayor, extendiendo el proceso de recuperación y retrasando la reactivación del crecimiento en diámetro y altura (Pugnaire y Valladares, 1999; Torres-Ruiz *et al.*, 2013; Pessaraki, 2014). Lo anterior puede justificar que los individuos con labranza superficial tengan mayor crecimiento a los de labranza profunda.

Finalmente, se debe destacar que la mecanización indiferentemente de la profundidad, homogeneiza el IAF de los individuos y aumenta su correlación con la altura. Vyas *et al.* (2010) y Zhou *et al.* (2012) mencionan que este patrón se da en *T. grandis* cuando se mejoran las propiedades del suelo donde esta plantada. Los árboles de mayor porte tienden a producir pocas hojas, pero con un área significativa mayor en comparación a los árboles de mediano y bajo porte que presentarían áreas foliares mayores como respuesta a la competencia por espacio. Este comportamiento no se da en condiciones de suelo limitado tanto propiedades físicas como químicas que generan en las plantaciones una alta variabilidad en altura, debido que los individuos concentran su energía en adaptarse a la condición de estrés como medida de sobrevivencia (Pugnaire y Valladares, 1999; Pessaraki, 2014).

## CONCLUSIONES

Los árboles de *T. grandis* tres años después de la labranza no presentaron diferencias significativas en el diámetro y altura total, sin embargo con el IAF mostró diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo que la mecanización aumentó hasta un 20 % el IAF en comparación a los testigos (T y TD); que presentaron un retardo del crecimiento debido al estrés producto de la compactación del suelo, que limitada la disponibilidad de nutrientes y de agua, retardando el desarrollo radicular por los pocos espacios disponibles en el suelo y con ello se genera una heterogénea en dimensiones la plantación.

En cambio, los seis tipos de labranza utilizados obtuvieron IAF mayores pero sin diferencias significativas entre sus valores; evidenciando que la mejoría del suelo genera una respuesta positiva en el desarrollo de los árboles, incidiendo el desarrollo radicular y foliar (aumento de la tasa de absorción de nutriente y de fotosíntesis) y con ello un aumento en el número hojas, homogenizando las plantaciones ya que a nivel general los árboles dispondrán de condiciones de sitio con mayor similitud .

Finalmente, se prevé la tendencia que los tratamientos con labrado a poca profundidad pueden incidir en crecimientos mayores a los de mayor profundidad debido a que tienen un impacto menor en la afectación de las raíces y que con ello pueden hacer recuperación radicular más simple

en comparación a la labranza profunda que afecta un volumen radicular mayor y con ello una recuperación más moderada.

## RECONOCIMIENTO

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del Tecnológico de Costa Rica, al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), por el apoyo financiero para el desarrollo de este proyecto, y a la empresa Reforestación Grupo Internacional RGI S.A por todo el apoyo logístico, técnico y financiero brindado durante la ejecución del proyecto.

## REFERENCIAS

- Arias, D. 2004. Validación del Índice de Densidad del Rodal para el manejo de plantaciones forestales de *Tectona grandis* L.f. en el trópico. *Kurú: Revista Forestal* 1(1): 1-9.
- Aristide, HD., A. Christophe., H. Sossou., A. Malahimi., V. Antoine. 2015. Mass Diffusivity Determination of Teak Wood (*Tectona grandis*) Used as Building Material. *Procedia Engineering* 127: 201-207. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.327
- Aruga, K., G. Hiyamizu., C. Nakahata., M. Saito. 2013. Effects of aggregating forests, establishing forest road networks, and mechanization on operational efficiency and costs in a mountainous region in Japan. *Journal of Forestry Research* 24(4): 747-754. doi:10.1007/s11676-013-0414-1
- Boley, JD., AP. Drew., RE. Andrus. 2009. Effects of active pasture, teak (*Tectona grandis*) and mixed native plantations on soil chemistry in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 257: 2254-2261. doi: 10.1016/j.foreco.2009.02.035
- Bottinelli, N., V. Hallaire., N. Goutal., P. Bonnaud., J. Ranger. 2014. Impact of heavy traffic on soil macroporosity of two silty forest soils: Initial effect and short-term recovery. *Geoderma* 217: 10-17. doi:10.1016/j.geoderma.2013.10.025
- Chianucci, F., A. Cutini., P. Corona., N. Puletti. 2014. Estimation of leaf area index in understory deciduous trees using digital photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 198: 259-264. doi:10.1016/j.agrformet.2014.09.001
- Chianucci, F., N. Puletti., E. Giacomello., A. Cutini., P. Corona. 2015. Estimation of leaf area index in isolated trees with digital photography and its application to urban forestry. *Urban Forestry & Urban Greening* 14(2): 377-382. doi:10.1016/j.ufug.2015.04.001
- Culshaw, D., B. Stokes. 1995. Mechanisation of short rotation forestry. *Biomass and Bioenergy* 9(1-5): 127-140. doi:10.1016/0961-9534(95)00085-2
- Demarez, V., S. Duthoit., F. Baret., M. Weiss., G. Dedieu. 2008. Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs. *Agricultural and Forest Meteorology* 148(4): 644–655. doi:10.1016/j.agrformet.2007.11.015

- Engler, B., G. Becker., S. Hoffmann. 2016. Process mechanization models for improved Eucalyptus plantation management in Southern China based on the analysis of currently applied semi-mechanized harvesting operations. *Biomass and Bioenergy* 87: 96-106. doi:10.1016/j.biombioe.2016.02.021
- Fernández-Moya, J., A. Alvarado. 2014. Forest nutrition and fertilization in teak (*Tectona grandis* Lf) plantations in Central America. *New Zealand Journal of Science* 44:1-8. doi:10.1186/1179-5395-44-S1-S6
- Huzsvai, L., K. Rajkai. 2009. Modeling of plant adaptation to climatic drought induced water deficit. *Biologia* 64(3): 66-70. doi:10.2478/s11756-009-0092-9
- Jones, MB. 1993. Plant microclimate. In Hall D, JMO Scurlock, HR Bolhàr-Nordenkamp, RC Leegood, SP Long. Photosynthesis and Production in a Changing Environment. Photosynthesis and Production in a Changing. Amsterdam, Netherlands, Springer. p. 530-560. doi. 10.1007/978-94-011-1566-7\_4
- Khanduri, V., L. Lalnundanga., J. Vanlalremkimi. 2008. Growing stock variation in different teak (*Tectona grandis*) forest stands of Mizoram, India. *Journal of Forestry Research* 19(3): 204-208. doi:10.1007/s11676-008-0043-2
- Leblanc, SG., RA. Fournier. 2014. Hemispherical photography simulations with an architectural model to assess retrieval of leaf area index. *Agricultural and Forest Meteorology* 194: 64-76. doi:10.1016/j.agrformet.2014.03.016
- Liu, J., E. Pattey., S. Admiral. 2013. Assessment of in situ crop LAI measurement using unidirectional view digital photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 169: 25-34. doi:10.1016/j.agrformet.2012.10.009
- Mason, E., M. Diepstraten., G. Pinjuv., JP. Lasserre. 2012. Comparison of direct and indirect leaf area index measurements of *Pinus radiata* D. Don. *Agricultural and Forest Meteorology* 166: 113-119. doi:10.1016/j.agrformet.2012.06.013
- Meinzer, F., B. Lachenbruch., T. Dawson. 2011. Tree Physiology In Meinzer F, B Lachenbruch, T Dawson eds. Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function. Amsterdam, Netherlands, Springer. p. 235-256. doi:10.1007/978-94-007-1242-3
- Mougin, E., V. Demarez., M. Diawara., P. Hiernaux., N. Soumaguel., A. Berg. 2014. Estimation of LAI, fAPAR and fCover of Sahel rangelands (Gourma, Mali). *Agricultural and Forest Meteorology* 198:155-167. doi:10.1016/j.agrformet.2014.08.006
- Pessaraki, M. 2014. Handbook of plant and crop physiology. Amsterdam, Netherlands, Springer. 689 p.
- Piayda, A., M. Dubbert., C. Werner., A. Correia., J. Pereira., M. Cuntz. 2015. Influence of woody tissue and leaf clumping on vertically resolved leaf area index and angular gap probability estimates. *Forest Ecology and Management* 340: 103-113. doi:10.1016/j.foreco.2014.12.026
- Poblete-Echeverría, C., S. Fuentes., S. Ortega-Farias., J. Gonzalez-Talice., J. Yuri. 2015. Digital Cover Photography for Estimating Leaf Area Index (LAI) in Apple Trees Using a Variable Light Extinction Coefficient. *Sensors* 15(2): 566-571. doi:10.3390/s150202860

- Pugnaire, F., F. Valladares. 1999. Handbook of functional plant ecology. Amsterdam, Netherlands, Springer. 650 p.
- Sofo, A., B. Dichio., G. Montanaro., C. Xiloyannis. 2009. Shade effect on photosynthesis and photoinhibition in olive during drought and rewatering. *Agricultural Water Management* 96(8): 1201-1206. doi:10.1016/j.agwat.2009.03.004
- Tausz, M., N. Grulke., H. Richter., S. Kikuta. 2014. Plant Ecophysiology. In Tausz M, N Grulke. Trees in a changing environmental. Amsterdam, Netherlands, Springer. doi:10.1007/978-94-017-9100-7\_6
- Tewari, VP., R. Sukumar., R. Kumar., KV. Gadow. 2014. Forest observational studies in India: Past developments and considerations for the future. *Forest Ecology and Management* 316:32-46. doi: 10.1016/j.foreco.2013.06.050
- Torres-Ruiz, J., A. Diaz-Espejo., A. Morales-Sillero., M. Martín-Palomo., S. Mayr., B Beikircher., J. Fernández. 2013. Shoot hydraulic characteristics, plant water status and stomatal response in olive trees under different soil water conditions. *Plant and Soil* 373(1-2): 77-87. doi:10.1007/s11104-013-1774-1
- Van Wijk, M., M. Williams., G., Shaver. 2004. Tight coupling between leaf area index and foliage N content in arctic plant communities. *Oecologia* 142(3): 421-427. doi:10.1007/s00442-004-1733-x
- Vyas, D., N Mehta., N. Dinakaran., K. Krishnayya. 2010. Allometric equations for estimating leaf area index (LAI) of two important tropical species (*Tectona grandis* and *Dendrocalamus strictus*). *Journal of Forestry Research* 21(2): 197-200. doi:10.1007/s11676-010-0032-0
- Weiss, M., F. Baret., GJ. Smith., I. Jonckheere., P. Coppin. 2004. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination. Part II. Estimation of LAI, error sand sampling. *Agriculture and Forest Meteorology* 121: 37-53.
- Xiao, CW., C. Janssens., C. Yuste., C. Ceulemans. 2006. Variation of specific leaf area and upscaling to leaf area index in mature Scots pine. *Trees* 20(3): 304-310. doi:10.1007/s00468-005-0039-x
- Yoshifuji, N., T. Kumagai., K. Tanaka., N. Tanaka., H. Komatsu., M. Suzuki., C. Tantasirin. 2009. Inter-annual variation in growing season length of a tropical seasonal forest in northern Thailand. *Forest Ecology and Management* 229:333-339. doi:10.1016/j.foreco.2006.04.013
- Zhang, W., D. Yu., X. Shi., H. Wang., Z. Gu., X. Zhang., M. Tan. 2011. The suitability of using leaf area index to quantify soil loss under vegetation cover. *Journal of Mountain Science* 8(4): 564-570. doi:10.1007/s11629-011-1121-z
- Zhou, Z., K. Liang., D. Xu., Y. Zhang., G. Huang. 2012. Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. *New Forests* 43(2): 231-243. doi:10.1007/s11056-011-9276-6

**Cuadro 1.** Tratamientos de labranza evaluados en una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica

Nombre del tratamiento	Velocidad de labranza (m s <sup>-1</sup> )	Características
Testigo (T)	-	No se aplicó labranza ni encalado alguno al suelo
Testigo con cal dolomita (TD)	-	Suelo sin labranza pero con aplicación superficial de cal dolomita
1P25	1,33	Arado con un cincel a 25 cm de profundidad
3P25	0,75	Arado con tres cinceles a 25 cm de profundidad
5P25	0,56	Arado con cinco cinceles a 25 cm de profundidad
1P40	1,33	Arado con un cincel a 40 cm de profundidad
3P40	0,75	Subsolado con tres cinceles a 40 cm de profundidad
5P40	0,56	Arado con cinco cinceles a 40 cm de profundidad

**Cuadro 2.** Valores promedio y desviación estándar del diámetro, altura total, IAF directo e Indirecto en individuos de una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica

