

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN LA BIOMASA AÉREA DE ÁRBOLES DE
TECA (*Tectona grandis* L.f.) DE 2 A 9 AÑOS, PLANTADOS EN SUELOS ÁCIDOS
EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ**

**Tesis sometida a la consideración de la
Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y
Recursos Naturales para optar al grado y título de Maestría Académica en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Suelos**

RAFAEL MURILLO CRUZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2012

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad y la fuerza para sacar adelante este proyecto.

A mi familia (Irene, Paulina, Alberto y Angélica) por su paciencia y apoyo.

A mi madre y mi Padre por confiar en mí a pesar de mis limitaciones, por creer en el esfuerzo y la paciencia.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Dr. Alfredo Alvarado por el apoyo y guía en la parte académica. Por su confianza y transferencia de conocimientos.

A la MSc. Floria Bertsch y al Dr. Olman Murillo Gamboa por su apoyo en la investigación y colaboración en la revisión del documento.

A los ingenieros y personal de campo de la Empresa Ecoforest de Panamá por su ayuda en la colección de las muestras.

A la Universidad Nacional (UNA), al Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), a la Empresa Ecoforest S.A., por el apoyo financiero.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Suelos.



Dr. Carlos Enriquez Enriquez

Representante de la Decana Sistema de Estudios de Posgrado



Dr. Alfredo Alvarado Hernández
Director de tesis



MSc. Floria Bertsch Hernández
Asesora



Dr. Olman Murillo Gamboa
Asesor



Dr. Rafael E. Salas Camacho

Representante del Director Programa de Posgrado en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Rafael Murillo Cruz

Candidato

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
RESUMEN EN ESPAÑOL.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE ANEXOS	xii
JUSTIFICACIÓN.....	1
OBJETIVOS:.....	5
CAPITULO I: REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
LA ESPECIE	6
Características generales.....	6
Requerimientos climáticos.....	6
Requerimientos de altitud (msnm).....	7
Floración.....	7
Sistema radical.....	8
Madera y sus usos.....	8
Problemas fitosanitarios.....	9
Genética.....	10
EL CRECIMIENTO DE LA TECA.....	10
Factores que lo determinan.....	10
El crecimiento de la teca en la cuenca del canal de Panamá.....	11
BIOMASA Y NUTRIMENTOS	12
Biomasa de la teca.....	12
Concentración foliar de nutrimentos en teca.....	14
Curvas de concentración foliar.....	18
Concentración de nutrimentos en los distintos componentes	19
Absorción de nutrimentos.....	20
INFORMACIÓN BIOFÍSICA DE LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ	22
Geología y geomorfología.....	22
Clima.....	23
Precipitación.....	23
Características de los suelos del área de estudio.....	25
LITERATURA CITADA	27
CAPITULO II: CONCENTRACION FOLIAR DE NUTRIMENTOS EN PLANTACIONES DE TECA EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMA	34
RESUMEN	34
INTRODUCCION.....	35

MATERIALES Y METODOS	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
Variación de la concentración foliar de nutrimentos	41
Efecto de la calidad de sitio sobre la concentración foliar de nutrimentos	46
Efecto de la edad de la plantación sobre la concentración foliar de nutrimentos.	47
Cantidad de nutrimentos foliares en la teca	52
CONCLUSIONES.....	55
LITERATURA CITADA	57
CAPITULO III: CONCENTRACION Y ABSORCION DE NUTRIMENTOS EN LA BIOMASA AEREA DE PLANTACIONES DE TECA	61
RESUMEN	61
INTRODUCCION.....	62
Biomasa aérea	62
Concentración de nutrimentos en la biomasa aérea	63
Absorción en la biomasa aérea.....	68
MATERIALES Y MÉTODOS	70
RESULTADOS Y DISCUSION	74
Biomasa.....	74
Concentración	76
Absorción	78
CONCLUSIONES.....	88
LITERATURA CITADA	90
CAPITULO IV: DISCUSIÓN GENERAL.....	95
DISCUSIÓN.....	95
CONCLUSIONES GENERALES.....	102
Concentración Foliar.....	102
Biomasa.....	102
Concentración de nutrimentos en los componentes.....	103
Absorción	103
RECOMENDACIONES GENERALES	104
LITERATURA CITADA TOTAL	105
ANEXOS	117

