

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y  
CONSERVACIÓN  
ESCUELA DE POSGRADO**

Efecto del establecimiento de plantaciones forestales de Teca (*Tectona grandis*  
L.f.) en áreas de potrero sobre las características  
del suelo en Petén, Guatemala

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación  
para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de  
Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

*Magister Scientiae* en Agroforestería Tropical

Por

**Aldo Fernando Rodas Castellanos**

Turrialba, Costa Rica, 2006

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

***Magister Scientiae en Agroforestería Tropical***

**FIRMANTES:**



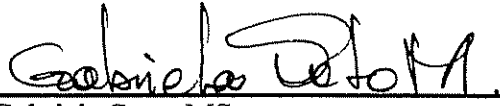
---

Andreas Nieuwenhuys, PhD.  
**Consejero Principal**



---

John Beer, PhD.  
**Miembro del Comité Consejero**



---

Gabriela Soto, MSc.  
**Miembro del Comité Consejero**



---

Jorge Cruz, MSc.  
**Miembro del Comité Consejero**



---

Glenn Galloway, PhD.  
**Decano de la Escuela de Posgrado**



---

Aldo Fernando Rodas Castellanos  
**Candidato**

# DEDICATORIA

*A Dios por guiarme*

*A mi hijo Diego Fahrid por esperarme*

*A mis papás, Carlos Rodas Reyna y Adilia Yolanda Castellanos de Rodas por su apoyo  
incondicional*

*A mis hermanos, Carlitos y Rony por compartir este triunfo y muy especialmente a  
Lester (+) por acompañarme ¡!*

*A mi familia en general, por su unidad, cariño y amor*

## AGRADECIMIENTOS

### **Deseo agradecer muy sinceramente a:**

- El CATIE, la Escuela de Posgrado y sus autoridades. Por darme la oportunidad y apoyo para realizar mis estudios de maestría.
- El proyecto CATIE/NORUEGA-PD. Por brindarme la oportunidad a través de una beca de estudios para la realización de la maestría y apoyarme económica y técnicamente en la fase campo y laboratorio de esta tesis.
- Dr. Andreas Nieuwenhuys, profesor consejero y asesor principal del presente trabajo. Por su apoyo y tiempo dedicado a esta investigación.
- MSc. Jorge Cruz, miembro de comité consejero y director nacional para Guatemala del proyecto CATIE/NORUEGA-PD. Por su apoyo incondicional en la etapa de campo de esta investigación y por sus aportes y sugerencias al documento final.
- Dr. John Beer y MSc. Gabriela Soto, por sus aportes y sugerencias a esta tesis como miembros del comité consejero.
- Los señores propietarios y administradores de fincas en las cuales se realizaron los muestreos de campo en Petén: Polo Moran, Héctor Carrillo Larios, Aristeo Tunay, Mark Fetherman, William López, Carlos Bracamontes, Edgar López y Florencio Mendoza.
- MSc. Fenanado Carrera por invitarme a hacer la maestría en CATIE.
- Al personal técnico y administrativo del INAB en Petén, por facilitarme las bases de datos de plantaciones de teca en la región y los contactos con sus respectivos propietarios.
- A la admirable ENCA y al pequeño pero grandioso CUDEP.
- A mis compañeras y compañeros de maestría, especialmente a Beatriz, Leo, Isabel, Rene, Carito, Carolina, Paco y muy cariñosamente a Olga Lucia.

## **BIOGRAFIA**

Aldo Fernando Rodas Castellanos nació el 16 de diciembre de 1975 en la ciudad de Guatemala y fue trasladado a sus pocos días de nacimiento al municipio de Poptún, Petén. Es hijo de Carlos Rodas Reyna y de Adilia Yolanda Castellanos de Rodas, tercero de cuatro hijos.

Estudió su formación primaria en la escuela oficial urbana mixta “El Reformador” en Poptún y su formación prevocacional en el Centro Educativo de Petén (CEP), en Santa Elena y el Instituto Nacional Mixto de Educación Básica (INEB) de Poptún, Petén. En 1992 ingresó a la Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), graduándose de Perito Forestal en 1995.

Seguidamente ingresa al Centro Universitario de Petén (CUDEP) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) en el cual se gradúa como Técnico Universitario en Conservación y Manejo de Bosques Tropicales en 1998 y como Ingeniero Forestal en el año 2004, tiempo en el cual trabaja paralelamente en las delegaciones de recursos no maderables y de manejo forestal en el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) región Petén (1996-2001), en el proyecto Centro Maya (2002) y en la asociación Mundo Justo (2003-2004).

Realizó sus estudios de posgrado en CATIE, Costa Rica durante los años 2005 y 2006, cursando la maestría de Agroforestería Tropical.

# CONTENIDO

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFIA.....	V
CONTENIDO .....	VI
RESUMEN .....	VIII
SUMMARY.....	X
INDICE DE CUADROS .....	XII
INDICE DE FIGURAS .....	XIV
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio .....	2
1.1.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
1.2 Hipótesis del estudio.....	2
2 MARCO CONCEPTUAL .....	3
2.1 Los suelos bajo pasturas.....	3
2.2 Los suelos bajo las plantaciones de teca.....	4
2.3 La influencia de los árboles y las plantaciones forestales sobre el suelo .....	6
2.4 Los requerimientos de la teca ( <i>Tectona grandis</i> L.f.) como especie y como cultivo ..	10
2.5 Análisis químico de suelo y foliar .....	12
3 MATERIALES Y METODOS .....	16
3.1 Localización del área de estudio.....	16
3.2 Métodos.....	17
3.2.1 <i>Fase de campo</i> .....	17
3.2.2 <i>Fase de laboratorio</i> .....	22
3.2.3 <i>Fase de gabinete</i> .....	23
3.2.4 <i>Experiencia Metodológica</i> .....	24
4 RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
4.1 Concentración de nutrientes y carbono orgánico .....	28
4.2 Comparación de características morfológicas y texturales de los suelos en áreas de potrero y de plantación de teca a distintas profundidades .....	34

4.2.1 Comparación de características morfológicas.....	34
4.2.2 Comparación de texturas .....	38
4.3 Comparación del grado de compactación de los suelos .....	40
4.4 Comparación de poblaciones de lombrices de tierra .....	41
4.5 Grado de desarrollo de las plantaciones.....	47
4.5.1 Comparación de características químicas de los suelos bajo plantaciones en relación a los niveles críticos y requerimiento de la especie .....	51
4.6 Relación Suelo-Planta y caracterización de nutrientes foliares .....	55
4.6.1 Relaciones suelo planta.....	55
4.6.2 Caracterización de nutrientes foliares.....	56
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1 Conclusiones .....	60
5.2 Recomendaciones .....	62
6 BIBLIOGRAFIA.....	64
ANEXOS .....	72

**RODAS CASTELLANOS, AF. 2006. Efecto del establecimiento de plantaciones forestales de Teca (*Tectona grandis* L.f.) en áreas de potrero sobre las características del suelo en Petén, Guatemala. Tesis M. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 90 p.**

Palabras clave: plantación de *Tectona grandis*, suelo, potrero, relación suelo-planta, lombrices de tierra, Petén, Guatemala.

## **RESUMEN**

El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos del establecimiento de teca en áreas de potrero sobre las características biológicas, morfológicas, físicas y químicas sobre las características del suelo en Petén, Guatemala. En quince lotes colindantes de plantaciones de teca, con áreas de potrero fueron comparadas las características del suelo a profundidades de 0 a 5 y 5 a 10 cm. Las plantaciones de teca varían en edades de entre 5 y 7 años. A excepción del potasio (K), no se detectaron diferencias entre las propiedades químicas de los suelos entre plantaciones y potreros.

El potasio presenta altas concentraciones en las pasturas, probablemente debido a la acumulación de K en los árboles de teca y a la alta cantidad de K reciclada en las pasturas por la orina del ganado. Las características morfológicas (estructura, consistencia y porosidad) son diferentes entre plantaciones y pasturas, generalmente las características más favorables para el desarrollo de raíces se observa en las plantaciones, en las cuales también ha disminuido el grado de compactación. Las plantaciones de teca en Petén muestran un bajo nivel de crecimiento ( $< 5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ ) en un 20% de las muestras, un nivel medio ( $5 \text{ a } 10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ ) en un 47% y alto crecimiento ( $10 \text{ a } 20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ ) en un 33% de las plantaciones estudiadas.

Las concentraciones de nutrientes foliares de las plantaciones de teca estudiadas indican principalmente un nivel medio de nutrientes. Solo el potasio muestra una correlación positiva con los niveles de crecimiento de las plantaciones, indicando que la disponibilidad de K puede influenciar el crecimiento de la teca en el área.



Una población más alta de lombrices de tierra fueron observadas en las plantaciones, comparadas con las pasturas, aunque los números absolutos fueron bastante bajos (7 y 4 individuos por m<sup>2</sup> respectivamente), posiblemente debido a la influencia de profundidades de suelo bajas o la cantidad reducida de alimento ofrecida por ambos usos de la tierra. El número de lombrices era considerablemente más alto a la profundidad de 0 a 10 cm, comparado con la profundidad 10 a 20 cm y números considerablemente más altos fueron observados en la estación lluviosa comparada con la estación seca.

**RODAS CASTELLANOS, AF. 2006. Changes in soil characteristics due to the establishment of Teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in pastures in Petén, Guatemala. Tesis M. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 90 p.**

Keywords: *Tectona grandis* plantation, soil characteristics, pasture, soil-plant relation, earthworms, Petén, Guatemala.

## **SUMMARY**

The objective of the present study was to determine the effects of the establishment of teak plantations in pasture areas on biological, morphological, physical, and chemical soil characteristics in the department of Petén, Guatemala. In fifteen adjacent plots of teak plantations and active pastures soil characteristics were compared at depths of 0-5 cm and 5-10 cm. Teak plantations varied in age between 5 and 7 years. Except for potassium (K), no differences in chemical soil properties were detected between plantations and pastures.

Potassium has higher concentrations in pastures, probably due to accumulation of K in the teak trees and to the high amount of K recycled in pastures through cattle urine. The morphological soil characteristics (structure, consistency and porosity) are different between plantations and pastures, generally more favorable characteristics for root development are observed in plantations, in which also soil bulk density is lower due to a lesser degree of compaction.

Teak plantations in Petén showed a low growth level ( $<5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ ) in 20% of the sampled plantations, a medium level ( $5\text{-}10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ ) in 47% and a high growth ( $10\text{-}20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ ) rate in 33% of the plantations studied.

The foliar nutrient concentrations of studied teak plantations indicate mainly medium levels of nutrients. Only potassium showed a positive correlation with growth level of the plantations, indicating that K availability may influence teak growth in the area.

A significant higher earthworm population was observed in plantations compared to pastures, although absolute numbers were rather low (7 and 4 individuals per  $\text{m}^2$  respectively), possible influenced by shallow soil depths or reduced amount of feed offered

by both land use systems. Number were significantly higher at a depth of 0 to 10 cm compared to a depth of 10 to 20 cm, and significantly higher numbers were observed in the wet season compared to the dry season.

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Proyectos de reforestación de teca establecidos en el departamento de Petén entre los años 1999 y 2001 visitados para localizar los lotes de muestreo. ....	18
Cuadro 2. Agrupación de sitios estudiados y sus características físicas en base unidades de paisaje.....	26
Cuadro 3. Agrupación de sitios estudiados y sus características químicas (0 a 10 cm) en base a unidades de paisaje.....	27
Cuadro 4. Resultados de comparaciones entre tratamientos (agrupando las dos profundidades) y profundidades (agrupando los dos tratamientos) para nutrientes, carbono orgánico y características químicas estudiadas. ....	28
Cuadro 5. Medias de tratamientos y profundidades que presentan interacción positiva para K. ....	30
Cuadro 6. Resultados de comparaciones entre tratamientos (agrupando las dos profundidades) y profundidades (agrupando los dos tratamientos) para características morfológicas estudiadas.....	34
Cuadro 7. Promedios y diferencias entre de la consistencia en seco y húmedo para los dos tratamientos y las dos profundidades estudiadas. ....	36
Cuadro 8. Tendencias de cambio en las características morfológicas de potrero a plantación.....	37
Cuadro 9. Promedios porcentuales de arena, limo y arcilla contenida en los suelos de los dos diferentes tratamientos y profundidades estudiadas. ....	38
Cuadro 10. Texturas de los suelos estudiados en los tratamientos y a las profundidades.....	39
Cuadro 11. Promedios de densidad aparente encontrados en los tratamientos y profundidades estudiadas.....	40
Cuadro 12. Medias y diferencias de poblaciones de lombrices de tierra encontradas en las áreas de potrero y plantación a las dos profundidades y apocas de estudio.....	42

Cuadro 13. Poblaciones de lombrices de tierra encontrados en múltiples estudios realizados en diferentes tipos de uso del suelo. ....	43
Cuadro 14. Grado de desarrollo de las plantaciones agrupadas por unidad de paisaje.....	48
Cuadro 15. Grados de desarrollo (IMA Vol. m <sup>3</sup> /ha/año) encontrados en distintas investigaciones sobre tecla en Latinoamérica.....	49
Cuadro 16. Asociaciones positivas entre elementos foliares y grado de desarrollo de las plantaciones. ....	50
Cuadro 17. Características del suelo (0 a 10 cm de profundidad) de suelos bajo plantaciones de tecla (agrupadas por UP) y comparados con niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos.....	51
Cuadro 18. Resumen porcentual del comportamiento de nutrientes y valores de pH, acidez y CO encontrados de los suelos bajo plantaciones de tecla estudiadas (0-10 cm de profundidad) en relación a niveles críticos.....	52
Cuadro 19. Resultados de recopilación hecha por Drechsel y Zech (1991); Boardman (1997) citada por Alvarado (2006) para determinar los niveles foliares de nutrientes en plantaciones de tecla.....	56
Cuadro 20. Resultados reflejado por los análisis foliares en las plantaciones de tecla estudiadas y agrupadas por UP.....	57
Cuadro 21. Comparación de los niveles foliares, edades, números de muestras y grado de desarrollo de las plantaciones de tecla en investigaciones realizadas en Centro América.....	58

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de Lundgren del efecto de la tala de bosques naturales seguidas del establecimiento de plantaciones forestales de rápido crecimiento sobre las propiedades de los suelos en los trópicos. ....	7
Figura 2. Gráfico de interacción entre la profundidad y el tratamiento para K. ....	30
Figura 3. Gráficas de los promedios, medianas y datos máximos-minimos en las características morfológicas estudiadas que reflejaron diferencias significativas.....	35
Figura 4. Gráfico de interacción entre la profundidad y el tratamiento para la consistencia en seco y en húmedo.....	36
Figura 5. Comportamiento porcentual de arena, limo y arcilla a las dos profundidades de estudio.....	40
Figura 6. Comportamiento de las poblaciones de lombrices en las distintas épocas del año (medias y error estándar).....	46

# 1 INTRODUCCIÓN

Extensas áreas de bosque tropical han sido deforestadas y transformadas a usos agropecuarios, muchas veces debido a la presión social, para establecer sistemas productivos (Lamprecht 1990). Esta situación es común en Guatemala y específicamente en Petén, en donde ha existido, durante los últimos 40 años, un fuerte cambio de uso del suelo de forestal a agrícola y luego pecuario. Esta dinámica ha propiciado iniciativas tendientes a mantener o aumentar la cobertura boscosa en Guatemala, situación que el Instituto Nacional de Bosques (INAB) ha afrontado implementando un Plan de Incentivos Forestales (PINFOR) para la conservación de bosques y la reforestación (INAB 2005). Parte de esta política es reconvertir áreas pecuarias a usos forestales y la modalidad más aplicada es la reforestación con especies nativas y exóticas. En este sentido, especies de alto valor comercial y rápido crecimiento como la teca (*Tectona grandis* L.f.) han sido establecidas ampliamente; sin embargo, no se conoce en forma precisa que efectos o modificaciones causa en el suelo. Conocer la influencia de los árboles sobre la fertilidad de los suelos resulta elemental (Márquez *et al.* 1993) para su eventual utilización en proyectos de recuperación de áreas degradadas o en manejo de sistemas que tiendan a la sostenibilidad (Montagnini *et al.* 1995).

Durante mucho tiempo ha sido reconocido que la vegetación ejerce una influencia sobre las propiedades morfológicas, físicas y químicas del suelo (Jose y Koshy 1972). No obstante, la habilidad de los árboles para mejorar sitios degradados en los trópicos es ampliamente debatido (Fisher 1995). Según Salas (1987) los cambios en el suelo bajo monocultivos forestales (plantaciones) suceden en las capas superiores y se relacionan, entre otros factores, con el suministro de materia orgánica. En áreas de potrero, la carga animal, el sistema de pastoreo y sus interacciones son importantes en los cambios físico-químicos del suelo, ya que modifican la velocidad y la eficiencia del ciclaje de nutrientes (Torres Munevar 1995).

La presente tesis determina los efectos causados sobre las características químicas, físicas, morfológicas y biológicas del suelo por el cambio de uso de la tierra de potrero a plantación de teca en Petén, Guatemala y fue realizada en el marco del proyecto de Alternativas de Uso Sostenible de la Tierra en Áreas de Pasturas Degradadas (CATIE/NORUEGA-PD).

## **1.1 Objetivos del estudio**

### *1.1.1 Objetivo general*

- Determinar el efecto del establecimiento de plantaciones de teca en áreas de potrero sobre las características morfológicas, física, químicas y biológicas del suelo.

### *1.1.2 Objetivos específicos*

- Comparar la concentración de algunos nutrientes, la cantidad de carbono orgánico y nitrógeno total, el pH y la acidez a distintas profundidades del suelo en áreas de potrero y de plantación de teca.
- Comparar las características morfológicas y texturales de los suelos en áreas de potrero y de plantación de teca a distintas profundidades.
- Determinar el grado de disminución en la compactación de los suelos en áreas de plantación de teca con respecto a los suelos en áreas de potrero.
- Determinar el impacto del establecimiento de plantaciones de teca en áreas de potrero sobre la biota del suelo, utilizando la lombriz de tierra como indicador.
- Determinar la relación suelo-planta mediante el análisis del contenido nutricional del suelo, del follaje de la teca y del crecimiento de la misma.

## **1.2 Hipótesis del estudio**

- El establecimiento de plantaciones de teca en áreas de potrero modifica las características morfológicas, físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Los suelos bajo plantaciones de teca tienen mayor disponibilidad de nutrientes y cantidad de materia orgánica que los suelos bajo pastos.
- El establecimiento de plantaciones de teca disminuye la compactación de los suelos con respecto a los suelos de potrero.
- La cantidad de lombrices de tierra es mayor en suelos bajo plantaciones de teca que en suelos de potrero.
- Existe una relación entre el contenido nutricional del suelo y del follaje de los árboles de teca.
- El contenido foliar de un nutriente es un mejor indicador del grado de desarrollo de una plantación de teca que el contenido del mismo en el suelo.



## **2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 Los suelos bajo pasturas**

El establecimiento de pasturas en áreas donde la vegetación natural es el bosque húmedo tropical, provoca cambios en los suelos (Pinzón y Amézquita 1991). En general se conoce poco sobre los cambios físicos y pedogenéticos que estas prácticas ocasionan en el suelo, aunque se sabe que bajo pasto se favorece la compactación en el horizonte superior del suelo por el pisoteo de animales.

Entre diferentes pasturas, la carga animal, el sistema de pastoreo y sus interacciones afectan la producción de la biomasa aérea y radical de la pastura, modificando la velocidad y eficiencia con que los nutrientes se reciclan en el sistema (Ayarza *et al.* 1994). El efecto del animal como cosechador puede estimular o afectar negativamente el crecimiento y la absorción de nutrientes por las plantas; además, influye sobre la proporción de los nutrientes que retornan, sea por vía de excretas de los animales o por los residuos vegetales. Por otra parte, durante el pastoreo los animales extraen cantidades importantes de nutrientes que son retenidos temporalmente, pero luego son retornados en un 75-95% al suelo, por medio de la orina y las heces. Sadeghian *et al.* (1998) indican que el pisoteo, la defoliación y el retorno de nutrientes por los animales son los principales efectos causados en el ecosistema de pastizales por el pastoreo. Además, los altos niveles de materia orgánica (MO) generada por la actividad ganadera inciden en la disminución de la compactación, densidad real, el pH y aumentan la porosidad, el contenido del agua gravimétrica, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad de los microorganismos del suelo, en comparación con cultivos anuales, café y cítricos.

Pinzón y Amézquita (1991) investigaron el efecto de 15 años de pastoreo en diferentes posiciones geomorfológicas (lomerío, terrazas bajas y vegas) en un ecosistema de bosque tropical lluvioso en Colombia (a 350 msnm, con precipitación media anual de 3600 mm y 26 °C de temperatura media anual) frente a un bosque testigo de 40 años. Reportan que el pisoteo de los animales compacta el suelo en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en el movimiento interno del agua, y un aumento en la densidad aparente. Esto trae como consecuencia una disminución en la porosidad y cambios desfavorables en la

relación suelo-agua-aire que afectan el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad. Encontraron además que la compactación del suelo aumentó con el contenido de arcilla. Por otra parte, se presentó una pérdida de estructura en los primeros 15 cm del suelo y en algunos casos la desaparición del primer horizonte.

Por su parte Torres Munevar (1995), estudió las características físicas, químicas y biológicas en suelos bajo pasturas solas y asociadas con *Arachis pintoii* posterior a 4 años de pastoreo y dos cargas contrastantes (4 y 2 unidades animales/ha) en Guápiles, Costa Rica (250 msnm, 24°C de temperatura media anual y precipitación media anual de 4500 mm). No encontró diferencias en textura, densidad aparente y porosidad total, mientras a nivel químico reporta diferencias mínimas en el pH del suelo (pastura asociada = 5.41 y pastura sola = 5.51) e indica que es probablemente el resultado de la mayor descomposición de los residuos orgánicos que se generan en pasturas asociadas. Además encontró diferencias en cuanto al K en función de la carga animal (al aumentar el número de animales/ha, las pérdidas de K aumentan en el suelo). Por último, los parámetros biológicos estudiados evidenciaron un mayor aporte de N microbiano en el N total del suelo en las pasturas asociadas, además la densidad y biomasa de lombrices fue mayor también en las pasturas asociadas.

## **2.2 Los suelos bajo las plantaciones de teca**

En un estudio realizado en Kerala, India (Jose y Koshy 1972), se compararon las características de los suelos bajo un bosque natural y en plantaciones de teca de 1, 15, 30, 60 y 120 años de edad (establecidas en áreas cuyo uso anterior eran bosques naturales). Todos los suelos estudiados eran de origen laterítico, planos y con alturas entre 100 y 200 msnm. El contenido de materia orgánica tuvo una correlación positiva con la edad del rodal; sin embargo, en plantaciones con edades entre 1 y 30 años, el contenido de materia orgánica disminuyó en comparación con el que originalmente tenían los bosques naturales (como efecto de la remoción del bosque se incrementó el movimiento de aire en el suelo y facilitó la oxidación de la MO) y luego vuelve a aumentar (a los 60 años) hasta contar con niveles similares al de los bosques naturales. En cuanto a la densidad aparente superficial afirman que esta puede aumentar en los primeros 15 años de edad de la plantación como efecto del establecimiento de la misma y las actividades silviculturales de mantenimiento. En

plantaciones de edades mayores tiende a disminuir como efecto de la incorporación de la materia orgánica al suelo.

Singh *et al.* (1986) realizaron una investigación sobre la distribución natural de teca bajo diferentes condiciones silvo-climáticas realizado en una reserva de bosque natural en Mudumalai, India, (elevaciones de 250 a 1250 msnm, con precipitación entre 750 y 1750 mm anuales y temperatura promedio anual de 23.5 a 29 °C). Concluyen que el rango de lluvia, la profundidad del suelo, el pH y el contenido de K no tiene un efecto significativo sobre la densidad (árboles/ha) de la teca. Por otra parte, varias características del sitio y del suelo si tienen un relación con la densidad natural de teca: la pendiente (a mayor pendiente menor densidad natural de teca), la textura (mayor cantidad de arena en el suelo disminuye la densidad natural de la teca), el carbono orgánico (mayores densidades de teca se observaron en suelos con mayor contenido de carbono orgánico), el P (áreas con menor densidad estaban dispuestas en zonas con alta concentración disponible de P -31 ppm-, indicando la baja utilización de este nutriente por la especie), el contenido de Ca (a mayor concentración de Ca intercambiable mayor densidad de teca) y capacidad de intercambio catiónico (a mayor capacidad de intercambio catiónico mayor densidad de teca).

Otro estudio interesante es el de Márquez *et al.* (1993) en una reserva forestal en los llanos occidentales de Ticoporo, Venezuela, en plantaciones de teca establecidas sobre una topografía plana, a 160 msnm y sobre suelos de los grandes grupos Eutropepts y Dystropepts. Se encontraron diferencias en muchas de las propiedades químicas analizadas en el suelo al hacer una comparación de plantaciones de 12, 7 y 2 años, aumentando los contenidos de materia orgánica y N en función de la edad. Observaron también que en la plantación más vieja aumentó significativamente el pH del suelo en los primeros 40 cm de profundidad, así como también su contenido de Ca y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), indicando que se debe a la incorporación de la hojarasca sobre el primer horizonte. El contenido de K en el suelo no mostró variaciones significativas entre plantaciones de distintas edades y el P presentó una disminución (3.1 ppm en la plantación de 2 años a 1.1 en la de 12), lo cual atribuyeron a su absorción continua y una redistribución interna en los tejidos en crecimiento. Sin embargo, no se conoce si los suelos estudiados eran efectivamente comparables. El hecho que los sitios se encuentran sobre suelos de 2 grandes grupos indica que probablemente no lo

sean, lo cual no permitiría concluir con certeza sobre la influencia de la teca sobre los mismos. Tampoco se presentan datos sobre la variabilidad natural en las concentraciones nutricionales que posiblemente podrían explicar una diferencia muy pequeña como la reportada para P. Por otra parte, resulta muy interesante conocer el uso anterior del suelo para generar una mejor idea sobre sus características innatas.

### **2.3 La influencia de los árboles y las plantaciones forestales sobre el suelo**

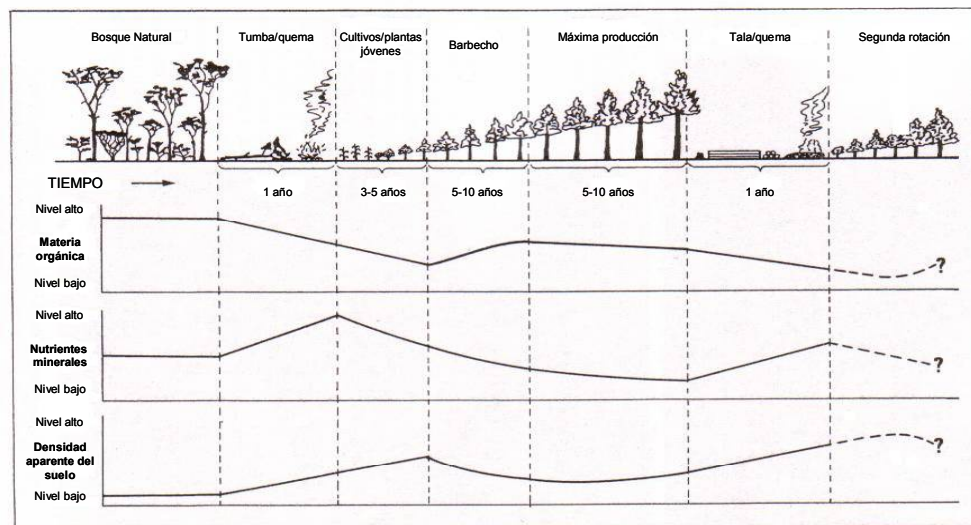
Según varios autores (Nair 1993, Young 1989) los suelos que se desarrollan bajo áreas arbóreas y bosques generalmente están bien estructurados, con una buena capacidad de retención de humedad y un alto contenido de materia orgánica. Agregan que la capacidad de los árboles para restaurar la fertilidad del suelo se puede ilustrar con muchas experiencias en países en desarrollo, que indican que la mejor manera de recuperar tierras degradadas es mediante la forestación o mediante un tipo similar de uso basado en el árbol. Sánchez *et al.* (1985), Nair (1993), Camino y Budowski (1998), coinciden en que los efectos benéficos de los árboles sobre los suelos tienen relación con el aporte de hojarasca y descomposición de raíces y esto contribuye a mantener o aumentar la materia orgánica. El amplio sistema radicular de muchas especies de árboles y la cobertura del suelo con hojarasca, también protege al mismo contra la erosión y mantienen o mejoran sus propiedades físicas. Bebartha (1999) indica que la importancia de la MO para mejorar las condiciones físicas del suelo es reconocida ampliamente, afirmando que actúa como una fuente de varias actividades biológicas y suministra nutrientes en su proceso de descomposición.