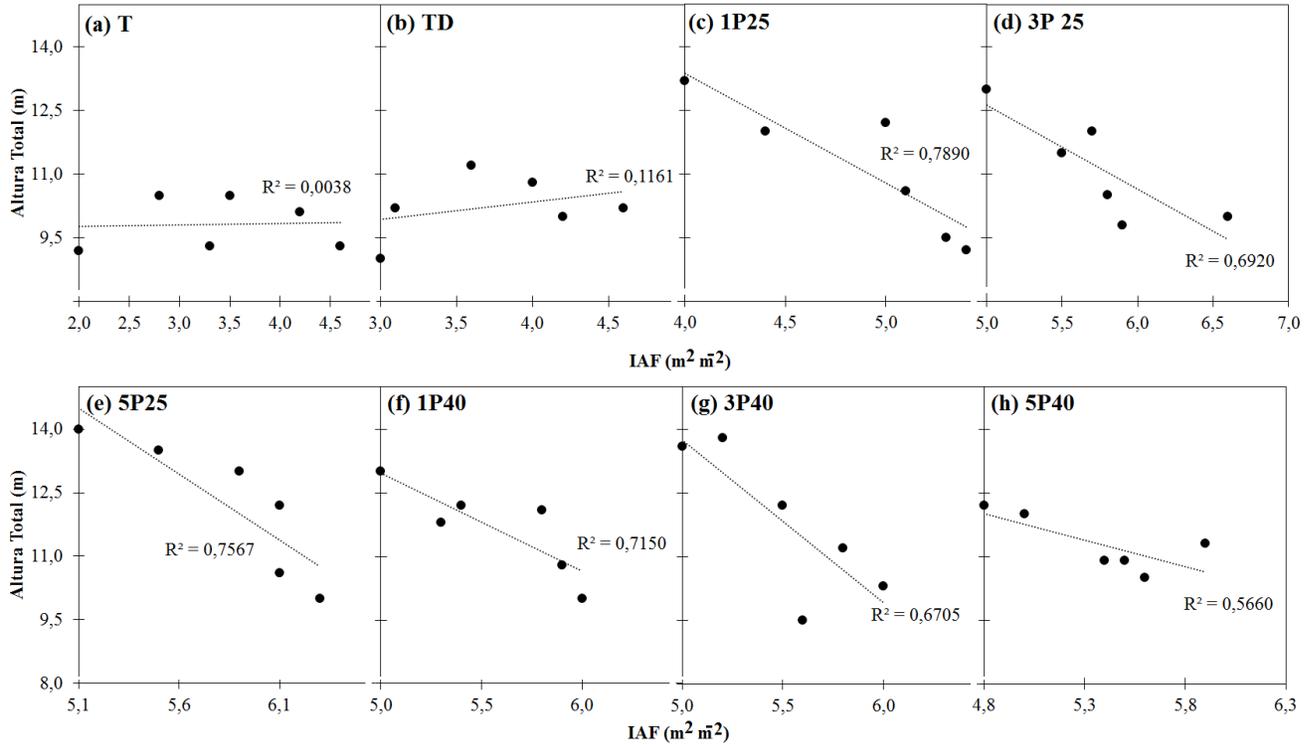
Tratamiento	Diámetro (cm)	Altura Total (m)	IAF directo	IAF indirecto
T	11,80 <sup>a</sup> (1,22)	9,90 <sup>a</sup> (1,20)	3,51 <sup>a</sup> (0,88)	3,40 <sup>a</sup> (0,94)
DT	11,83 <sup>a</sup> (1,37)	10,20 <sup>a</sup> (1,10)	3,79 <sup>a</sup> (0,51)	3,75 <sup>a</sup> (0,63)
1P25	10,80 <sup>a</sup> (0,77)	11,20 <sup>a</sup> (1,25)	5,69 <sup>b</sup> (0,49)	5,67 <sup>b</sup> (0,55)
3P25	12,03 <sup>a</sup> (1,69)	10,10 <sup>a</sup> (0,95)	5,58 <sup>b</sup> (0,37)	5,52 <sup>b</sup> (0,40)
5P25	11,55 <sup>a</sup> (1,16)	12,20 <sup>a</sup> (1,30)	5,88 <sup>b</sup> (0,42)	5,83 <sup>b</sup> (0,45)
1P40	11,40 <sup>a</sup> (1,37)	11,62 <sup>a</sup> (1,50)	5,61 <sup>b</sup> (0,41)	5,57 <sup>b</sup> (0,49)
3P40	10,97 <sup>a</sup> (0,89)	12,31 <sup>a</sup> (0,94)	4,92 <sup>b</sup> (0,41)	4,87 <sup>b</sup> (0,49)
5P40	12,50 <sup>a</sup> (1,37)	10,60 <sup>a</sup> (1,23)	5,79 <sup>b</sup> (0,40)	5,75 <sup>b</sup> (0,52)

Nota: datos entre paréntesis corresponden a la desviación estándar; letras distintas en cada columna muestran diferencias significativas (Tukey, P < 0,05)

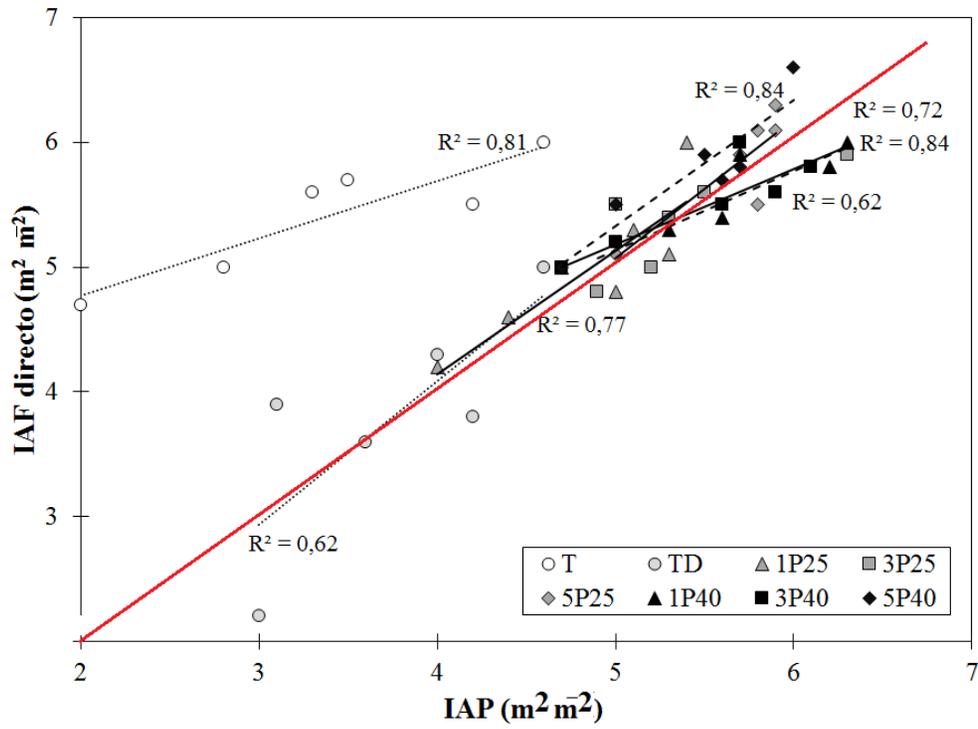
**Cuadro 3.** Coeficientes de regresión del modelo  $IAF=a \cdot IAP+b$  para determinar el IAF a partir del IAP de una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica una significancia de 0,05

Tratamiento	Parámetro	Estimado	Error estándar	t-Value	P-Value
T (r <sup>2</sup> =0,61)	Constante	3,86	0,22	1,01	0,3250
	IAP	0,46	0,19	7,81	<0,001
TD (r <sup>2</sup> =0,62)	Constante	-0,54	0,19	-0,78	0,4423
	IAP	1,16	0,20	9,79	<0,001
1P25 (r <sup>2</sup> =0,77)	Constante	0,18	0,12	-1,09	0,2883
	IAP	0,99	0,10	7,91	<0,001
3P25 (r <sup>2</sup> =0,84)	Constante	2,14	0,15	-0,90	0,4336
	IAP	0,61	0,11	9,12	<0,001
5P25 (r <sup>2</sup> =0,72)	Constante	1,11	0,13	-0,78	0,5680
	IAP	-0,48	0,09	9,66	<0,001
1P40 (r <sup>2</sup> =0,62)	Constante	0,63	0,16	-0,75	0,4423
	IAP	1,98	0,12	9,74	<0,001

3P40	Constante	1,16	0,16	-0,82	0,1225
( $r^2=0,84$ )	IAP	0,87	0,09	9,55	<0,001
5P40	Constante	1,01	0,16	-0,70	0,5331
( $r^2=0,80$ )	IAP	0,30	0,11	9,11	<0,001



**Figura 1.** Correlación de la altura total y el IAF Indirecto en individuos juveniles de una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica



**Figura 2.** Comportamiento de los valores de Índice de Área Foliar (IAF) indirecto en función al Índice de Área de la Planta (IAP) de los ocho tratamiento de labranza de los individuos juveniles de una plantación de *T. grandis* en la Zona Norte de Costa Rica

## 6. CAPÍTULO 3: Efecto de mecanización en plantaciones recién establecidas

Los resultados de este capítulo corresponden al experimento basado en plantaciones recién establecidas. Aquí el objetivo era lograr una labranza profunda de al menos 50 cm y la formación de un levantamiento del terreno en el sitio de la siembra denominado “megasurco”. A nivel de campo se tuvieron que realizar múltiples pruebas con diferente maquinaria y equipos, ya que solo se logró identificar un aditamento que es específico para las labores forestales. Se conoce como “Challenger” y fue recientemente adquirido en calidad de equipo usado por la empresa Proteak. Después de probar varios equipos y tractores se llegó a la conclusión que, para las condiciones de los suelos representativos del estudio, son viables solamente dos equipos: la retroexcavadora y los tractores de orugas con escarificador (Ripper). Esto provocó atrasos importantes porque la empresa RGI tuvo que alquilar estos equipos, por consiguiente, estos ensayos fueron los últimos que se establecieron y forman parte de la justificación de una ampliación del proyecto.

A continuación, se muestran las pruebas de campo desarrolladas y se muestran los equipos utilizados:



En este apartado se presentan los resultados del ensayo de megasurcos, los cuales se presentan en formato de presentación como artículo. A manera de evidencia se presenta artículo, el cual funciona como reporte de los resultados que incluye la parte de las mediciones de crecimiento inicial.

Los resultados preliminares a los 6 meses de establecidos los ensayos, no arrojaron diferencias significativas entre tratamientos, entendiéndose que los árboles en todos los tratamientos tienen las mismas condiciones de área de exploración de raíces. Se continuaron las mediciones de crecimiento cada 6 meses hasta el cierre del proyecto.

En el 2016 se está trabajando el análisis de los datos nuevamente y está previsto un nuevo artículo denominado “Cuantificar el efecto de la mecanización (labranza profunda y megasurcos) en el desarrollo inicial de plantaciones de teca en nuevas áreas de cultivo”. Durante el primer semestre del 2016 no fue posible medir los ensayos ya que las mediciones periódicas se llevan a cabo en agosto, considerando el establecimiento de las lluvias en la zona.

A continuación, se presenta a manera de informe y como evidencia, el borrador inicial del artículo en preparación:

## **Efecto de la creación de megasurcos en las propiedades físicas del suelo y en el crecimiento inicial de plantaciones de *Tectona grandis***

Mario Guevara-Bonilla, Adrián Chavarría, Elemer Briceño-Elizondo, Edwin Esquivel, Dagoberto Arias-Aguilar, Marcela Arguedas, Rodolfo Canessa, Bjorn Jakobsen

### **INTRODUCCIÓN**

*Tectona grandis* es una de las especies más conocidas a nivel mundial y goza internacionalmente de un lugar privilegiado en el contexto de la demanda y comercialización de su madera (De Camino y Morales 2013, Ugalde 2013). La Teca es actualmente la especie comercial con mayor área reforestada en Costa Rica, con un total de 47 167 hectáreas (INEC 2015), sin embargo, cada vez son menos disponibles las tierras para el cultivo de la Teca debido a la alta competencia con cultivos agrícolas como la piña y la palma aceitera. Adicionalmente muchos de los proyectos de reforestación existentes han sido establecidos en suelos con baja fertilidad o con serias limitantes físicas que afectan el crecimiento de los árboles (Alvarado y Mata, 2013; Barrios *et al.* 2015).

Existe un consenso general en la literatura que las labores de labranza traen beneficios a una plantación forestal. Esta operación es beneficiosa para el control de malezas y principalmente permite mejorar las propiedades físicas del suelo para brindarle mejores condiciones de crecimiento inicial a las plantas (Alvarado y Raigosa 2012, Barrios *et al.* 2015). A pesar de que estudios como los de Fernández *et al.* (1999) y Ruiz *et al.* demostraron que la preparación de sitio incrementa los valores de diámetro y altura en plantaciones de Pino y Eucalipto hasta 2 años de edad, muchos de los estudios sobre preparación de suelos no son consistentes y tienen que analizarse como resultados sitio-específicos (Carneiro *et al.* 2008, Graham *et al.*, 2009)

Existen distintos tipos de implementos para la mecanización del suelo como el arado de cincel, las rastras y el rotavator. Más recientemente algunas empresas han utilizado pequeños camellones, que son comunes en los cultivos agrícolas y buscan crear un ambiente adecuado para el desarrollo radicular ya que mejora la aireación y la disponibilidad de nutrientes (Fernández *et al.* 1999). Se tienen experiencias de las empresas dedicadas al cultivo de la palma y de banano de utilizar dragas con una pala de pinzas para asemejar los picos de un subsolador y realizan una labranza profunda del suelo.