RESUMEN EN ESPAÑOL

CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN LA BIOMASA AÉREA DE ÁRBOLES DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) DE 2 A 9 AÑOS, PLANTADOS EN SUELOS ÁCIDOS EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ

En un primer muestreo en plantaciones de teca en la cuenca del canal de Panamá se evaluó la variación en la concentración de macro y microelementos foliares, en sitios de bajo, medio y alto crecimiento. Se clasificó la concentración foliar según rangos de suficiencia, en deficiente, marginal, adecuado y alto. Se determinó que la concentración de los macronutrientes en orden descendente en las hojas de teca fue nitrógeno (1,9%), Ca (1,1%), K (0,7%), S (0,2%) y P (0,1%), mientras que la concentración de microelementos en orden descendente fue Mn (50), Fe (43), Al (36), B (29), Zn (28), Cu (8) y Mo (0,4) mg*kg⁻¹ respectivamente. El K, P y Fe registraron concentraciones en niveles sumamente bajos. En el segundo muestreo se tumbaron árboles dominantes en sitios de crecimiento alto con edades entre los 2 y los 18 años, para el análisis de la concentración y absorción de nutrientes en los componentes tronco, corteza, hojas, ramas primarias y secundarias. Se determinó la biomasa aérea en cada una de estas secciones para cada edad y se cuantificó la absorción de nutrientes respectiva. Se ajustaron funciones de predicción de biomasa y nutrientes para cada uno de los componentes aéreos. La biomasa seca del tronco representó el 59,6% de la biomasa seca total, mientras que las ramas primarias el 16,6%, la corteza el 9,4%, las hojas el 7,9% y las ramas secundarias el 6,5%. La absorción acumulada de macronutrientes a la edad de 18 años fue de 15,9 kg*árbol⁻¹ (7,3 kg de Ca, 3,9 kg de N, 2,6 kg de K, 1,0 kg de Mg, 0,7 kg de P y 0,4 kg de S) y de micronutrientes fue de 124 g (89 g de Fe, 18 g de Zn, 9 g de B, 5 g de Mn y 3 g de Cu).

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Valores promedio de las características químicas del suelo (20 cm prof.) y el crecimiento de la teca en suelos rojos ácidos de la cuenca del canal de Panamá.....	11
Cuadro 2: Macro y microelementos foliares en teca.....	16
Cuadro 3: Rangos de suficiencia en la concentración foliar de teca.....	17
Cuadro 4: Concentración de macronutrientes en diferentes componentes.....	19
Cuadro 5. Nutrientes en los diferentes componentes de la biomasa y del mantillo asociados a plantaciones de <i>T. grandis</i> en regiones tropicales (adaptado de Salas 1987, Negi <i>et al.</i> 1995)....	21
Cuadro 6: Perfil de un Ultisol no alterado en la cuenca del canal de Panamá.	26
Cuadro 7. Propiedades de los suelos al inicio de las plantaciones y en función de la calidad de los sitios para plantar teca en la zona del canal de Panamá.....	39
Cuadro 8. Estadísticos para el contenido foliar de nutrientes de la teca de 3 a 8 años en la cuenca del canal de Panamá.....	42
Cuadro 9: Valores promedio y coeficiente de variación para los nutrientes en hojas de teca de 3 a 8 años en las 3 categorías de crecimiento.	46
Cuadro 10: Concentración foliar en teca de 3 a 8 años de sitios bajo, medio y de alto crecimiento (diferencias estadísticas a un nivel de 5%).....	47
Cuadro 11: Valores promedio y coeficiente de variación para los nutrientes.....	49
Cuadro 12: Comparación de medias de concentración foliar de nutrientes en teca de 3 a 8 años según grupos de edad (3-4, 5-6, 7-8 años), en la cuenca del canal de Panamá.....	50
Cuadro 13: Valores de concentración foliar (%) de macronutrientes en plantaciones de teca ..	53