Sin embargo, para el caso específico de la especie *Tectona grandis* en la India, Jose y Koshy (1972) indican que un horizonte superficial (0-10 cm) distinto y considerablemente rico en materia orgánica solo es posible encontrarlo en bosques naturales o plantaciones mayores a 120 años de edad, agregan que a esta edad (120 años) también se denota un cambio en las características físicas del suelo bajo plantaciones.

Otros autores como Centeno (1997) indican que el establecimiento de plantaciones puras de teca han sido asociadas con el deterioro y la erosión del suelo; sin embargo, hay una limitada evidencia conclusiva, excepto cuando las plantaciones se establecen sobre terrenos con demasiada pendiente y donde la maleza del suelo ha sido eliminada sistemáticamente y/o

donde el uso del fuego ha tenido lugar. Por su parte Laurie and Griffith citado por Amponsah (1998), indican que el suelo bajo plantaciones de teca aumenta su densidad aparente e incrementa la erosión del suelo. Balagopalan y Jose (1997) indican que al eliminar el bosque natural y subsecuentemente establecer plantaciones de teca (*Tectona grandis*), eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*) o hule (*Hevea brasiliensis*) sedan cambios significativos en el suelo, la densidad aparente se incrementada y la materia orgánica, N, P, S y la mayoría de nutrientes se reducen. Sin embargo, Jose y Koshy (1972) indican que la mayoría de estudios no presentan evidencia científica que demuestren el deterioro del suelo bajo plantaciones de teca. Por otra parte, los pastos bien manejados también han sido reportados como usos del suelo que apoyan el control de la erosión (Sedeghian *et al.* 1998) y contribuyen (en el caso de las pasturas mejoradas) a incrementar la materia orgánica en la superficie del suelo (Haynes y Williams 1993).

Lundgreen (1978), propone el modelo presentado en la figura 1, como resultado de su trabajo sobre las condiciones de suelos y ciclaje de nutrientes bajo plantaciones y bosques naturales en Tanzania.



Fuente: Adaptado de Nair 1984.

Figura 1. Modelo de Lundgren del efecto de la tala de bosques naturales seguidas del establecimiento de plantaciones forestales de rápido crecimiento sobre las propiedades de los suelos en los trópicos.

Este autor concluye a grandes rasgos que importantes cambios ocurren invariablemente en el suelo cuando los bosques naturales son convertidos a otros usos, incluyendo plantaciones forestales. También indica que los efectos benéficos de los árboles sobre las propiedades de los suelos se observan más cuando dichos árboles se establecen en suelos degradados, y finalmente relata que el establecimiento de las especies más comúnmente usadas en plantaciones comerciales (pinos, eucaliptos y teca) son asociados con un relativamente pronunciado deterioro en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, comparado con el bosque natural. Desde el punto de vista de Nair (1984), en el bosque tropical natural existe un ciclaje relativamente cerrado de nutrientes entre el suelo y la vegetación, situación que no se da en las plantaciones de madera comercial.

El estudio de la influencia de los árboles sobre las características del suelo ha sido practicado incluso a nivel individual (árboles dispersos); es el caso de Belsky *et al.* (1989) quienes establecieron el efecto de los árboles sobre las características físicas, químicas y biológicas en un ambiente de sabana semi-árida en Kenya (1000 msnm y 400-500 mm de precipitación pluvial), indicando que al comparar los prados abiertos de vegetación herbácea de la sabana con los suelos bajo el dosel de la copa de los árboles, se redujo la radiación solar de 45-65% y la temperatura del suelo en 5-11° C a una profundidad de 5 cm. Mencionan también que el N mineralizable y la biomasa microbial fueron significativamente más altas en suelos bajo el dosel de los árboles que en las áreas perimetrales de influencia de la raíz y las zonas de vegetación herbácea abierta, considerando que la cantidad de materia orgánica y las concentraciones de P, K y Ca (pero no Mg), declinaron en los suelos desde la base de los árboles hacia las pasturas abiertas de las sabanas, debido especialmente al aporte de la hojarasca de los árboles.

Por su parte Montagnini y Sancho (1990), en una implementación de ensayos forestales con especies nativas (establecidas en suelos previamente usados para pastoreo extensivo), desarrollado en la estación biológica La Selva, en Costa Rica (a 50 msnm, 24 °C de temperatura media anual y 3,800 mm de precipitación anual) indican que en menos de tres años la presencia de una plantación experimental de especies nativas en conjunto había aumentado la fertilidad del sitio (los datos fueron comparados con suelos del mismo tipo en pastos cercanos), debido al aumento en la cantidad de materia orgánica en el horizonte

superior, los valores de N, Ca y Mg en conjunto y los elementos menores; sin embargo, indican que es necesario realizar mediciones a más largo plazo. Agregan que los impactos de las especies de árboles sobre los suelos dependen de los requerimientos individuales de nutrientes y agua, las características del sistema radicular, la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico y la calidad y la cantidad de hojarasca producida por el árbol.

También Fisher (1995) reporta cambios a nivel del suelo e indica que al comparar 11 especies forestales (8 nativas y 3 exóticas) establecidas sobre suelos degradados (en abandono posterior a 25 años de pastoreo) en Costa Rica encontró que después de tres años de ocupación de la plantación iniciaban a observarse cambios significativos en las propiedades del suelo. Sin embargo, la efectividad de las diferentes especies causando estos cambios varió ampliamente. Aunque la densidad aparente del suelo disminuyó significativamente bajo 8 de las 11 especies, el carbono orgánico decreció en las pasturas de control y aumentó significativamente bajo solamente tres especies forestales (una exótica leguminosa y dos nativas con fuerte producción de hojarasca), indicando que estos cambios se relacionan estrechamente con la actividad biológica. A grandes rasgos, bajo la mayoría de las especies ocurrieron cambios significantes en cuanto a los cationes del suelo (diferencias significativas en 3 especies en Ca y 4 en K).

En relación a la influencia de los árboles sobre aspectos biológicos del suelo y específicamente lombrices de tierra, Fraile Merino (1989), realizó un estudio en Turrialba, Costa Rica, sobre las poblaciones de lombrices de tierra (20 cm de profundidad) en pasturas solas, asociadas con distintas especies maderables de uso silvopastoril (*Erythrina poeppigiana* y *Cordia alliodora*) y parcelas de vegetación a libre crecimiento (sin ganado, ocupadas en más de un 95% por pasto guinea –*Panicum maximun*-). Concluyó que la densidad promedio anual de lombrices de tierra es mayor en la vegetación a libre crecimiento que en la pastura con árboles, y que ambos tienen mayor cantidad de lombrices que la pastura sin árboles. Dichos resultados se explican, entre otros aspectos, por la mayor humedad existente y la mayor cantidad de materia orgánica (ambos indicadores fueron medidos como parte del estudio) en la vegetación a libre crecimiento y pasturas con árboles, en relación a pasturas sin árboles. Adicionalmente, encontró que en los periodos más secos la abundancia y biomasa de lombrices de tierra es mayor en las pasturas con árboles y a libre crecimiento, mientras que en

los períodos húmedos existe una tendencia a igualarse la abundancia y biomasa de las lombrices de tierra en los tres distintos tratamientos.

A manera de conclusión general, la influencia de los árboles sobre el suelo depende de varios factores como: el uso anterior del suelo, el tipo de suelo, su condición de manejo (adecuado, degradado, erosionado, entre otros), la especie o especies arbóreas establecidas y su función (especialmente sobre el distanciamiento de plantación y su edad, finalidad de la reforestación, tipo de reforestación –pura o mixta-, árbol establecido, entre otros) y por último se puede mencionar también al clima como otro factor importante que puede determinar la influencia de los árboles sobre el suelo.

## **2.4 Los requerimientos de la teca (*Tectona grandis* L.f.) como especie y como cultivo**

La teca es un árbol caducifolio de tamaño grande. Es fuente de una de las maderas más valiosas y conocidas. Pertenece a la familia Verbenaceae (Weaver 1993) y es originaria de los bosques deciduos húmedos y secos del trópico de la India, Laos, Myanmar (Burma) y Tailandia, en latitudes 12 a 25° norte. Se ha establecido y adaptado bien en Malasia, Indonesia y otros países comprendidos en las latitudes 28° norte a 18° sur (Briscoe 1995).

Lamprecht (1990) indica que la teca requiere de una estación seca bien definida, que en los lugares donde se distribuye naturalmente comprende de tres a siete meses, con una precipitación media anual de 760 a 5000 mm y una temperatura media de 21 a 28° C. Indica además, que es una especie heliófita muy susceptible a la competencia interespecífica, sobre todo en su etapa juvenil y crece mejor en suelos con pH neutro. Agrega que la teca forma un sistema radicular superficial, el cual es muy susceptible a la falta de oxígeno (mal drenaje), lo cual coincide con lo descrito por Salazar F y Albertin (1974).

La teca en condiciones naturales crece en diversos tipos de suelo, alcanzando los mejores desarrollos en suelos franco-arenosos a arcillosos, fértiles, bien drenados y con pH ligeramente ácidos o neutros (Briscoe 1995 y Lamprecht 1990). Por su parte Singh *et al.* (1986), indica que las mayores densidades de teca en bosques naturales de Mudumalai, India se encuentran asociados con una textura media en el suelo, altos contenidos de carbono



orgánico, Ca intercambiable y capacidad de intercambio catiónico, así como en pendientes menores a 14%.

Según la FAO, citada por Salazar F y Albertin (1974), indican que son inadecuados los suelos compactos, arcillosos húmedos, lateríticos y arenosos secos para el buen desarrollo de la teca; agregan que es una especie muy exigente con respecto a suelos profundos, bien drenados y de poca elevación y que bajo estas condiciones, la fertilidad es un factor secundario.

Específicamente para Centro América, Chávez y Fonseca (1991) mencionan que para el buen crecimiento de la teca factores limitantes son suelos poco profundos, suelos compactados, suelos que presentan bajos contenidos de calcio y magnesio, terrenos con pendientes moderadas a fuertes y terrenos mal drenados.

Vallejos Barra (1996) en un estudio sobre productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares en la región pacífico de Costa Rica, con precipitaciones medias anuales que varían entre 1247 a 3662 mm, una estación seca de 2 a 7 meses ( $< 100$  mm mensuales), temperaturas medias anuales de  $22.6$  a  $28.4^{\circ}$  C y una elevación que va desde en nivel del mar hasta los 570 msnm; encontró que en las plantaciones estudiadas de teca, el contenido de calcio en el suelo (0-20 cm de profundidad), se encuentra altamente relacionado con el contenido de calcio foliar y magnesio foliar, en ambos casos la relación es positiva, con lo cual afirma que esta especie es eminentemente basófila, ya que al aumentar el contenido de calcio en el suelo, aumenta el contenido foliar de calcio y magnesio.

Mollinedo García (2003) en Panamá y Vaidés López (2004) en Guatemala, confirman el requerimiento de altos contenidos de calcio para su desarrollo, describiéndola como una especie basófila (necesita cantidades mayores a 8-10  $\text{cmol}^{+}/\text{l}$  para lograr un buen desarrollo). Sin embargo, Montero Mata (1999) en Costa Rica, indica que la teca no es tan demandante de altos niveles de Ca en el suelo ya que encontró un adecuado nivel de desarrollo (plantaciones 2 a 45 años de edad ) en zonas con bajos contenidos de Ca (0.7 hasta 25  $\text{cmol}^{+}/\text{l}$ ), agrega que para el caso de P la teca es muy eficiente en términos de absorción o en su utilización, ya que encontró niveles medios a nivel foliar y niveles deficientes en el suelo. Los tres autores

coinciden en que niveles de pH superiores a 5.5 son los más adecuados para el buen desarrollo de esta especie.

Además, el estudio de Vaides López (2004) refleja que en cuanto a las variables fisiográficas se debe elegir sitios para plantar teca en terrenos con elevaciones menores a 220 msnm y pendientes que no excedan el 40%, en paisajes ondulados a planos y poca a mediana pedregosidad interna. En cuanto a las variables de suelo, indica que se encontró productividad alta y excelente en suelos con un pH arriba de 5.5, y agrega que se deben elegir suelos que presenten poca o ninguna inundación (o mal drenaje) debido a que limita el crecimiento radicular de la especie.

Alvarado (2006) indica que para establecer plantaciones de teca deben evitarse las siguientes condiciones: a) suelos mal drenados, en particular Vertisoles de depresión con problemas de anegamiento por períodos prolongados, b) suelos poco profundos, dentro de ellos muchos Entisoles con afloramiento rocoso o roca a poca profundidad, c) cimbras de pendientes muy secas o muy ventosas, d) áreas en las que la distribución de lluvias se concentra en períodos muy cortos o que tiene épocas secas prolongadas (en este caso la especie tiende a botar las hojas dos veces al año) y e) regiones donde los niveles de acidez del suelo y del subsuelo sean muy elevados.

En resumen y a nivel general, todos los autores concuerdan que para un buen desarrollo la teca necesita: una estación seca bien definida, precipitación media anual de 760 a 5000 mm, una temperatura media anual de entre 21 y 28° C, suelos no compactados, bien drenados, altos contenidos de Ca, pH mayor a 5.5, elevación menor de 220 msnm y pendiente menor a 40%, entre otras.

## **2.5 Análisis químico de suelo y foliar**

El análisis del suelo es una fuente de información valiosa para su manejo y el de los cultivos; sin embargo, para que un análisis sea útil, es necesario interpretarlo debidamente.

Rodríguez y Rodríguez (2002), indican que los objetivos de un análisis de suelo son: determinar con precisión la disponibilidad de los nutrientes del suelo para las plantas, tanto las deficiencias como los excesos (de acuerdo a los cultivos). Además, ayudan a determinar las necesidades de fertilización.

Específicamente, los análisis químicos de los suelos consisten en la extracción de los nutrientes supuestamente disponibles para las plantas mediante soluciones químicas, además de la medición de características como pH, la presencia de acidez y el contenido de materia orgánica. Existen muchas y diferentes soluciones extractoras que extraen los nutrientes “disponibles” de los diferentes tipos de suelos. Sin embargo, por si solo un análisis de suelo no tiene valor, es una cifra empírica que puede reflejar o no la disponibilidad de un nutrimento para las plantas (Bertsch 1998). Agrega que las técnicas de laboratorio, cumplen con un único pero a la vez fundamental requisito, que es la sólida investigación de respaldo que las asocie con la respuesta de campo de los cultivos (conocida como correlación y calibración). El análisis del suelo probablemente es la opción más práctica para evaluar la fertilidad de los mismos. Sin embargo, existen limitaciones en cuanto a los diferentes métodos de determinación, ya que usan soluciones que aparentemente correlacionan bien para la mayoría de los suelos y cultivos, pero muchas veces los resultados son muy generales (Bertsch 1998), mientras el usuario necesita resultados específicos por cultivo y tipo de suelo.

Las fuentes de variación que influyen en el resultado de un análisis de suelo son: el error en la toma de la muestra (inadecuada distribución, toma y/o manipulación de las muestras a nivel de campo) y error analítico (variabilidad obtenida analizando repetidamente la misma muestra en laboratorio) (Rodríguez y Rodríguez 2002).

Con respecto al análisis foliar, Bertsch (1998) indica que es posible utilizar este análisis como técnica de diagnóstico de las necesidades nutritivas de las plantas. Se basa en que cada uno de los órganos de las plantas requieren una determinada concentración de cada nutriente esencial para el normal desenvolvimiento de las funciones que en ellos tiene lugar. El principio básico del análisis foliar consiste en la comparación entre los resultados del muestreo y los niveles propuestos como óptimos para un determinado cultivo. En general, se considera que las hojas

maduras y desarrolladas, son los órganos de la planta más adecuados para un análisis total de rutina (Rodríguez y Rodríguez 2002, Bertsch 1998).

El análisis foliar o de planta tienen la ventaja de integrar los efectos del suelo, la planta, el clima y el manejo. De esta forma constituye la mejor medida de la disponibilidad de los nutrientes del suelo (Rodríguez y Rodríguez 2002).

La concentración de elementos en la hoja varía con la edad fisiológica y frecuentemente con la posición. Generalmente la concentración de N, P, K, S, Cu y Zn en hojas se reducen con la edad, mientras que la concentración de Ca, Mg, Al, B, Fe y Mn tienden a incrementarse (Drechsel y Zech 1991, Rodríguez y Rodríguez 2002). Con respecto a la posición específicamente para teca, es recomendable recolectar hojas ubicadas en el tercio superior de la copa viva, iluminadas por completo y libre de daños o enfermedades (Vallejos Barra 1996, Mollinedo García 2003).

Drechsel y Zech (1991) indican que el análisis foliar y el muestreo de suelos tratan de entender el ciclaje de nutrientes, mencionando como ejemplo las posibles relaciones entre el contenido de zinc foliar y el calcio y magnesio en el suelo, argumentando que debido al medio-alto pH del suelo, se presentaba mayor disponibilidad de zinc, así como bases del suelo.

Brunck citado por Zech y Drechsel (1991), menciona en relación a los análisis foliares que los coeficientes de variación son normalmente mayores para Ca, Mg, que para N, P, y K. Por otra parte, la interpretación de los resultados de este tipo de análisis presenta limitaciones, ya que en la mayoría de los casos no se dispone de niveles críticos de nutrientes, tanto foliar como en el suelo, para las especies arbóreas tropicales, debido a que la investigación forestal en este ámbito se ha concentrado principalmente en especies de climas templados (Drechsel y Zech 1994).

A pesar de la poca información disponible, existen algunos estudios que sí muestran la validez de este tipo de análisis. Un ejemplo es el realizado por Mollinedo García (2003) en plantaciones de teca de entre 2 y 4 años de edad, en la zona oeste de la cuenca del canal de

Panamá, a 100 msnm, con precipitación pluvial que varía entre 2000 y 2500 mm anuales y temperatura media anual de entre 25 y 28° C, sobre suelos Alfisoles, Inceptisoles y Ultisoles. Se determinó que en las concentraciones foliares se encontraron en un nivel medio, comparándolos con resultados encontrados en estudios similares realizados por Drechsel y Zech (1991) y Montero Mata (1999). Además, indica haber encontrado la mayoría de plantaciones ubicadas en un grado de desarrollo medio (59%) tomando como parámetro el incremento medio anual en volumen. Encontró una correlación positiva entre el calcio foliar y el pH a tres profundidades del suelo (0-20, 20-40 y mayor a 40 cm), así como también la suma de bases a la primera profundidad del suelo y con la relación calcio-magnesio y magnesio-potasio a la tercera profundidad. Agrega que el hecho de encontrar al pH correlacionado positivamente con el calcio foliar, muestra que mientras mayor sea el nivel de pH en el suelo, mayores serán las concentraciones de calcio en las hojas.

Por su parte Montero Mata (1999) en un estudio sobre los factores de sitio que influyen en el crecimiento de plantaciones de teca (mayores a 10 años de edad) en la zona noroeste y suroeste de Costa Rica, encontró correlación positiva entre Ca, P y N del suelo con sus homólogos a nivel foliar, sin embargo, los niveles encontrados de estos y otros nutrientes a nivel foliar son medios, mientras que nivel del suelo son altos (excepto para K y P).

## **3 MATERIALES Y METODOS**

### **3.1 Localización del área de estudio**

El estudio se llevó a cabo en el departamento de Petén, en el norte de Guatemala, (latitud 16°55'16'' O y longitud 89°53'27'' N). La altitud varía entre 50 msnm en el extremo norte y 300 en el extremo sur. Tiene una extensión territorial de 35,854 km<sup>2</sup>, colinda al norte y al oeste con México, al este con Belice y al sur con los departamentos de Izabal y Baja Verapaz (Simmons *et al.* 1959, SEGEPLAN 2003).

Gelógicamente los suelos de Petén comprenden varias cuencas marinas sedimentarias, dentro de las cuales se depositaron desde fines de la era Paleozoica (hace más del 200 millones de años), grandes espesores de rocas sedimentarias que hoy día componen el subsuelo de dicha región. Dentro de las rocas que afloran en la superficie se encuentran específicamente profusas rocas calizas que corresponden al período Cretáceo al Terciario (SEGEPLAN 1992).

Las series de suelos identificadas en Petén pueden agruparse a grandes rasgos en las siguientes unidades de paisaje: lomas kársticas, áreas de karst aplanado, terrazas y planicies kársticas, lomas esquistosas, sabanas, planicies aluviales, bajos y montañas mayas.

Con respecto a los suelos de este departamento, Simmons *et al.* (1959) los dividió en dos grupos amplios: uno de “sabanas” y otro de “bosques”, identificando más de 20 subdivisiones o series. Según este autor, los suelos de “sabana” son arcillosos, están fuertemente lavados y son ácidos, cubren el 10% del área departamental. Los suelos de “bosque” ocupan el porcentaje restante del área departamental y son de gran variedad, en su mayoría son fértiles, pero muchos de ellos tienen como factores limitantes: la fuerte pendiente, la pedregosidad, el poco espesor o el mal drenaje.

El clima de Petén es tropical variable-húmedo con época larga de lluvia y con época seca desarrollada pero de duración variable entre diciembre y mayo. La temperatura media anual es de 25.5° C, la precipitación promedio anual es de unos 2,000 mm y la humedad relativa media de 84% (SEGEPLAN 2003).

De acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge (1978), en Petén se distinguen dos zonas de vida, el bosque húmedo subtropical cálido (bh-Sc) (62% del área del departamento) y el bosque muy húmedo subtropical cálido (bmh-Sc) en el 38% del área departamental (SEGEPLAN 2003).

## **3.2 Métodos**

El estudio se desarrolló en tres fases, una de campo, una de laboratorio y otra de gabinete.

### *3.2.1 Fase de campo*

#### **3.2.1.1 Selección de fincas para el estudio**

Esta etapa fue clave para ubicar el escenario adecuado. Inicialmente se visitaron las oficinas de cada una de las subregiones del INAB en Petén para conocer a detalle la base de datos y los expedientes de plantaciones de teca establecidas entre 1999 y 2001 (que ahora cuentan con edades entre 5 y 7 años y son las más antiguas de Petén). De esta base de datos se seleccionaron las fincas con reforestaciones establecidas en áreas de potrero. Luego, se procedió a hacer los contactos respectivos con los propietarios y regentes forestales, describiendo la idea de investigación y solicitando su colaboración.

Las fincas visitadas cuentan con plantaciones que constituyen las iniciativas de reforestación más antiguas del departamento de Petén con la especie *Tectona grandis* y donde con mayor posibilidad se podría ver reflejada la influencia de la plantación sobre el suelo. Dichas plantaciones fueron ingresadas al programa de incentivos forestales promovido por el INAB, obedecen a un marco de plantación de 3 x 3 m (densidad inicial de 1,111 árboles/ha) y no han sido sometidas a tratamientos de raleo.

Las 34 fincas seleccionadas fueron visitadas en un lapso de dos meses y medio. Durante esta visita se dedicó el tiempo necesario para determinar el uso del suelo anterior a la plantación, el desarrollo de la misma, su manejo y la existencia de potreros cercanos. Además, se estableció una mini calicata (de 0.50 x 0.50 x 0.50 m) en el potrero y la plantación, y se evaluaron características relacionadas al sitio y del suelo, así como una descripción de sus horizontes para facilitar su comparación (en el Anexo 1 se presenta la boleta diseñada para el

efecto). En general se pretendió evitar resultados incorrectos por detectar diferencias innatas del suelo y no de la influencia de la teca sobre los mismos. El cuadro 1 describe la situación de los proyectos en torno al estudio.

Cuadro 1. Proyectos de reforestación de teca establecidos en el departamento de Petén entre los años 1999 y 2001 visitados para localizar los lotes de muestreo.

<b>Uso anterior del suelo</b>	<b>No. de proyectos de reforestación</b>	<b>%</b>	<b>No. de sitios de muestreo</b>
Potrero pero no desarrollo adecuadamente la Teca	7	21	0
Potrero pero no cuenta con suelos comparables	2	6	0
Potrero pero mecanizo el suelo	1	3	0
Potrero pero dejo un periodo de descanso (guamil)	10	29	0
Potrero pero resembró con otras especies	2	6	0
Potrero con escenario adecuado	12	35	15
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>100</b>	<b>15</b>

Las condiciones principales para que un lote fuera considerado adecuado para el estudio fueron:

- a) reforestación pura realizada con la especie *Tectona grandis* entre los años 1999 y 2001,
- b) establecida en áreas de potrero (como uso anterior del suelo),
- c) no se mecanizó el suelo o se aplicó fertilizantes (estas dos situaciones provocarían alteraciones a las condiciones naturales del suelo y por ende probablemente mostrarían sobre todo efectos del manejo y no del cambio de uso),
- d) desarrollo adecuado de la reforestación (cierre de copas), ya que esta condición garantizaría un grado de influencia adecuado para el estudio del efecto de los árboles sobre el suelo.
- e) existencia de suelos comparables entre la plantación y el potrero.



Como se observa en el cuadro 1, un 65% de los proyectos visitados no calificaron para el estudio. En 7 de los 34 proyectos no se encontró un desarrollo adecuado de la teca, básicamente se observó un crecimiento incipiente con alturas promedios entre 3 y 5 m y diámetros a 1.30 m de la base del árbol menores a 10 cm (presentando un dosel abierto). En 2 de los proyectos visitados no se encontraron suelos comparables en las minicalicatas establecidas en las áreas de potrero y plantación, por lo tanto fueron descartados (pese a cumplir adecuadamente con el resto de requisitos); en uno de los proyectos visitados se había mecanizado el suelo mediante tractor agrícola previo al establecimiento de la plantación y en 10 de los proyectos se había dejado un periodo de descanso (denominado localmente “guamil”) de entre 4 y 12 años previo al establecimiento de la plantación, lo cual los excluye del estudio debido a que no se puede determinar con certeza si los posibles cambios encontrados en el suelo son efecto de las plantaciones de teca o bien del proceso de sucesión ecológica generada por dicho periodo de inactividad.

Fueron 12 los proyectos de reforestación que presentaron un escenario adecuado y de éstos se seleccionaron 15 lotes de muestreo (plantación-potrero), ya que algunos proyectos proporcionaban más de un lote adecuado para el estudio. En la totalidad de lotes seleccionados las plantaciones eran aledañas a los potreros (generalmente separada por una cerca) y se encuentran ubicados en 4 de los 12 municipios de Petén (San Luís -3-, Santa Ana -1-, La Libertad -5- y Sayaxché -6-) (Anexo 2).

### **3.2.1.2 Unidades de muestreo**

La unidad de muestreo estuvo constituida por lotes (potrero-plantación) en áreas con características similares de suelo y topografía. Con respecto a las superficies de las áreas de potrero y plantación estudiadas, se tomó el criterio de estandarizarlas hacia la unidad menor; por ejemplo, si se encontraba un potrero de 1 ha de superficie y una plantación de 3 ha (ambas con las características de similitud de suelos, topografía y crecimiento de la plantación), se muestreó la totalidad del área de potrero y solamente 1 ha del área de plantación. La superficie mínima estudiada fue de 1 ha.

- **Muestra de suelos con fines morfológicos, físicos y químicos**

Para los análisis químicos y de textura se tomaron dos muestras compuestas por lote (una en el área de plantación y una en el área de potrero). Cada muestra compuesta estuvo conformada por 12 submuestras de igual volumen y profundidad. Las submuestras se tomaron en puntos al azar dentro del área muestreada, para abarcar más variabilidad natural (Bertsch 1998, Rodríguez y Rodríguez 2002). Se evitó tomar muestras en lugares con alguna particularidad específica que no fuera representativa de toda el área muestreada (por ejemplo: pedregosidad atípica), así como evitando el efecto de borde (25 mt) (Henríquez y Cabalceta 1999, Rodríguez y Rodríguez 2002). Con respecto al distanciamiento entre la toma de la muestra y la base del árbol, en el caso de las plantaciones (densidad inicial estándar de 1,111 plantas/ha) este fue de un metro (ya que se estimó que a esta distancia se puede tener una clara influencia del árbol sobre el suelo).

Cada submuestra se tomó a través de una pequeña excavación de aproximadamente de 0.20 x 0.20 y 0.20 m de profundidad, utilizando para el efecto una piocha. Se tomaron muestras de 2 profundidades: 0-5 y 5-10 cm. La razón de utilizar estas profundidades obedece a que el presente estudio trata de determinar el efecto de las plantaciones de teca establecidas en áreas de potrero y dicho efecto se presenta con mayor posibilidad en los horizontes superiores, en donde existe mayor actividad radicular de la teca y del pasto (Salazar y Albertin 1974, Saldarriaga citado por Chaves y Fonseca 1991) y donde el posible efecto de pastoreo (pisoteo) ha sido más pronunciado.

Se tomaron aproximadamente 200 gr de suelo en cada una de las submuestras y para cada una de las profundidades, luego se utilizó el método de cuarteo para obtener la representatividad adecuada en la muestra final para su posterior análisis (Henríquez y Cabalceta 1999). Aunque la toma de muestras se llevó a cabo entre marzo y mayo del 2006 (durante la época seca), inmediatamente después del muestreo las muestras fueron limpiadas de raíces y piedras visibles y secadas en la sombra durante 48 horas aproximadamente antes de su almacenamiento temporal. Finalmente, fueron ingresadas al laboratorio del CATIE en Costa Rica a finales del mes de mayo del 2006.