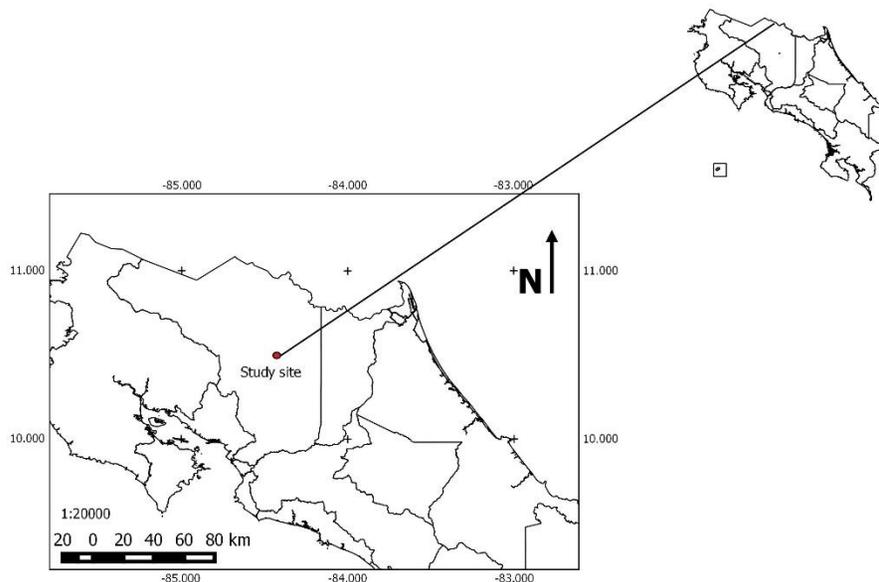
No obstante, las prácticas de labranza del suelo en el campo forestal en Costa Rica, carecen de lineamientos de buenas prácticas y las experiencias de empresas en diferentes regiones del país no obedecen a métodos validados sobre los efectos de la productividad y la sostenibilidad de la producción. No existe un manual de orientación en las prácticas de mejoramiento de suelos en plantaciones forestales.

Por tal motivo el objetivo del presente estudio fue cuantificar el efecto de la utilización de megasurcos en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo y el desarrollo inicial de plantaciones de Teca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio

El sitio de estudio se localizó en Muelle de San Carlos, Provincia de Alajuela. La zona de estudio se encuentra a una altitud de 450 msnm, registra una temperatura promedio de 29° C y una precipitación de 2700 mm. (IMN).



**Figura 1.** Localización geográfica del sitio de estudio

Las características químicas del sitio se muestran en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Propiedades químicas del sitio de estudio del ensayo de megasurcos

Solución Extractora: KCI-Olsen Modificado		pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
			H2O	ACIDEZ	Ca	Mg	K		CICE	SA	P	Zn	Cu
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
MV-1A - RGI	S-13-05176	4,7	4,36	2,91	1,56	0,11	8,94	49	ND	3,4	18	244	142
MV-1B - RGI	S-13-05179	5,0	1,87	2,30	1,12	0,05	5,34	35	3	3,3	22	86	36
MV-1C - RGI	S-13-05178	5,0	0,90	1,39	0,94	0,01	3,24	28	ND	1,7	14	49	62

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada

CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K

SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)\*100

### Equipo utilizado y establecimiento del ensayo

El sitio del ensayo fue una plantación de Teca previamente aprovechada que poseía una gran cantidad de tocones. La primera acción realizada fue el barrido de todos los tocones y el acordonamiento de los mismos mediante un tractor de oruga. La construcción de los megasurcos fue realizada por medio de una draga Hyundai 110-7 de 94 caballos de fuerza. La orientación de los megasurcos en el campo fue de Este-Oeste. Un megasurco consiste en la descompactación del suelo por lo menos a 50 cm de profundidad y luego la construcción de un encamado con una altura de otros 50 cm (figura 2).



**Figura 2.** Proceso de construcción de los megasurcos

El establecimiento del ensayo se realizó en el mes de agosto del 2015 con un diseño de siembra rectangular dentro de los megasurcos de 3 x 4 metros (3 metros entre plántulas y 4 metros entre surcos) y se utilizaron clones procedentes del Centro Agrícola Cantonal de Hojancha. El ensayo se mantuvo libre de malezas utilizando un control manual cada vez que fuera necesario. Se realizaron rodajas de 1 metro de diámetro a todos los árboles.

### **Variables evaluadas**

#### **Crecimiento**

Se midieron las variables diámetro a la base (db) y altura (h) de los árboles en cada tratamiento para estimar el crecimiento. Las mediciones de altura se realizó a los 1, 5, 9 y 12 meses de establecido el ensayo mientras que el diámetro a la base se midió solo a los 5 y 12 meses.

#### **Propiedades físicas del suelo**

Las propiedades físicas del suelo fueron medidas tanto en el tratamiento testigo (suelo no disturbado) como en los megasurcos. La toma de muestra para todas las propiedades se realizó a tres profundidades diferentes: 0-20 cm, 20-40 y 40-60 centímetros.

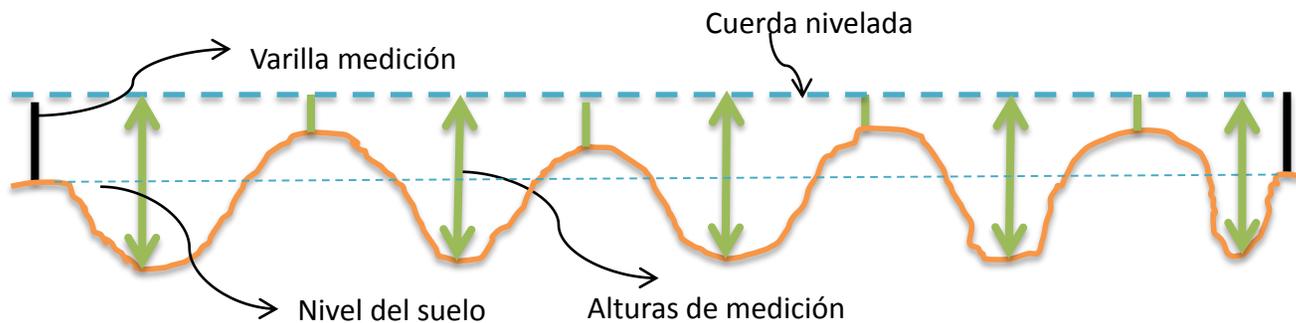
Para el cálculo de densidad aparente se utilizó el método del cilindro biselado (Blake y Hartage 1986; Jaramillo, D. 2014) utilizando cilindros de 64 mm de diámetro. Cada muestra fue llevada a capacidad de campo para determinar su volumen y posteriormente se secaron a 105° C por al menos 24 horas hasta alcanzar peso constante.

La resistencia al corte y la resistencia a la penetración se calcularon utilizando un penetrómetro de mano tipo IB y un medidor de resistencia al corte de tipo veleta H-60. Las muestras utilizadas fueron independientes entre sí y diferentes a las utilizadas para el cálculo de densidad aparente

#### **Altura del surco**

La forma de medición de la altura de los surcos consistió en la instalación de dos varillas de hierro de manera que existieran 4 megasurcos entre ellas. Se ató una cuerda de nylon de varilla a varilla de forma que representara una recta totalmente plana, para esto se utilizaron dos niveles de mano. Finalmente se procedió a medir con cinta métrica las alturas entre la cuerda y el terreno natural, la cuerda y el centro del respectivo megasurcos y la cuerda y los canales entre surcos (Figura 3).

Cada altura se midió a los 1, 6 y 12 meses de establecidos, con el fin de determinar cuánto disminuye la altura de los mismos así como cuánto sedimento se depositó en los canales entre surcos.



**Figura 3.** Forma de medición de la altura de los megasurcos

### Diseño estadístico

Dado que el área disponible era totalmente uniforme, se utilizó un diseño completamente aleatorio con tres tratamientos: 1. Megasurcos sin enmiendas, 2. Megasurcos con encalado y fertilización y 3. Área sin mecanizar. Cada tratamiento fue repetido en el sitio 3 veces y fue asignado aleatoriamente. El análisis de los datos se realizó mediante el software INFOSTAT. Para el análisis estadístico se verificaron los supuestos del ANDEVA mediante la prueba de normalidad de los residuales y la prueba de Levene para verificar la homodasticidad de las varianzas. Para las comparaciones múltiples se utilizó la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físicas

La conductividad hidráulica inicial encontrada en el suelo sin la construcción de los megasurcos (ver cuadro 2) mostró que la conducción de agua en el mismo era casi nula o nula, lo cual indica que el suelo presenta problemas como la poca existencia de macro poros y/o mala continuidad entre ellos en profundidad del perfil del suelo generando mala aireación. Estas condiciones restringen el crecimiento de los árboles.

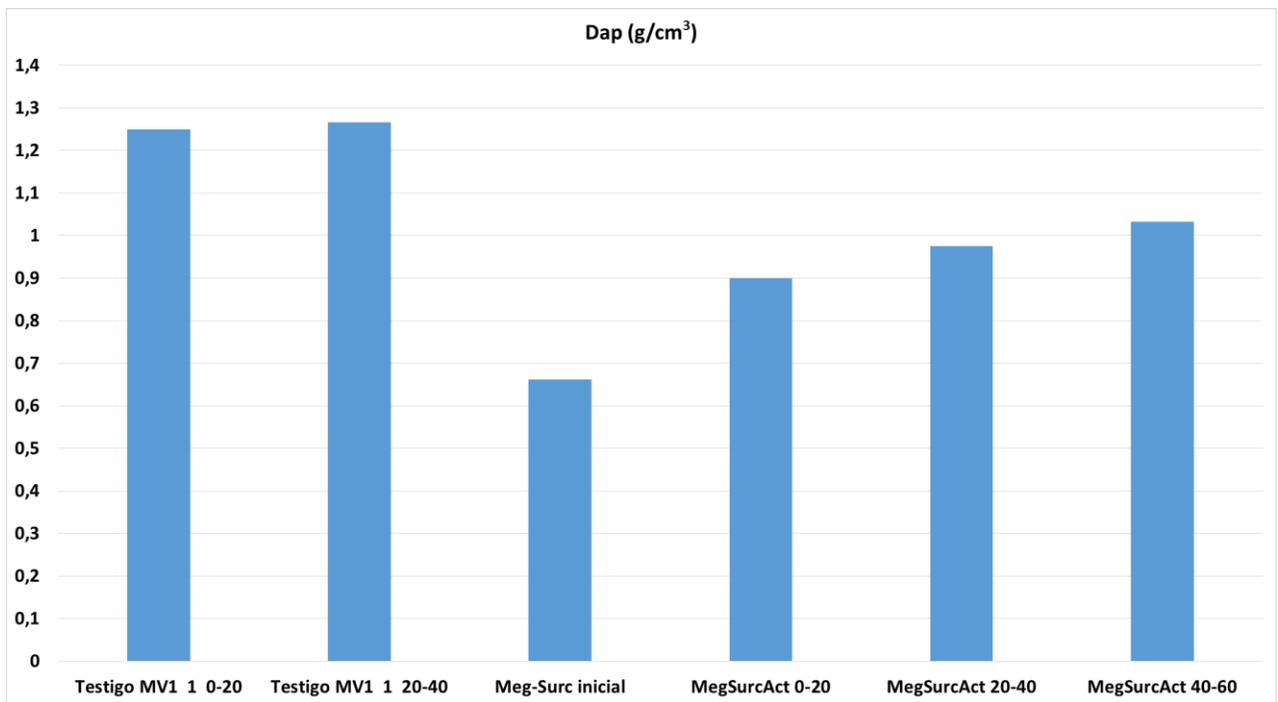
**Cuadro 2.** Conductividad hidráulica del suelo en el transcurso del ensayo.

Profundidad	Conductividad hidráulica del suelo sin la construcción de megasurcos kh (m/d)	Conductividad hidráulica en el suelo con megasurcos inmediatamente después de construidos kh (m/d)	Conductividad hidráulica del suelo con megasurcos construidos 2,5 años después kh (m/d)
0-20	0,00	29,54	2,01
20-40	0,00	24,53	1,37
40-60	0,05	19,35	1,49

La conductividad hidráulica en el suelo con megasurcos inmediatamente después de construidos (ver cuadro 2), como era esperado, mostró un aumento de 400 veces la conductividad hidráulica en el perfil del suelo. Al construir los megasurcos se rompieron las capas del suelo y se generó una nueva estructura por la cual se crearon macro poros con alta continuidad. Esto muestra un mejoramiento también en la conducción de aire en el perfil del suelo.