Las características morfológicas del suelo se determinaron en campo, para lo cual se realizó una descripción de las dos profundidades (0-5 y 5-10 cm) de una de las paredes de 6 excavaciones de submuestreo, escogidos al azar de las 12 excavaciones realizadas para la toma de muestras para el análisis químico. La descripción se realizó con base en la guía para la descripción de perfiles de suelo (FAO 1990) definiendo el tipo y tamaño de estructura, la consistencia (en seco y en húmedo) y la porosidad (abundancia y diámetro). El Anexo 3 describe con mayor detalle cada uno de los parámetros anteriores.

La densidad aparente se determinó a las dos profundidades seleccionadas por medio del método de cilindro de acero de volumen conocido en 6 de los puntos seleccionados para la descripción morfológica. Se utilizó el laboratorio del Centro Universitario de Petén (CUDEP) para completar las estimaciones (pesado y secado de las muestras, corrección por presencia de piedras y concreciones).

- **Muestra de suelos con fines biológicos**

De los 12 puntos de muestreo de suelos con fines químicos y de textura se escogieron al azar 5 de ellos para el muestreo de lombrices, tanto en el área de potrero como en el área de la plantación. Las dimensiones de las excavaciones para este muestreo fueron 0.50 m x 0.50 m x 0.20 m, realizando un minucioso conteo manual de la cantidad de lombrices (sin diferenciar el tamaño de las mismas) a 2 profundidades: 0-10 y 10-20 cm.

Considerando los resultados encontrados por Fraile Merino (1989), se tomaron dos muestras, una en verano (finales de marzo) y otra en invierno (finales de junio y principios de julio).

- **Muestra foliar**

Con respecto a las muestras foliares de teca se tomó una por cada lote estudiado (15 en total), seleccionando al azar de 5 a 10 árboles dominantes, recolectando de 6 a 8 hojas ubicadas en el tercio superior de la copa viva, iluminadas por completo y libre de daños o enfermedades (Vallejos Barra 1996, Mollinedo García 2003). Las hojas recolectadas fueron cortadas en pequeños trozos, para luego mezclarlos y obtener una muestra compuesta por el método de

cuarteo. Esta muestra compuesta fue secada a 60° C durante 48 horas aproximadamente para su posterior análisis de laboratorio.

Considerando que la teca es una especie caducifolia y en la zona de estudio pierde sus hojas en la primera quincena de marzo, se tomó la muestra foliar en la última semana del mes de junio, fecha en la cual la teca tiene de nuevo hojas de aproximadamente 3 meses de edad, consideradas como adecuadas para la investigación.

- **Muestra de evaluación del crecimiento de la plantación**

Con la finalidad de poder correlacionar el estado de desarrollo de las plantaciones con su estado nutricional foliar, se establecieron parcelas de muestreo forestal, para lo cual se realizó una estratificación tomando como referencia la edad de la plantación y su altura dominante, diferenciando en cada plantación lugares con bajo y alto crecimiento. La metodología seguida para el establecimiento de dichas parcelas tuvo como fundamento parcial el sistema MIRA-SILV (Ugalde 2001), contando con un área de 500 m<sup>2</sup>, que equivale a 56 árboles con un marco de plantación establecido en Petén (3 x 3 m).

Se tomaron las siguientes variables silvícolas: altura total, diámetro en centímetros a 1.30 m de altura del fuste, edad a la fecha de la medición, número inicial y actual de árboles plantados por parcela (500 m<sup>2</sup>). Las variables anteriores fueron introducidas al software del sistema MIRA-SILV, para obtener, entre otras variables, número de árboles por ha, el incremento medio anual (IMA) en diámetro y altura, área basal en m<sup>2</sup>/ha, volumen total con corteza en m<sup>3</sup>/ha (utilizando el factor de forma 0.45).

### *3.2.2 Fase de laboratorio*

Esta fase fue desarrollada por el laboratorio de análisis de suelos, tejido vegetal y aguas del CATIE, para lo cual se enviaron las muestras desde Guatemala y se analizaron las siguientes características:

### **3.2.2.1 Textura del suelo**

La textura se determinó por granulometría con el método de Bouyucos (lecturas iniciales a los 40 segundos y finales a las 2 horas).

### **3.2.2.2 Características químicas del suelo**

Las variables químicas consideradas en la investigación fueron: el pH determinado en agua con relación suelo:agua 1:2.5, el P y K que fueron determinados por medio de la extracción en Olsen Modificada (pH 8.5), el Ca, Mg y la acidez extraíble que fueron determinados por medio de extracción en cloruro de potasio 1N, y por último, el C y N total que se determinaron por el método de combustión total (después de la eliminación de carbonatos con ácido clorhídrico 1+1). Todos los resultados de laboratorio fueron presentados en base seca.

### **3.2.2.3 Características químicas del follaje**

Para el caso de las muestras foliares se realizó un análisis que inició con la digestión húmeda con mezcla de ácidos nítrico-perclórico 5:1. El análisis comprendió los elementos Ca, Mg y K, mediante el método de absorción atómica y mediante el método colorimétrico del extracto de digestión nítrico-perclórica para P. El N y C total por combustión mediante autoanализador.

## **3.2.3 Fase de gabinete**

### **3.2.3.1 Generación de base de datos**

Posterior a los análisis de laboratorio se procedió a establecer bases de datos en una hoja electrónica, utilizando para el efecto el programa Microsoft Excel, organizándolas de tal forma que permitan ser exportadas al programa Infostat y ser analizadas estadísticamente.

Para el caso específico del estudio de la morfología fue necesario convertir datos cualitativos a cuantitativos, para lo cual se asignaron códigos numéricos a cada categoría y de esta forma poder ser analizados estadísticamente (Anexo 4). Con relación al estado de crecimiento de las plantaciones, se ingresaron los datos al programa Mira-Silv para clasificar sus categorías de crecimiento.

### 3.2.3.2 Comparación de características del suelo

Considerando que en el presente estudio la variable fue la diferencia entre los valores de cada uno de los lotes observados (potrero-plantación), tanto para aspectos morfológicos, físicos, químicos y biológicos, se realizó un análisis bajo un modelo para un diseño en parcelas divididas con repeticiones en bloques completos aleatorizados, donde los bloques son las fincas de los productores. En la parcela principal se contemplan los dos tratamientos (potrero-plantación) y en las subparcelas las profundidades (0 – 5 y 5- 10) (Di Rienzo *et al.* 2003).

Interpretando el planteamiento metodológico, el presente estudio contó con 4 tratamientos, los cuales surgen de la combinación de los factores profundidad (0-5 y 5-10 cm) y tipo de uso (potrero-plantación). Se utilizó la técnica de análisis de varianza (que permite probar hipótesis referidas a los parámetros de posición –esperanza- de dos o más distribuciones) y se compararon las medias mediante contrastes ortogonales que permiten hacer comparaciones entre medias planeadas previamente al análisis de la varianza.

Para el caso de la relación suelo-planta se construyó una matriz de correlación de Pearson para determinar la asociación entre nutrientes del suelo y foliares.

### 3.2.4 Experiencia Metodológica

La presente investigación planteó una metodología que se cumplió en un 95% a nivel de campo, permitiendo desarrollar en tiempo y espacio los objetivos planteados; sin embargo, existieron secciones claves y la más importante de ellas fue la selección de lotes para el estudio, ya que permitió identificar el escenario adecuado para determinar el efecto de las plantaciones forestales de teca establecidas en áreas de potrero sobre las características del suelo. Todo el proceso, iniciado desde el acercamiento al INAB, las entrevistas con los propietarios o administradores de las fincas e incluyendo las visitas de campo (establecimiento de minicalcatas), plantearon un claro enfoque inducido a reflejar cambios en el suelo provocados por influencia de la teca en los mismos.

Pese a que la selección de fincas fue una etapa que dilató dos meses y medio (40% del tiempo total destinado para la etapa de campo), requiriendo de la visita a 34 fincas (de las cuales

solamente un 35% cumplieran con los requisitos planteados), se considera que esta inversión en tiempo fue necesaria para poder cumplir adecuadamente con los objetivos planteados. La elaboración de una boleta especialmente diseñada para poder hacer la comparación entre lotes (potrero-plantación) facilitó ampliamente el proceso de confirmación de trabajo sobre suelos efectivamente comparables. Además, la participación del INAB facilitando la base de datos de proyectos de reforestación establecidos con teca en Petén (1999 al 2001), así como proporcionando información sobre el historial de uso del suelo, fue muy importante para avanzar con efectividad en la fase inicial de campo.

Con respecto a la toma de muestras de suelo, fue relevante la aleatorización de las submuestras dentro de las áreas de potrero y plantación, así como el criterio de realizar un estudio superficial en las capas del suelo (0 a 5 y 5 a 10 cm), debido a que es la sección del mismo más sensible a reflejar cambios como efecto de las coberturas. También fue relevante la adecuada manipulación de las muestras de suelo para análisis químico y textural, requiriendo de un secado inicial a sombra y posteriormente almacenadas para su análisis final.

Con respecto a las muestras foliares, fue clave la disponibilidad de un horno, ubicado en la cabecera departamental de Petén (laboratorio del CUDEP), ya que fue necesario recolectar las muestras a nivel de campo y trasladarlas de inmediato para su proceso de secado. De esta manera se evitó que las muestras foliares pudieran dañarse por la presencia de hongos.

Una vez obtenida toda la información química, física, morfológica y la caracterización de las minicalcatas, fue posible realizar una clasificación en unidades de paisaje, que describen las principales características de los sitios en los cuales se desarrolló la investigación.

Finalmente, la realización de un análisis estadístico en parcelas divididas, permitió conocer los cambios en cuanto a las características químicas, físicas, biológicas y morfológicas a nivel de los tratamientos (potrero-plantación), así como a nivel de las profundidades del estudio (0 a 5 y 5 a 10 cm).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSION

Los 15 sitios seleccionados fueron agrupados en 5 unidades de paisaje (UP), utilizando las clasificaciones generales propuestas por SEGEPLAN (1992) y Bach Fenger (2005). La agrupación toma en cuenta tres aspectos principales: fisiografía, descripción de minicalicatas y características físico-químicas del suelo (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Agrupación de sitios estudiados y sus características físicas con base en unidades de paisaje (textura y densidad aparente corresponden a una profundidad de 0 a 10 cm).

No.	Unidades de Paisaje	Lotes	Elevación msnm	Pend. %	Textura (%)			DA*	Características particulares
					Arena	Limo	Arcilla		
1	Depresiones kársticas con drenaje impedido	Paraíso plano	18	4	37	20	43	0.87	Presentan un horizonte A oscuro, sobre un horizonte B grisáceo, adherente y plástico, que evidencia mal drenaje
		La Cachimba	147						
2	Planicies kársticas residuales formadas sobre caliza cretácea relativamente dura	Sofía	150	3	42	20	38	1.15	Presencia de afloramientos rocosos, un horizonte superficial (20 cm) oscuro, ubicado sobre un horizonte CB con alta abundancia de piedras calizas (50 a 70%)
		Todico	175						
		Astorga piedra	162						
3	Llanuras y planicies aluviales	La hojarasca	149	2	39	22	38	1.00	Suelos profundos, bien drenados, sin piedras, con un horizonte A café oscuro sobre un B café rojizo
		Subin	151						
		Maranatha 99	150						
		Maranatha 2000	145						
4	Terrazas y planicies aluviales	Astorga 99	138	2	59	25	16	1.36	Suelos bien drenados, sin presencia de piedras o pedregones, profundos, con un horizonte A oscuro sobre un B cafésaceo, predominancia de arena en todo el perfil
		Astorga AC	146						
		Astorga BC	183						
		Teva	190						
5	Pequeñas lomas kársticas	Noctún	340	25	38	19	43	0.83	Suelos en terrenos con pendiente moderadamente escarpada, con horizonte A oscuro sobre material parental de roca caliza
		Paraíso cerro	32						

\* Densidad Aparente (gr/cm<sup>3</sup>)



Cuadro 3. Agrupación de sitios estudiados y sus características químicas (0 a 10 cm) en base a unidades de paisaje.

No.	Unidades de Paisaje	Lotes	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	C.O.	N.T.	Rel. C:N
			H <sub>2</sub> O	-----cmol(+)/kg-----					mg/kg	-----%-----	
1	Depresiones kársticas con drenaje impedido	Paraiso plano	7.1	0.06	37.2	4.1	0.41	3.34	8.1	0.77	9.57
		La Cachimba									
2	Planicies kársticas residuales formadas sobre caliza cretácea relativamente dura	Sofia	7.5	0.06	23.0	7.7	0.51	3.00	4.9	0.56	11.49
		Todico									
		Astorga piedra									
3	Llanuras y planicies aluviales	La hojarasca	7.1	0.07	15.2	2.3	0.24	4.27	4.4	0.44	10.25
		Subin									
		Maranatha 99									
		Maranatha 2000									
4	Terrazas y planicies aluviales	Astorga 99	6.5	0.05	10.9	2.0	0.27	3.78	3.6	0.39	11.18
		Astorga AC									
		Astorga BC									
		Teva									
5	Pequeñas lomas kársticas	Noctún	6.6	0.06	46.0	4.2	0.21	1.88	7.0	0.67	9.69
		Paraiso cerro									

Como se puede observar en los cuadros anteriores, los sitios estudiados se ubican en paisajes y suelos claramente diferentes. La unidad de paisaje 1 se diferencia sobre todo por presentar problemas de drenaje, las unidades 2 y 5 por ser suelos poco profundos sobre calizas, pero variables en topografía. Las unidades 3 y 4 se ubican en llanuras aluviales sobre suelos profundos, pero presentan algunas diferencias morfológicas (color, como indicador de mineralogía de las arcillas) y texturales importantes.

Estas diferencias entre los sitios enfatizan la necesidad del enfoque utilizado en este estudio de comparar entre lotes apareados de plantación-potrero, e indica claramente que un enfoque de comparaciones entre grupos hubiera sido erróneo.

A su vez, los sitios estudiados abarcan varios de los paisajes y suelos identificados por SEGEPLAN (1992) y Bach Fenger (2005) como importantes en Petén. Sin embargo, ninguno de los sitios está en el paisaje de la sabana, ni en el paisaje típico del noreste de Petén, conformado por terrenos suavemente ondulados sobre calizas suaves con suelos altamente alcalinos (pH >8).

## 4.1 Concentración de nutrientes y carbono orgánico

En los suelos de las plantaciones y potreros estudiados se determinó la disponibilidad de los nutrientes Ca, Mg, K y P. Además se estudió la presencia de acidez extraíble, el pH y el contenido total de carbono orgánico (CO), N (NT) y la relación C:N. Los resultados de las comparaciones entre tratamientos (potrero-plantación) y profundidades (0 a 5 y 5 a 10 cm) se presentan en el cuadro 4. No se discuten diferencias en acidez, ya que los valores son mínimos (cerca del límite de detección) e indica que la acidez no es relevante en los suelos estudiados. En el Anexo 5 se presentan los resultados de los análisis químicos por lote y profundidad.

Cuadro 4. Resultados de comparaciones entre tratamientos (agrupando las dos profundidades) y profundidades (agrupando los dos tratamientos) para nutrientes, carbono orgánico y características químicas estudiadas.

Nutrientes, CO y características químicas	n	Tratamientos (agrupa ambas profundidades)		Nutrientes, CO y características químicas	n	Profundidades (agrupa ambos tratamientos)	
		Medias y Diferencias**				Medias y Diferencias**	
		Plantación	Potrero			0 a 5 cm	5 a 10 cm
Ca cmol(+)/kg	30	22.2 a	23.2 a	Ca cmol(+)/kg	30	23.3 a	22.1 b
Ca (Rangos)*	30	30.9 a	30.1 a	Ca (Rangos)*	30	32.1 a	28.9 b
Mg cmol(+)/kg	30	3.6 a	4.0 a	Mg cmol(+)/kg	30	4.2 a	3.4 b
K cmol(+)/kg	30	Presenta interacción		K cmol(+)/kg	30	Presenta interacción	
P mg/kg	30	3.32 a	3.56 a	P mg/kg	30	4.61 a	2.27 b
pH	30	7.0 a	6.9 a	pH	30	7.0 a	6.9 b
CO %	30	5.0 a	5.2 a	CO %	30	6.3 a	4.0 b
NT %	30	0.52 a	0.53 a	NT %	30	0.61 a	0.44 b
Rel C:N	30	10.7 a	10.5 a	Rel C:N	30	9.9 a	11.2 b

\* Ca requirió de una agrupación por rangos ya que no se distribuía normalmente

\*\* Letras diferentes en la misma línea denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

Como se observa en el cuadro anterior, todas las características químicas estudiadas, no presentan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) al comparar los suelos de potreros y los de plantaciones (agrupando las dos profundidades en conjunto), a excepción de K, cuya diferencia es explicada con mayor detalle más adelante, por presentar una interacción positiva tratamiento-profundidad. Con respecto a la profundidad (estudiando los tratamientos en conjunto), se observan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en todos los casos.

Hasta donde se ha podido investigar en la literatura, no existe ninguna investigación específica sobre cambios en el suelo causados por el establecimiento de plantaciones de teca sobre áreas de potreros. La mayoría de los estudios que mencionan algún impacto de plantaciones sobre propiedades del suelo son enfocados a realizar comparaciones de cronosecuencias de plantaciones de distintas edades (Jose y Koshy 1972, Márquez *et al.* 1993) o comparaciones entre plantaciones de teca y bosques naturales (Lundgren 1978, Hase y Foelster 1983, Totey *et al.* 1986, Singh *et al.* 1986, Amponsah 1998). Además, muchas de estas investigaciones no indican con claridad si las comparaciones se realizaron sobre suelos efectivamente comparables. Como ejemplo, se citan los siguientes dos casos:

A) Amponsah (1998) quien indica haber encontrado mayores concentraciones de N total, P disponible, K intercambiable, Ca, Mg y MO en suelos bajo bosques naturales en relación a plantaciones de teca. Sin embargo, también reporta diferencias a nivel del porcentaje de arena (indicando que es mayor en el área de bosque). Esto hace suponer que las comparaciones se realizaron sobre diferentes suelos, ya que esta característica no puede variar en 20 años de establecida una plantación.

B) Márquez *et al.* (1993) indican haber encontrado diferencias químicas en el suelo al estudiar una cronosecuencia de plantaciones de teca (2, 7 y 12 años de edad), reportando un aumento de 53.3% en el contenido de N al comparar plantaciones de 2 y 12 años de edad, un incremento en las concentraciones Ca, Mg y el pH en favor de las plantaciones más viejas y un decrecimiento de P (2.7 veces en relación a la plantación de 2 y 12 años). Sin embargo, solamente indica que las plantaciones corresponden a suelos de los grandes grupos Eutropepts y Dystropepts y no se analizó con detalle si se trataba de suelos efectivamente comparables, además, de no especificar el uso anterior del suelo.

Los resultados estadísticos del análisis de K presentan una interacción positiva ( $p \leq 0.05$ ) entre el tratamiento y la profundidad, por lo que sus resultados no pueden ser explicados de forma independiente (Figura 2).

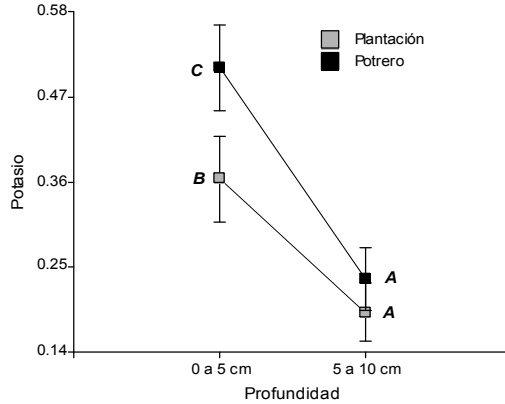


Figura 2. Gráfico de interacción entre la profundidad y el contenido de K en suelos de sistemas de pasto y plantación de teca.

La figura anterior y el cuadro 5 indican que no existen diferencias significativas entre potrero y plantación a una profundidad de 5-10 cm, pero si a la profundidad de 0-5 cm, ( $p=0.0001$ ). Esto ratifica que los cambios encontrados en relación a este nutriente son detectados en la capa más superficial del suelo, donde el efecto de la orina en las pasturas y la demanda de nutrientes por parte de la teca es más pronunciado.

Cuadro 5. Medias de tratamientos y profundidades que presentan interacción positiva para K.

Profundidad	Tratamientos	n	Medias y Diferencias* K cmol(+)/kg
5 a 10 cm	Plantación	15	0.19 a
5 a 10 cm	Potrero	15	0.23 a
0 a 5 cm	Plantación	15	0.36 b
0 a 5 cm	Potrero	15	0.50 c

\* Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

Las mayores concentraciones de K en las áreas de potrero, comparadas con las áreas de plantación de teca, puede deberse a dos factores principales: el reciclaje de K a través de la orina del ganado y la acumulación de K en los árboles de teca. En potreros activos, la carga animal, el sistema de pastoreo y sus interacciones afectan la producción de la biomasa aérea y radical de la pastura, modificando la velocidad y eficiencia con que los nutrientes se reciclan en el sistema (Ayarza *et al.* 1994). Durante el pastoreo los animales extraen cantidades

importantes de nutrientes, que son retenidos temporalmente, pero luego son retornados en un 75-95% al suelo, por medio de la orina y las heces. El K consumido por los animales es excretado predominantemente por la orina (>85%), así como también por las heces (10%) y solamente un 5% es retenido por el animal para producir leche y carne (Haynes y Williams, 1993). En cuanto a la forma de retorno indican que el potasio contenido en la orina y el estiércol está en forma iónica (soluble en agua) y por lo consiguiente fácilmente disponible para la planta.

Funes citado por Sadeghian *et al.* (1998), indican que los suelos de sistemas intensivos de producción ganadera se distinguen por su alto contenido de K, básicamente por los aportes que reciben de la orina provenientes de los animales. Además indican que al determinar el impacto de sistemas ganaderos sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo en los Andes de Colombia, encontraron que los altos aportes de K son provenientes de la orina de los animales.

Por otra parte, las plantaciones de teca en este estudio se encuentran en el inicio de su etapa de mayor demanda de nutrientes, por presentar un crecimiento y un desarrollo activo con relativamente poco retorno al suelo (Salas 1987). La acumulación de nutrientes en plantaciones de teca es ilustrado por Nwoboshi (1984), quien en plantaciones de 7 años de edad encontró que en la biomasa seca sobre el suelo existe una cantidad de nutrientes aproximada de 635 kg/ha de K<sup>1</sup>, 394 de N, 281 de Ca, 120 de P y 112 de Mg. El autor agrega que los requerimientos anuales mínimos de nutrientes para esta edad son aproximadamente 232, 139, 96, 40 y 29 kg/ha de K, N, Ca, P y Mg respectivamente. Por su parte Hase y Foelster (1983) como resultado de un inventario de los macronutrientes en plantaciones de teca establecidas en suelos aluviales en Caparo, al oeste de Venezuela, encontraron que el 70% de K y entre el 40 y 50% del Ca se almacena en la vegetación.

Resulta claro que el K cumple un rol importante en esta etapa de desarrollo de las plantaciones ya que es el de mayor demanda en el suelo y contenido en los árboles.

Por lo tanto, es probable que el activo reciclaje de K en pasturas activas y la alta extracción e inmovilización de K en plantaciones de teca sean responsables de las diferencias encontradas.

---

<sup>1</sup> De esta cantidad 330 kg/ha se ubican en el fuste, 115 en la corteza, 100 en las ramas y 90 en las hojas.

- **Concentraciones en relación a la profundidad**

La concentración de nutrientes es mayor en la primera profundidad estudiada, situación muy común en suelos (Jose y Koshy 1972, Egunjobi 1974, Amponsah 1998, Mollinedo García 2003, entre otros) y también encontrado en todos los suelos de Petén por Bach Fenger (2005). Esto se debe a que la disponibilidad de materia orgánica y otros nutrientes en el suelo disminuyen debido a que en la capa superficial se desarrolla una mayor actividad biológica y de incorporación de nutrientes.

- **Contenido de Carbono Orgánico**

El presente estudio no encontró diferencias significativas en el contenido de CO en los suelos entre plantaciones y potreros. Otro estudio que no encontró diferencias en los contenidos de CO, fue el desarrollado por Heredia Vólquez (1996) en CATIE y relacionado al cultivo en callejones, indicando que posterior a 6 años los valores eran similares en parcelas con y sin árboles.

Sin embargo, otras investigaciones llevadas a cabo específicamente en bosques y plantaciones de teca con edades mayores a las observados en la presente investigación, si reflejan un aumento significativo en cuanto al contenido de MO. Jose y Koshy (1972) en Kerala, India, comparando un bosque natural con plantaciones de teca de 1, 15, 30, 60 y 120 años de edad (cuyo uso anterior también era bosque natural), encontraron que el contenido de materia orgánica tuvo una correlación positiva con la edad del rodal. Sin embargo, la dinámica de aumento de materia orgánica (0 a 30 cm de profundidad) disminuye en plantaciones de entre 1 y 30 años de edad, como efecto de la remoción del bosque natural anterior (trae como consecuencia el movimiento de aire y facilita la oxidación de la MO), y luego vuelve aumentar (bosque natural = 5.3% MO, plantación 15-30 años = 2.2, plantación > 60 años = 5.8%). Sin embargo, los datos presentados dejan dudas si los sitios comparados en el mencionado estudio realmente eran comparables entre si (bosques naturales y plantaciones de distintas edades).

Otro caso es el estudio de Márquez *et al.* (1993), en Ticoporo, Venezuela quienes coinciden en que la MO aumenta (0 a 40 cm de profundidad) en función de la edad de la plantación (2 años = 2.9% MO, 7 años = 3.40% MO y 12 años = 4.80% MO), agregan que esta característica del suelo proporciona una mayor capacidad de retención de cationes.

Por su parte Montagnini y Sancho (1990) en un experimento desarrollado para determinar la influencia de reforestaciones con especies nativas (3 años de edad), pastos y bosque natural sobre la fertilidad de los suelos en las capas superficiales (0 a 15 cm de profundidad) en la región Atlántica de Costa Rica, encontraron un porcentaje mayor de MO (5.31 a 6.60%) en el área de plantación en relación al área de pastos (4.83%) y menor que el área de bosque (7.58%). Sin embargo, de nuevo se debe dudar sobre la comparabilidad de los sitios, ya que las plantaciones de este estudio fueron establecidos en áreas de potreros abandonadas por varios años y con poco tiempo de uso, mientras los potreros activos, que funcionaron como testigos, tenían muchos años de uso. Por lo tanto, el efecto de la plantación podría estar mezclado con el efecto de la fase del abandono.

Al igual que en otros numerosos estudios (p.e. Mollinedo Garcia 2003) en la presente investigación se encontró que los niveles de MO son más altos en la primera profundidad (0 a 5 cm) y estadísticamente son diferentes a los de 5-10 cm ( $p=0.0001$ ). Jose y Koshy (1972), indican que el horizonte superficial es el más beneficiado con el aumento de la MO y que esta puede llegar a propiciar cambios físicos (densidad aparente o cantidad y tamaño de poros) en profundidades de 0 a 10 cm, además afirman que horizontes superficiales diferentes en cuanto a MO, dentro de las áreas incluidas en su estudio, solo se encontraron en bosques naturales y plantaciones de teca de 120 años de edad.

Pese a que se esperaba encontrar una mayor concentración de nutrientes y CO en los suelos bajo plantaciones de teca, no se observaron tales cambios. Es probable que se deba a la corta edad de las plantaciones o bien a que el ciclaje y la dinámica de nutrientes en el área de potreros sea similar a de la teca de entre 5 y 7 años de edad. Se debe tomar en cuenta que el tipo de pasto podría influenciar el resultado, ya que la gran mayoría de potreros estudiados cuentan con pasturas mejoradas del género *Brachiaria*, un género conocido por una alta producción de biomasa (Payán Masis 2006).

## 4.2 Comparación de características morfológicas y texturales de los suelos en áreas de potrero y de plantación de teca a distintas profundidades

### 4.2.1 Comparación de características morfológicas

Muchas veces los aspectos morfológicos no son tomados en cuenta en estudios sobre suelos, sin embargo, resultan particularmente importantes para describir pequeñas tendencias de cambio al hacer estudios comparativos, como pretende el presente estudio. En esta investigación los aspectos morfológicos estudiados fueron la estructura, la consistencia y la porosidad.

Se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en todas las características morfológicas estudiadas entre los tratamientos y algunas de ellas presentan una interacción positiva tratamiento-profundidad, por lo que son explicadas de forma más detallada. En cuanto a las profundidades solamente se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el diámetro de los poros; el resto de características no mostraron diferencias (Cuadro 6).

Para efectos del análisis estadístico fue necesario codificar cada una de las características estudiadas (Anexo 4), además en el Anexo 6 se presenta la base de datos de características morfológicas estudiadas por lote y profundidad.

Cuadro 6. Resultados de comparaciones entre tratamientos (agrupando las dos profundidades) y profundidades (agrupando los dos tratamientos) para características morfológicas estudiadas.

Características morfológicas	n	Tratamientos (agrupa ambas profundidades)	
		Medias y Diferencias*	
		Potrero	Plantación
Tipo de Estructura	30	4.14 <b>a</b>	4.3 <b>b</b>
Tamaño de Estructura	30	2.62 <b>a</b>	3.01 <b>b</b>
Consistencia en Seco	30	Presenta interacción	
Consistencia en Húmedo	30	Presenta interacción	
Abundancia de Poros	30	1.06 <b>a</b>	1.62 <b>b</b>
Diámetro de Poros	30	1.04 <b>a</b>	1.35 <b>b</b>

Características morfológicas	n	Profundidades (agrupa ambos tratamientos)	
		Medias y Diferencias*	
		0 a 5 cm	5 a 10 cm
Tipo de Estructura	30	4.2 <b>a</b>	4.24 <b>a</b>
Tamaño de Estructura	30	2.76 <b>a</b>	2.86 <b>a</b>
Consistencia en Seco	30	Presenta interacción	
Consistencia en Húmedo	30	Presenta interacción	
Abundancia de Poros	30	1.29 <b>a</b>	1.39 <b>a</b>
Diámetro de Poros	30	1.10 <b>a</b>	1.29 <b>b</b>

\* Letras diferentes en la misma línea denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )



Pese a haber encontrado diferencias significativas entre las características es evidente que las diferencias no son drásticas y se pueden identificar solamente tendencias de cambio (Figura 3).

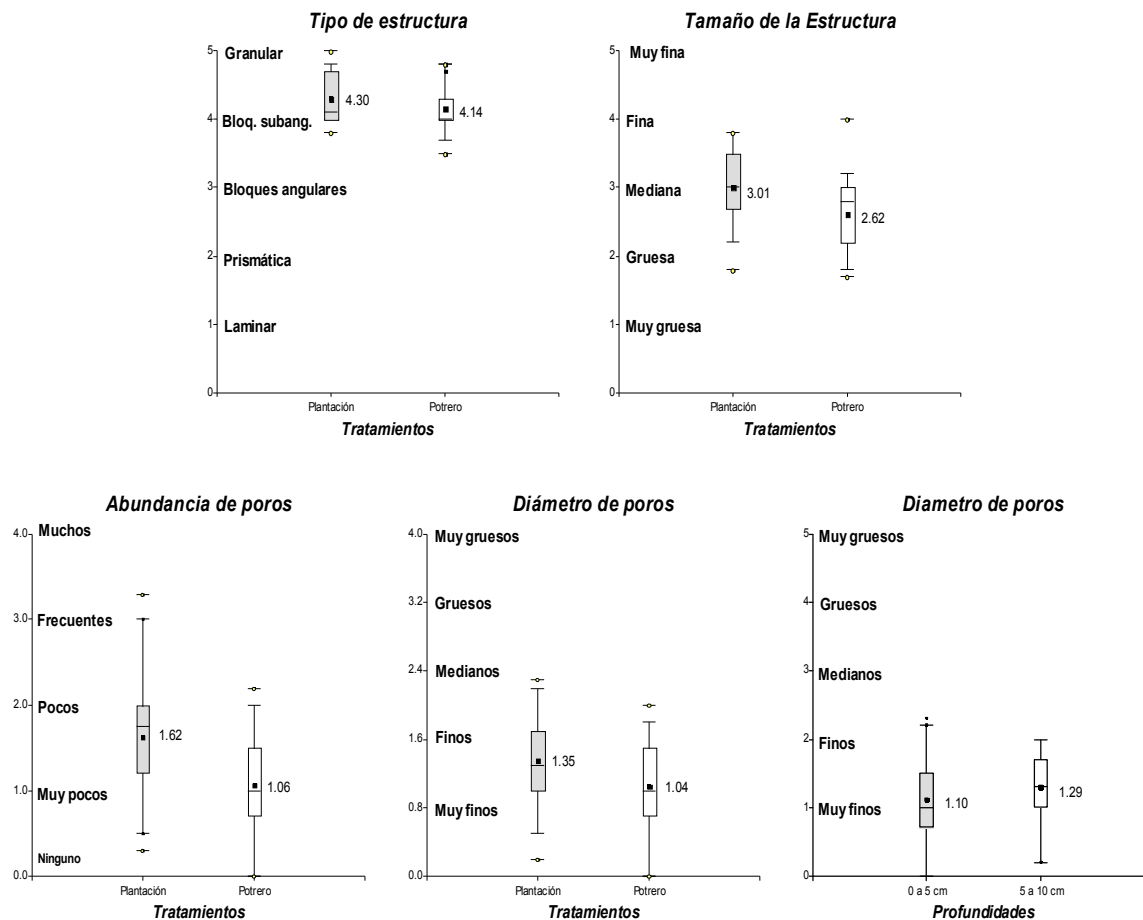


Figura 3. Promedios, medianas y datos máximos-minimos en las características morfológicas estudiadas que reflejaron diferencias significativas.

Los casos específicos de la consistencia en seco y en húmedo presentan una interacción positiva ( $p \leq 0.05$ ) entre la profundidad y el tratamiento, por lo que sus resultados no pueden ser explicados de forma independiente (Figura 4).

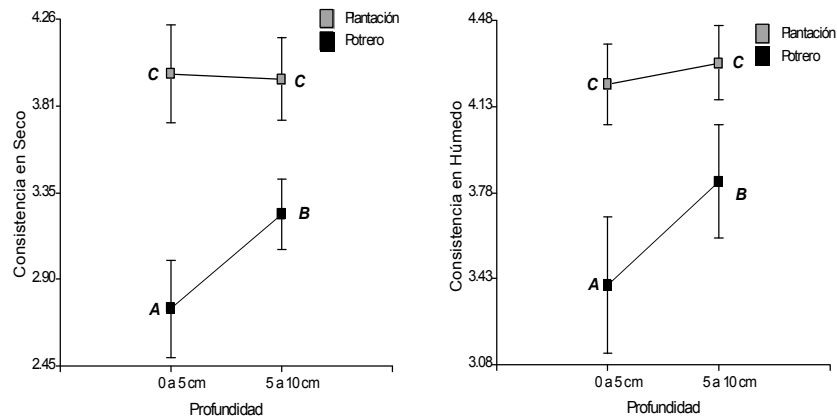


Figura 4. Interacción entre la profundidad y el tratamiento para la consistencia en seco y en húmedo.

Se observa que no existe una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre la consistencia en seco y en húmedo en las áreas de plantación, pero si en las áreas de potrero (Cuadro 7).

Cuadro 7. Promedios y diferencias entre de la consistencia en seco y húmedo para los dos tratamientos y las dos profundidades estudiadas.

<b>Consistencia en Seco</b>			
<b>Profundidad</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>n</b>	<b>Medias y Diferencias*</b>
0 a 5 cm	Potrero	15	2.75 <b>a</b>
5 a 10 cm	Potrero	15	3.24 <b>b</b>
5 a 10 cm	Plantación	15	3.95 <b>c</b>
0 a 5 cm	Plantación	15	3.97 <b>c</b>
<b>Consistencia en Húmedo</b>			
<b>Profundidad</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>n</b>	<b>Medias y Diferencias*</b>
0 a 5 cm	Potrero	15	3.41 <b>a</b>
5 a 10 cm	Potrero	15	3.83 <b>b</b>
0 a 5 cm	Plantación	15	4.22 <b>c</b>
5 a 10 cm	Plantación	15	4.31 <b>c</b>

\* Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

Esto significa que, al igual que las demás características morfológicas, los valores son mayores en la plantación. Por otra parte, no hay un cambio definido en las dos profundidades estudiadas bajo las áreas de plantación, sin embargo, en las áreas de potrero si se presenta un

cambio significativo, representando una consistencia más dura y firme en la primera profundidad.

Básicamente, los cambios de potrero a plantación de teca incluyen una estructura con agregados menos compactos y de tamaño más pequeño, una consistencia menos dura y una mayor porosidad. Todos estos cambios indican que bajo las plantaciones el suelo presenta características más favorables para el desarrollo de las raíces. En el cuadro 8 se describen las tendencias de cambios observados.

Cuadro 8. Tendencias de cambio en las características morfológicas de potrero a plantación.

<b>Característica</b>	<b>Tendencia de cambio de Potrero a Plantación</b>
Tipo de Estructura	De subangular a granular
Tamaño de Estructura	De gruesa a media
Consistencia en Seco	De dura a ligeramente dura
Consistencia en Húmedo	De firme/friable a muy friable
Abundancia de Poros	De muy pocos a pocos
Diámetro de Poros	De muy finos a finos

Es muy probable que los cambios se deban, entre otros factores, a la ausencia del pisoteo del ganado, lo cual tiene su máxima influencia en los 10 cm superiores del suelo, donde reduce la porosidad total, teniendo mayores efectos sobre la macroporosidad. Sadeghian *et al.* (1998), indica que a medida en que es mayor la porosidad se mejora notoriamente la retención de humedad, el paso de agua en el suelo y la actividad de los microorganismos. También una temperatura menos variable y mayor humedad bajo plantaciones estimulan a la fauna del suelo, lo cual induce en la estructura más favorable en sus suelos.

En la literatura existen pocos estudios que presentan datos morfológicos cuando reportan cambios en los suelos como efecto del manejo. Marquéz *et al.* (1993), reportan que el impacto del factor edad de la plantación sobre la estructura, el color y el espesor de los horizontes no presentan variación al comparar plantaciones de teca de 2, 7 y 12 años de edad.

Jose y Koshy (1972), encontraron que los bosques naturales de teca de Kerala, India presentan una estructura granular en el horizonte superficial y este tipo de estructura se encuentra solamente en plantaciones de teca que han alcanzado 120 años de edad en suelos de origen

laterítico. Además, describen a grandes rasgos las características morfológicas de distintas profundidades de los suelos estudiados en su investigación; sin embargo, de trata de información muy general (grado y tamaño de la estructura solamente).

Con respecto a las dos profundidades de estudio (0 a 5 y 5 a 10 cm), de forma general, el tipo y el tamaño de estructura, así como también la abundancia de poros no muestran variaciones significativas. La consistencia en seco, en húmedo y el diámetro de los poros si presentan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). En parte estos cambios probablemente son relacionados con una menor influencia del pisoteo a mayor profundidad del suelo.

#### 4.2.2 Comparación de texturas

Con respecto a la textura, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.005$ ) entre los tratamientos (potrero-plantación), pero si entre las profundidades ( $p = 0.0001$ ). El análisis de textura fue hecho por separado para arena, limo y arcilla como se describe en el cuadro 9. La base de datos textural se presenta detallada por lote y profundidad en el Anexo 7.

Cuadro 9. Promedios porcentuales de arena, limo y arcilla contenida en los suelos de los dos diferentes tratamientos y profundidades estudiadas.

Proporción	Tratamientos (agrupa ambas profundidades)		Proporción	Profundidades (agrupa ambos tratamientos)	
	Medias y Diferencias*			Medias y Diferencias*	
	Potrero	Plantación		0 a 5 cm	5 a 10 cm
<b>Arena</b>	44.23 a	44.77 a	<b>Arena</b>	47.15 a	41.85 b
<b>Limo</b>	21.68 a	22.00 a	<b>Limo</b>	22.08 a	21.60 a
<b>Arcilla</b>	33.23 a	34.08 a	<b>Arcilla</b>	30.77 a	36.55 b

\* Letras diferentes en la misma línea denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

Al no encontrar diferencias significativas entre los porcentajes de arena, limo y arcilla se deduce que no existe diferencia en cuanto a la textura de los suelos de los potreros y las plantaciones estudiadas, lo cual es lógico ya que no es una característica que se pueda cambiar en un corto plazo. Por otra parte, el no encontrar diferencias a nivel de la textura confirma la condición de suelos comparables entre potreros y plantaciones estudiadas por la presente investigación.

La única forma en la cual la textura de suelo podría cambiar debido a su uso, es mediante la ocurrencia de erosión laminar bajo uno de los usos estudiados que reduce preferencialmente el contenido de arcilla en el horizonte superficial. El hecho de no encontrar diferencias en la textura indica que este no es el caso en Petén. Las texturas encontradas se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Texturas de los suelos estudiados en los tratamientos (0 a 10 cm de profundidad).

<b>Textura</b>	<b>%</b>
Franco arcillo-arenoso	28
Franco arcilloso	15
Arcilloso	35
Franco arenoso	20
Franco arcilloso Limite Arcilloso	2
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Existe una predominancia de suelos arcillos, lo cual es positivo de acuerdo a lo descrito por Hase y Foelster (1983) quienes indican que los promedios anuales de productividad de biomasa por ha en plantaciones de teca son mayores en sitios con suelos que contienen alto contenido de arcilla. También Singh *et al.* (1986) indican algo similar para bosques naturales de teca y concluyen que altos contenidos de arcilla en las capas superficiales son favorables para el buen desarrollo de la teca (a mediada que aumenta la proporción de arena resulta una pobre densidad poblacional en estos bosques).

Sin embargo, estas afirmaciones necesitan ser estudiarlas en su contexto, ya que también el régimen de precipitaciones, el drenaje, la mineralogía de las arcillas y de las arenas, la acidez y la fertilidad del suelo son fundamentales a tomar en cuenta para explicar el crecimiento de las plantaciones, además de la textura.

Con respecto a la profundidad, se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los contenidos de arena y arcilla, indicando una textura ligeramente más arcillosa a mayor profundidad (Figura 5).

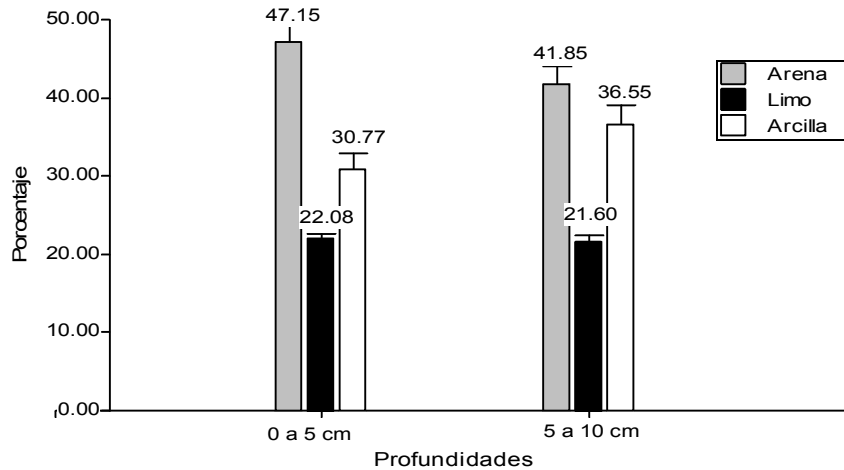


Figura 5. Comportamiento porcentual de arena, limo y arcilla a las dos profundidades de estudio (media y error estándar).

Esta tendencia es observada muchas veces, debido a que las partículas más pequeñas son trasladadas por el agua que infiltra en el suelo hacia horizontes más profundos o se pierden preferentemente del sitio por el probable efecto de la erosión, la cual es un proceso natural normal para áreas de pendiente, aun cuando las pendientes son poco pronunciadas.

### 4.3 Comparación del grado de compactación de los suelos

Se determinó el grado de compactación de los suelos utilizando como indicador la densidad aparente (DA). Se encontraron diferencias significativas ( $p=0.0102$ ) entre potrero y plantación, y entre las profundidades (0 a 5 y 5 a 10 cm) ( $p=0.0001$ ) (Cuadro 11). La base de datos específica de DA por lote y profundidad se presenta en el Anexo 8.

Cuadro 11. Promedios de densidad aparente encontrados en los tratamientos y profundidades estudiadas.

Densidad Aparente Medias ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Tratamientos (agrupa ambas profundidades)		Densidad Aparente Medias ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Profundidades (agrupa ambos tratamientos)	
	Medias y Diferencias*			Medias y Diferencias*	
	Plantación	Potrero		0 a 5 cm	5 a 10 cm
	1.09 a	1.15 b		1.08 a	1.15 b

\* Letras diferentes en la misma línea denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

La densidad aparente de las áreas de potrero es mayor ( $1.15 \text{ gr/cm}^3$ ) que la de las plantaciones ( $1.09 \text{ gr/cm}^3$ ). Estos resultados indican que el grado de compactación de los suelos ha disminuido en los 6 años promedio transcurridos desde el establecimiento de las plantaciones de teca. Una mayor densidad aparente corresponde a una mayor resistencia a la penetración, lo cual trae como consecuencia un menor volumen de macroporos. Es muy probable que la ausencia del pisoteo del ganado, en conjunto con la mayor actividad de la fauna del suelo en las profundidades estudiadas hayan causado estos cambios. Pinzón y Amézquita (1991) indican que el establecimiento de pasturas en áreas de bosque húmedo tropical (como Petén), junto con el pisoteo de animales, favorecen la compactación en el horizonte superior del suelo y esta se da con mayor intensidad en suelos con predominancia de arcilla.

Cuando se cambia de uso del suelo de bosque natural a plantación pura de teca, existe un aumento en la DA del suelo en la capa superficial en los primeros años de establecimiento (Jose y Koshy 1972, Lundgren 1978, Amponsah 1998). Jose y Koshy (1972), en cuanto a la DA superficial, afirman que esta puede aumentar en los primeros 15 años de edad de la plantación de teca y luego tiende a disminuir por la incorporación de la materia orgánica al suelo.

En el presente estudio la densidad aparente aumentó con la profundidad ( $5 \text{ a } 10 \text{ cm} = 1.15 \text{ gr/cm}^3$  y  $0 \text{ a } 5 \text{ cm} = 1.08 \text{ gr/cm}^3$ ); esta situación fue encontrada también por Pinzón y Amézquita (1991). Este cambio puede deberse al mayor contenido de MO en la capa superior del suelo y por ende la mayor presencia de raíces. Existe una alta correlación negativa entre la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico del suelo, ya que a un menor contenido de carbono orgánico en el suelo hay mayor densidad aparente.

#### **4.4 Comparación de poblaciones de lombrices de tierra**

Con respecto a las poblaciones de lombrices de tierra, se encontraron diferencias significativas entre plantación y potrero ( $p=0.0026$ ), en las dos profundidades de muestreo (0-10 y 10-20 cm) ( $p=0.0147$ ) y las dos épocas estudiadas (verano invierno) ( $p=0.0009$ ). El cuadro 12 describe los promedios y las diferencias entre tratamientos, profundidad y época.

En el Anexo 9 se presentan los detalles del número de lombrices encontradas por lote, época y profundidad.

Cabe mencionar que se trata de un análisis apareado al igual que los realizados para aspectos físicos, químicos y morfológicos, en el cual se realizan análisis específicos para cada componente, ej. las diferencias entre potrero y plantación se estudian a las dos profundidades y en las dos épocas. Además, los datos requirieron de una agrupación por rangos para ajustarlos a la normalidad, proceso metodológico realizado también por Sánchez-de León *et al.* (2003).

Cuadro 12. Medias y diferencias de poblaciones de lombrices de tierra encontradas en las áreas de potrero y plantación a las dos profundidades y apocas de estudio.

Medias reales y de rangos	n	Tratamientos (agrupa los dos profundidades y dos épocas)		Profundidad (agrupa los dos tratamientos y dos épocas)		Época (agrupa los dos tratamientos y las dos profundidades)	
		Medias y Diferencias**		Medias y Diferencias**		Medias y Diferencias**	
		Potrero	Plantación	0 a 10 cm	10 a 20 cm	Verano	Invierno
Medias (Ind/m <sup>2</sup> )	60	4 a	7 b	8 a	3 b	3 a	9 b
Medias de Rangos*		48	73	54	67	51	70

\* Requirieron de una agrupación por rangos ya que cumplían con el supuesto de normalidad

\*\* Letras diferentes en la misma línea denotan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

El promedio de lombrices por metro cuadrado en las áreas de potrero fue de 4 individuos (mínimo=0 y máximo=85), siendo menor que el encontrado en áreas de plantación, donde en promedio se encontraron 7 ind/m<sup>2</sup> (mínimo=0 y máximo=34). Existe una distribución muy desigual en cuanto al número de individuos encontrados; esta situación coincide con la descrita por Warren y Zou (2002), reportando en su estudio variaciones de 0 a 196 individuos por metro cuadrado. El promedio general de las poblaciones de lombrices encontradas es muy bajo en comparación con varios estudios realizados en distintos tipos de uso del suelo (Cuadro 13).



Cuadro 13. Poblaciones de lombrices de tierra encontrados en múltiples estudios realizados en diferentes tipos de uso del suelo.

Investigador	Prof. de Muestreo (cm)	Tipos de uso del suelo (ind/m <sup>2</sup> )										Ubicación	
		Pasturas	Pasturas asociadas	Pasturas asociadas con árboles	Bosque secundario joven	Bosque maduro	Teca	Casuarina	Leucaena	Eucalipto	Arroz		Yuca
Fraile Merino (1989)	20	132		172	227								Turrialba, Costa Rica
Torres Munevar (1995)	10	195	371*										Guapiles, Costa Rica
Esquivel Quiroz (1997)	15		176*	202									Zona Atlántica, Costa Rica
Warren y Zou (2002)	25							33	56	9			Costa Norte, Puerto Rico
Sánchez-de León <i>et al.</i> (2003)	25	273			172	88							Montañas Cayey, Puerto Rico
Decaêns <i>et al.</i> (2003)	30	213	139**			251***					18	27	Llanos orientales, Colombia
<i>Presente estudio</i>	20	4					7						Petén, Guatemala

\* Asociación pasturas con *Arachis pintoi*

\*\* Asociación pasturas con *Pueraria phaseoloides*

\*\*\*Selvas de galería

Las poblaciones de lombrices encontradas por el presente estudio son comparables únicamente con los datos reportados por Warren y Zou (2002), para plantaciones de eucalipto en la costa norte de Puerto Rico (9 ind/m<sup>2</sup>). No existe una tendencia definida en cuanto al tipo de uso del suelo en el que se presenten mayores poblaciones de lombrices de tierra; sin embargo, en bosques maduros, jóvenes y pasturas solas o asociadas se exhiben mayores cantidades de individuos por metro cuadrado que en plantaciones de distintas especies (teca, casuarina, eucalipto), así como también en cultivos agrícolas (arroz y yuca). Es necesario tomar en cuenta que estas comparaciones son muy generales y que es necesario considerar más aspectos como el clima y la época de muestreo, las propiedades físicas y químicas del suelo, la profundidad y técnicas de muestreo, la edad de las plantaciones, entre otras.

De acuerdo a la literatura consultada, las diferencias encontradas entre poblaciones de lombrices en áreas de potrero y plantaciones es frecuentemente atribuido a características del microclima, edáficas y de disponibilidad de alimento (Fraile Merino 1989). Sin embargo, en el presente estudio las características químicas y sobre todo la MO no refleja diferencias

significativas entre áreas de potrero y plantación (inciso 4.1) pero, si se presentan diferencias en cuanto a la densidad aparente y características morfológicas (estructura, consistencia y porosidad), así que es probable que estas divergencias, unidas a otros factores no evaluados en el presente estudio (especialmente microclima), podrían explicar la diferencia observada entre plantación y potrero.

Sadeghian *et al.* (1998) al relatar sobre el efecto de la ganadería sobre las características del suelo, indica que la biomasa de lombrices muestra una correlación negativa con respecto a la densidad aparente del suelo (a mayor densidad aparente se observa menor biomasa de lombrices), situación que también se refleja en la presente investigación, ya que la densidad aparente es menor en los suelos bajo plantaciones de teca, donde se encuentra un número mayor de lombrices.

Con respecto al microclima, la sombra producida por las plantaciones y la presencia de hojarasca causan mayor humedad y una menor temperatura del suelo superficial que en el potrero (Fraile Merino 1989). En relación a la disponibilidad de alimento en forma de hojarasca en las plantaciones de teca de 6 años de edad pueden llegar a producir un promedio de 8 ton/ha/año (Egunjobi 1974), mientras que la disponibilidad en las áreas de pastura es muy variable de acuerdo la literatura consultada y puede contar con rango de entre 2,4 a 15 ton/ha/año (Fraile Merino 1989, Payán Masis 2006, Rezende *et al.* 1999). Pese a que se trata de una comparación generalizada da una idea de parámetros que posiblemente se llegarían a encontrar en el escenario estudiado.

Otros autores como Fraile Merino (1989) y Esquivel Quiros (1997) encontraron mayores poblaciones de lombrices en sistemas ganaderos asociados con árboles (*Erythrina berteroana* y *Gliricidia sepium*) en comparación con pasturas solas e indican que las condiciones en las cuales existe un sistema asociado proporcionan un ambiente más “natural” y esto genera la diferencia. Sin embargo, parece probable que la sombra de los arbustos tiene como efecto una mayor humedad y menor temperatura lo cual favorece la población de lombrices. Además, ambas especies son leguminosas, lo cual aumenta en contenido de N y por ende la calidad del alimento de las lombrices.

Por su parte Manna *et al.* (2003) al comparar la influencia de las lombrices sobre los procesos de descomposición de tres tipos de hojarasca del bosque (*Tectona grandis*, *Madhuca indica* y *Butea monosperma*) encontró que la calidad del alimento, la temperatura y el grado de humedad de suelo influyen grandemente en el ciclo de vida de las lombrices y que el número mayor de las poblaciones de lombrices fue encontrado bajo el bosque de teca probablemente por que esta especie genera una hojarasca rica en carbono orgánico y contiene más nutrientes que las otras dos estudiadas. Agrega que la hojarasca de la teca contiene baja relación C:N y significantes concentraciones de Ca, Mg y K, sugiriendo que estas son las razones por las cuales existen más lombrices bajo estos bosques; además las hojas de teca con relativamente alta concentración de N son más palatables y por consiguiente más aceptadas por las lombrices.

Finalmente Warren y Zou (2002) al estudiar los nutrientes de la hojarasca de plantaciones de *Eucalyptus robusta*, *Leucaena leucocephala* y *Casuarina equisetifolia* en relación a la macrofauna del suelo y específicamente lombrices de tierra, encontraron que las poblaciones de lombrices son diferentes en los suelos bajo las diferentes especies arbóreas después de cierto periodo de tiempo. Concluyeron que la caída de hojarasca con diferentes características químicas afecta las propiedades del suelo como la humedad, el pH y el contenido de MO, y estas a su vez a las poblaciones de lombrices. Una situación similar se encontró en el presente estudio, ya que en 6 años (promedio) algunas características físicas (especialmente DA) y morfológicas de los suelos han cambiado, razón por la cual también se esperan diferencias en las poblaciones de lombrices.

Con respecto a las dos profundidades estudiadas (0-10 y 10-20 cm), también se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 12). Existe una mayor población de lombrices concentradas en la parte superficial del suelo con un promedio general de 8 ind/m<sup>2</sup>, mientras que en la segunda profundidad de estudio solamente existe un promedio de 3 ind/m<sup>2</sup>. Esta diferencia es descrita por varios autores (Fraile Merino 1989, Warren y Zou 2002, Sánchez-de León *et al.* 2003, Decaêns *et al.* 2003, Jiménez y Decaêns 2003) quienes afirman que las poblaciones de lombrices tienen una relación directa con la humedad del suelo y con la disponibilidad de alimento. Con respecto a este último aspecto (alimento), los resultados de la

presente investigación encontraron mayor contenido de carbono orgánico y por ende materia orgánica así como del resto de nutrientes en la primera profundidad de estudio (inciso 4.1).

La densidad aparente (DA) es una característica del suelo que generalmente aumenta con la profundidad debido al menor contenido de MO y la menor porosidad; además, el pisoteo de los animales compacta el suelo en los primeros 15 cm (Pinzón y Amézquita, 1991), ocasionando un aumento en la densidad aparente debido a la reducción de la porosidad. A su vez, esta causa una disminución en el movimiento interno del agua y cambios desfavorables (para plantas) en la relación suelo-agua-aire. Esta situación puede también estar ligada a la dinámica de las poblaciones de lombrices del suelo a diferentes profundidades.

En cuadro 12 también muestra las diferencias en relación a las dos épocas de estudio (verano e invierno) las cuales fueron significativas ( $p \leq 0.05$ ). En la etapa de verano se encontró un promedio de 3 ind/m<sup>2</sup>, mientras que en la etapa de invierno se triplicó este número (9 ind/m<sup>2</sup>). Fraile Merino (1989) y Jiménez y Decaêns (2003) indican que existe una fuerte migración de las poblaciones de lombrices hacia los estratos más profundos del suelo durante la época seca (verano), en la cual la humedad se encuentra en los horizontes más hondos.

Las variaciones de las poblaciones entre las épocas son muy marcadas y definen a grandes rasgos la dinámica de movimientos verticales de las lombrices en el suelo (Figura 6).