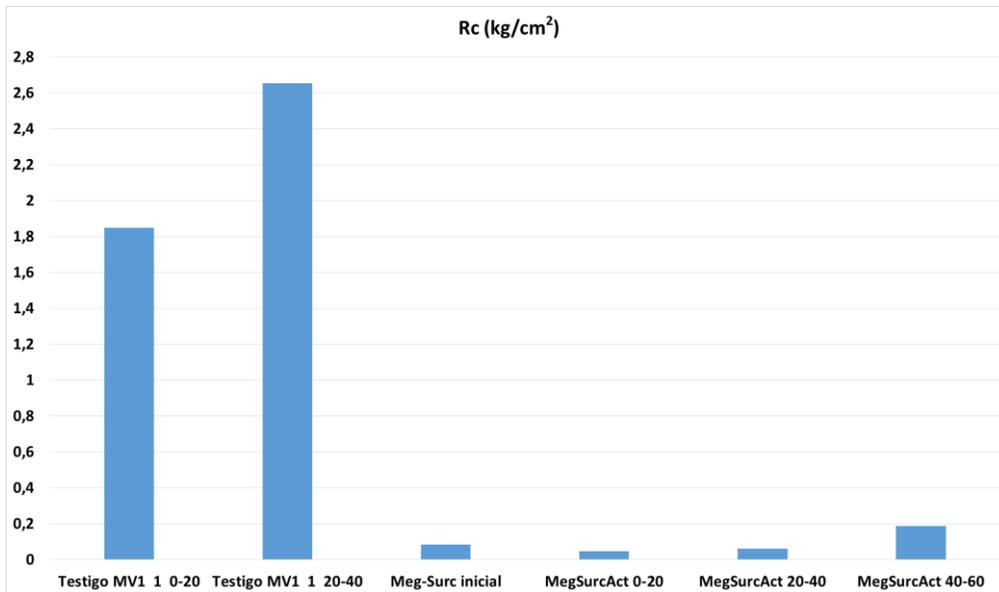
Después de aplicar la maquinaria agrícola para modificar las propiedades físicas de manera favorable para la plantación a establecer, nuevamente el suelo a través del tiempo tratará de volver a su estado de energía inicial y por ello se observa una fuerte disminución en la conductividad hidráulica, lo cual muestra que los macro poros fueron disminuyendo pero al punto de tener una conductividad hidráulica 30 veces mayor en comparación con la conductividad hidráulica antes de construir los megasurcos con la nueva estructura ya consolidada. La conductividad hidráulica medida en los megasurcos es realizada en un nuevo perfil del suelo proveniente de la mezcla de los horizontes existentes hasta los 60 cm de profundidad y la conductividad hidráulica medida antes de la aplicación de maquinaria fue realizada a los horizontes del suelo. (Ver cuadro 2).

El comportamiento de la conductividad hidráulica es complementado con los resultados de densidad aparente donde se muestra que, antes de la aplicación de la maquinaria al suelo para la construcción de megasurcos, la densidad aparente fue mayor a  $1,25 \text{ g/cm}^3$  e inmediatamente después de construir los megasurcos, disminuyó en un rango entre  $0,6$  y  $0,7 \text{ g/cm}^3$ , indicando un aumento en el espacio poroso del suelo y como se mostró, un aumento fuerte en la conductividad hidráulica. Un año después, la densidad aparente en los primeros 20 cm de profundidad es de  $0,90 \text{ g/cm}^3$ , en la profundidad de 20-40 cm es de  $0,97 \text{ g/cm}^3$ , lo cual evidencia mejores valores de densidad aparente, comparado con los valores iniciales, y para los últimos 40-60 cm de profundidad, como era de esperar después de crear una macro estructura debido al peso del suelo de las capas superiores, la densidad aparente disminuyó un poco más llegando al valor de  $1,02 \text{ g/cm}^3$ . (Ver Figura 4)



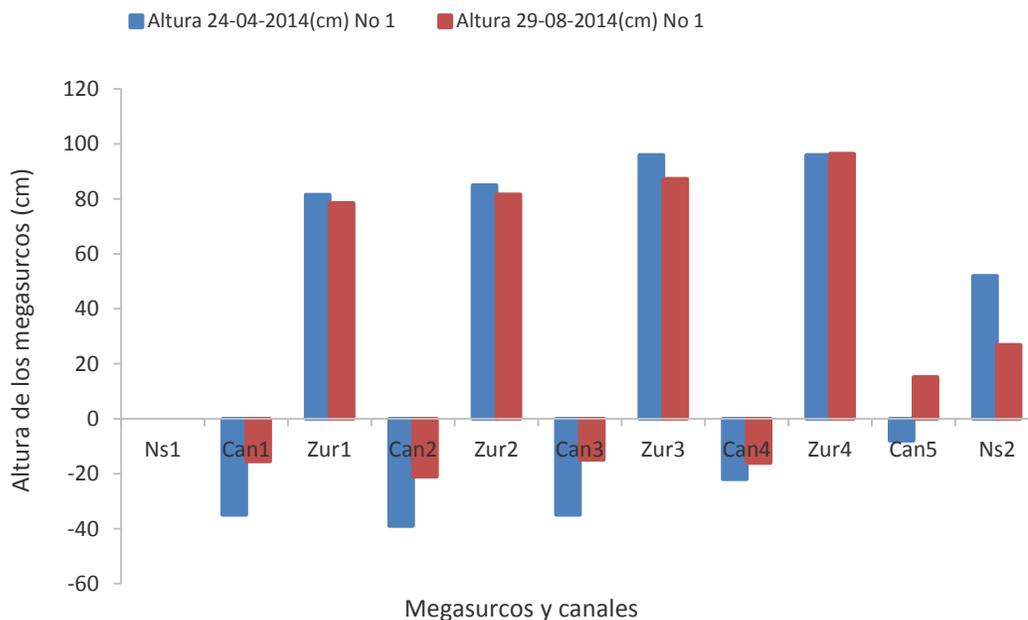
**Figura 4:** Niveles de densidad aparente para diferentes profundidades y momentos en el ensayo.

La resistencia al corte, medida a capacidad de campo, manifiesta una fuerte disminución después de construir los megasurcos respecto al suelo natural e inclusive coincide con el comportamiento de los valores de conductividad hidráulica y densidad aparente, donde además, muestra una tendencia a mantenerse cuando el suelo ha logrado su estabilidad a través del tiempo. (Ver Figura 5)



**Figura 5:** Niveles de densidad aparente para diferentes profundidades y momentos en el ensayo.

La altura de los megasurcos tendió a disminuir en un máximo de 8 cm y la profundidad de los canales tendió a disminuir en un máximo de 16 cm por efecto de la sedimentación, lo cual muestra que la altura inicial de 1,20 m de altura efectiva pasó a 0,96 cm de altura efectiva como mínimo, lo que indica que la pérdida de efectividad en la altura de los megasurcos fue apenas de un 20 % y quedó un 80 % de la altura efectiva de los mismos; a la vez esto justifica el aumento de la densidad aparente que se observó en el transcurso del ensayo y se mencionó anteriormente. (Ver Figura 6).



**Figura 6:** Diferencia en la altura de los megasurcos entre mediciones.

Los modelos de resistencia a la penetración, antes de la aplicación de maquinaria agrícola al suelo, muestran la necesidad de intervención en ellos principalmente en las capas mayores a 20 cm de profundidad. En los primeros 20 cm de profundidad la resistencia a la penetración es mayor que los valores obtenidos a la misma profundidad cuando se han construido los megasurcos, esto mostrado en los modelos; pero con respecto a la profundidad de los 20-40 cm de profundidad la resistencia a

la penetración es mucho mayor a los valores obtenidos a la misma profundidad después de construídos los megasurcos, también mostrado en los modelos. Lo anterior indica que el crecimiento radical tendrá menos resistencia a la penetración tanto en el crecimiento radical y en las raíces de anclaje, así como en la longitud de cada una de ellas.

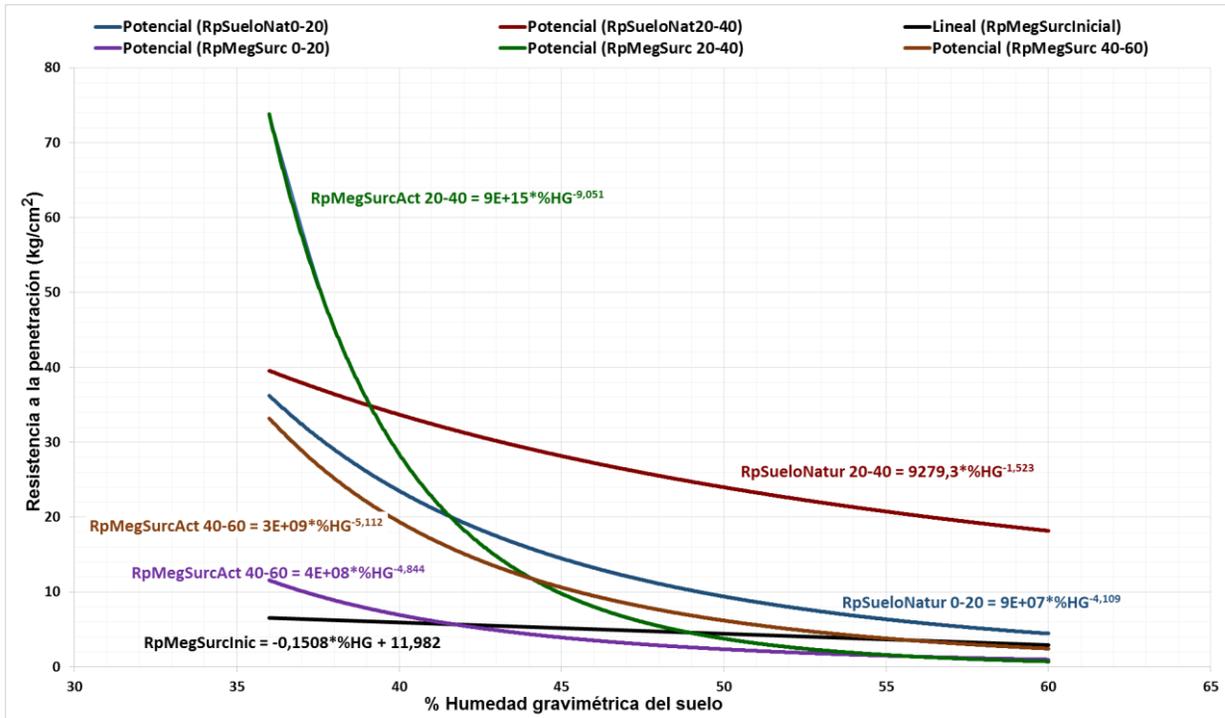
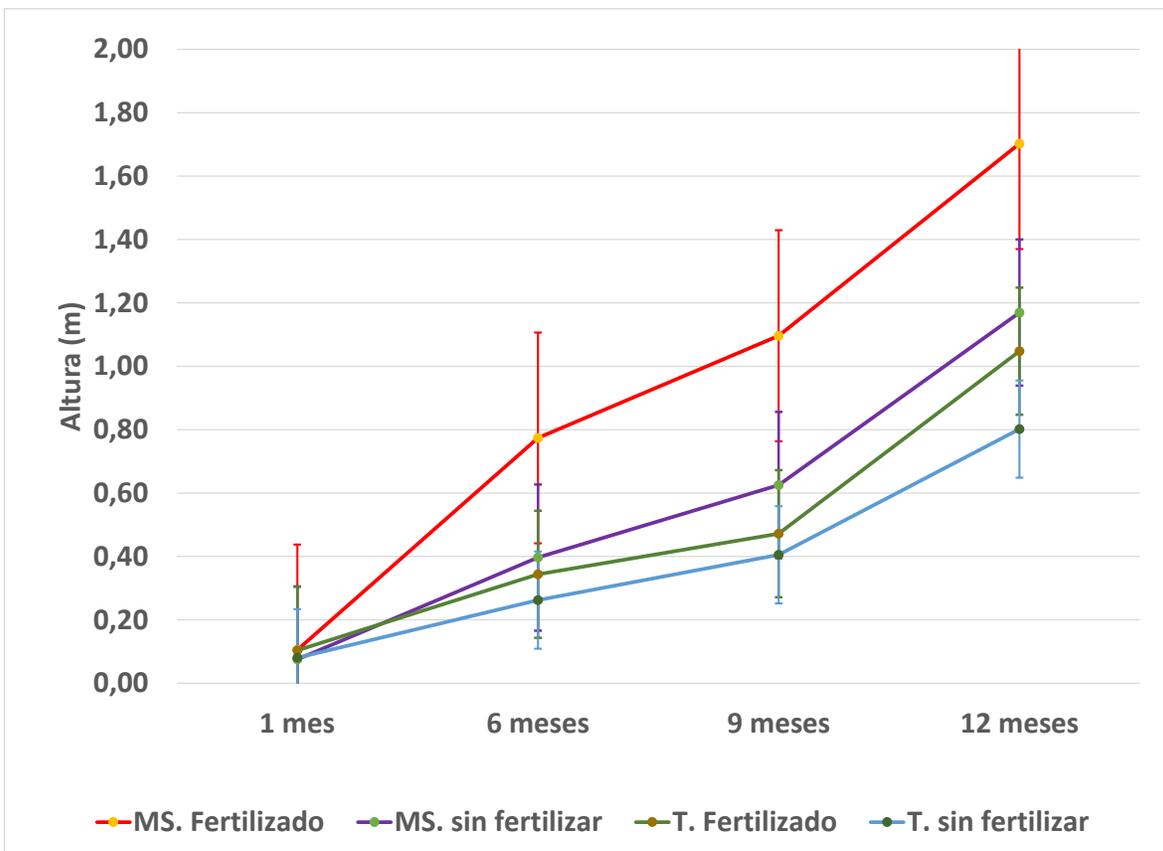