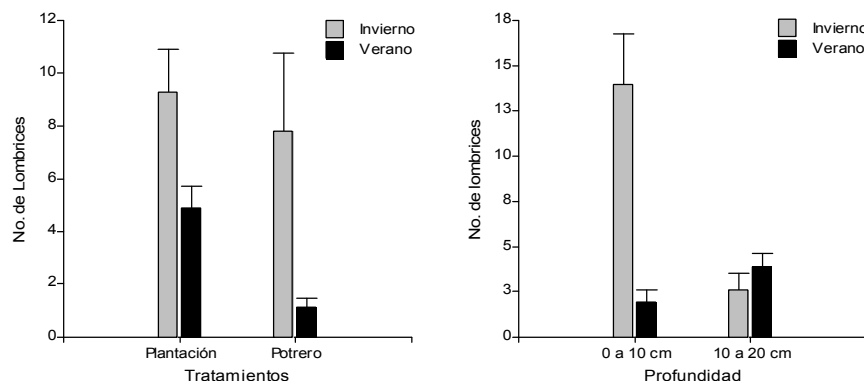


Figura 6. Comportamiento de las poblaciones de lombrices en las distintas épocas del año (medias y error estándar).

Un análisis específico para las etapas de verano e invierno (de forma independiente) refleja que en la época seca la abundancia de individuos es bastante menor en las áreas de potrero (1 ind/m<sup>2</sup>) que en las áreas de plantación de teca (5 ind/m<sup>2</sup>), donde seguramente se pierde menos humedad como efecto de la sombra de la plantación. La diferencia también es grande para las profundidades estudiadas en esta etapa y es notorio que existe más del doble de individuos en la segunda profundidad (10 a 20 cm) con 4 ind/m<sup>2</sup> que en la primera (2 ind/m<sup>2</sup>). Esto confirma que en el verano las lombrices se encuentran a una mayor profundidad en el suelo.

En invierno las poblaciones tienen a igualarse, ya que en el área de potrero existe un promedio de 8 ind/m<sup>2</sup> y en el área de plantación existe una cantidad similar (9 ind/m<sup>2</sup>). Sin embargo, en ésta época la diferencia en cuanto a la profundidad si es bastante marcada, ya que se encuentran un promedio de 14 ind/m<sup>2</sup> en la primera profundidad (0 a 10 cm) y solamente 3 ind/m<sup>2</sup> en la segunda (10 a 20 cm).

#### **4.5 Grado de desarrollo de las plantaciones**

Las edades de las plantaciones estudiadas varían entre 5 y 7 años. Para maximizar la probabilidad de detectar su influencia sobre el suelo, se identificaron las plantaciones con un buen desarrollo (cierre de copas). A su vez, las plantaciones fueron divididas en grados de desarrollo, tomando como referencia la clasificación propuesta de Vaidés López (2004) con base en el incremento medio anual en volumen (IMA-Vol, expresado en m<sup>3</sup>/ha/año). Dicho autor dividió plantaciones de teca estudiadas en Guatemala en clase de productividad baja (<5 de IMA Vol. m<sup>3</sup>/ha/año), media (5 a 10), alta (10 a 20) y excelente (>20). Los resultados de la clasificación se presentan en el cuadro 14.

Cuadro 14. Grado de desarrollo de las plantaciones agrupadas por unidad de paisaje.

Grado de Desarrollo	Categoría (m <sup>3</sup> /ha/año)	Unidad de paisaje	IMAVol. (m <sup>3</sup> /ha/año)	IMADAP (cm)	IMA Alt. (m)	IMA Abasal ha (m <sup>2</sup> )	%
<b>Bajo</b>	< 5	4	2.18	1.7	1.2	0.63	20
		4	2.21	1.4	1.2	0.75	
		5	4.49	1.8	1.8	1.16	
		<b>Prom.</b>	<b>2.96</b>	<b>1.6</b>	<b>1.4</b>	<b>0.84</b>	
<b>Medio</b>	5 a 10	3	5.32	1.3	1.3	1.56	47
		2	5.54	2.4	1.5	1.54	
		2	6.04	1.7	2.1	1.23	
		3	6.85	1.4	1.1	1.80	
		3	6.87	1.6	1.4	1.51	
		1	7.81	2.1	1.9	1.76	
		3	8.21	2.5	1.9	1.93	
<b>Prom.</b>	<b>6.66</b>	<b>1.8</b>	<b>1.6</b>	<b>1.62</b>			
<b>Alto</b>	10 a 20	1	10.64	2.1	1.8	2.08	33
		4	11.44	2.2	1.9	2.25	
		5	11.96	2.0	1.9	2.17	
		4	13.66	2.6	2.0	2.19	
		2	14.68	2.5	2.1	2.64	
<b>Prom.</b>	<b>12.48</b>	<b>2.3</b>	<b>1.9</b>	<b>2.27</b>			

De las 15 plantaciones estudiadas un 33% cuentan con 5 años de edad, un 47 % con 6 y el restante 20% corresponden a 7 años de edad. De la división en grados de desarrollo resultó que un 20% cuentan con un desarrollo “bajo” presentando un IMA en diámetro de solamente 1.6 cm y un IMA en altura de 1.4 m. Este grado de desarrollo corresponde a 3 fincas que tienen el menor promedio de pH en sus suelos (6.4), el menor contenido de P, la mayor pendiente en el terreno (10%) y la mayor elevación en msnm (238), esta ultima se encuentra en limite del margen aceptable propuesto por Vaides López (2004) en Guatemala para lograr grados de desarrollo aceptables (220 msnm).

Un 47% de las plantaciones (7 fincas) se ubican en un grado de desarrollo “medio” presentando un IMA en diámetro de 1.8 cm y un IMA en altura de 1.6 m. El pH promedio en este grado de desarrollo es de 7.3, y cuentan con la mejor concentración de Mg en el suelo. Estas plantaciones se ubican en terrenos con una pendiente promedio de 3% (suavemente inclinado) y una altura promedio de 153 msnm.

Finalmente el grado de desarrollo “alto” corresponde a 5 fincas (33%) y presentan los mejores IMA en diámetro y altura (2.3 cm y 1.9 m respectivamente). El pH en el suelo de este grupo es de 6.8 y cuenta con las mejores concentraciones de Ca (24.9 cm(+)/kg) la cual es 13% superior a las otras dos categoría de desarrollo (en cuanto a este nutriente), sin embargo, presenta la menor concentración de Mg. Estas plantaciones se ubican en terrenos con topografía suavemente inclinada (6%) y 99 msnm en promedio.

Como se observa en el cuadro 14 no existe un patrón específico que pueda ligar el grado de desarrollo de las plantaciones con las UP, por lo que es común encontrar varias unidades de paisaje agrupadas en el mismo grado de desarrollo.

Al considerar las recomendaciones para lograr un buen desarrollo establecidas por Vaides López (2004), Vallejos Barra (1996), Mollinedo García (2003), entre otros, los tres grados de desarrollo presentan concentraciones altas de Ca, cuentan con pH > 5.5 (no cuentan con problemas de acidez), se ubican en pendientes menores a 40% y en alturas sobre el nivel del mar aceptables.

Drechsel y Zech (1994), estudiaron variables del sitio que controlan el rendimiento de la teca y para establecer pautas para la selección de áreas de productividad altas en Benin, Côte d'Ivoire, Liberia, Nigeria y Togo, indican que dependiendo de la edad, suelo y región, entre 70 y 90% de la variación en el crecimiento del árbol podría explicarse por el suministro de nitrógeno, la profundidad efectiva del suelo y la precipitación.

Otras investigaciones sobre el grado de desarrollo de plantaciones de teca, utilizando los mismos indicadores y parámetros de clasificación comparables, se presentan en el cuadro 15.

Cuadro 15. Grados de desarrollo (IMA Vol. m<sup>3</sup>/ha/año) encontrados en distintas investigaciones sobre teca en Latinoamérica.

Investigador	Grado de desarrollo (%)			
	Bajo	Medio	Alto	Excelente
Vallejos Barra (1996)	8	17	64	11
Montero Mata (1999)	13	16	48	23
Vaides López (2004)	39	26	26	9
<i>Presente estudio</i>	20	47	33	0

Los mejores grados de desarrollo fueron encontrados por Vallejos Barra (1996) y Montero Mata (1999) (ambos en Costa Rica), seguidamente están los encontrados en la presente investigación y Vaides López (2004) en Guatemala. En el caso particular de la presente investigación se debe tomar en consideración que se seleccionaron exclusivamente plantaciones establecidas en áreas de potrero y que recién se inician tratamientos silviculturales como podas y raleos, lo cual generalmente aumenta el IMA Vol.

Con respecto a la correlación entre el grado de desarrollo de las plantaciones y los elementos nutricionales del suelo, no se encontró ninguna asociación con los atributos del suelo (morfológicos, físicos y químicos) a excepción de K del suelo y el IMA en altura ( $r=0.5473$ ,  $p=0.0347$ ) en la segunda profundidad del estudio (5-10 cm) (Anexo 10).

Con respecto a la correlación entre el grado de desarrollo de las plantaciones y los contenidos nutricionales foliares (Anexo 11) se obtuvo únicamente asociaciones positivas entre K foliar y las variables del grado de desarrollo descritas en el cuadro 16. Dicho análisis se hubiese realizado idealmente para cada UP, sin embargo, no se contó con la cantidad de repeticiones necesarias.

Cuadro 16. Asociaciones positivas entre elementos foliares y grado de desarrollo de las plantaciones.

Foliar	Desarrollo	Asociación y Probabilidad
K	DAP Promedio	$r= 0.7017$ , $p=0.0035$
K	Altura Promedio	$r= 0.6143$ , $p=0.0148$
K	IMA DAP	$r= 0.7648$ , $p=0.0009$
K	IMA Altura	$r= 0.6409$ , $p=0.0100$
K	VolHa	$r=0.5180$ , $p=0.0479$
K	IMA Volumen	$r= 0.5747$ , $p=0.0250$

$r$ =Coeficiente de correlación  
 $p$ =Probabilidad asociada

El K foliar fue el único elemento que presentó una asociación positiva con 6 de las 8 variables de desarrollo comparadas (no correlacionó con altura dominante y área basal por ha). Esto coincide con los resultados presentados por Hernández *et al.* (1993), quienes también encontraron a K como el único nutriente que presentó una relación positiva entre la concentración foliar y el área basal como indicador del grado de desarrollo, con un probabilidad de 0.0001 y un aceptable coeficiente de determinación ( $r=0.5757$ ). Considerando



la probabilidad asociada encontrada en el presente estudio (promedio de  $r=0.6357$ ) y el número de variables con la cual se obtuvo una asociación positiva, parece que una parte importante de la variación en el desarrollo de la teca en Petén podría explicarse por el nivel del contenido foliar de K.

Un dato interesante también sobre K es que fue el único elemento químico que presentó una diferencia significativa al comparar los suelos de los potreros y los de las plantaciones de teca estudiadas tal y como se describe en el inciso 4.1.

#### 4.5.1 Comparación de características químicas de los suelos bajo plantaciones en relación a los niveles críticos y requerimiento de la especie

Las características químicas de los suelos encontradas en las 15 plantaciones agrupadas por UP y comparadas con los niveles críticos según Bertsch (1998) (Anexo 12) se presentan en el cuadro 17.

Cuadro 17. Características del suelo (0 a 10 cm de profundidad) de suelos bajo plantaciones de teca (agrupadas por UP) y comparados con niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos.

Unidad de paisaje	Plantación	pH H <sub>2</sub> O	Ca -----cmol(+)/kg-----	Mg	K	P mg/kg	C.O. ---%---
Depresiones kársticas con drenaje impedido	Paraiso plano	6.83	35.91	1.61	0.11	1.90	7.86
	La Cachimba	7.31	42.24	6.76	0.58	4.05	7.60
Planicies kársticas formadas sobre caliza cretácea relativamente dura	Sofía	7.93	28.98	5.16	0.40	3.30	5.13
	Todico	7.85	30.62	12.56	0.53	1.95	5.54
	Astorga piedra	7.16	12.69	3.98	0.60	3.20	3.05
Llanuras y planicies aluviales	La Hojarasca	7.67	15.01	2.00	0.25	6.35	4.17
	Subin	7.08	21.10	2.35	0.20	3.50	5.75
	Maranatha 99	7.07	14.97	2.01	0.11	3.30	4.27
	Maranatha 2000	7.36	14.94	1.95	0.10	4.05	3.93
Terrazas y planicies	Astorga 99	6.64	7.46	1.71	0.22	4.65	2.40
	Astorga AC	6.27	5.16	1.15	0.30	3.00	2.29
	Astorga BC	6.47	6.23	1.57	0.11	2.90	2.28
	Teva	6.54	22.08	3.16	0.21	3.30	6.46
Pequeñas lomas karsticas	Noctún	6.16	32.66	5.03	0.32	2.90	6.63
	Paraiso cerro	6.69	42.61	2.38	0.10	1.50	8.22

La gran mayoría de nutrientes, así como el pH se encuentra en niveles aceptables, sin embargo, existen casos en los cuales el K y específicamente P se presentan en concentraciones bajas, como se aprecia en el cuadro anterior (datos con sombra gris) y se ratifica en el cuadro 18 a nivel de resumen general. No existe una tendencia definida que relacione los niveles críticos en el suelo con las UP.

Cuadro 18. Resumen porcentual del comportamiento de nutrimentos y valores de pH, acidez y CO encontrados de los suelos bajo plantaciones de teca estudiadas (0-10 cm de profundidad) en relación a niveles críticos.

<b>Promedio General</b>	<b>pH</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>C.O.</b>	<b>Rel. C:N</b>
Nivel Crítico (%)	Alto	80	53	27	0	0	7
	Medio	20	47	73	67	0	67
	Bajo	0	0	0	33	100	27

Las concentraciones de Ca en el suelo se encuentran en un 47% en el nivel medio (5-25 cmol(+)/l) y 53% en el alto (> 25 cmol(+)/l). Este nutriente es esencial para el crecimiento de los meristemas en la teca (Tewari 1999) y particularmente para el apropiado funcionamiento y crecimiento en la punta de las raíces, considerado como el nutriente más importante regulando la fisiología de esta especie (Bebarta 1999).

Mollinedo García (2003) estima que se requieren entre 8-10 cmol+/l de Ca como mínimo para lograr crecimientos medios y altos en plantaciones de teca en Panamá, mientras Vallejos Barra (1996) sugiere que para la profundidad 0 a 20 cm los suelos deben contener concentraciones de Ca superiores a 18 cml(+)/l para lograr un buen desarrollo y que por debajo de este nivel sería aconsejable corregir mediante fertilización. No obstante, Montero Mata (1999) indica que el establecimiento de plantaciones de teca en Costa Rica no está condicionado a altas cantidades de Ca y que sus requerimientos podrían ser satisfechos en un rango de 4 a 23 cmol(+)/l. Si se considera como valor intermedio el reportado por Mollinedo García (2003), un 75% de las plantaciones estudiadas en Petén por esta investigación contarían con una concentración adecuada de Ca para el desarrollo de la teca.

El Mg en 73% de los casos se encuentra en un nivel medio (1-5 cmol(+)/l), este nutrimento es usado por las plantas siempre verdes como un constituyente de la clorofila (Bebarta 1999). Mollinedo García (2003) encontró que para este nutriente no existe una tendencia definida; es decir, existen crecimientos bajos, medios y altos en similares condiciones de concentración de Mg.

En todos los suelos estudiados, el P se encuentra en concentraciones bajas (<10 ml/l), lo cual según la interpretación de Bertsch (1998) podría conllevar a un crecimiento reducido de la teca. Sin embargo, desde el punto de vista de Tewari (1999) este nutrimento no es esencial en el adecuado crecimiento de la teca, criterio que coincide con lo reportado por Singh *et al.* (1986), que encontraron altas densidades de teca en bosques naturales sobre suelos pobres en P disponible. Por otra parte, Mothes *et al.* (1991) al estudiar las limitaciones nutricionales causadas por P en la biomasa radicular de plantaciones de distintas edades (2, 7, 12 años) en los llanos occidentales venezolanos, encontraron que la limitación de este nutriente se manifiesta en los rodales de mayor edad, ya que el fósforo ha sido utilizado durante las sucesivas etapas de desarrollo, ocasionando un bajo rendimiento especialmente reflejado en la biomasa radicular, lo que a largo plazo incidirá sobre la producción y el aspecto fitosanitario del sistema forestal.

Por su parte Mollinedo Garcia (2003), con base en su estudio en Panamá indica que con respecto a P y K no se puede deducir la relación entre la concentración de estos nutrientes en el suelo y el grado de desarrollo de plantaciones de teca, ya que encontró altos grados de desarrollo en suelos con niveles deficientes de estos elementos. Finalmente, Montero Mata (1999) indica que las condiciones nutricionales de los suelos donde se ha plantado teca en Costa Rica poseen en general una fertilidad natural alta (comparado con la tabla de niveles críticos), a excepción de los contenidos de P y K. Por todo lo expuesto, parece que los bajos niveles de P en los suelos observados no necesariamente son un factor limitante para el desarrollo de la teca en Petén.

Los valores del pH en los primeros 10 cm de los suelos estudiados oscilan entre 6.2 y 7.9, lo cual los ubica en el rango medio (20%) a alto (80%). Zech y Drechsel (1991), consideran que

un pH mayor de 4.7 es adecuado para el desarrollo de la teca, mientras que Briscoe (1995), indica que el desarrollo de esta especie es mejor cuando se cuenta con un pH de entre 6.5 a 7.5 y Mollinedo García (2003) encontró que con pH menor 5.5 se pueden obtener incrementos medios anuales en volumen de 14 m<sup>3</sup>/ha/año, mientras que con pH mayor a 5.5 pueden llegar hasta 20 m<sup>3</sup>/ha/año. Una situación muy similar es expuesta por Vaides López (2004) quien indica haber encontrado IMA en volumen superior a 25 m<sup>3</sup>/ha/año con un pH entre 5.5 y 7. Asociados con los valores relativamente altos del pH, el valor de la acidez extraíble es bajo en todos los casos.

De acuerdo a la guía de interpretación de análisis de suelos del CATIE, un nivel bajo en la relación C:N indica que la materia orgánica da un buen suministro de N y P, un nivel medio indica un suministro normal de nutrimentos al suelo (por la descomposición de la materia orgánica) y un nivel alto indica que el aporte de nutrimentos como N y P provenientes de la descomposición de la materia orgánica es más lento.

En relación a los requerimientos de la teca en torno a la textura, el presente estudio encontró una predominancia de suelos arcillos (cuadro 10), lo cual es positivo de acuerdo a lo descrito por Hase y Foelster (1983) quienes indican que los promedios anuales de productividad de biomasa por ha en plantaciones de teca es mayor sobre sitios con suelos que contienen alto contenido de arcilla, también Singh *et al.* (1986) indican algo similar para bosques naturales y concluyen que altos contenidos de arcilla en las capas superficiales son favorables para el buen desarrollo de la teca (a mediada que aumenta la proporción de arena resulta una pobre densidad poblacional en estos bosques).

Sin embargo, estas afirmaciones necesitan ser estudiarlas en su contexto, ya que el régimen de precipitaciones, el drenaje y la mineralogía de las arcillas y de las arenas son fundamentales para tomar en cuenta además de la textura.

En general, los suelos estudiados bajo plantaciones de teca (0 a 10 cm de profundidad) presentan condiciones adecuadas para su desarrollo, ya que cumplen con los principales requerimientos de la especie (químicos, texturales y morfológicos), sin embargo, las diferencias en cuanto al grado de desarrollo encontrado por otros investigadores pudrían

explicarse por otras condiciones de sitio, clima y especialmente manejo de las plantaciones, aspectos no considerados dentro de esta tesis.

## **4.6 Relación Suelo-Planta y caracterización de nutrientes foliares**

### *4.6.1 Relaciones suelo planta*

Los resultados de los análisis de correlación fueron analizados a las dos profundidades estudiadas por separado (Anexo 13). Existe una asociación positiva entre la relación C:N del suelo y K foliar ( $r= 0.6751$ ,  $p=0.0057$ ) a la primera profundidad y P del suelo y Ca foliar ( $r=0.7080$ ,  $p=0.0031$ ) a la primera y segunda profundidad ( $r=0.5487$ ,  $p=0.0342$ ), con lo que se indica que probablemente a medida que un nutrimento del suelo aumenta o disminuye su concentración en el suelo, el foliar también lo hace.

Mollinedo Garcia (2003), en un análisis de correlación suelo-planta para la especie teca encontró una asociación positiva entre pH ( $r=0.660$ ) y la suma de bases en el suelo ( $r=0.679$ ) en una profundidad de 0 a 20 cm con el Ca foliar, para plantaciones de 3.5 años de edad establecidas en suelos Alfisoles, Inceptisoles y Ultisoles en Panamá. Por su parte Montero Mata (1999) encontró una asociación positiva entre el Ca , P y N del suelo con sus homólogos a nivel foliar en plantaciones de teca de 2 a 45 años de edad en Costa Rica. En este mismo país Vallejos Barra (1996) afirma también haber encontrado una relación positiva entre Ca del suelo con Ca y Mg foliar en plantaciones de teca de entre 3 y 15 años.

Pese a que los niveles de Ca son medios y altos para los suelos donde se ubican las plantaciones de teca estudiadas, en la presente investigación no se encontró una correlación positiva entre este nutriente a nivel del suelo y a nivel foliar. Sin embargo, un elemento que llama la atención es el P, que a pesar de encontrarse en niveles bajos en el suelo a las dos profundidades estudiadas pudo correlacionar con el Ca foliar. Esto sugiere que la especie teca es muy eficiente en términos de absorción o en la utilización de este nutriente, opinión que también comparten Vallejos Barra (1996) y Montero Mata (1999). Se podría especular que la interacción positiva entre P en el suelo y Ca en la planta se debe a un mejor desarrollo radicular de la teca en condiciones de mayor disponibilidad de P en el suelo, permitiendo a la planta una mayor absorción de Ca. La correlación encontrada entre la relación C:N en el suelo

y el K foliar no tiene una explicación clara y es muy probable que se trate de una situación fortuita.

#### 4.6.2 Caracterización de nutrientes foliares

A pesar de ser una especie ampliamente utilizada en plantaciones, existe poca información sobre el contenido nutricional de las hojas de la teca y su relación con el crecimiento. Sin embargo, con base en estudios de Drechsel y Zech (1991) y Boardman *et al.*, citados por Alvarado (2006) se consideraron los siguientes valores de deficiencia/suficiencias (Cuadro 19).

Cuadro 19. Resultados de recopilación hecha por Drechsel y Zech (1991); Boardman (1997) citada por Alvarado (2006) para determinar los niveles foliares de nutrimentos en plantaciones de teca.

Nutriente	Deficiente	Bajo	Medio	Alto
N (%)	<1.2	1.20 - 1.51	1.51 - 2.78	
P (%)	<0.1	0.10 - 0.13	0.14 - 0.25	0.4
K (%)	<0.5	0.50 - 0.79	0.80 - 2.32	2.33
S (%)	<0.08	0.08 - 0.10	0.11 - 0.23	
Ca (%)	<0.55	0.55 - 0.71	0.72 - 2.20	
Mg (%)	<0.1	0.10 - 0.19	0.20 - 0.37	

Los resultados obtenidos de los análisis foliares fueron agrupados en unidades de paisaje y se presentan en el cuadro 20.

Cuadro 20. Resultados reflejado por los análisis foliares en las plantaciones de teca estudiadas y agrupadas por UP.

Unidades de paisaje	Finca	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	P (%)	N.T. (%)
Depresiones kársticas con drenaje impedido	Paraíso plano	1.22	0.27	1.07	0.19	2.35
	La Cachimba	1.62	0.22	1.17	0.18	2
Planicies kársticas residuales formadas sobre caliza cretácea relativamente dura	Sofía	1.38	0.29	1.58	0.22	2.05
	Todico	1.15	0.39	1.66	0.12	1.83
	Astorga piedra	1.23	0.32	2.18	0.15	2.44
Llanuras y planicies aluviales	La Hojarasca	1.7	0.18	1.47	0.16	1.91
	Subin	1.94	0.27	0.99	0.16	2.15
	Maranatha 99	1.43	0.42	0.71	0.16	1.93
	Maranatha 2000	1.3	0.4	0.8	0.17	2.1
Terrazas y planicies aluviales	Astorga 99	1.03	0.38	2.15	0.15	2.21
	Astorga AC	1.06	0.31	2.26	0.13	2.65
	Astorga BC	1	0.29	1.51	0.14	2.59
	Teva	1.66	0.16	0.97	0.17	1.98
Pequeñas lomas kársticas	Noctún	1.27	0.24	1.24	0.14	2.07
	Paraíso cerro	1.21	0.18	1.27	0.15	2.42

En general, la gran mayoría de porcentajes de nutrimentos estudiados a nivel foliar son aceptables (nivel medio y alto). Sin embargo, se encontraron niveles bajos (datos con sombra gris) en Mg, K y P (3, 1 y 2 plantaciones respectivamente), repartidos en distintos UP. Nuevamente no se encuentra un patrón definido que relacione los niveles críticos foliares con las UP, aparentemente las variaciones dentro de UP son mayores que entre paisajes a nivel general (desarrollo de las plantaciones, niveles críticos en el suelo y foliares).

El 100% de las plantaciones cuentan con un nivel medio de Ca y alto de N, mientras que para Mg un 20% se encuentran con un nivel bajo (53% medio y 27% alto). Para el caso del K un 93% cuentan con un nivel medio y un 7% con un nivel bajo, mientras que el P en un 87% es medio y en un 13% es bajo. En general los niveles encontrados son aceptables y probablemente se deba al proceso de selección de lotes para el estudio como se enfatiza en el inciso 3.2.1.1, ya que se escogieron plantaciones de teca con un adecuado nivel de desarrollo.

No existen muchas investigaciones realizadas en torno al análisis foliar en plantaciones de teca y el cuadro 21 resume los principales resultados de 3 de ellas en Centroamérica. La densidad de estas plantaciones fue de 1111 árboles/ha, las metodologías para la selección de

las muestras son muy similares a la del presente estudio, e incluso las muestras de Mollinedo García (2003) y las del presente estudio fueron analizadas por el mismo laboratorio (CATIE).

Cuadro 21. Comparación de los niveles foliares, edades, números de muestras y grado de desarrollo de las plantaciones de teca en investigaciones realizadas en Centro América.

Investigador y país	Edad plantación	No. Sitios muestreados	Grado promedio de desarrollo (IMA m <sup>3</sup> /ha/año)	Elemento	Contenido foliar promedio	Niveles de concentración (%)		
						Bajo	Medio	Alto
Vallejos Barra (1996) Costa Rica	2 a 5 años	13	9.32	Ca (%)	0.87	34	0	66
				Mg (%)	0.25	0	34	66
				K (%)	1.60	0	0	100
				P (%)	0.22	0	0	100
				N (%)	s/d	s/d	s/d	s/d
<b>Porcentaje promedio</b>						<b>8.5</b>	<b>8.5</b>	<b>83</b>
Montero Mata (1999) Costa Rica	2 a 45 años	31	12.23	Ca (%)	1.30	16	61	23
				Mg (%)	0.32	29	39	32
				K (%)	1.16	48	35	17
				P (%)	0.18	32	68	0
				N (%)	1.88	18	77	5
<b>Porcentaje promedio</b>						<b>29</b>	<b>56</b>	<b>15</b>
Mollinedo García (2003) Panamá	3 a 4 años	36	7.48	Ca (%)	0.99	11	86	3
				Mg (%)	0.34	0	44	56
				K (%)	1.33	0	100	0
				P (%)	0.15	44	56	0
				N (%)	s/d	s/d	s/d	s/d
<b>Porcentaje promedio</b>						<b>14</b>	<b>72</b>	<b>15</b>
<i>Presente investigación</i>	5 a 7 años	15	7.86	Ca (%)	1.35	0	100	0
				Mg (%)	0.29	20	53	27
				K (%)	1.40	7	93	0
				P (%)	0.16	13	87	0
				N (%)	2.18	0	100	0
<b>Porcentaje promedio</b>						<b>8</b>	<b>87</b>	<b>5</b>
<i>Porcentaje Total General</i>						<i>15</i>	<i>56</i>	<i>30</i>

s/d: sin datos

En general, al agrupar los resultados de las cuatro investigaciones, la gran mayoría de elementos se concentran en un nivel medio (56%), seguida por un nivel alto (30%) y por último con solamente con un 15% se presenta en un nivel bajo. Sin embargo, los mejores niveles de concentración de elementos foliares se observan en Vallejos Barra (1996) ya que en un 83% de los caso se manifiestan en un nivel alto, seguida por la presente investigación que se ubica con un 87% en niveles medios, posteriormente esta Mollinedo García (2003) ubicando sus concentraciones foliares en un 72% en un nivel medio y finalmente Montero Mata (1999) se posiciona con un 56% en el nivel medio.

Sin embargo, respecto al nivel de desarrollo, las plantaciones estudiadas por Montero Mata (1999) presenta un IMA volumen de 12.23 m<sup>3</sup>/ha/año posicionándose como el mejor grado de desarrollo, pero es necesario recalcar que se trata de de un rango de edad mayor (2 a 45 años)



y esto implica posiblemente aplicación de labores silvícolas. En tal sentido y a grandes rasgos se interpreta que no existe una tendencia definida que relaciones los niveles foliares con los grados de desarrollo de las plantaciones tomando a todos los nutrimentos en conjunto.