Figura 7. Curvas de resistencia a la penetración para los diferentes tratamientos

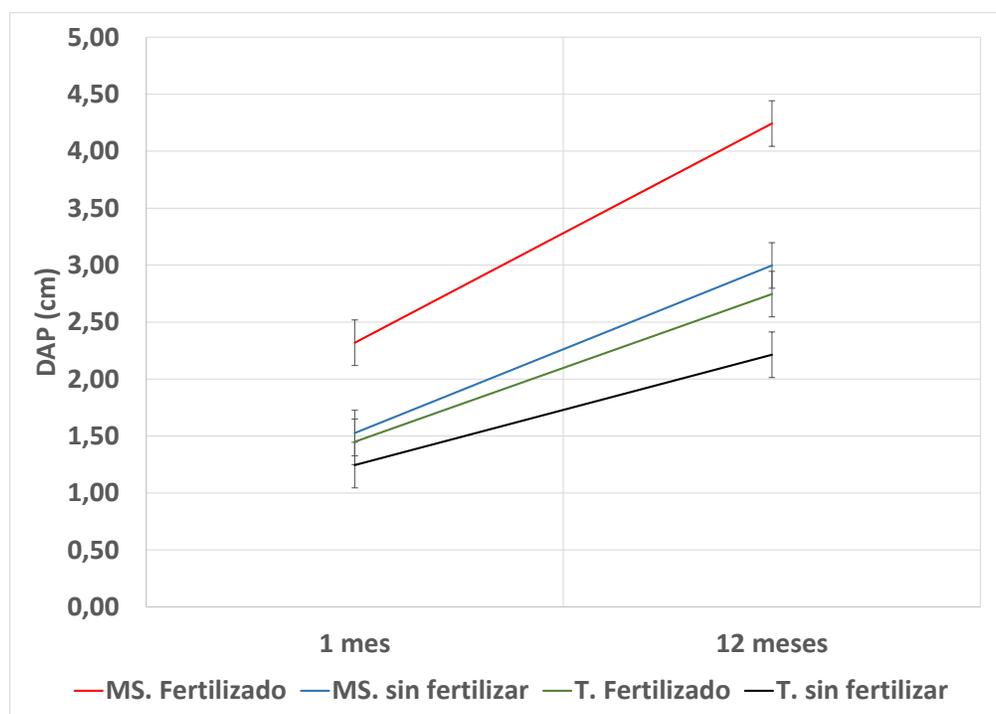
### Crecimiento

El efecto del crecimiento en altura de los árboles creciendo en megasurcos en comparación con los individuos testigo con y sin aplicación de fertilizante, se puede apreciar figura 7. Es evidente la ventaja de crecimiento para arboles creciendo en megasurcos, incluso cuando la fertilización no está presente, ya que aun así el tratamiento de megasurco sin fertilización sigue siendo superior a los tratamientos testigo (creciendo en condiciones de suelo no mejorado). De igual manera la fertilización tiene aumentos leves y significativos al final del periodo de medición entre los testigos fertilizados y no fertilizados.



**Figura 8.** Efecto del megasurco y fertilización sobre el crecimiento inicial en altura (m) de árboles de Teca

La misma tendencia puede ser observada en el crecimiento diamétrico donde el diámetro para los individuos creciendo en megasurco y fertilizados es mucho mayor, incluso desde la primera medición en comparación al testigo. El efecto del megasurco es visible para los tratamientos sin fertilización también en donde la magnitud es de un orden mayor en crecimiento (Figura 8).



**Figura 9.** Efecto de megasurco y fertilización sobre el crecimiento en diámetro (cm)

De igual manera en el cuadro 3, se pueden apreciar las diferencias significativas en crecimiento en altura para 1, 6, 9 y 12 meses y los diámetros a los 6 y 12 meses. A pesar que se trata de una evaluación inicial, es apreciable el efecto significativo y positivo del megasurco en el crecimiento, así como de las diferencias en fertilización para el último periodo de evaluación.

Cuadro 3. Efecto en crecimiento en promedio para diamétrico (mm) y altura (cm) con establecimiento de megasurcos vs testigo y entre efecto de fertilización y no fertilización, para una plantación recién establecida de Teca (*Tectona grandis*) en Muelle de San Carlos, Costa Rica.

Variable/ Tratamiento	Altura 1 mes	Altura 6 mes	Altura 9 mes	Altura 12 meses	Diámetr o 6 mes	Diámetro 12 meses
Megasurco sin fertilización	7.49 (a)	40.08 (a)	63.56 (a)	116.95 (a)	15.33 (a)	29.97 (b)
Testigo sin fertilización	8.11 (a)	26.48 (a)	40.98 (a)	80.20 (a)	12.60 (a)	22.14 (a)
Testigo fertilizado	10.37 (b)	34.38 (a)	47.59 (a)	104.77 (a)	14.50 (a)	<b>27.46</b> <b>(ab)</b>
Megasurco fertilizado	<b>10.50</b> <b>(b)</b>	<b>78.43</b> <b>(b)</b>	<b>110.05</b> <b>(b)</b>	<b>170.22</b> <b>(b)</b>	<b>23.42</b> <b>(b)</b>	<b>42.43</b> <b>(c)</b>

## Conclusiones

En la hipótesis nula se esperaban que los crecimientos se mantuvieran similares entre los distintos tratamientos. Se demostró al menos de manera inicial, que el efecto de mecanización y formación del megasurco incide positivamente en el crecimiento de los árboles de Teca.

La superioridad del sistema mecanizado se demuestra en los aspectos de crecimiento inicial de la planta en función del mejoramiento de las propiedades físicas. Sin embargo, se deben resolver muchas dificultades en el orden de las inversiones cuando la escala de operaciones y el capital lo permitan.

Los usos eficientes de los recursos tecnológicos no solamente implican mejorar la condición de los suelos, hay que sumarle las ventajas del uso de material vegetal mejorado (clones) y las ventajas de los recursos humanos entrenados para las mejores decisiones sobre el manejo silvicultural.

El uso de maquinaria disponible con pocas modificaciones, de acuerdo con las características del sitio, podría mejorar la eficiencia tanto en tiempo como en mano de obra y también en costos, siempre y cuando se haga la mejor elección. El uso de maquinaria agrícola de baja capacidad puede ofrecer ventajas parciales en el crecimiento de los árboles, pero estas tendencias pueden ser provisionales en el tiempo y los efectos se igualarían después del segundo año.

## REFERENCIAS

Alvarado, A.; Mata, R. 2013 Condiciones de sitio y la silvicultura de Teca. In: Las plantaciones de Teca en América Latina: mitos y realidades. De camino, R.; Morales, J.P eds Serie Técnica. Informe Técnico 397. Turrialba, Costa Rica. 392 p.

González, P.; Pérez, M.; Gutiérrez, L. 2015. Effects of tillage intensities on spatial soil variability and site-specific management in aerly growth of *Eucalyptus grandis*. Forest Ecology and management 346. 41-50.

De Camino, R.; Morales, J.P. 2013. Condiciones de sitio y la silvicultura de Teca. In: Las plantaciones de Teca en América Latina: mitos y realidades. Serie Técnica. Informe Técnico 397. Turrialba, Costa Rica. 392 p.

Ugalde, L. 2013. Teak: New trends in silviculture, commercialization and Wood utilization. International Forestry and agroforestry. Cartago, Costa rica. 568 p.

Fernández, R.; Rodríguez, A.; Lupi, A; Hernández, A.; Reis, H. 1999. Efectos de diferentes prácticas de preparación del terreno y fertilización sobre el crecimiento inicial del Pinus spp en el NE argentino. Bosque 20(1): 47-55, 1999.

VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales / Instituto Nacional de Estadística y Censos. -- 1 ed. --San José. C.R.: INEC, 2015. 146 p.

Jaramillo, D. 2014. El suelo: Origen, propiedades, espacialidad 2 ed Medellín, Colombia. 553 p.

## 7. CAPÍTULO 4: Análisis financiero de la inversión en la mecanización

En este capítulo se describen los alcances del objetivo que pretende generar un análisis financiero del retorno de la inversión por concepto de la mecanización. En general, calcular costos y rendimientos para este tipo de operaciones y en este tipo de ensayos presenta dificultades en la obtención de los mismos, ya que las operaciones durante un experimento no son totalmente ajustadas a la realidad, y priva dentro del control experimental el pleno control sobre el diseño del experimento, por la naturaleza misma del ensayo.

Otra de las dificultades encontradas radica en la proyección de crecimiento de los sitios bajo estudio, al ser plantaciones recién establecidas no se tienen datos de crecimiento inicial de las plantaciones para validar una proyección de crecimiento hasta el final del turno (20 años).

A pesar de las dificultades, los resultados de este capítulo se resumirán en la serie de apoyo académico denominada: "Manual Manejo Tecnológico de Suelos: mecanización y productividad". El enfoque de este capítulo dentro del manual busca orientar a las empresas a edificar su propia matriz de costos de acuerdo las necesidades del sitio, por lo que la guía provista por el ensayo se vuelve un punto sólido de partida. (Ver manual anexo)

Para una correcta elaboración del flujo financiero, se debe tener una proyección de ingresos de la inversión forestal (para raleos y cosecha final). Según la experiencia de las empresas dedicadas al cultivo de Teca, estas proyecciones de crecimiento y de los raleos previstos, se consideran como información confidencial, sujeta a las estimaciones reales que tendrá la finca a futuro según las ecuaciones alométricas del crecimiento, que reflejen el incremento en volumen producto de la creación de megasurcos y/o de la aplicación de un programa de fertilización en el ciclo del crecimiento del cultivo. Sobre este último aspecto, en Costa Rica es común las fertilizaciones iniciales y casi ninguna empresa invierte en fertilizaciones al cierre de copas o a la mitad de la rotación. Naturalmente los rubros de costo de establecimiento de megasurcos, las labores de fertilización y podas, así como los costos de mantenimiento al final del ciclo deben estar cuantificados. Paralelamente existen varios supuestos que deben ser tomados en función del comportamiento de los mercados y estados financieros de la inversión forestal, como son, tasas de descuento para obtener el valor real neto (nominal actual al 5,5%), costos de oportunidad del inversionista; incluso utilizando la tasa pasiva (la cual es la que representa menor riesgo).

Este análisis financiero, solo es posible obtenerlo teniendo información de volumen obtenido o bien proyectado con ecuaciones de crecimiento (sujetas al sitio) para un rendimiento real en la situación planteada para megasurcos. Al solo tener información de un año en crecimiento, no es posible hacer una proyección adecuada del mismo, ya que la plantación se encuentra en etapas muy iniciales de su crecimiento. El comportamiento de crecimiento en este tipo de diseño experimental, por ende, necesitaría un seguimiento mayor en el tiempo para poder verificar las tendencias que desde el primer año se observan (mayor crecimiento en megasurcos bajo fertilización), siendo 12 meses un periodo muy corto para la proyección de ingresos. Lo anterior indica que es arriesgado hacer uso de información de rendimientos con otras plantaciones que no han seguido el mismo esquema ni de inversión ni de costos de operación similares, para proyectar ingresos de rendimientos sujetos a labores normales. Adicionalmente, en el presente caso, el equipo utilizado para la creación de megasurcos es un costo de alquiler de maquinaria, ya que no se hizo la inversión del equipo el cual estaría sujeto a una depreciación con su consecuente valor de rescate. Este es un costo operativo.

En el presente informe se presenta el formato para el registro de costos de operación en megasurcos. Lo anterior ayudará en la elaboración de plantillas de costos en campo.

ANEXOS

Cálculo de Costos de Maquinaria Agrícola			
Tipo de Maquinaria			
Costo mano de obra: (US\$ / Hora)		Factor de Reparación: (F) (0.8 - 1.5)	
Valor de adquisición (US\$): (A) (actualizado)		Vida útil según tiempo: (N) (años)	
Valor restante (US\$): (R) (reventa)		Vida útil según trabajo: (n) (unidades)	
Unidad: (hora, manzana, motohora etc.)	MH	Interés anual: (i)	
Rendimiento por Motohora:		Utilización anual: (j) (unidades)	
Personal requerido por unidad: (personas)		Consumo Comb./unidad: (litro./unidad)	
Porcentaje de Administración:		Consumo de Lubric./Motohora: (litro)	
Precio Combustible (US\$/ litro):		Precio Lubricante (US\$/ litro):	
Riesgo y Ganancia planificada: (%)		Porcentaje(A) para alquiler de garage:	
Intensidad de manten.:(cada cuantas horas?)		Potencia del Motor: (HP)	
<b>I. Costos fijos:</b>			
1. Depreciación: (A - R / N)		Consumo lubricante:	
2. Pérdida de interés: ( [A+R : 2] x [i : 100] )		0.003 x Potencia Motor (HP)	
3. Alquiler de garage: (A x ?%)		Factor de Reparación:	
4. Gastos de administración (A x %)		Entre 0.8 (Granjas) y 1.5	
5. Total costos fijos por año: (suma 1.,2.,3.,4.)		(Empresas de servicio)	
6. Costos fijos / unidad: (costos f.anuales / j)			
<b>II. Costos variables / unidad:</b>			
7. Reparación / Mantenimiento: (A x F / n)		Gastos de Administración:	
8. Mantenimiento (personal): (Intens./mant. x costo/hora)		Entre 2% (Maquinaria grande), y	
9. Operación: ( costo/h. x pers.req./unidad)		5% (Maquinaria peq. Y mediana)	
10. Costo Combustible/unidad: (cons./unidad x precio/gal.)		Intensidad de mantenimiento:	
11. Consumo Lubricante/Motohora: (cons.lubr.x precio/litro)		Cada quantas horas de servicio,	
12. Costos variables / unidad: (suma: 7.,8.,9.,10.,11.)		se calcula 1hora de mant.(%)	
<b>III. Total costos:</b>			
13. Total costos / unidad: ( suma I + II )		\$ -	
<b>IV. Riesgo y Ganancia</b>			
14. Aplicar riesgo y ganancia: ( 13. x Porcentaje )		\$ -	
<b>V. Precio de Servicio:</b>			
15. Precio de servicio: ( suma 13. + 14. )		\$ -	

Tabla 4.1. Calculo de costo de maquinaria para elaborar megasurcos según resultados del proyecto

Tipo de Maquinaria		Draga: Hyundai 110-7 de 94 caballos de fuerza	
Rubro	Valor		
Costo/hora (CRC/hora)	30000		
Rendimiento:	10 horas para 400 metros.		
Surcos /ha	25 cada 4 metros		
Costo total (CRC/ha):	1 890 000		

## 8. CAPÍTULO 5: Transferencia de conocimientos

El presente proyecto concentró buena parte de las actividades en la proyección de resultados a nivel nacional como internacional, lo cual se volvió una tarea constante. Los resultados, conforme se fueron completando, se presentaron en diferentes conferencias internacionales forestales de nivel mundial, como el congreso mundial de IUFRO 2014 y la tercera conferencia mundial de (World Teak Congress 2015), ambos eventos con Comité Editorial Internacional. Además se organizaron talleres dirigidos a empresas y público en general a nivel nacional en el campo forestal.

Producto de la organización de los talleres sobre mecanización de suelos para forestales, se trabajó en la elaboración de un manual didáctico sobre el manejo tecnológico de suelos, el cual se encuentra en proceso de elaboración y será publicado como una serie de apoyo académico. Con el Ing. Gustavo Mata, instructor del curso, se definió la necesidad de publicar un libro formal sobre mecanización de suelos, el cual está siendo trabajado de manera personal por el Ing. Mata y se espera sea presentado en la Editorial Tecnológica de Costa Rica. Si bien este producto no será un resultado del proyecto, mucha de la información e imágenes serán consideradas en el libro.

Actividad	Fecha	Participantes. (No.)	Docs Anexo (No.)
ITALLER DEMOSTRATIVO Evaluación de las propiedades físicas del suelo para la toma de decisiones sobre mecanización: análisis sobre el perfil y toma de muestras para LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	27-28 de febrero del 2013	8	1
II TALLER DEMOSTRATIVO SOBRE LA ESCOGENCIA Y CALIBRACIÓN DE IMPLEMENTOS PARA LABORES DE PRELABRANZA Y LABRANZAS PRIMARIA Y SECUNDARIA	22-24 Mayo 2013	8	2
I Taller Manejo tecnológico de suelos para plantaciones multipropósito (Sede Sta. Clara ITCR)	18-19 Marzo 2016	36	3
II Taller Manejo tecnológico de suelos para plantaciones multipropósito (CATIE, Turrialba)	13-14 Mayo 2016	20	4
III Conferencia Mundial de Teca. Guayaquil, Ecuador. a) Plagas y enfermedades en plantaciones de Teca ( <i>Tectona grandis</i> ) en Centroamérica-Nuevos reportes. b) Técnicas de mecanización para el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo y aumento de la productividad de plantaciones nuevas y ya establecidas de <i>Tectona grandis</i> . c) Mejoramiento tecnológico de suelos para el incremento de la productividad en plantaciones de <i>Tectona grandis</i> : incremento en biomasa de raíces finas.	11-15 mayo 2015	1500 aprox.	5
XXIV del Congreso Mundial de IUFRO. Utah, USA.	5-11 octubre 2014	3500 aprox	6

<p>a) Improvement of soils conditions to increase productivity of <i>Tectona grandis</i> in Northern Costa Rica: Established plantations.</p> <p>b) Improving soil physic conditions on teak plantations establishment in Northern Costa Rica.</p>			
<p>Página de Facebook: Mejora de Suelos – TEC.: Mejora de Suelos-TEC nace como un Proyecto de Investigación financiado por el ITCR y que va dirigido al mejoramiento de la productividad de plantaciones.</p>	<p>Facebook Page ID 184881695205659</p>	<p>96 hits en semana 7-11 Marzo 2016</p>	<p>7</p>

## **9. ANEXOS**

## ANEXO 1

### I Taller demostrativo Evaluación de las propiedades físicas del suelo para la toma de decisiones sobre mecanización: Análisis sobre el perfil y toma de muestras para la determinación de propiedades físicas del suelo.

---



### I TALLER DEMOSTRATIVO EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO PARA LA TOMA DE DECISIONES SOBRE MECANIZACIÓN: ANÁLISIS SOBRE EL PERFIL Y TOMA DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO 27-28 de febrero del 2013

#### INTRODUCCIÓN

La caracterización morfológica de un suelo y la adecuada toma de muestras para la determinación de sus propiedades es el punto de partida para determinar si un suelo posee limitantes físicas que puedan repercutir en la productividad de una plantación. Tener conocimiento sobre las propiedades físicas del suelo es de gran utilidad a la hora de seleccionar la maquinaria e implementos adecuados para realizar una preparación inocente. Como una forma de refrescar conocimientos al personal técnico de la empresa Reforestación Grupo Internacional, se decidió impartir un taller sobre los temas arriba mencionados.

#### OBJETIVOS

- Describir adecuadamente los perfiles de suelo dentro de una calicata
- Realizar mediciones y análisis de las distintas propiedades físicas del suelo.

#### INSTRUCTOR

Prof. Adrián Chavarría Vidal. Escuela de Ingeniería Agrícola

#### METODOLOGÍA

Es una capacitación práctica, en la que se muestra la forma correcta de realizar una calicata, como describirla y la utilización correcta de instrumentos para la toma de muestras con el fin de determinar propiedades físicas del suelo como densidad aparente, resistencia al corte, resistencia a la penetración e infiltración.

## **CONTENIDOS**

- 1) Creación de calicatas y descripción
- 2) Toma de muestras de densidad aparente
- 3) Resistencia al corte y resistencia a la penetración
- 4) Infiltración

## **PARTICIPANTES**

### **Personal RGI**

1. Bjorn Jakobsen
2. Jonathan Segura
3. Michael Huertas
4. Mario Guevara

### **Personal Manforest**

1. Miguel Castro Quesada
2. Hugo Castro
3. Alfredo Salas
4. Lester Carballo

**ANEXO 1. Fotografías del evento**



Figura 1. Realización de calicata para su posterior análisis



Figura 2. Descripción de perfiles dentro de la calicata



Figura 3. Toma de muestras densidad aparente



Figura 4. Uso del penetrómetro para el cálculo de la resistencia a la penetración

## ANEXO 2

### II TALLER DEMOSTRATIVO SOBRE LA ESCOGENCIA Y CALIBRACIÓN DE IMPLEMENTOS PARA LABORES DE PRELABRANZA Y LABRANZAS PRIMARIA Y SECUNDARIA

---



### II TALLER DEMOSTRATIVO SOBRE LA ESCOGENCIA Y CALIBRACIÓN DE IMPLEMENTOS PARA LABORES DE PRELABRANZA Y LABRANZAS PRIMARIA Y SECUNDARIA

#### INTRODUCCIÓN

La mecanización forestal es el estudio de las labores de producción que se realizan con la ayuda de máquinas, tomando en cuenta los factores que la afectan. La selección de implementos para la mecanización del suelo debe llevarse a cabo teniendo en cuenta aspectos tales como la topografía, textura y propiedades físicas del suelo, contenido de humedad entre otros. Una adecuada selección de la maquinaria a utilizar puede afectar positivamente el desarrollo inicial de una plantación. Como una forma de refrescar conocimientos al personal técnico de las empresas Reforestación Grupo Internacional y Puro Verde Paraíso Forestal, se decidió impartir un taller sobre los temas arriba mencionados.

#### OBJETIVOS

- Conocer los principales implementos para la mecanización de un sitio
- Determinar el implemento óptimo a utilizar de acuerdo a las condiciones de sitio existentes
- Explicar los procedimientos para evaluar la efectividad de la aplicación de los métodos de labranza

#### INSTRUCTOR

Prof. Adrián Chavarría Vidal. Escuela de Ingeniería Agrícola

#### METODOLOGÍA

Es una capacitación práctica, en la que se muestra los distintos tipos de implementos que existen para la mecanización inicial de un sitio. Además se conocerá la forma correcta de calibrar un arado de cincel así como el procedimiento para evaluar la profundidad efectiva de la labor y a altura de los surcos (en caso de que se utilicen).



#### CONTENIDOS

Importancia de la mecanización de suelos

- 1) Implementos utilizados en la preparación de sitio en plantaciones forestales

- 2) Selección de implementos
- 3) Calibración de equipo

## **PARTICIPANTES**

### **Personal RGI**

1. Jonathan Segura
2. Michael Huertas
3. Mario Guevara

### **Personal Manforest**

1. Miguel Castro Quesada
2. Hugo Castro
3. Lester Carballo

### **Personal Puro Verde**

1. Delvis Angulo
2. Ever Sequeira

## **Adjuntos 1. Fotografías del evento**



**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

Reforestation  
Group  
International

**PuroVerde**  
Paraiso Forestal S.A.



Figura 2. Arado tipo cincel



Figura 3. Maquinaria forestal para la realización de surcos



Figura 4. Calibración de equipo por parte de personal de RGI



## ANEXO 3

### I Taller Manejo tecnológico de suelos para plantaciones multipropósito (Sede Sta. Clara ITCR)



The image shows a blue tractor with a white canopy plowing a field of dark brown soil. The tractor is moving from right to left, leaving a furrow behind it. In the background, there is a pile of cut branches and a green field under a clear sky.

**TEC** | Tecnológica de Costa Rica  
**micitt**  **CONICIT**

**Taller**  
**Manejo tecnológico de suelos para plantaciones multipropósito**

**Fecha:** Viernes 18 (8:00 am a 5:00 pm) y sábado 19 de marzo (por la mañana demostración práctica).  
**Lugar:** Aula Bromelia 2, CTEC Santa Clara, San Carlos  
**Inscripciones:** MSc. Mario Guevara (maguevara@itcr.ac.cr)  
**Instructor:** Ing. Gustavo Mata  
**Cupo:** 30 personas

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Forestal

---

## I Taller Manejo tecnológico de suelos para plantaciones multipropósito

### Objetivo general

- Conocer los conceptos básicos de mecanización agrícola/forestal y de una adecuada preparación de sitio para el establecimiento de plantaciones forestales.

### Descripción del taller

El taller será teórico-práctico y tendrá una duración de dos días. Durante el primer día se verán los aspectos teóricos de la mecanización mientras que el segundo día se realizará una demostración práctica.

### CONTENIDOS DEL TALLER

#### Módulo 1: Labores de preparación de suelos y actividades complementarias

- Desmante.
- Nivelación.
- Labranza primaria.
- Labranza secundaria.
- Drenajes. Manejo de aguas.
- Aplicación de enmiendas.
- Triturado de residuos.
- Subsolado.
- Compactación de suelo y su medición.
- Preparación de la cama de semilla.

### **Módulo 2: Equipos base, conceptos y su preparación**

- Tractores de llantas y orugas.
- Protección de máquinas y operarios.
- Concepto de flotación y tracción.
- Preparación de tractores e implementos. Balance de peso y peso total.
- Patinaje del tractor y su medición.

### **Módulo 3: Rendimiento de labores de preparación**

- Capacidad efectiva de trabajo.
- Estado de los implementos.
- Compatibilidad tractor-implemento.
- Patrones de trabajo en preparación.
- Tráfico de maquinaria sobre el campo.

### **Módulo 4: Elementos básicos de administración de maquinaria**

- Planificación de labores mecanizadas en el tiempo.
- Selección de tractores e implementos. Criterios.
- Costos y rendimientos de maquinaria.
- Programación de mantenimiento.
- Renovación de maquinaria. Criterios.