Drechsel y Zech (1994), en un estudio sobre el análisis de foliar de diagnóstico tomando en cuenta un amplio rango de elementos encontraron que en 20% de los casos ocurren varios síntomas de deficiencia y en un adicional 40%, la demanda oculta de por lo menos un nutriente está clara. Según el análisis DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) para teca los nutrientes más deficientes además de N son Ca y P, mientras en 45% de todas los casos hay un exceso relativo de Aluminio (Al).

Las concentraciones foliares encontradas en el presente estudio son en promedio 1.7 más altas en comparación con las descritas por Ola-Adams (1992) (plantaciones de 18 años de edad con distanciamiento de 3 x 3 m), para los elementos N, K y Mg y son aún mayores para P y Ca (16 y 5 veces respectivamente).

A su vez las concentraciones foliares encontradas son 1.5 menores que las reportadas por Hernández *et al.* (1993) en Ticoporo, Venezuela (plantaciones de 2, 7 y 12 años) establecidas en suelos con drenaje moderado, para todos los elementos, excepto N (el cual es 2 veces mayor). Además, este autor reporta un IMA en volumen de 8.2 m<sup>3</sup>/ha/año, el cual es un poco mayor al encontrado en la presente investigación (0.34 m<sup>3</sup>/ha/año de diferencia). Sin embargo, al realizar la misma comparación en suelos de drenaje pobre, las concentraciones foliares siguen siendo menores, pero el margen se reduce a 1.2 y los elementos foliares que resultan ser mayores en la presente investigación son N nuevamente (2 veces mayor) y K (1.2 veces mayor) y en cuanto al volumen, este es superado por un IMA de 1.96 m<sup>3</sup>/ha/año a favor de la presente investigación, pero es necesario considerar que el volumen reportado por Hernández *et al.* (1993) es sin tocón y sin corteza, por lo que podría ser un poco mayor a lo reportado.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Los lotes seleccionados para estudiar diferencias en el suelo causadas por el cambio de uso de potrero a plantación de teca, ubicados en cinco unidades de paisaje distintos, no presentaron diferencias en sus suelos en cuanto a la cantidad de carbono orgánico, nitrógeno total, pH y acidez. En cuanto a los nutrientes solamente se encontró una diferencia significativa ( $p=0.0043$ ) en K, probablemente ocasionado por dos factores: en primer lugar la influencia de la orina del ganado en los potreros muestreados y en segundo lugar la inmovilización de K en la teca, cuyos árboles se encuentran en su fase de mayor demanda de nutrientes. Los nutrientes Ca, Mg, P no presentaron cambios significativos.

Con respecto a las dos profundidades analizadas (0 a 5 y 5 a 10 cm) si se observaron cambios significativos en todas las características químicas estudiadas, encontrando mayores valores en la profundidad de 0 a 5 cm, situación derivada de la mayor disponibilidad de materia orgánica, nutrientes y actividad biológica desarrollada en la capa superficial del suelo.

Comparados con la tabla de niveles críticos, en los suelos estudiados el carbono orgánico y el pH es predominantemente alto, las concentraciones de P son bajas, el Ca se divide en partes casi iguales hacia niveles medios y altos, el Mg se ubica en un nivel predominantemente medio y el K se encuentra en niveles mayoritariamente bajos y medios, sin embargo, acorde a varios autores estas características son aceptables para el desarrollo de la teca.

Las características morfológicas consideradas en el presente estudio (estructura, consistencia y porosidad) presentan diferencias significativas ( $p\leq 0.05$ ) entre los suelos de potrero y plantación, y pese a que se trata de pequeños cambios, se observan características más favorables para el crecimiento de las raíces en los suelos bajo plantaciones debido, entre otros factores, a la ausencia del pisoteo del ganado. Con respecto a las profundidades de estudio (0 a 5 y 5 a 10 cm), solo se encontraron diferencias significativas en cuanto a la consistencia (en seco y en húmedo) y el diámetro de los poros. En relación a la textura, los suelos estudiados son predominantemente arcillosos y no presentaron cambios significativos ( $p\leq 0.05$ ) en los suelos de potrero y plantación, pero si entre profundidades, encontrando una textura

ligeramente más arenosa en la primera profundidad. Esta tendencia se considera una consecuencia de la pedogénesis y no tiene relación con el uso de la tierra, ya que pueda ser causada por el traslado de partículas más pequeñas por el agua que infiltra de la lluvia durante miles de años hacia horizontes del suelo más profundos.

El grado de compactación de los suelos ha disminuido significativamente ( $p=0.0102$ ) bajo las plantaciones de teca, como efecto principal de la falta de pisoteo del ganado en esta zona. Esta diferencia también es significativa ( $p=0.0001$ ) en las dos profundidades estudiadas, encontrando una menor compactación en la capa superficial del suelo (0 a 5 cm) probablemente debido a la incorporación de materia orgánica, la mayor presencia de raíces y la mayor actividad biológica generada en esta zona.

Existen diferencias significativas entre las poblaciones de lombrices en los potreros comparadas con las en las plantaciones ( $p=0.0026$ ), en las profundidades 0 a 10 y 10 a 20 cm ( $p=0.0147$ ) y las dos épocas estudiadas (verano- invierno) ( $p=0.0009$ ). En general las poblaciones encontradas son desiguales (aunque exhiben amplios rangos) y bastante bajas en comparación con estudios desarrollados en otros lugares y bajo otros tipo de uso del suelo. Existen mayores poblaciones de lombrices en las áreas bajo plantaciones de teca, probablemente debido a las condiciones microclimáticas (especialmente sombra, humedad y temperatura del suelo), el menor grado de compactación y condiciones morfológicas más favorables. Se encontraron mayores poblaciones de lombrices de 0 a 10 cm de profundidad y se presume que este comportamiento tiene una relación directa con la humedad del suelo y con la disponibilidad de alimento. Finalmente, en la época de invierno se triplicaron las poblaciones de lombrices comparadas con las en la época de verano, debido a que en la época seca las poblaciones de lombrices emigran a los estratos más profundos del suelo donde se encuentra una mayor humedad.

Para ningún nutriente analizado se encontró una correlación positiva entre el contenido nutricional del suelo y del follaje de los árboles de teca en las condiciones estudiadas.

Las concentraciones foliares encontradas se encuentran mayoritariamente ubicadas en un nivel medio. No existe una tendencia definida que relaciones los niveles foliares con los

grados de desarrollo de las plantaciones tomando a todos los nutrientes en conjunto. Sin embargo, se encontró asociación positiva de K a nivel foliar con 6 de las 8 indicadores de desarrollo correlacionadas. Esto implica que este nutriente ejecuta un papel importante en el desarrollo de la teca en el Peten. Por otra parte, el K a nivel del suelo solamente correlacionó con una de las 8 indicadores de desarrollo en la segunda profundidad de estudio (5 a 10 cm). Esto indica que el nivel foliar de un nutriente muchas veces es un mejor indicador del grado de desarrollo de una plantación que el nivel del mismo nutriente en el suelo.

Los grados de desarrollo encontrados en las plantaciones estudiadas son bajos en un 20 % (< IMA 5 m<sup>3</sup>/ha/año), seguida de un nivel alto con un 33% (10 a 20 m<sup>3</sup>/ha/año) y el mayor porcentaje (47%) se ubica en un nivel medio (5 a 10 m<sup>3</sup>/ha/año). Estos grados de desarrollo son relativamente bajos en comparación con otras investigaciones, sin embargo, es necesario considerar que las plantaciones fueron establecidas en áreas de potrero, no fueron sometidas a fertilización y cuentan con distintos procesos silviculturales.

## **5.2 Recomendaciones**

Estudios desarrollados para determinar características físicas, químicas, morfológicas y biológicas de suelos, deben tomar en cuenta el uso anterior del mismo. Por tratarse de estudios comparativos es de suma importancia realizar el muestreo sobre suelos comparables.

En estudios comparativos del efecto que producen los diferentes usos del suelo, es necesario practicar un análisis superficial (0-5 cm y 5-10 cm), ya que muchas posibles diferencias físicas, químicas y morfológicas se observan con más claridad a estas profundidades que a profundidades mayores.

En estudios que comparen poblaciones de lombrices es necesario acompañarlos de un muestreo de la humedad del suelo, ya que es el principal aspecto que puede explicar su dinámica poblacional, además de la sombra y la disponibilidad de alimento.

Idealmente sería recomendable continuar investigando sobre los lotes seleccionados, ya que se desarrolló un innovador proceso de selección de sitios y se espera que la dinámica de

cambios encontrados continúe a través del tiempo, especialmente en los aspectos morfológicos, de compactación y de la dinámica de poblaciones de lombrices de tierra.

Es recomendable profundizar la investigación específica de la dinámica de K, que en este estudio presentó un comportamiento en el suelo y en su concentración foliar que indica que en el área de estudio podría estar limitando el crecimiento de la teca.

En futuras plantaciones de teca establecidas en áreas de potrero es recomendable realizar un proceso de arado superficial sobre el suelo, ya que la compactación podría ser un factor influyente en los bajos grados de desarrollo identificados en esta investigación. Además, en la presente investigación se encontró que la disminución natural de la densidad aparente del suelo es un proceso lento.

## 6 BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, A. 2006. Nutrición y fertilización de la teca. *Informaciones Agronómicas*. 61:1-8.
- Amponsah, IG. 1998. Forest soil characteristics and variability under teak (*Tectona grandis* Linn. F) plantations and natural forests in Ashanti Region, Ghana. MScF thesis, Faculty of Forestry and the Forest Environment, Lakehead University, Thunder Bay. Ont. 88 p.
- Ayarza, MA; Rao, IM; Thomas, R. 1994. Reciclaje de nutrientes en pastizales tropicales de suelos ácidos. *In* Homan, EJ. ed. *Ganadería y recursos naturales en América Central: estrategias para la sostenibilidad* (1991, San José, CR). Memorias. Turrialba, Costa Rica. p. 163-173.
- Balagopalan, M; Jose, AI. 1997. Effect of tree species on soil properties along a transect through teak, eucalypt and rubber in Kerala. *In* Chand Basha, S; Mohanan, C; Sankar, S. *Proceedings of the international teak symposium, Thiruvananthapuram, Kerala, India*. p. 236-241
- Bach Fenger, K. 2005. Determination of relationships between soil characteristics, pasture management and pasture degradation in the Petén area, Guatemala. Master Thesis. Frederiksberg, DK. The Royal Veterinary- and Agricultural University. 126 p.
- Bebarta, KC. 1999. Teak; ecology, silviculture, management and profitability. International Book Distributors. India. 380 p.
- Belsky, AJ; Amundson, RG; Duxbury, JM; Riha, SJ, Ali, AR; Mwonga SM. 1989. The effects of trees on their physical, chemical, and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology* 26:1005-1024.
- Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San Jose. 157 p.

- Briscoe, C. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. CATIE/MADELEÑA. Serie Técnica. Informe técnico No. 270. Turrialba, C.R. 43 p.
- Camino, R. de; Budowski, G. 1998. Impactos ambientales de las plantaciones forestales y medidas correctivas de carácter silvicultural. Revista Forestal Centroamericana (CATIE). (22):6-12.
- Centeno, J C, 1997, The management of teak plantations. ITTO Tropical Forest Update. 7(2):10-12
- Chaves, E; Fonseca, W. 1991. Teca: *Tectona grandis* L.f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. Proyecto Madeleña CATIE-ROCAP. Serie técnica, Informe técnico 179. 47 p.
- Decaêns, T; Lavelle, P; Jiménez, JJ; Escobar, G; Rippstein, G; Schneidmadl, J; Sanz, JI; Hoyos, P; Thomas, RJ. 2003. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de los llanos orientales de Colombia. In Jiménez, JJ; Thomas, RJ. eds. El arado natural: las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia. p. 21-45.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Gonzáles, LA; Díaz, MP; Robledo, CW; Balzarini, MG. 2003. Estadística para las ciencias agropecuarias. 5 ed. Córdoba, AR. Brujas. 304 p.
- Drechsel, P; Zech, W. 1991. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular review. Plant and Soil. 131:29-46.
- \_\_\_\_\_; Zech, W. 1994. DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L.f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on teak growth in West Africa. Forest Ecology and Management. 70:121-133.
- Egunjobi, J.K. 1974. Litter fall and mineralization in a teak *Tectona grandis* stand. Oikos 25:222-226

- Esquivel Quiros, JO. 1997. Efecto del componente arbóreo de un sistema silvopastoril sobre la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbial y densidad de lombrices en un suelo bajo pastoreo, en la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 65 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations); ISRIC (International soil reference information centre). 1990. Guidelines for soil description. 3 ed. rev. Roma, IT, FAO. 70 p.
- Fisher, RF. 1995. Amelioration of degraded rain forest soils by plantations of native trees. *Soil Science of America Journal* 59(2):544-549.
- Fraile Merino, J. 1989. Poblaciones de lombrices de tierra (oligochaeta: annelidae) en una pastura de *Cynodon plectostachyus* (pasto estrella) asociada con árboles de *Erythrina poeppigiana* (poro), una pastura asociada con árboles de *Cordia allidodora* (laurel), una pastura sin árboles y vegetación a libre crecimiento, en el CATIE, Turrialba Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 236 p.
- Hase, H; Foelster H. 1983. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona gaudis*) on the nutrient status of young alluvial soils in west Venezuela. *Forest Ecology and management* 6:33-76.
- Haynes, RJ; Williams, PH. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy* 49:119-199
- Henríquez H, C; Cabalceta A, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductoria de los suelos con un enfoque agrícola. San Jose, CR, ACCS. 111 p.
- Heredia Vólquez, Y. 1996. Cambios en propiedades químicas y físicas del suelo en 6 años de cultivos en callejones y comparación de 2 métodos de extracción de fósforo en *Calliandra calothyrsus* (Meissn), *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F Cook y *Gliricidia sepium* (Jacquin) Steud. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 67 p.



- Hernández, R; Torres, A; Márquez, O; Franco, W. 1993. Contenido foliar de nutrimentos y crecimiento en plantaciones de teca en Ticoporo, Venezuela. *Turrialba* 43(1):11-15
- Holdridge, L.R. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. Trad. HJ Saa. San José, Costa Rica. IICA (Colección Libros y Materiales Educativos No. 34). 216 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2005. Reglamento del programa de incentivos forestales (en línea). Guatemala, GT. Consultado 12 oct. 2005. Disponible en <http://www.inab.gob.gt/>
- Jiménez, JJ; Decaêns, T. 2003. Distribución vertical de las lombrices de tierra en los suelos de los “llanos” de Colombia cubiertos por especies forrajeras. *In* Jiménez, JJ; Thomas, RJ. eds. *El arado natural: las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia*. p. 96-114.
- Jose, AI; Koshy, MM. 1972. A study of the morphological, physical and chemical characteristics of soil as influenced by teak vegetation. *Indian Forester*. 98(6): 338-348.
- Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos*. Trad. A Carrillo. GTZ. Eschborn. 335 p.
- Lundgren, B. 1978. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forests in Tanzanian highlands. *Reports in Forest Ecology and Forest Soils* No. 31, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, SE. 426 p.
- Manna, MC; Jha, S; Ghosh, PK; Acharya, CL. 2003. Comparative efficacy of three epigeic earthworms under different deciduous forest litters decomposition. *Bioresource technology*. 88:197-206.

- Márquez, O; Hernández, A; Torres, A; Franco, W. 1993. Cambios en las propiedades físico-químicas de los suelos en una cronosecuencia de *Tectona grandis*. Turrialba 43(1):37-41.
- Mollinedo García, MS. 2003. Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.) en la zona oeste, cuenca del canal de Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 89 p.
- Montagnini, F; Sancho, F. (1990). Ensayos forestales con especies nativas: impacto sobre la fertilidad del suelo en la llanura del Atlántico de Costa Rica. Biocenosis. Nueva serie 7(1):11-16.
- \_\_\_\_\_ ; Fernández, R; Hamilton, H. 1995. Relaciones entre especies nativas y la fertilidad de los suelos, parte 1: contenido de elementos en la biomasa. Ivyraretá 6(6):5-12.
- Montero Mata, M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.F. y *Bombacopsis quinatum* (Jacq), Dugand, en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Valdivia, CL. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 111 p.
- Mothes, M; Cuevas, E; Franco, W. 1991. Limitación nutricional por fósforo en plantaciones de teca (*Tectona grandis*), en los Llanos Occidentales venezolanos. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 17:309-315.
- Nair, PKR. 1984. Soil productivity aspects of agroforestry. Science and practice of agroforestry 1. Nairobi, Kenya, ICRAF. 85 p.
- \_\_\_\_\_. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers in cooperation with the International Centre for Research in Agroforestry, The Netherlands. 499 p.
- Nwoboshi, LC. 1984. Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria II: Nutrient accumulation and minimum annual requirements. Forest Sc. 30(1):35-40.

- Ola-Adams, BA. 1992. Effects of spacing on biomass distribution and nutrient content of *Tectona grandis* Linn. f. (teak) and *Terminatlia superba* Engl. & Diels. (afara) in south-western Nigeria. *Forest Ecology and Management* 58:299-319.
- Payán Masis, AY. 2006. Evaluación participativa de forrajes mejorados para el manejo sostenible de los recursos naturales en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 115 p.
- Pinzón, A; Amézquita, E. 1991. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas Tropicales (Col.)* 13(2):21-26.
- Rezende, C. de P; Cantarutti, RB; Braga, JM; Comide, JA; Pereira, JM; Ferreira, E; Tarré, R; Macedo, R; Alves, BJR; Urquiaga, S; Cadisch, G; Giller, KE; Boddey, RM. 1999. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 54(2):99-112.
- Rodríguez Fuentes, H; Rodríguez Absi, J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. Distrito Federal, MX. Trillas. 196 p.
- Sadeghian, S; Rivera, JM; Gómez ME. 1998. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Conferencia electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Consultada 24 oct. 2006. Disponible en <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/Siavosh6.htm>
- Salas, G de las. 1987. Suelos y ecosistemas forestales: con énfasis en América tropical. San José, CR. IICA. 447 p.

- Salazar F, R; Albertin, W. 1974. Requerimientos edáficos y climáticos para *Tectona grandis*. Turrialba 24(1):66-71.
- Sánchez-de León, Y; Zou, X; Borges, S; Ruan, H. 2003. Recovery of native earthworms in abandoned tropical pastures. *Conservation Biology*. 17:999-1006.
- Sánchez, PA; Palm, CA; Davey, CB; Szott, LT; Russell, CE. 1985. Tree crops as soil improvers in the humid tropics? *In* Cannell, MGR; Jackson, JE. eds. *Attributes of trees as crop plants*. Institute of Terrestrial Ecology Natural Environmental Research Council. Huntingdon, England, Abbots Ripton. p. 327-358.
- SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, GT). 1992. Diagnostico general de Petén. Plan de desarrollo integrado de Petén. Volumen I. 451 p.
- \_\_\_\_\_. 2003. Estrategia de reducción de la pobreza departamental: caso Petén. 106 p.
- Simmons, CS; Tarano T, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la Republica de Guatemala. Trad. P Tirado-Sulsona. Guatemala, GT. 1000 p.
- Singh, J; Prasad, KG; Gupta, GN. 1986. Distribution of teak under different silvo-climatic conditions in some parts of Western Ghats. *Indian Forester*. 112(11):1008-1015.
- Tewari, DN. 1999. A monograph on Teak (*Tectona grandis Linn.f.*). International Book Distributors. 479 p.
- Torres Munevar, MI. 1995. Características físicas, químicas y biológicas en suelos bajo pasturas de *Brachiaria brizantha* sola y en asocio con *Arachis pintoi*, después de cuatro años de pastoreo en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 98 p.

- Totey, NG; Singh, AK, Bhowmik, AK; Khatri, PK. 1986. Effect of forest cover on physicochemical properties of soil developed on sandstone. *Indian Forester* 112(4):314-327.
- Ugalde Arias, LA. 2001. Guía para el establecimiento y medición de parcelas para el monitoreo y evaluación del crecimiento de árboles en investigación y en programas de reforestación con la metodología del sistema MIRA-SIL. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 14 p.
- Vaides López, EE. 2004. Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de teca (*Tectona grandis* L. f.) en plantaciones forestales de diferentes regiones de Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 81 p.
- Vallejos Barra, OS. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 147 p.
- Warren, MW; Zou, X. 2002. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. 170:161-171.
- Weaver, PL. 1993. *Tectona grandis* L.f. Teca (en línea). New Orleans, LA: US. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Consultado 7 oct. 2005. Disponible en <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Tectonagrandis.pdf>
- Young, A. 1989. Agroforestry for soil conservation. Science and practice of agroforestry 4. CAB International/ICRAF. Nairobi. 276 p.
- Zech, W. Drechsel, P. 1991. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Toctona grandis*) plantation in the rainforest zone of Liberia. *Forest Ecology and Management* 41:221-235.

# ANEXOS

Anexo 1. Formulario para recabar datos en mini calicatas y determinar los tipos de suelo.

## BOLETA DE DEL MUESTREO DE CALICATAS

Elaborado por: \_\_\_\_\_ Asistente: \_\_\_\_\_

### INFORMACI? N SOBRE EL SITIO

Nombre de la Finca: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Plantación: \_\_\_\_\_ Potrero: \_\_\_\_\_

Coord. GPS: \_\_\_\_\_ Elevación: \_\_\_\_\_ Posición fisiográfica: meseta, cumbre, cresta, pendiente convexa, pendiente cóncava, terrazas, fondo de valle, planicie, depresión.

Pendiente: a) 0 - 2%      b) 2 - 6%      c) 6 - 13%      d) 13 - 25%      e) 25 - 55%      f) >55%

Topografía del terreno: \_\_\_\_\_ Tipo de vegetación: \_\_\_\_\_

Manejo del potrero: \_\_\_\_\_

Manejo de plantación: \_\_\_\_\_

Distancia potrero-plantación: \_\_\_\_\_ Historia de uso anterior del suelo: \_\_\_\_\_

### INFORMACI? N DEL PERFIL DEL SUELO

Material de partida: \_\_\_\_\_

#### Drenaje:

- |                               |                        |                               |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| a) Muy escasamente drenado    | b) Escasamente drenado | c) Imperfectamente drenado    |
| d) Moderadamente bien drenado | e) Bien drenados       | f) Algo excesivamente drenado |
| g) Excesivamente drenado      |                        |                               |

Condiciones de humedad del perfil: \_\_\_\_\_ Profundidad de la capa freática: \_\_\_\_\_

#### Clase de pedregosidad en la superficie:

- |                                |                            |                    |
|--------------------------------|----------------------------|--------------------|
| a) Sin piedras o con muy pocas | b) Moderadamente pedregoso | c) Pedregoso       |
| d) Muy pedregoso               | e) Excesivamente pedregoso | f) Terreno ripioso |

#### Clase de afloramientos rocosos en la superficie:

- |                              |                          |                        |
|------------------------------|--------------------------|------------------------|
| a) Ninguna o muy pocas rocas | b) Moderadamente rocoso  | c) Rocosos             |
| d) Muy rocoso                | e) Extremadamente rocoso | f) Afloramiento rocoso |

#### Evidencia de erosión:

- |                    |                   |                       |                      |
|--------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| a) Erosión hídrica | b) Erosión eólica | c) Deposición hídrica | d) Deposición eólica |
|--------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|

Influencia humana (labranza, drenajes): \_\_\_\_\_

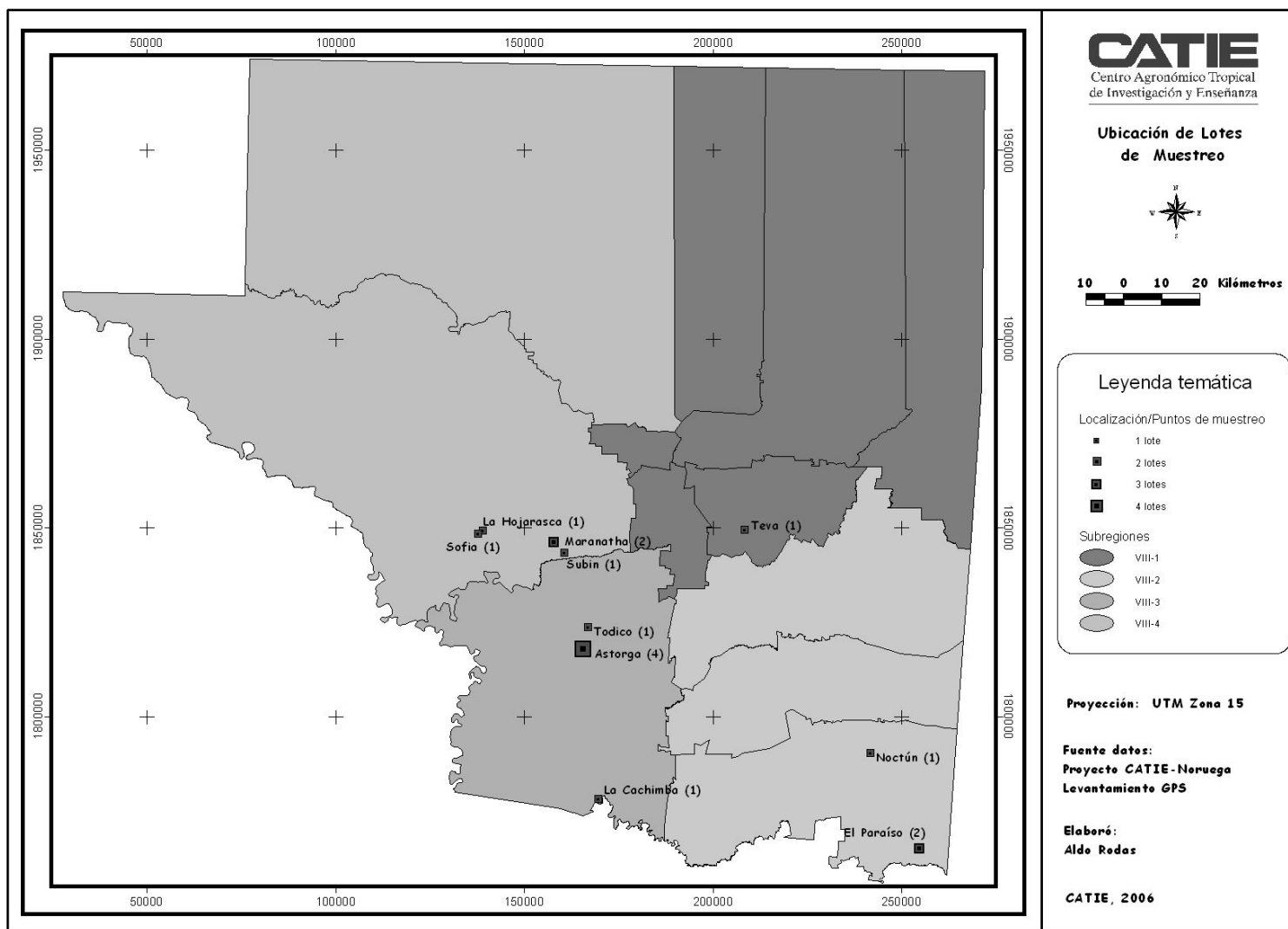
Anexo 1. (Continuación...)

**DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO**

Símbolo del horizonte			
Profundidad (cm.)			
Color Munsell			
Abundancia de manchas	pocas 2% - frecuentes 2-20% muchas > 20%	pocas 2% - frecuentes 2-20% muchas > 20%	pocas 2% - frecuentes 2-20% muchas > 20%
Tamaño manchas	pequeñas < 5 mm - medianas 5-15 mm grandes > 15 mm	pequeñas < 5 mm - medianas 5-15 mm grandes > 15 mm	pequeñas < 5 mm - medianas 5-15 mm grandes > 15 mm
Contraste manchas	indistintas - definidas - destacadas	indistintas - definidas - destacadas	indistintas - definidas - destacadas
Color manchas			
Textura al tacto	Franco - Arcilloso - Arenoso - limoso	Franco - Arcilloso - Arenoso - limoso	Franco - Arcilloso - Arenoso - limoso
Presencia grava (%) 0.2 a 7.5 cms	2-15 - 15-50 - 50-90 - >90%	2-15 - 15-50 - 50-90 - >90%	2-15 - 15-50 - 50-90 - >90%
Presencia piedras (%) 7.5 a 25 cms	2-15 - 15-50 - 50-90 - >90%	2-15 - 15-50 - 50-90 - >90%	2-15 - 15-50 - 50-90 - >90%
Presencia pedregones (%) > 25 cms	2-15 - 15-50 - 50-90 - >90%	2-15 - 15-50 - 50-90 - >90%	2-15 - 15-50 - 50-90 - >90%
Grado de estructura	Sin estructura - Débil - Moderado Fuerte	Sin estructura - Débil - Moderado Fuerte	Sin estructura - Débil - Moderado Fuerte
Tipo de estructura	Laminar - Prismática - Columnar Bloq. Angul. - Bloq. Subangul. Granular - Migajosa	Laminar - Prismática - Columnar Bloq. Angul. - Bloq. Subangul. Granular - Migajosa	Laminar - Prismática - Columnar Bloq. Angul. - Bloq. Subangul. Granular - Migajosa
Tamaño de los elementos de estructura	Muy fina - Fina - Mediana - Gruesa - Muy gruesa	Muy fina - Fina - Mediana - Gruesa - Muy gruesa	Muy fina - Fina - Mediana - Gruesa - Muy gruesa
Adhesividad (mojado)	No Adherente - Lig. Adherente Adherente - Muy Adherente	No Adherente - Lig. Adherente Adherente - Muy Adherente	No Adherente - Lig. Adherente Adherente - Muy Adherente
Plasticidad (mojado)	No Plástico - Lig. Plástico - Plástico Muy Plástico	No Plástico - Lig. Plástico - Plástico Muy Plástico	No Plástico - Lig. Plástico - Plástico Muy Plástico
Consistencia seco	Suelto - Blando - Lig. Duro - Duro Muy Duro - Extrem. Duro	Suelto - Blando - Lig. Duro - Duro Muy Duro - Extrem. Duro	Suelto - Blando - Lig. Duro - Duro Muy Duro - Extrem. Duro
Abundancia poros	Pocos 1-3 pul <sup>2</sup> - Frecuentes 4-14 pul <sup>2</sup> - Muchos > 14 pul <sup>2</sup>	Pocos 1-3 pul <sup>2</sup> - Frecuentes 4-14 pul <sup>2</sup> - Muchos > 14 pul <sup>2</sup>	Pocos 1-3 pul <sup>2</sup> - Frecuentes 4-14 pul <sup>2</sup> - Muchos > 14 pul <sup>2</sup>
Diámetro poros	Micro < 0.075 mm - Muy finos 0.075-1 mm - Finos 1-2 mm - Medianos 2-5 mm - Gruesos > 5mm	Micro < 0.075 mm - Muy finos 0.075-1 mm - Finos 1-2 mm - Medianos 2-5 mm - Gruesos > 5mm	Micro < 0.075 mm - Muy finos 0.075-1 mm - Finos 1-2 mm - Medianos 2-5 mm - Gruesos > 5mm
Nódulos o concreciones	N C	N C	N C
Abundancia	Muy pocos < 5% vol. - Pocos 5-15% vol. - Frecuentes 15-40% vol. - Abundantes 40-80% vol. - Dominantes >80% vol.	Muy pocos < 5% vol. - Pocos 5-15% vol. - Frecuentes 15-40% vol. - Abundantes 40-80% vol. - Dominantes >80% vol.	Muy pocos < 5% vol. - Pocos 5-15% vol. - Frecuentes 15-40% vol. - Abundantes 40-80% vol. - Dominantes >80% vol.
Tamaño	Pequeños < 1 cm Grandes > 1 cm	Pequeños < 1 cm Grandes > 1 cm	Pequeños < 1 cm Grandes > 1 cm
Dureza	Blandos Duros	Blandos Duros	Blandos Duros
Fauna del horizonte			
Cantidad raíces	Pocas - Comunes - Abundantes	Pocas - Comunes - Abundantes	Pocas - Comunes - Abundantes
Tamaño raíces en mm	Muy finas < 1 mm Finas 1-2 mm Medianas 2-5 mm Gruesas > 5 mm	Muy finas < 1 mm Finas 1-2 mm Medianas 2-5 mm Gruesas > 5 mm	Muy finas < 1 mm Finas 1-2 mm Medianas 2-5 mm Gruesas > 5 mm
Anchura limite	Brusco < 2 cm Neto 2-5 cm Gradual 5-12 cm Difuso > 12 cm	Brusco < 2 cm Neto 2-5 cm Gradual 5-12 cm Difuso > 12 cm	Brusco < 2 cm Neto 2-5 cm Gradual 5-12 cm Difuso > 12 cm
Topografía limite	Plano - Ondulado - Irregular - Interrumpido	Plano - Ondulado - Irregular - Interrumpido	Plano - Ondulado - Irregular - Interrumpido

La base de calificación a utilizar en cada uno de los ítems indicados en el cuadro anterior se fundamentará en las guías para la descripción de perfiles de suelos (FAO 1990).

Anexo 2. Mapa de ubicación de los lotes seleccionados para el estudio en las subregiones forestales del INAB en Petén, Guatemala.





Anexo 3. Características, parámetros y códigos de medición de aspectos morfológicos del suelo basados en la guía para la descripción de perfiles de suelo (FAO 1990).

## ESTRUCTURA:

### Tipo y tamaño de estructura

Clase	Laminar (mm)	Prismática (mm)	En bloques Angulares (mm)	En bloques Subangulares (mm)	Granular (mm)
Muy fina	< 1	< 10	< 5	< 5	< 1
Fina	1 – 2	10 – 20	5 – 10	5 – 10	1 – 2
Media	2 – 5	20 – 50	10 – 20	10 – 20	2 – 5
Gruesa	5 – 10	50 – 100	20 – 50	20 – 50	5 – 10
Muy gruesa	> 10	> 100	> 50	> 50	> 10

## CONSISTENCIA

### Consistencia en seco:

Suelta: sin coherencia.

Blanda: la masa del suelo tiene débil coherencia y friabilidad; se deshace en polvo o granos suelos bajo ligera presión.

Ligeramente dura: débilmente resistente a la presión; se rompe fácilmente entre pulgar e índice.

Dura: moderadamente resistente a la presión; se puede romper en la mano sin dificultad, pero difícilmente se rompe entre pulgar e índice.

Muy dura: muy resistente a la presión; se puede romper en la mano solamente con dificultad.

Extremadamente dura: extremadamente resistente a la presión; no se puede romper en la mano.

### Consistencia en húmedo:

Suelta: sin coherencia.

Muy friable: el material se desmenuza bajo muy ligera presión, pero se une cuando se la comprime.

Friable: el material se desmenuza fácilmente bajo ligera o moderada presión entre pulgar e índice.

Firme: el material se desmenuza bajo moderada presión entre pulgar e índice, pero se nota una clara resistencia.

Muy firme: el material se desmenuza bajo fuerte presión; apenas desmenuzable entre pulgar e índice.

Extremadamente firme: el material se desmenuza solamente bajo una presión muy fuerte; no se puede desmenuzar entre el pulgar e índice.

Anexo 3. (Continuación...)

**POROS**

**Clase de abundancia**

<b>Símbolo</b>	<b>Clase</b>	<b>Muy fino/fino*</b>	<b>Medio/grueso*</b>
N	Ninguna	0	0
V	Muy pocos	1 – 20	1 – 2
F	Pocos	20 – 50	2 – 5
C	Frecuentes	50 – 200	5 – 20
M	Muchos	> 200	> 20

\* Datos en decímetros cuadrados.

**Clase de diámetro**

Muy finos: < 0.5 mm

Finos: 0.5 - 2 mm

Medianos: 2 a 5 mm

Gruesos: 5 - 20 mm

Muy gruesos: 20 – 50 mm

Anexo 4. Códigos numéricos asignados a las categorías de morfología del suelo para efectos del análisis estadístico.

<b>ESTRUCTURA</b>			
<b>TIPO</b>		<b>TAMAÑO</b>	
<i>Categoría</i>	<i>Código</i>	<i>Categoría</i>	<i>Código</i>
Laminar	1	Muy gruesa	1
Prismática	2	Gruesa	2
Bloques Angulares	3	Media	3
Bloques Subang.	4	Fina	4
Granular	5	Muy fina	5

<b>CONSISTENCIA</b>			
<b>En Seco</b>		<b>En Húmedo</b>	
<i>Categoría</i>	<i>Código</i>	<i>Categoría</i>	<i>Código</i>
Ext. dura	1	Ext. firme	1
Muy dura	2	Muy firme	2
Dura	3	Firme	3
Lig. dura	4	Friable	4
Blanda	5	Muy friable	5
Suelta	6	Suelta	6

<b>POROSIDAD</b>			
<b>Clase de abundancia</b>		<b>Clase de tamaño</b>	
<i>Categoría</i>	<i>Código</i>	<i>Categoría</i>	<i>Código</i>
Ninguna	0	Muy finos	1
Muy pocos	1	Finos	2
Pocos	2	Medianos	3
Frecuentes	3	Gruesos	4
Muchos	4	Muy gruesos	5

Anexo 5. Características químicas de los tratamientos (potrero-plantación) y profundidades estudiadas por lote.

Lote	Profundidad (cm)	Tratamiento	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	C.O.	N.T.	Rel. C:N
			H <sub>2</sub> O		-----cmol(+)/kg-----			mg/kg		-----%-----	
Teva	0 a 5	Plantación	6.6	0.07	24.1	3.8	0.30	4.6	8.2	0.76	9.26
Sofía	0 a 5	Plantación	8.0	0.05	29.2	5.2	0.57	4.7	5.4	0.59	10.93
Noctún	0 a 5	Plantación	6.2	0.08	32.9	5.7	0.40	3.7	8.2	0.75	9.12
Maranatha 99	0 a 5	Plantación	7.3	0.05	16.8	2.8	0.14	4	5.3	0.51	9.59
Maranatha 2000	0 a 5	Plantación	7.6	0.05	16.8	2.3	0.14	5.6	5.0	0.44	8.84
Astorga piedra	0 a 5	Plantación	7.2	0.05	12.7	4.1	0.69	3.6	3.4	0.35	10.45
Astorga AC	0 a 5	Plantación	6.3	0.06	6.0	1.4	0.43	3.6	2.8	0.32	11.55
Astorga BC	0 a 5	Plantación	6.4	0.05	7.0	1.9	0.16	4	2.8	0.30	10.71
Astorga 99	0 a 5	Plantación	6.7	0.05	8.8	2.1	0.30	4.7	3.0	0.29	9.60
Paraiso cerro	0 a 5	Plantación	6.6	0.05	42.1	2.5	0.12	1.6	8.7	0.85	9.80
Paraiso plano	0 a 5	Plantación	6.8	0.05	37.0	2.2	0.14	2.7	9.9	0.97	9.84
Subin	0 a 5	Plantación	7.3	0.06	22.5	2.8	0.31	4.5	6.7	0.61	9.06
Todico	0 a 5	Plantación	7.9	0.06	32.0	13.2	0.68	2.8	7.2	0.78	10.88
La Cachimba	0 a 5	Plantación	7.2	0.05	43.6	7.0	0.70	5.4	9.7	0.82	8.49
La Hojarasca	0 a 5	Plantación	7.7	0.15	14.5	2.1	0.32	8	4.3	0.42	9.72
Teva	0 a 5	Potrero	6.7	0.06	26.1	4.2	0.66	3.4	8.9	0.80	9.01
Sofía	0 a 5	Potrero	7.8	0.08	22.0	4.9	0.65	6.3	5.2	0.57	10.96
Noctún	0 a 5	Potrero	6.3	0.07	39.6	6.6	0.38	2.3	6.9	0.66	9.52
Maranatha 99	0 a 5	Potrero	6.3	0.07	13.6	3.5	0.44	4.8	5.9	0.57	9.69
Maranatha 2000	0 a 5	Potrero	7.2	0.05	15.4	2.8	0.22	4.1	4.4	0.48	10.93
Astorga piedra	0 a 5	Potrero	7.1	0.07	21.0	9.7	0.65	5.1	7.2	0.67	9.34
Astorga AC	0 a 5	Potrero	6.4	0.05	6.7	2.0	0.52	4.7	3.2	0.39	12.38
Astorga BC	0 a 5	Potrero	6.4	0.06	8.4	2.3	0.50	5.3	3.9	0.39	9.95
Astorga 99	0 a 5	Potrero	6.8	0.05	10.1	2.6	0.32	6.8	3.6	0.42	11.60
Paraiso cerro	0 a 5	Potrero	7.2	0.05	64.1	3.0	0.17	2	9.1	0.78	8.55
Paraiso plano	0 a 5	Potrero	6.7	0.10	33.3	2.0	0.25	4.8	14.2	1.34	9.42
Subin	0 a 5	Potrero	7.9	0.07	22.9	3.4	0.65	10.9	5.8	0.61	10.50
Todico	0 a 5	Potrero	7.3	0.05	24.5	10.8	0.63	2.5	7.0	0.78	11.19
La Cachimba	0 a 5	Potrero	7.3	0.06	32.1	6.5	0.96	6.1	8.2	0.71	8.62
La Hojarasca	0 a 5	Potrero	7.1	0.10	12.3	3.2	0.55	5.7	4.8	0.40	8.35
Teva	5 a 10	Plantación	6.5	0.05	20.0	2.5	0.11	2	4.7	0.54	11.49
Sofía	5 a 10	Plantación	7.9	0.06	28.8	5.2	0.23	1.9	4.9	0.54	11.11
Noctún	5 a 10	Plantación	6.1	0.06	32.4	4.3	0.23	2.1	5.0	0.51	10.12
Maranatha 99	5 a 10	Plantación	6.9	0.05	13.1	1.2	0.07	2.6	3.2	0.35	10.87
Maranatha 2000	5 a 10	Plantación	7.1	0.05	13.1	1.6	0.06	2.5	2.9	0.32	11.11
Astorga piedra	5 a 10	Plantación	7.1	0.06	12.7	3.9	0.51	2.8	2.7	0.33	12.04
Astorga AC	5 a 10	Plantación	6.3	0.05	4.3	0.9	0.16	2.4	1.8	0.21	11.60
Astorga BC	5 a 10	Plantación	6.5	0.05	5.5	1.3	0.06	1.8	1.8	0.22	12.50
Astorga 99	5 a 10	Plantación	6.6	0.05	6.1	1.3	0.14	4.6	1.8	0.23	12.92
Paraiso cerro	5 a 10	Plantación	6.8	0.05	43.1	2.3	0.08	1.4	7.8	0.83	10.68
Paraiso plano	5 a 10	Plantación	6.8	0.05	34.9	1.1	0.07	1.1	5.9	0.71	12.14
Subin	5 a 10	Plantación	6.9	0.05	19.7	1.9	0.09	2.5	4.8	0.52	10.90
Todico	5 a 10	Plantación	7.8	0.05	29.2	12.0	0.37	1.1	3.9	0.59	15.09
La Cachimba	5 a 10	Plantación	7.4	0.05	40.9	6.5	0.46	2.7	5.5	0.49	8.86
La Hojarasca	5 a 10	Plantación	7.6	0.15	15.5	1.9	0.17	4.7	4.0	0.42	10.45
Teva	5 a 10	Potrero	6.5	0.06	23.3	2.2	0.17	1.5	5.2	0.57	10.88
Sofía	5 a 10	Potrero	7.5	0.07	20.4	4.0	0.35	2	4.5	0.49	10.94
Noctún	5 a 10	Potrero	6.3	0.05	37.1	6.1	0.20	1	4.2	0.41	9.76
Maranatha 99	5 a 10	Potrero	5.9	0.07	8.4	1.5	0.14	2.2	3.0	0.33	10.89
Maranatha 2000	5 a 10	Potrero	6.6	0.05	10.5	1.4	0.08	2.3	2.6	0.31	11.83
Astorga piedra	5 a 10	Potrero	7.1	0.06	19.4	8.8	0.53	2.2	4.1	0.47	11.44
Astorga AC	5 a 10	Potrero	6.4	0.05	4.6	1.0	0.20	3.1	1.9	0.23	12.11
Astorga BC	5 a 10	Potrero	6.4	0.05	5.6	1.5	0.24	2.4	2.2	0.27	12.05
Astorga 99	5 a 10	Potrero	7.1	0.05	7.8	1.7	0.12	5.5	2.1	0.24	11.32
Paraiso cerro	5 a 10	Potrero	7.3	0.05	76.9	2.8	0.08	0.9	5.9	0.59	9.95
Paraiso plano	5 a 10	Potrero	6.9	0.05	46.4	1.3	0.10	1.3	6.6	0.68	10.26
Subin	5 a 10	Potrero	7.3	0.05	19.5	2.1	0.23	2.6	4.1	0.47	11.49
Todico	5 a 10	Potrero	7.5	0.05	23.9	10.9	0.24	1	3.9	0.53	13.49
La Cachimba	5 a 10	Potrero	7.4	0.05	29.3	6.1	0.61	2.6	4.7	0.42	8.97
La Hojarasca	5 a 10	Potrero	6.7	0.10	9.3	2.0	0.18	1.3	3.1	0.30	9.71







Anexo 7. Base de datos textural presentada para los tratamientos (potrero-plantación) y las profundidades estudiadas por lote.

Lote	Cobertura	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Teva	Plantación	0 a 5	50.5	20.0	29.5
Teva	Potrero	0 a 5	53.0	20.0	27.0
Teva	Plantación	5 a 10	40.5	20.0	39.5
Teva	Potrero	5 a 10	45.5	22.5	32.0
Sofia	Plantación	0 a 5	48.0	17.5	34.5
Sofia	Potrero	0 a 5	33.0	22.5	44.5
Sofia	Plantación	5 a 10	38.0	17.5	44.5
Sofia	Potrero	5 a 10	38.0	20.0	42.0
Noctún	Plantación	0 a 5	38.0	22.5	39.5
Noctún	Potrero	0 a 5	28.0	24.5	47.5
Noctún	Plantación	5 a 10	30.5	19.5	50.0
Noctún	Potrero	5 a 10	25.5	22.0	52.5
Maranatha 99	Plantación	0 a 5	46.0	22.0	32.0
Maranatha 99	Potrero	0 a 5	48.5	27.0	24.5
Maranatha 99	Plantación	5 a 10	38.5	22.0	39.5
Maranatha 99	Potrero	5 a 10	53.5	22.0	24.5
Maranatha 2000	Plantación	0 a 5	42.5	22.0	35.5
Maranatha 2000	Potrero	0 a 5	43.0	22.5	34.5
Maranatha 2000	Plantación	5 a 10	33.0	25.0	42.0
Maranatha 2000	Potrero	5 a 10	30.5	22.5	47.0
Astorga piedra	Plantación	0 a 5	45.5	27.0	27.5
Astorga piedra	Potrero	0 a 5	48.0	21.5	30.5
Astorga piedra	Plantación	5 a 10	45.5	24.5	30.0
Astorga piedra	Potrero	5 a 10	43.0	19.0	38.0
Astorga AC	Plantación	0 a 5	65.0	24.0	11.0
Astorga AC	Potrero	0 a 5	67.5	21.5	11.0
Astorga AC	Plantación	5 a 10	60.0	29.0	11.0
Astorga AC	Potrero	5 a 10	62.5	26.5	11.0
Astorga BC	Plantación	0 a 5	65.5	25.0	9.5
Astorga BC	Potrero	0 a 5	63.0	30.0	7.0
Astorga BC	Plantación	5 a 10	60.5	30.0	9.5
Astorga BC	Potrero	5 a 10	60.5	27.0	12.5
Astorga 99	Plantación	0 a 5	60.5	29.5	10.0
Astorga 99	Potrero	0 a 5	65.5	22.0	12.5
Astorga 99	Plantación	5 a 10	58.0	27.0	15.0
Astorga 99	Potrero	5 a 10	58.0	26.5	15.5
Paraíso cerro	Plantación	0 a 5	51.0	17.0	32.0
Paraíso cerro	Potrero	0 a 5	38.5	17.0	44.5
Paraíso cerro	Plantación	5 a 10	48.5	17.0	34.5
Paraíso cerro	Potrero	5 a 10	41.0	14.5	44.5
Paraíso plano	Plantación	0 a 5	48.0	19.5	32.5
Paraíso plano	Potrero	0 a 5	45.5	22.0	32.5
Paraíso plano	Plantación	5 a 10	43.0	17.0	40.0
Paraíso plano	Potrero	5 a 10	35.5	17.0	47.5
Subin	Plantación	0 a 5	50.5	19.0	30.5
Subin	Potrero	0 a 5	42.5	22.0	35.5
Subin	Plantación	5 a 10	45.5	24.0	30.5
Subin	Potrero	5 a 10	37.5	19.0	43.5
Todico	Plantación	0 a 5	41.0	19.5	39.5
Todico	Potrero	0 a 5	55.0	14.5	30.5
Todico	Plantación	5 a 10	33.0	17.0	50.0
Todico	Potrero	5 a 10	40.5	14.5	45.0
La Cachimba	Plantación	0 a 5	30.5	22.0	47.5
La Cachimba	Potrero	0 a 5	38.0	24.5	37.5
La Cachimba	Plantación	5 a 10	25.5	22.0	52.5
La Cachimba	Potrero	5 a 10	30.5	19.5	50.0
La Hojarasca	Plantación	0 a 5	32.5	20.0	47.5
La Hojarasca	Potrero	0 a 5	30.5	24.5	45.0
La Hojarasca	Plantación	5 a 10	28.0	22.0	50.0
La Hojarasca	Potrero	5 a 10	25.5	22.0	52.5



Anexo 8. Base de datos de densidad aparente para los tratamientos (potrero-plantación) y las profundidades estudiadas por lote.

Lote	No. Muestra	Profundidad (cm)	Cobertura	DA (gr/cm <sup>3</sup> )	Lote	No. Muestra	Profundidad (cm)	Cobertura	DA (gr/cm <sup>3</sup> )
Teva	1	0 a 5	Plantación	0.909	Noctún	1	5 a 10	Plantación	0.836
Teva	2	0 a 5	Plantación	0.878	Noctún	2	5 a 10	Plantación	1.014
Teva	3	0 a 5	Plantación	1.040	Noctún	3	5 a 10	Plantación	1.073
Teva	4	0 a 5	Plantación	1.036	Noctún	4	5 a 10	Plantación	0.734
Teva	5	0 a 5	Plantación	0.840	Noctún	5	5 a 10	Plantación	1.047
Teva	6	0 a 5	Plantación	0.815	Noctún	6	5 a 10	Plantación	1.033
Teva	1	0 a 5	Potrero	0.980	Noctún	1	5 a 10	Potrero	1.109
Teva	2	0 a 5	Potrero	0.985	Noctún	2	5 a 10	Potrero	0.934
Teva	3	0 a 5	Potrero	1.102	Noctún	3	5 a 10	Potrero	1.031
Teva	4	0 a 5	Potrero	1.014	Noctún	4	5 a 10	Potrero	0.957
Teva	5	0 a 5	Potrero	1.024	Noctún	5	5 a 10	Potrero	0.924
Teva	6	0 a 5	Potrero	0.982	Noctún	6	5 a 10	Potrero	1.043
Teva	1	5 a 10	Plantación	0.982	Maranatha 99	1	0 a 5	Plantación	1.068
Teva	2	5 a 10	Plantación	1.030	Maranatha 99	2	0 a 5	Plantación	1.063
Teva	3	5 a 10	Plantación	1.073	Maranatha 99	3	0 a 5	Plantación	1.040
Teva	4	5 a 10	Plantación	0.990	Maranatha 99	4	0 a 5	Plantación	1.191
Teva	5	5 a 10	Plantación	1.106	Maranatha 99	5	0 a 5	Plantación	0.851
Teva	6	5 a 10	Plantación	0.886	Maranatha 99	6	0 a 5	Plantación	1.022
Teva	1	5 a 10	Potrero	1.062	Maranatha 99	1	0 a 5	Potrero	1.297
Teva	2	5 a 10	Potrero	1.008	Maranatha 99	2	0 a 5	Potrero	1.053
Teva	3	5 a 10	Potrero	1.182	Maranatha 99	3	0 a 5	Potrero	1.116
Teva	4	5 a 10	Potrero	1.095	Maranatha 99	4	0 a 5	Potrero	1.018
Teva	5	5 a 10	Potrero	1.038	Maranatha 99	5	0 a 5	Potrero	1.114
Teva	6	5 a 10	Potrero	0.941	Maranatha 99	6	0 a 5	Potrero	1.024
Sofía	1	0 a 5	Plantación	0.941	Maranatha 99	1	5 a 10	Plantación	1.072
Sofía	2	0 a 5	Plantación	0.969	Maranatha 99	2	5 a 10	Plantación	1.057
Sofía	3	0 a 5	Plantación	0.994	Maranatha 99	3	5 a 10	Plantación	1.124
Sofía	4	0 a 5	Plantación	1.054	Maranatha 99	4	5 a 10	Plantación	1.004
Sofía	5	0 a 5	Plantación	0.843	Maranatha 99	5	5 a 10	Plantación	1.160
Sofía	6	0 a 5	Plantación	0.962	Maranatha 99	6	5 a 10	Plantación	1.175
Sofía	1	0 a 5	Potrero	1.122	Maranatha 99	1	5 a 10	Potrero	1.197
Sofía	2	0 a 5	Potrero	0.932	Maranatha 99	2	5 a 10	Potrero	1.165
Sofía	3	0 a 5	Potrero	1.025	Maranatha 99	3	5 a 10	Potrero	1.223
Sofía	4	0 a 5	Potrero	1.124	Maranatha 99	4	5 a 10	Potrero	1.127
Sofía	5	0 a 5	Potrero	1.050	Maranatha 99	5	5 a 10	Potrero	1.032
Sofía	6	0 a 5	Potrero	1.018	Maranatha 99	6	5 a 10	Potrero	1.120
Sofía	1	5 a 10	Plantación	0.941	Maranatha 2000	1	0 a 5	Plantación	0.856
Sofía	2	5 a 10	Plantación	1.137	Maranatha 2000	2	0 a 5	Plantación	1.201
Sofía	3	5 a 10	Plantación	1.090	Maranatha 2000	3	0 a 5	Plantación	1.123
Sofía	4	5 a 10	Plantación	0.950	Maranatha 2000	4	0 a 5	Plantación	1.072
Sofía	5	5 a 10	Plantación	0.897	Maranatha 2000	5	0 a 5	Plantación	1.008
Sofía	6	5 a 10	Plantación	1.003	Maranatha 2000	6	0 a 5	Plantación	1.099
Sofía	1	5 a 10	Potrero	1.000	Maranatha 2000	1	0 a 5	Potrero	1.170
Sofía	2	5 a 10	Potrero	1.058	Maranatha 2000	2	0 a 5	Potrero	1.314
Sofía	3	5 a 10	Potrero	1.108	Maranatha 2000	3	0 a 5	Potrero	1.161
Sofía	4	5 a 10	Potrero	1.031	Maranatha 2000	4	0 a 5	Potrero	1.146
Sofía	5	5 a 10	Potrero	0.990	Maranatha 2000	5	0 a 5	Potrero	1.244
Sofía	6	5 a 10	Potrero	1.061	Maranatha 2000	6	0 a 5	Potrero	1.062
Noctún	1	0 a 5	Plantación	0.792	Maranatha 2000	1	5 a 10	Plantación	1.048
Noctún	2	0 a 5	Plantación	0.743	Maranatha 2000	2	5 a 10	Plantación	1.144
Noctún	3	0 a 5	Plantación	0.890	Maranatha 2000	3	5 a 10	Plantación	1.176
Noctún	4	0 a 5	Plantación	0.925	Maranatha 2000	4	5 a 10	Plantación	1.099
Noctún	5	0 a 5	Plantación	0.762	Maranatha 2000	5	5 a 10	Plantación	0.992
Noctún	6	0 a 5	Plantación	0.808	Maranatha 2000	6	5 a 10	Plantación	1.036
Noctún	1	0 a 5	Potrero	0.977	Maranatha 2000	1	5 a 10	Potrero	1.277
Noctún	2	0 a 5	Potrero	1.096	Maranatha 2000	2	5 a 10	Potrero	1.168
Noctún	3	0 a 5	Potrero	0.965	Maranatha 2000	3	5 a 10	Potrero	1.136
Noctún	4	0 a 5	Potrero	0.956	Maranatha 2000	4	5 a 10	Potrero	1.141
Noctún	5	0 a 5	Potrero	0.852	Maranatha 2000	5	5 a 10	Potrero	1.285
Noctún	6	0 a 5	Potrero	1.022	Maranatha 2000	6	5 a 10	Potrero	1.211

Anexo 8. (Continuación...)