## ANEXO 4

### II Taller Manejo tecnológico de suelos para plantaciones multipropósito (Instalaciones CATIE, Turrialba)

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica



Taller

## Manejo tecnológico de suelos para plantaciones multipropósito



**Fecha:** Viernes 13 (8:00 am a 5:00 pm) y sábado 14 de mayo. (por la mañana demostración práctica).

**Lugar:** Aula de Capacitaciones, CATIE, Turrialba

**Instructor:** Ing. Gustavo Mata

**Inscripciones:** MSc. Mario Guevara (maguevara@itcr.ac.cr)

**Cupo:** 30 personas

## ANEXO 5

### III Conferencia Mundial de Teca. Guayaquil, Ecuador. 11-15 mayo 2015

#### Presentación oral

#### A) Plagas y enfermedades en plantaciones de Teca (*Tectona grandis*) en Centroamérica- Nuevos Reportes.



3rd WORLD TEAK  
CONFERENCE 2015  
May 11 - 15 • Guayaquil - Ecuador

Strengthening Global Teak Resources and Markets for Sustainable Development

#### Plagas y enfermedades en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Centroamérica – Nuevos reportes

Marcela Arguedas, María Rodríguez and Mario Guevara

La teca (*Tectona grandis* L.f.) es una de las especies mayormente usadas en reforestación en las regiones tropicales. Durante los últimos diez años, plantaciones comerciales de *T. grandis* en la región centroamericana han sido inspeccionadas para la determinación de herbívoros y fitopatógenos asociados a la especie. Se han identificado 57 especies de insectos, 34 de patógenos, cinco de vertebrados (*Campephilus principalis*, *Odocoileus virginianus*, *Orthogeomys underwoodii*, *Sciurus* spp. y *Sigmodon hispidus*), el ácaro *Tetranychus* sp. (Tetranychidae, Acari) y el muérdago (*Struthanthus cf leptostachyus*).

Durante los años 2013-2014, en el departamento del Petén, Guatemala se presentaron defoliaciones muy severas causadas por *Schitocera pectifrons* (Acridae, Orthoptera). Es una especie con comportamientos solitarios o gregarios. Los daños en el follaje de *T. grandis* lo producen en su forma gregaria, en la cual las mangas alcanzaron hasta 500 m de ancho y se alimentan tanto de esta especie forestal como cultivos agrícolas, especialmente el maíz. Aparentemente presentan dos generaciones por año. La hembra ovíparita en el suelo en grupos de hasta 100 individuos dentro de una vaina, las ninfas requieren de 45 días para alcanzar la fase adulta; los adultos alcanzan los 6 cm de largo, de colores brillantes, principalmente amarillo o pardo rosáceo con manchas negras. También en el follaje se reporta por primera vez una larva de una especie no identificada del género *Acharia* y manchas producidas por las "cenicillas polvorientas" (*Oidium* sp.).

En las inspecciones de los últimos tres años, se observa un incremento en la severidad del ataque de las bacterias *Erwinia* en plántulas y *Ralstonia* en árboles recién establecidos. En follaje defoliaciones por los lepidópteros *Hyblaea puera* (Hyblaeidae) y *Oxidia* spp. (Geometridae) y el coleóptero *Waltheraniella* sp. (Chrysomelidae) y la "roya de la teca" (*Olivea tectonae*); en el fuste de árboles jóvenes el "cancro rosado" (*Erythricium salmonicolor*) y a nivel de raíz la pudrición producida por *Dematophara* sp.

Marcela Arguedas, María Rodríguez and Mario Guevara  
Escuela de Ingeniería Forestal  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Costa Rica  
Email: [marguedas@itcr.ac.cr](mailto:marguedas@itcr.ac.cr)



## PLAGAS Y ENFERMEDADES EN PLANTACIONES DE TECA EN CENTROAMÉRICA

marcela arguedas  
maría rodríguez  
mario guevara

Guayaquil, Ecuador  
2015



B) Técnicas de mecanización para el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo y aumento de la productividad de plantaciones nuevas y ya establecidas de *Tectona grandis*.



"Strengthening Global Teak Resources and Markets for Sustainable Development"

11 February 2015

**Conference Chair**  
Antonio Pino Gómez-Lince (Ecuador)

**Conference Co-Chair**  
Xavier Elizalde (Ecuador)

**Scientific Committee**

**Chairman:** Lars Graudal (Denmark)  
**Co-Chair:** P.K. Thulasidas (India)

Walter Kollert (Rome)  
Mammen Chundammanni (India)  
Dominique Y. Leuba (Costa Rica)  
Jurgen Stock-Omar Carrero (México)  
Henri BAILLERES (Australia)  
James Roshetko (Indonesia)  
Edwin Jiménez Ruiz (Ecuador)  
Markku Kanninen (Finland)  
Stephen Midgley (Australia)  
Folkert Kottman (Costa Rica)

**Conference Venue**  
Hotel Hilton Colon  
Guayaquil, Ecuador

**Dr. Mario Guevara**  
Profesor e investigador  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Costa Rica

Dear Mario Guevara,

On behalf of the Scientific Committee of 3<sup>rd</sup> World Teak Conference 2015, I am glad to inform you that your Abstract has been accepted for POSTER presentation, during the conference that will take place in Hotel Hilton Colon, Guayaquil, Ecuador from 11-15 May.

**Topic :** Aumento de la productividad de plantaciones establecidas de *Tectona grandis* en sitios marginales mediante el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del suelo  
**Session II :** Genetics, Tree Improvement, Silviculture and Wood Quality

To facilitate planning by the Organising Committee, you are requested to confirm your participation by 25 February 2015 to [coordinator@teaknet.org](mailto:coordinator@teaknet.org). Kindly let us know as well if you have any difficulties to attend the Conference so that someone else on the waitlist may be able to benefit.

Considering your untiring effort to support us with your presentation, the Organizing Committee is pleased to extend the deadline for early bird registration until 25 February 2015 (same date as above) for the authors. To complete your registration for the conference, please follow the instructions in the conference webpage [www.worldteakconference.com](http://www.worldteakconference.com).

Once again, thank you for your kind contribution and I look forward to meeting you in Guayaquil in May.

With best regards,  
Yours sincerely,

**Lars Graudal**  
Chairman- Scientific Committee  
3rd World Teak Conference 2015

*Note: Please note that this acceptance letter does not imply any financial support/ responsibility*



**TEC** | Tecnológico de Costa Rica



**Técnicas de mecanización para el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo y aumento de la productividad de plantaciones nuevas y ya establecidas de *Tectona grandis*.**

Ing. Mario Guevara Bonilla, M.Sc.

Guayaquil, 2015

Dagoberto Arias Ph D  
Elemer Briceño Ph D  
Edwin Esquivel Ph D.  
Adrián Chavarría M.Sc.

**C) Mejoramiento tecnológico de suelos para el incremento de la productividad en plantaciones de *Tectona grandis*: incremento en biomasa de raíces finas**

**Mejoramiento tecnológico de suelos para el incremento de la productividad en plantaciones de *Tectona grandis*: incremento en biomasa de raíces finas**

Elemer Briceño, Mario Guevara, Adrián Chavarría-Vidal, Edwin Esquivel, Dagoberto Arias, Sara Molina, Marcela Arguedas-Gamboa, Rodolfo Canessa-Mora, Björn Jakobsen.  
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Forestal

**Resumen**

Tierras tradicionalmente bajo cultivo de Teca (*Tectona grandis*), están sujetas a adversidades físicas y químicas que requieren un mayor estudio y soluciones específicas. Costa Rica requiere que mantener las áreas reforestadas bajo el mismo uso; sin embargo hasta el momento no existe una discusión sobre la segunda rotación ha tenido lugar ni ninguna consideración respecto a continuar con la misma especie o no. Consideraciones en estado nutricional del sitio post-cosecha o qué paquete tecnológico asegurará una producción sostenible tampoco está bajo discusión. Lo prioritario es que estas plantaciones ya sean de moderada a alta productividad, deben mantener la producción de madera. El presente proyecto ha establecido varios tratamientos de mejora física de suelos en plantaciones con aparente deficiencia en crecimiento e historia de compactación. Se estableció un diseño experimental de tres bloques utilizando ocho tratamientos, que combinan el efecto de dos niveles de labranza profundos y tres "intensidades" de implementos de labranza, utilizando 1,3 y 5 arados de cincel; además, dos tratamientos más, incluyendo un tratamiento no fertilizado de inclinación y una parcela de control. Además de los efectos en las variables normales de crecimiento (diámetro y altura y consecuentemente volumen) se espera un cambio en el desarrollo radical, donde la intensidad de los tratamientos estimulen un mayor desarrollo radical, mayor área de absorción de nutrientes y razonablemente crecimiento. Los resultados aquí expuestos buscan mostrar el efecto de tratamientos en la demografía de raíces en estas plantaciones y recomendar la mejor intensidad a seguir en términos técnicos y económicos.

Palabras clave: *Tectona grandis*, producción sostenible, biomasa de raíces, subsoleo.

# Improvement of soils conditions to increase productivity of *Tectona grandis* in Northern Costa Rica:

## Fine root increment



Elmer Briceño, Mario Guevara, Edwin Esquivel, Dagoberto Arias, Sara Molina  
Adrian Chavarria, Diego Camacho, Rodolfo Canessa



Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Forestal<sup>1</sup>  
Escuela de Ingeniería Agrícola<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Land traditionally available for teak (*Tectona grandis*), have physical and chemical constraints that require further study and specific solutions. In Costa Rica it is required to maintain the reforested areas under the same use; however no discussion on a second rotation has taken place so far and neither a consideration to continue with the same species or not. Considerations on nutritional status of the site post-harvest or the technology package to which ensure sustainable production is not under discussion either. The priority is that these plantations whether be of moderate to high productivity, must maintain timber production. The current project established several treatments in order to improve soil physical conditions at plantations with apparent deficiency in growth and history of compaction. An experimental design of three complete random blocks was established using five treatments (all with dolomite fertilization except 1 control) that combine the effect three of tillage intensities; the intensities were 1, 3 and 5 chisel plows; with a control plus control fertilization. In addition to effects on normal growth variables (diameter and height and consequently volume) an effect in root development is highly expected, where the intensity of treatments stimulates greater root development, greater area of absorption of nutrients and reasonably growth. The results here presented aim at showing the effect of treatments on root demography for the treated plantations and to recommend the ideal treatment in terms of technical and economic aspects to follow

### OBJECTIVES

#### Main Objective

- To increase the productivity of teak plantations (*Tectona grandis*) through technological improvement of the soil.

#### Specific objectives

- Morphologically characterize the physical and chemical soil constraints and their effect on root development, leaf area development, health and productivity of teak plantations in soils of low current productivity.
- To demonstrate the effect of deep tillage (multiple treatments) in root development, and productivity of teak plantations.
- To evaluate the effect of the application of amendments in combination of different treatments of deep tillage.

### METHODOLOGY

Variables measured in the PLOTS prior to the establishment of the experiment and then every 6 months:

- ✓ Texture of each soil horizon.
- ✓ Morphological description of the soil.
- ✓ Monitoring of soil carbon, biological activity, litter dynamics and water balance.
- ✓ Diameter and height, live crown height, and total height of all useful trees of each experimental unit.
- ✓ The dynamics of fine roots will be monitored every two months in each of the treatments.



Figure 1. Application of Treatments on each experimental block.

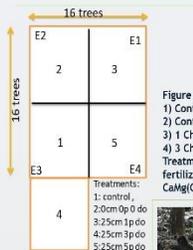


Figure 2. Treatments:  
1) Control,  
2) Control+ fertilization,  
3) 1 Chisel at 25 cm depth,  
4) 3 Chisels at 25 cm depth,  
Treatments 3 to 8 include fertilization with 3 tons/ha of CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>



Figure 3. Data collection.



Figure 4. Observable differences in treated area and non treated area; evidence of good appearance of treatments was found at each experimental unit.

### RESULTS AND DEVELOPMENT

Table 1. Analysis of Variance (SC type III)  
FV SC A1 CM F p-value  
Model: 535995.33 4.133998.83 2.47 0.0481  
Treatment: 535995.33 4.133998.83 2.47 0.0481  
Error: 65598421.01121 542135.71  
Total: 70958416.35125

Treatment	Mean Live dry weight (tons./ha) mean
1	273.52(a,b)
2	800.44 (b)
3	312.22(a,b)
4	198.37(a)
5	317.07(a,b)

Table 2. Significant differences of amount of biomass per hectare (Tons./ha) by treatments (Test: Tukey Alfa=0,05)

Table 3. Significant differences of amount of biomass per hectare (Tons./ha) partitioned by depth of live and dead fine roots (Test: Tukey Alfa=0,05)

Treatment	Mean Live dry weight (tons./ha) mean	Mean Dead dry weight (tons./ha) mean	n
<b>0-20 cm</b>			
1	439.02(a)	245.90(a)	9
2	526.20(a)	298.27(a)	9
3	420.69(a)	233.06(a)	9
4	543.55(a)	353.31(a)	9
5	546.36(a)	373.17(a)	9
<b>20-40 cm</b>			
1	236.93(a)	174.22(a)	9
2	390.24(a)	81.30(a)	9
3	500.00(a)	91.46(a)	9
4	185.37(a)	148.78(a)	9
5	243.90(a)	119.51(a)	9

Figure 5. Dry Biomass weight (tons./ha) and error range of measurements per depth and treatment.

### CONCLUSIONS

- At two years after treatment appliance, results show no conclusive treatment to be the best, significant differences in biomass can be detected for accumulated sampling, but show no difference when compared by condition (live/ dead root quantity) or by depth.
- The previous suggests that fine root recycling is more climate dependent and not conditioned by only physical properties.
- This stated the treatments seem to have no effect on the higher proliferation of roots so far, this can be attributed to the time of sampling, which makes it necessary to collect during rainy season, to have this additional variable.
- A longer period of growth is necessary to asses treatment effect.
- Additionally no effect on dolomite application can be detected, as to be related to root proliferation.