Lote	No. Muestra	Profundidad (cm)	Cobertura	DA (gr/cm <sup>3</sup> )	Lote	No. Muestra	Profundidad (cm)	Cobertura	DA (gr/cm <sup>3</sup> )
Astorga piedra	1	0 a 5	Plantación	1.544	Astorga BC	1	5 a 10	Plantación	1.459
Astorga piedra	2	0 a 5	Plantación	1.583	Astorga BC	2	5 a 10	Plantación	1.518
Astorga piedra	3	0 a 5	Plantación	1.427	Astorga BC	3	5 a 10	Plantación	1.514
Astorga piedra	4	0 a 5	Plantación	1.519	Astorga BC	4	5 a 10	Plantación	1.536
Astorga piedra	5	0 a 5	Plantación	1.329	Astorga BC	5	5 a 10	Plantación	1.622
Astorga piedra	6	0 a 5	Plantación	1.288	Astorga BC	6	5 a 10	Plantación	1.588
Astorga piedra	1	0 a 5	Potrero	1.094	Astorga BC	1	5 a 10	Potrero	1.453
Astorga piedra	2	0 a 5	Potrero	1.310	Astorga BC	2	5 a 10	Potrero	1.253
Astorga piedra	3	0 a 5	Potrero	1.218	Astorga BC	3	5 a 10	Potrero	1.617
Astorga piedra	4	0 a 5	Potrero	1.191	Astorga BC	4	5 a 10	Potrero	1.654
Astorga piedra	5	0 a 5	Potrero	1.289	Astorga BC	5	5 a 10	Potrero	1.553
Astorga piedra	6	0 a 5	Potrero	1.223	Astorga BC	6	5 a 10	Potrero	1.545
Astorga piedra	1	5 a 10	Plantación	1.456	Astorga 99	1	0 a 5	Plantación	1.512
Astorga piedra	2	5 a 10	Plantación	1.593	Astorga 99	2	0 a 5	Plantación	1.382
Astorga piedra	3	5 a 10	Plantación	1.511	Astorga 99	3	0 a 5	Plantación	1.312
Astorga piedra	4	5 a 10	Plantación	1.519	Astorga 99	4	0 a 5	Plantación	1.442
Astorga piedra	5	5 a 10	Plantación	1.511	Astorga 99	5	0 a 5	Plantación	1.396
Astorga piedra	6	5 a 10	Plantación	1.223	Astorga 99	6	0 a 5	Plantación	1.517
Astorga piedra	1	5 a 10	Potrero	1.349	Astorga 99	1	0 a 5	Potrero	1.572
Astorga piedra	2	5 a 10	Potrero	1.350	Astorga 99	2	0 a 5	Potrero	1.417
Astorga piedra	3	5 a 10	Potrero	1.463	Astorga 99	3	0 a 5	Potrero	1.238
Astorga piedra	4	5 a 10	Potrero	1.282	Astorga 99	4	0 a 5	Potrero	1.377
Astorga piedra	5	5 a 10	Potrero	1.339	Astorga 99	5	0 a 5	Potrero	1.610
Astorga piedra	6	5 a 10	Potrero	1.357	Astorga 99	6	0 a 5	Potrero	1.583
Astorga AC	1	0 a 5	Plantación	1.575	Astorga 99	1	5 a 10	Plantación	1.502
Astorga AC	2	0 a 5	Plantación	1.617	Astorga 99	2	5 a 10	Plantación	1.574
Astorga AC	3	0 a 5	Plantación	1.560	Astorga 99	3	5 a 10	Plantación	1.502
Astorga AC	4	0 a 5	Plantación	1.415	Astorga 99	4	5 a 10	Plantación	1.455
Astorga AC	5	0 a 5	Plantación	1.355	Astorga 99	5	5 a 10	Plantación	1.594
Astorga AC	6	0 a 5	Plantación	1.583	Astorga 99	6	5 a 10	Plantación	1.595
Astorga AC	1	0 a 5	Potrero	1.486	Astorga 99	1	5 a 10	Potrero	1.617
Astorga AC	2	0 a 5	Potrero	1.479	Astorga 99	2	5 a 10	Potrero	1.303
Astorga AC	3	0 a 5	Potrero	1.605	Astorga 99	3	5 a 10	Potrero	1.443
Astorga AC	4	0 a 5	Potrero	1.464	Astorga 99	4	5 a 10	Potrero	1.594
Astorga AC	5	0 a 5	Potrero	1.460	Astorga 99	5	5 a 10	Potrero	1.561
Astorga AC	6	0 a 5	Potrero	1.565	Astorga 99	6	5 a 10	Potrero	1.623
Astorga AC	1	5 a 10	Plantación	1.545	Paraíso cerro	1	0 a 5	Plantación	0.827
Astorga AC	2	5 a 10	Plantación	1.608	Paraíso cerro	2	0 a 5	Plantación	0.763
Astorga AC	3	5 a 10	Plantación	1.532	Paraíso cerro	3	0 a 5	Plantación	0.673
Astorga AC	4	5 a 10	Plantación	1.350	Paraíso cerro	4	0 a 5	Plantación	0.750
Astorga AC	5	5 a 10	Plantación	1.638	Paraíso cerro	5	0 a 5	Plantación	0.794
Astorga AC	6	5 a 10	Plantación	1.597	Paraíso cerro	6	0 a 5	Plantación	0.698
Astorga AC	1	5 a 10	Potrero	1.603	Paraíso cerro	1	0 a 5	Potrero	0.821
Astorga AC	2	5 a 10	Potrero	1.678	Paraíso cerro	2	0 a 5	Potrero	0.898
Astorga AC	3	5 a 10	Potrero	1.591	Paraíso cerro	3	0 a 5	Potrero	1.026
Astorga AC	4	5 a 10	Potrero	1.554	Paraíso cerro	4	0 a 5	Potrero	1.028
Astorga AC	5	5 a 10	Potrero	1.709	Paraíso cerro	5	0 a 5	Potrero	1.064
Astorga AC	6	5 a 10	Potrero	1.665	Paraíso cerro	6	0 a 5	Potrero	0.938
Astorga BC	1	0 a 5	Plantación	1.486	Paraíso cerro	1	5 a 10	Plantación	0.764
Astorga BC	2	0 a 5	Plantación	1.401	Paraíso cerro	2	5 a 10	Plantación	0.902
Astorga BC	3	0 a 5	Plantación	1.357	Paraíso cerro	3	5 a 10	Plantación	0.680
Astorga BC	4	0 a 5	Plantación	1.249	Paraíso cerro	4	5 a 10	Plantación	0.794
Astorga BC	5	0 a 5	Plantación	1.289	Paraíso cerro	5	5 a 10	Plantación	0.904
Astorga BC	6	0 a 5	Plantación	1.614	Paraíso cerro	6	5 a 10	Plantación	0.825
Astorga BC	1	0 a 5	Potrero	1.251	Paraíso cerro	1	5 a 10	Potrero	1.072
Astorga BC	2	0 a 5	Potrero	1.509	Paraíso cerro	2	5 a 10	Potrero	0.840
Astorga BC	3	0 a 5	Potrero	1.575	Paraíso cerro	3	5 a 10	Potrero	0.923
Astorga BC	4	0 a 5	Potrero	1.309	Paraíso cerro	4	5 a 10	Potrero	1.020
Astorga BC	5	0 a 5	Potrero	1.473	Paraíso cerro	5	5 a 10	Potrero	0.936
Astorga BC	6	0 a 5	Potrero	1.478	Paraíso cerro	6	5 a 10	Potrero	0.989

Anexo 8. (Continuación...)

Lote	No. Muestra	Profundidad (cm)	Cobertura	DA (gr/cm <sup>3</sup> )	Lote	No. Muestra	Profundidad (cm)	Cobertura	DA (gr/cm <sup>3</sup> )
Paraíso plano	1	0 a 5	Plantación	0.795	Todico	1	5 a 10	Plantación	0.936
Paraíso plano	2	0 a 5	Plantación	0.855	Todico	2	5 a 10	Plantación	0.929
Paraíso plano	3	0 a 5	Plantación	0.751	Todico	3	5 a 10	Plantación	1.039
Paraíso plano	4	0 a 5	Plantación	0.791	Todico	4	5 a 10	Plantación	1.025
Paraíso plano	5	0 a 5	Plantación	0.645	Todico	5	5 a 10	Plantación	1.059
Paraíso plano	6	0 a 5	Plantación	0.857	Todico	6	5 a 10	Plantación	0.998
Paraíso plano	1	0 a 5	Potrero	1.022	Todico	1	5 a 10	Potrero	1.079
Paraíso plano	2	0 a 5	Potrero	1.046	Todico	2	5 a 10	Potrero	1.130
Paraíso plano	3	0 a 5	Potrero	0.991	Todico	3	5 a 10	Potrero	1.301
Paraíso plano	4	0 a 5	Potrero	0.711	Todico	4	5 a 10	Potrero	1.241
Paraíso plano	5	0 a 5	Potrero	0.819	Todico	5	5 a 10	Potrero	1.271
Paraíso plano	6	0 a 5	Potrero	1.058	Todico	6	5 a 10	Potrero	1.207
Paraíso plano	1	5 a 10	Plantación	0.833	La Cachimba	1	0 a 5	Plantación	0.934
Paraíso plano	2	5 a 10	Plantación	0.941	La Cachimba	2	0 a 5	Plantación	0.817
Paraíso plano	3	5 a 10	Plantación	1.028	La Cachimba	3	0 a 5	Plantación	0.789
Paraíso plano	4	5 a 10	Plantación	0.999	La Cachimba	4	0 a 5	Plantación	0.804
Paraíso plano	5	5 a 10	Plantación	0.697	La Cachimba	5	0 a 5	Plantación	0.792
Paraíso plano	6	5 a 10	Plantación	0.915	La Cachimba	6	0 a 5	Plantación	1.057
Paraíso plano	1	5 a 10	Potrero	1.047	La Cachimba	1	0 a 5	Potrero	0.711
Paraíso plano	2	5 a 10	Potrero	1.028	La Cachimba	2	0 a 5	Potrero	0.800
Paraíso plano	3	5 a 10	Potrero	1.014	La Cachimba	3	0 a 5	Potrero	0.967
Paraíso plano	4	5 a 10	Potrero	0.856	La Cachimba	4	0 a 5	Potrero	0.822
Paraíso plano	5	5 a 10	Potrero	0.923	La Cachimba	5	0 a 5	Potrero	0.897
Paraíso plano	6	5 a 10	Potrero	0.999	La Cachimba	6	0 a 5	Potrero	0.877
Subin	1	0 a 5	Plantación	0.835	La Cachimba	1	5 a 10	Plantación	1.040
Subin	2	0 a 5	Plantación	0.804	La Cachimba	2	5 a 10	Plantación	0.943
Subin	3	0 a 5	Plantación	1.016	La Cachimba	3	5 a 10	Plantación	0.886
Subin	4	0 a 5	Plantación	0.926	La Cachimba	4	5 a 10	Plantación	0.945
Subin	5	0 a 5	Plantación	0.898	La Cachimba	5	5 a 10	Plantación	0.836
Subin	6	0 a 5	Plantación	1.072	La Cachimba	6	5 a 10	Plantación	0.834
Subin	1	0 a 5	Potrero	0.963	La Cachimba	1	5 a 10	Potrero	0.903
Subin	2	0 a 5	Potrero	0.942	La Cachimba	2	5 a 10	Potrero	0.972
Subin	3	0 a 5	Potrero	0.992	La Cachimba	3	5 a 10	Potrero	1.011
Subin	4	0 a 5	Potrero	1.055	La Cachimba	4	5 a 10	Potrero	1.032
Subin	5	0 a 5	Potrero	1.030	La Cachimba	5	5 a 10	Potrero	0.986
Subin	6	0 a 5	Potrero	0.938	La Cachimba	6	5 a 10	Potrero	1.055
Subin	1	5 a 10	Plantación	1.066	La Hojarasca	1	0 a 5	Plantación	1.008
Subin	2	5 a 10	Plantación	0.876	La Hojarasca	2	0 a 5	Plantación	0.882
Subin	3	5 a 10	Plantación	1.022	La Hojarasca	3	0 a 5	Plantación	0.889
Subin	4	5 a 10	Plantación	0.961	La Hojarasca	4	0 a 5	Plantación	0.841
Subin	5	5 a 10	Plantación	1.032	La Hojarasca	5	0 a 5	Plantación	0.764
Subin	6	5 a 10	Plantación	0.925	La Hojarasca	6	0 a 5	Plantación	0.878
Subin	1	5 a 10	Potrero	0.825	La Hojarasca	1	0 a 5	Potrero	1.056
Subin	2	5 a 10	Potrero	1.116	La Hojarasca	2	0 a 5	Potrero	1.022
Subin	3	5 a 10	Potrero	1.222	La Hojarasca	3	0 a 5	Potrero	1.173
Subin	4	5 a 10	Potrero	1.063	La Hojarasca	4	0 a 5	Potrero	1.107
Subin	5	5 a 10	Potrero	1.001	La Hojarasca	5	0 a 5	Potrero	0.977
Subin	6	5 a 10	Potrero	1.014	La Hojarasca	6	0 a 5	Potrero	1.067
Todico	1	0 a 5	Plantación	0.991	La Hojarasca	1	5 a 10	Plantación	1.065
Todico	2	0 a 5	Plantación	0.926	La Hojarasca	2	5 a 10	Plantación	0.923
Todico	3	0 a 5	Plantación	0.969	La Hojarasca	3	5 a 10	Plantación	0.866
Todico	4	0 a 5	Plantación	0.975	La Hojarasca	4	5 a 10	Plantación	0.862
Todico	5	0 a 5	Plantación	1.106	La Hojarasca	5	5 a 10	Plantación	0.889
Todico	6	0 a 5	Plantación	0.998	La Hojarasca	6	5 a 10	Plantación	0.922
Todico	1	0 a 5	Potrero	1.143	La Hojarasca	1	5 a 10	Potrero	1.060
Todico	2	0 a 5	Potrero	0.792	La Hojarasca	2	5 a 10	Potrero	1.052
Todico	3	0 a 5	Potrero	0.937	La Hojarasca	3	5 a 10	Potrero	1.033
Todico	4	0 a 5	Potrero	0.986	La Hojarasca	4	5 a 10	Potrero	1.066
Todico	5	0 a 5	Potrero	1.080	La Hojarasca	5	5 a 10	Potrero	1.047
Todico	6	0 a 5	Potrero	0.990	La Hojarasca	6	5 a 10	Potrero	1.052

Anexo 9. Base de datos de poblaciones de lombrices encontradas en los tratamientos (potero-plantación), las profundidades y épocas estudiadas por lote.

Lote	Cobertura	Profundidad (cm)	Prom. m <sup>2</sup> Verano	Prom. m <sup>2</sup> Invierno
Teva	Plantación	0 a 10	0	20
Teva	Potrero	0 a 10	0	28
Teva	Plantación	10 a 20	0.8	12.8
Teva	Potrero	10 a 20	1.6	1.6
Sofía	Plantación	0 a 10	0	15.2
Sofía	Potrero	0 a 10	0	84.8
Sofía	Plantación	10 a 20	0	1.6
Sofía	Potrero	10 a 20	0.8	26.4
Noctún	Plantación	0 a 10	14.4	15.2
Noctún	Potrero	0 a 10	0.8	2.4
Noctún	Plantación	10 a 20	10.4	0.8
Noctún	Potrero	10 a 20	0.8	0
Maranatha 99	Plantación	0 a 10	0	7.2
Maranatha 99	Potrero	0 a 10	0	12
Maranatha 99	Plantación	10 a 20	5.6	2.4
Maranatha 99	Potrero	10 a 20	0	0
Maranatha 2000	Plantación	0 a 10	0	8.8
Maranatha 2000	Potrero	0 a 10	0	19.2
Maranatha 2000	Plantación	10 a 20	4.8	0.8
Maranatha 2000	Potrero	10 a 20	0.8	0.8
Astorga piedra	Plantación	0 a 10	3.2	22.4
Astorga piedra	Potrero	0 a 10	0	10.4
Astorga piedra	Plantación	10 a 20	10.4	3.2
Astorga piedra	Potrero	10 a 20	0	1.6
Astorga AC	Plantación	0 a 10	7.2	15.2
Astorga AC	Potrero	0 a 10	2.4	0.8
Astorga AC	Plantación	10 a 20	17.6	1.6
Astorga AC	Potrero	10 a 20	7.2	0
Astorga BC	Plantación	0 a 10	2.4	1.6
Astorga BC	Potrero	0 a 10	0	0.8
Astorga BC	Plantación	10 a 20	8	0
Astorga BC	Potrero	10 a 20	1.6	0
Astorga 99	Plantación	0 a 10	3.2	25.6
Astorga 99	Potrero	0 a 10	0	1.6
Astorga 99	Plantación	10 a 20	10.4	6.4
Astorga 99	Potrero	10 a 20	0	0
Paraíso cerro	Plantación	0 a 10	0	5.6
Paraíso cerro	Potrero	0 a 10	0	4.8
Paraíso cerro	Plantación	10 a 20	0.8	0
Paraíso cerro	Potrero	10 a 20	0	0
Paraíso plano	Plantación	0 a 10	8	34.4
Paraíso plano	Potrero	0 a 10	0	0
Paraíso plano	Plantación	10 a 20	7.2	3.2
Paraíso plano	Potrero	10 a 20	0	0
Subin	Plantación	0 a 10	6.4	9.6
Subin	Potrero	0 a 10	0	5.6
Subin	Plantación	10 a 20	8	1.6
Subin	Potrero	10 a 20	4	0
Todico	Plantación	0 a 10	0	20
Todico	Potrero	0 a 10	0	5.6
Todico	Plantación	10 a 20	0	4.8
Todico	Potrero	10 a 20	0	1.6
La Cachimba	Plantación	0 a 10	5.6	15.2
La Cachimba	Potrero	0 a 10	1.6	6.4
La Cachimba	Plantación	10 a 20	3.2	0
La Cachimba	Potrero	10 a 20	5.6	0
La Hojarasca	Plantación	0 a 10	3.2	19.2
La Hojarasca	Potrero	0 a 10	2.4	13.6
La Hojarasca	Plantación	10 a 20	5.6	4
La Hojarasca	Potrero	10 a 20	4	5.6

Anexo 10. Matriz de correlación entre el grado de desarrollo de las plantaciones y características del suelo (5 a 10 cm de profundidad).

	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	C.O.	N.T.	Rel.C:N	DAPProm	AltProm	AltDomin	IMADAP	IMAAAlt	AbasalHA	VolHA	IMAVol
pH	1.0000																
Acidez	0.4197	1.0000															
Ca	0.2343	0.1988	1.0000														
Mg	0.5870	0.0308	0.4894	1.0000													
K	0.5245	0.0728	0.3877	0.7813	1.0000									0.0347			
P	0.2502	0.7478	-0.0957	-0.1612	0.0925	1.0000											
C.O.	0.1607	0.3240	0.9478	0.2827	0.1681	0.0107	1.0000										
N.T.	0.2094	0.2998	0.9239	0.3476	0.1298	-0.1049	0.9717	1.0000									
RelC:N	0.1027	-0.3048	-0.3329	0.2491	-0.1002	-0.4837	-0.4027	-0.1891	1.0000								
DAPProm	-0.0197	-0.0468	-0.2131	-0.3229	-0.0155	0.1959	-0.2052	-0.2139	0.1418	1.0000							
AltProm	-0.0236	-0.1211	0.0526	-0.0004	0.1739	0.0401	0.0031	0.0360	0.2670	0.8282	1.0000						
AltDomin	-0.0525	-0.1769	0.2130	0.0134	0.1373	-0.0925	0.1510	0.1870	0.2444	0.7747	0.9653	1.0000					
IMADAP	0.2053	0.2382	-0.0143	-0.0372	0.3104	0.3006	-0.0590	-0.0842	0.0176	0.8442	0.6569	0.5912	1.0000				
IMAAAlt	0.1706	0.1280	0.2957	0.3773	0.5473	0.0952	0.1707	0.1977	0.1880	0.5854	0.8284	0.7864	0.7268	1.0000			
AbasalHA	-0.0305	-0.0825	-0.1115	-0.3741	-0.0886	0.1418	-0.0654	-0.0774	-0.0192	0.7867	0.7875	0.7557	0.5150	0.4592	1.0000		
VolHA	-0.0995	-0.1547	-0.0922	-0.3042	-0.0390	0.0735	-0.0708	-0.0652	0.1202	0.8768	0.9080	0.8749	0.6161	0.6040	0.9584	1.0000	
IMAVol	-0.0076	-0.0547	-0.0090	-0.2035	0.1032	0.1041	-0.0101	-0.0095	0.0788	0.8659	0.9163	0.8781	0.7096	0.7178	0.9338	0.9773	1.0000

Anexo 11. Matriz de correlación entre el grado de desarrollo de las plantaciones y los nutrientes foliares.

	CaFol.	MgFol.	KFol.	PFol.	N.T.Fol.	DAPProm	AltProm	AltDomin	IMADAP	IMAAlt	AbasalHA	VolHA	IMAVol
CaFol.	1.0000	0.1017	0.0364	0.1554	0.0332	0.2593	0.2218	0.1402	0.3742	0.2905	0.5474	0.2983	0.2996
MgFol.	-0.4389	1.0000	0.6233	0.4676	0.8883	0.7191	0.6045	0.7056	0.5600	0.7282	0.3101	0.4410	0.6456
KFol.	-0.5431	0.1382	1.0000	0.1792	0.0761	0.0035	0.0148	0.0572	0.0009	0.0100	0.1859	0.0479	0.0250
PFol.	0.3859	-0.2032	-0.3664	1.0000	0.4084	0.9618	0.2480	0.3675	0.7190	0.2696	0.9448	0.6364	0.6754
N.T.Fol.	-0.5511	-0.0397	0.4713	-0.2306	1.0000	0.0913	0.2126	0.1584	0.2999	0.6507	0.2032	0.1185	0.1349
DAPProm	-0.3109	0.1014	0.7017	-0.0135	0.4514	1.0000	0.0001	0.0007	0.0001	0.0219	0.0005	1.8E-05	3.0E-05
AltProm	-0.3353	0.1457	0.6143	-0.3181	0.3417	0.8282	1.0000	5.9E-09	0.0078	0.0001	0.0005	2.9E-06	1.6E-06
AltDomin	-0.3994	0.1065	0.5009	-0.2507	0.3834	0.7747	0.9653	1.0000	0.0203	0.0005	0.0011	2.0E-05	1.7E-05
IMADAP	-0.2473	-0.1637	0.7648	0.1015	0.2869	0.8442	0.6569	0.5912	1.0000	0.0021	0.0495	0.0145	0.0030
IMAAlt	-0.2922	-0.0980	0.6409	-0.3046	0.1275	0.5854	0.8284	0.7864	0.7268	1.0000	0.0851	0.0171	0.0026
AbasalHA	-0.1689	0.2811	0.3612	-0.0196	0.3484	0.7867	0.7875	0.7557	0.5150	0.4592	1.0000	1.9E-08	3.6E-07
VolHA	-0.2878	0.2153	0.5180	-0.1331	0.4205	0.8768	0.9080	0.8749	0.6161	0.6040	0.9584	1.0000	3.8E-10
IMAVol	-0.2870	0.1295	0.5747	-0.1180	0.4044	0.8659	0.9163	0.8781	0.7096	0.7178	0.9338	0.9773	1.0000

Anexo 12. Tabla de niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos.

Características	Categoría		
	Baja	Media	Alta
pH agua 1:2.5	< 5.5	5.6 a 6.5	> 6.5
acidez (cmol(+)/l)	< 0.5	0.5 a 1.5	> 1.5
Saturación acidez %	< 10	10 a 50	> 50
suma de bases (cmol(+)/l)	< 5	5 a 25	> 25
CICE (cmol(+)/l)	< 5	5 a 25	> 25
Ca (cmol(+)/l)	< 4	4 a 20	> 20
Mg (cmol(+)/l)	< 1	1 a 5	> 5
K (cmol(+)/l)	< 0.2	0.2 a 0.6	> 0.6
Ca/Mg		2 a 5	
Ca/K		5 a 25	
Mg/K		2.5 a 15	
Ca+Mg/K		10 a 40	
P (mg/l)	< 10	10 a 20	> 20
Zn (mg/l)	< 2	2 a 10	> 10
Mn (mg/l)	< 5	5 a 50	> 50
Fe (mg/l)	< 10	10 a 100	> 100
Cu (mg/l)	< 2	2 a 20	> 20

Fuente: Bertsch (1998).

Anexo 13. Matriz de correlación entre características del suelo y concentraciones foliares.

Matriz de correlación entre características del suelo y nutrientes foliares (0 a 5 cm de profundidad)

	CaFol.	MgFol.	KFol.	PFol.	N.T.Fol.	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	C.O.	N.T.	RelC:N
CaFol.	1.0000	0.1017	0.0364	0.1554	0.0332	0.1761	0.0731	0.4142	0.7716	0.3392	0.0031	0.2201	0.3192	0.0260
MgFol.	-0.4389	1.0000	0.6233	0.4676	0.8883	0.3225	0.0234	0.0693	0.9483	0.5455	0.1654	0.0455	0.0595	0.4169
KFol.	-0.5431	0.1382	1.0000	0.1792	0.0761	0.5971	0.4007	0.0935	0.7748	0.4926	0.1784	0.0240	0.0396	0.0057
PFol.	0.3859	-0.2032	-0.3664	1.0000	0.4084	0.1406	0.9669	0.2469	0.6849	0.6723	0.1385	0.2654	0.2760	0.3685
N.T.Fol.	-0.5511	-0.0397	0.4713	-0.2306	1.0000	0.0143	0.0791	0.3431	0.0197	0.0942	0.0147	0.2758	0.3051	0.0858
pH	0.3688	0.2743	-0.1486	0.3990	-0.6168	1.0000	0.6019	0.9266	0.1787	0.1514	0.0996	0.8213	0.9224	0.9903
Acidez	0.4756	-0.5800	-0.2343	0.0117	-0.4672	0.1467	1.0000	0.4304	0.7180	0.6974	0.0010	0.3017	0.3236	0.3075
Ca	0.2278	-0.4812	-0.4486	0.3188	-0.2633	0.0260	0.2202	1.0000	0.0505	0.1952	0.7977	2.4E-08	1.7E-08	0.1628
Mg	0.0819	0.0183	-0.0808	-0.1143	-0.5934	0.3668	0.1018	0.5130	1.0000	0.0005	0.8763	0.1037	0.0849	0.9106
K	0.2653	-0.1697	0.1922	0.1192	-0.4478	0.3894	0.1096	0.3542	0.7862	1.0000	0.3539	0.3755	0.4012	0.9658
P	0.7080	-0.3775	-0.3670	0.4010	-0.6149	0.4414	0.7610	0.0724	0.0440	0.2577	1.0000	0.6262	0.7836	0.0568
C.O.	0.3365	-0.5229	-0.5782	0.3072	-0.3009	-0.0638	0.2858	0.9569	0.4366	0.2466	0.1370	1.0000	2.1E-12	0.0618
N.T.	0.2761	-0.4969	-0.5356	0.3008	-0.2839	-0.0275	0.2737	0.9590	0.4594	0.2340	0.0775	0.9898	1.0000	0.1576
RelC:N	-0.5716	0.2265	0.6751	-0.2502	0.4583	0.0034	-0.2826	-0.3797	-0.0317	-0.0121	-0.5015	-0.4930	-0.3840	1.0000

Matriz de correlación entre características del suelo y nutrientes foliares (5 a 10 cm de profundidad)

	CaFol.	MgFol.	KFol.	PFol.	N.T.Fol.	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	C.O.	N.T.	RelC:N
CaFol.	1.0000	0.1017	0.0364	0.1554	0.0332	0.3263	0.0763	0.4460	0.8796	0.6326	0.0342	0.1929	0.3215	0.0373
MgFol.	-0.4389	1.0000	0.6233	0.4676	0.8883	0.6466	0.0928	0.0591	0.9040	0.6865	0.3453	0.0150	0.0457	0.0550
KFol.	-0.5431	0.1382	1.0000	0.1792	0.0761	0.9395	0.5148	0.1571	0.8983	0.4042	0.8110	0.0735	0.1007	0.1208
PFol.	0.3859	-0.2032	-0.3664	1.0000	0.4084	0.1587	0.5182	0.2759	0.7145	0.9510	0.6107	0.2214	0.3063	0.1124
N.T.Fol.	-0.5511	-0.0397	0.4713	-0.2306	1.0000	0.0419	0.0997	0.3722	0.0390	0.2044	0.0993	0.4274	0.3990	0.7457
pH	0.2722	0.1291	-0.0215	0.3831	-0.5304	1.0000	0.1194	0.4006	0.0214	0.0447	0.3684	0.5671	0.4539	0.7158
Acidez	0.4711	-0.4494	-0.1826	0.1812	-0.4413	0.4197	1.0000	0.4776	0.9133	0.7966	0.0013	0.2388	0.2777	0.2694
Ca	0.2130	-0.4977	-0.3844	0.3009	-0.2483	0.2343	0.1988	1.0000	0.0641	0.1533	0.7345	8.0E-08	8.8E-07	0.2254
Mg	0.0428	0.0341	0.0361	-0.1031	-0.5370	0.5870	0.0308	0.4894	1.0000	0.0006	0.5660	0.3072	0.2043	0.3706
K	0.1345	-0.1137	0.2326	0.0174	-0.3475	0.5245	0.0728	0.3877	0.7813	1.0000	0.7430	0.5493	0.6448	0.7224
P	0.5487	-0.2621	-0.0675	0.1432	-0.4417	0.2502	0.7478	-0.0957	-0.1612	0.0925	1.0000	0.9699	0.7099	0.0677
C.O.	0.3559	-0.6137	-0.4751	0.3356	-0.2216	0.1607	0.3240	0.9478	0.2827	0.1681	0.0107	1.0000	1.6E-09	0.1367
N.T.	0.2748	-0.5226	-0.4401	0.2833	-0.2351	0.2094	0.2998	0.9239	0.3476	0.1298	-0.1049	0.9717	1.0000	0.4997
RelC:N	-0.5409	0.5047	0.4183	-0.4270	0.0915	0.1027	-0.3048	-0.3329	0.2491	-0.1002	-0.4837	-0.4027	-0.1891	1.0000