Contact:  
Elmer Briceño, PhD  
Ecophysiology and Ecosystem Modelling  
School of Forest Engineering  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Email: [elmer@tec.ac.cr](mailto:elmer@tec.ac.cr)  
Tel: +506-25502475

### ACKNOWLEDGEMENTS

- Vicerrectoría de Investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica
- Special Thanks to Björn Jakobsen of Reforestation Group International, R.G.I. s.a.
- CIBI, Centro de Investigación en Integración Bosque - Industria

**XXIV del Congreso Mundial de IUFRO. Utah, US. 5-11 octubre 2014.**

**A) Improvement of soils conditions to increase productivity of *Tectona grandis* in Northern Costa Rica: Established plantations**

Elemer Briceño, Dagoberto Arias, Adrián Chavarría-Vidal, Mario Guevara, Björn Jakobsen, Edwin Esquivel, Rodolfo Canessa-Mora, Diego Camacho Cornejo  
 Technological Institute of Costa Rica, Forest Engineering School

Keywords: *Tectona grandis*, timber production, sustainability, deep tillage, fertilization.

**Summary:**

Available land for Teak (*Tectona grandis*), cultivation has specific chemical and physical limitations that require further study and possible solutions. Costa Rica needs to keep reforested areas under the same use; however as of yet no discussion on second rotation has taken place nor any considerations regarding continuing with the same species or not, nutritional conditions of the site after harvesting or what technological package will ensure a sustainable production. What is clear is that the land used to grow teak with moderate to high productivity, should be maintained for timber production. This research has addressed improvements of soil conditions to enhance growth, by applying physical and chemical treatments not very used in reforestation in the tropics. A three-block experimental design was established using eight treatments, combining the effect of two deep tillage levels and three "intensities" of tillage implements, using 1,3 and 5 Chisel ploughs; additionally two treatments more including a fertilized non-tilt treatment and a control plot. The Fertilization program was determined after careful soil analysis. Early response from treatments is being monitored suggesting what level of intensity is ideal to the species in areas of low productivity.

**Improvement of soils conditions to increase productivity of *Tectona grandis* in Northern Costa Rica:**

**Established plantations**



**Tecnológico de Costa Rica**

Elemer Briceño<sup>1</sup>, Dagoberto Arias<sup>2</sup>, Adrián Chavarría<sup>2</sup>, Mario Guevara<sup>3</sup>, Björn Jakobsen<sup>4</sup>, Edwin Esquivel<sup>5</sup>, Rodolfo Canessa<sup>1</sup>, Diego Camacho<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Costa Rica, <sup>2</sup>Escuela Ingeniería Forestal, <sup>3</sup>Escuela Ingeniería Agrícola, <sup>4</sup>Reforestation Group International (RGI s.a.)



**ABSTRACT**

Available land for Teak (*Tectona grandis*), cultivation has specific chemical and physical limitations that require further study and possible solutions. Costa Rica needs to keep reforested areas under the same use; however as of yet no discussion on second rotation has taken place nor any considerations regarding continuing with the same species or not, nutritional conditions of the site after harvesting or what technological package will ensure a sustainable production. What is clear is that the land used to grow teak with moderate to high productivity, should be maintained for timber production. This research has addressed improvements of soil conditions to enhance growth, by applying physical and chemical treatments not very used in reforestation in the tropics. A three-block experimental design was established using eight treatments, combining the effect of two deep tillage levels and three "intensities" of tillage implements, using 1, 3 and 5 chisel ploughs; additionally two treatments more including a fertilized non-tilt treatment and a control plot. The fertilization program was determined after careful soil analysis. Early response from treatments is being monitored suggesting what level of intensity is ideal to the species in areas of low productivity.

**OBJECTIVES**

**Main Objective**

- To increase the productivity of teak plantations (*Tectona grandis*) through technological improvement of the soil.

**Specific objectives**

- Morphologically characterize the physical and chemical soil constraints and their effect on root development, leaf area development, health and productivity of teak plantations in soils of low current productivity.
- To demonstrate the effect of deep tillage (multiple treatments) in root development, leaf area development and productivity of teak plantations.
- To evaluate the effect of the application of amendments in combination of different treatments of deep tillage.
- To monitor the dynamics of carbon fluxes in soil and biomass dynamics of fine roots, litter, soil biological activity, organic matter and water balance of the plantations in the different treatments evaluated.
- Perform financial analysis of investment in mechanization

**METHODOLOGY**

Variables measured in the plots prior to the establishment of the experiment and then every 6 months:

- Texture of each soil horizon.
- Morphological description of the soil.
- Measurement basis of growth of the initial.
- Radical dynamics in the initial.
- Monitoring of soil carbon, biological activity, litter dynamics and water balance.
- Diameter and height, live crown height, and total height of all useful trees of each experimental unit.
- The dynamics of fine roots will be monitored every two months in each of the treatments.



Figure 1. Application of Treatments on each experimental block.

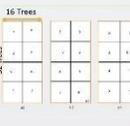


Figure 2. Treatments: 1) Control, 2) Control-Fertilization, 3) Chisel at 20 cm depth, 4) 3 Chisel at 20 cm depth, 5) Chisel at 40 cm depth, 6) 3 Chisel at 40 cm depth, 7) 5 Chisel at 40 cm depth, 8) 3 Chisel at 40 cm depth, treatments in a 6 m wide strip-rotation with 3 tons/ha of Compost(C).



Figure 3. Data collection.

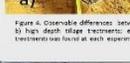


Figure 4. Closeable differences between a) the low depth tillage and b) high depth tillage treatments: evidence of good appearance of trees in the low tillage at each experimental unit.

**RESULTS AND DEVELOPMENT**

Table 1. Average differences and significance for different treatments per block after the growing period 2013-2014. a) Diameter growth, b)height in cm.

Treatment	Area	Block	Mean	St. Dev.	Signif.
1	0.02	101	46	1	13
2	0.02	101	46	1	13
3	0.02	101	46	1	13
4	0.02	101	46	1	13
5	0.02	101	46	1	13
6	0.02	101	46	1	13
7	0.02	101	46	1	13
8	0.02	101	46	1	13

**CONCLUSIONS**

- At one year after treatment application, results show no conclusive treatment to be the best, be this on height development or diameter increase. This due to the fact that stand is still assimilating to stress conditions initially generated from reaping of roots.
- However treatments 8 and 4 show to be having a negative effect as compared to the rest in height, given the severity of the treatment on established root system.
- A longer period of growth is necessary to assess treatment effect.

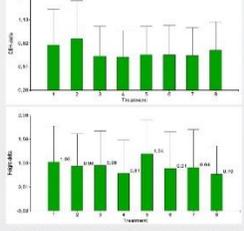


Figure 5. DBH (cm) and Height (m) growth between two growing seasons with corresponding standard deviation for the different treatments on each block.

**ACKNOWLEDGEMENTS**

- Vicerrectoría de Investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica
- Reforestation Group International, R.G.I. s.a.
- CIBI, Centro de Investigación en Ingeniería - Instituto

## B) Improving soil physic conditions teak plantations establishment in Northern Costa Rica.

Keyla Pereira, Edwin Esquivel, Dagoberto Arias, Elemer Briceño, Adrián Chavarría, Mario Guevara, Björn Jakobsen, Rodolfo Canessa, Diego Camacho  
 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Forestal

Keywords: raised beds, soil mechanization, *Tectona grandis*, drainage, sustainability.  
 A reality in Costa Rica is that finding optimal farms for cultivation of teak (*Tectona grandis*) it is becoming less feasible due to competition with other agricultural crops. It has raised the need to maintain areas used for reforestation under the same use and maintain its level of productivity for a second rotation. Therefore it is of utmost importance to obtain solutions of soil physical constraints on land with ever increasing production constraints where sustainability is vital. In Costa Rica's northern region a teak plantation was established on intensively prepared soil under the concept of "raised beds". The experimental design used, established in a randomized complete block 4 treatments and 4 repetitions in total, namely: no-tillage treatment, ripping at 60cm depth, ripping at 60cm depth with preparation of subsoil drains and one ripping at 60cm depth using "raised beds". Each experimental unit consists of 64 planted trees, for a total of 2.31 ha and 576 trees.

**Improving soil physic conditions on teak plantations establishment in Northern Costa Rica**

**TEC** Tecnológico de Costa Rica

Keyla Pereira, Edwin Esquivel, Dagoberto Arias, Elemer Briceño, Adrián Chavarría, Mario Guevara, Björn Jakobsen, Rodolfo Canessa, Diego Camacho,  
 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Forestal

**ABSTRACT**

A reality in Costa Rica is that finding optimal farms for cultivation of teak (*Tectona grandis*) it is becoming less feasible due to competition with other agricultural crops. It has raised the need to maintain areas used for reforestation under the same use and maintain its level of productivity for a second rotation. Therefore it is of utmost importance to obtain solutions of soil physical constraints on land with ever increasing production constraints where sustainability is vital.

In Costa Rica's northern region a teak plantation was established on intensively prepared soil under the concept of "raised beds". The experimental design used, established in a randomized complete block 4 treatments and 4 repetitions in total, namely: no-tillage treatment, ripping at 60cm depth, ripping at 60cm depth with preparation of subsoil drains and one ripping at 60cm depth using "raised beds". Each experimental unit consists of 64 planted trees, for a total of 2.31 ha and 576 trees.

**OBJECTIVES**

Main Objective

To increase the productivity of teak plantations *Tectona grandis* through technological improvement of the soil.

Specific objectives

- To morphologically characterize the physical and chemical soil constraints on root development and their effect on leaf area development, health and productivity of teak plantations in soils of low productivity.
- To evaluate the effect of the application of amendments (lime, fertilizer, mycorrhizae) in combination of different treatments of deep tillage.
- To quantify the effect of mechanization (deep tillage and mounds) on initial development of teak plantations in new areas of cultivation.
- To monitor the dynamics of carbon fluxes in soil and biomass dynamics of fine roots, litter, soil biological activity, organic matter and water balance of the plantations in the different treatments evaluated.
- To perform financial analysis of investment in mechanization

**METHODOLOGY**

Variables measured in the plots prior to the establishment of the experiment and then every 6 months:

- ✓ Texture of each soil horizon.
- ✓ Morphological description of the soil.
- ✓ Measurement basis of growth of the initial.
- ✓ Radical dynamics in the initial.
- ✓ Monitoring of soil carbon, biological activity, litter dynamics and water balance.
- ✓ Diameter and height, live crown height, and total height of all useful trees of each experimental unit.

**Figure 1. Soil Characterization and Sampling**

Establishment process

- The selected site for establishment for the experiment was previously harvested, a stump extraction was necessary by a crawler tractor.
- The experiment's area corresponds to a rectangle of 100 x 32 meters wide.
- Construction of "raised beds" was performed by a soil dredger 110-7 with a East-West disposition.
- Teak seedlings are come from clonal material, and were settled with a rectangular design 3 x 4 meters (3 meters between seedlings and 4 meters between rows)

**Trial Design :** The experiment consists of a block of 4 treatments (Figure 2). Each treatment is 50 meters long x 16 meters wide and covers 4 rows. The number of plants per treatment and row are specified in Table 1. Since most of rows had an uneven number of trees, fertilization was performed only on 8 seedlings per row; such procedure was repeated on all four treatments

Treatment	Row 1	Row 2	Row 3	Row 4	Total
Forest Bed 1	17	17	17	17	68
Forest 2	16	16	16	16	64
Forest Bed 3	17	17	17	16	67
Forest 4	17	17	17	16	67

**Figure 2. Field application of raised beds design.**

**Figure 3. Experimental design.**

**Figure 4. Initial condition of raised beds after implementation.**

**ACKNOWLEDGEMENTS**

Vicerrectoría de Investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica  
 Reforestation Group International (RGIS.a.)  
 Centro de Investigación en Integración Bosque - Industria

## ANEXO 7

Página de Facebook: <https://www.facebook.com/Mejora-de-Suelos-TEC-184881695205659/>

The screenshot shows the top section of the Facebook page for 'Mejora de Suelos - TEC'. The cover photo features a yellow tractor in a field. Below the cover, there are navigation tabs for 'Page', 'Messages', 'Notifications', 'Insights', and 'Publishing Tools'. A 'Promote' button is visible on the right. The page has 51 likes and 96 post reach this week. A post from March 3 at 6:23pm is visible, titled 'Mejora de Suelos - TEC' and published by Mario Guevara. The post text reads: 'Cordialmente invitados al primer taller sobre mecanización y preparación de sitio para el establecimiento de plantaciones. El curso es gratuito y tiene un cupo limitado.' Below the text is a promotional image for a 'Taller Manejo tecnológico de suelos para plantaciones multipropósito' featuring logos for TEC, mi, and other institutions.

The screenshot shows the photo album section of the Facebook page for 'Mejora de Suelos - TEC'. A 'Create Album' button is at the top left. The page displays a grid of photo albums:

- Timeline Photos**: 2 photos
- Creación de megasurcos**: 13 photos
- Mecanización en plantaciones...**: 4 photos
- Capacitación Personal Puro V...**: 5 photos
- Cover Photos**: 1 photo
- Untitled Album**: 2 photos
- Calicatas y toma de muestras ...**: 9 photos
- Profile Pictures**: 1 photo