Cuadro 14: Valores de concentración foliar ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) de microelementos en plantaciones de teca.....	53
Cuadro 15: Comparación de rangos de concentración de nutrimentos foliares de Panamá vs África.....	54
Cuadro 16: Límites (bajo, medio y alto) de concentración para los macro y microelementos foliares para la teca de 3 a 8 años en Panamá.....	55
Cuadro 18: Concentración de nutrimentos en los componentes de la teca de 3 a 18 años.....	77
Cuadro 19: Comparación de medias de concentración según el componente (Tukey ($\alpha=0,05$))..	78
Cuadro 20: Ecuaciones para la estimación de la absorción total de nutrimentos (*).....	83
Cuadro 21: Ecuaciones para la absorción total de cada nutrimento.....	84
Cuadro 22: Absorción anual de macronutrimentos por árbol para teca entre 1 y 18 años calculada con la curva de mejor ajuste para cada nutrimento.....	86
Cuadro 23: Absorción de micronutrimentos anual por árbol para teca entre 1 y 18 años calculada con la curva de mejor ajuste para cada nutrimento.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva de crecimiento de la teca hasta los 80 años en India	12
Figura 2: Biomasa aérea de la teca en India, Nigeria, Venezuela y Costa Rica	13
Figura 3: Concentración de macronutrientes foliares en Teca, Pino,	14
Figura 4: Concentración de microelementos foliares en teca, Pino,	16
Figura 5: Curvas de concentración foliar de macronutrientes en	18
Figura 6: Curvas de absorción de nutrientes en teca de 1 a 15 años en Nigeria	22
Figura 7: Precipitación anual en la cuenca del canal de Panamá	24
Figura 8: Precipitación mensual en la cuenca del canal de Panamá	24
Figura 9: Distribución de los suelos de Panamá según el nivel de pH	25
Figura 10: Distribución de los suelos de Panamá según	26
Figura 11: Árbol de teca de 6 meses con el tercer par de hojas bien desarrollado	40
Figura 12: Curvas de concentración foliar de N, Ca, Zn, B y S en plantaciones de teca según la edad y la calidad de sitio en Panamá	43
Figura 13: Curva de concentración foliar del Mg en plantaciones de teca	43
Figura 14: Curvas de concentración foliar de K, P, Fe y Cu en plantaciones de teca	44
Figura 15: Curvas de concentración foliar de Al y Mn en plantaciones de teca	44
Figura 16: Distribución de frecuencia de todas las muestras de concentración foliar de K y el nivel crítico según Dreschel y Zech	45
Figura 17: Distribución de frecuencia de todas las muestras de concentración foliar de P y el nivel crítico según Dreschel y Zech	45
Figura 18: Variación del Ca foliar en teca según la edad (3 a 8 años)	49
Figura 19: Media y error estándar del Ca y N foliaren sitios altos y	50

Figura 20: Tendencia de la concentración foliar del P, N, Ca y Al en teca de 36 a 96 meses	51
Figura 21: Concentración de macro y microelementos foliares en teca de 3 a 8 años en la cuenca del canal Panamá	52
Figura 22: Curva de biomasa seca total por árbol de teca entre 3 y 18 años.....	75
Figura 23: Curvas de biomasa seca por componente y por árbol de teca entre 3 y 18 años	75
Figura 24: Curva de absorción total de nutrimentos de la teca según la edad,.....	79
Figura 25: Curvas de absorción de macronutrimentos en árboles de teca de 3 a 18 años.....	80
Figura 26: Curvas de absorción total de micronutrimentos en árboles de teca de 3 a 18 años.	81
Figura 27: Cantidad relativa de absorción para cada macro y microelemento.....	82
Figura 28: Absorción anual de Ca y N por árboles de teca de 1 a 18 años según el.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS

ACP	Autoridad del canal de Panamá
C.V. %	Coefficiente de variación
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CIA	Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica
D.E.	Desviación estándar
IMA_{Biomasa}	Incremento Medio Anual en Biomasa = peso*edad ⁻¹
IDIAP	Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola
$IMA_{\text{Absorción}}$	Incremento medio anual en absorción
IMA_{Volumen}	Incremento medio anual en volumen
INISEFOR	Instituto de Investigación y Servicios Forestales
ITTO	International Tropical Timber Organization
UCR	Universidad de Costa Rica
UNA	Universidad Nacional de Costa Rica

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Comparación de medias de concentración foliar entre clases de edad para teca de 3 a 8 años en la cuenca del canal de Panamá	117
Anexo 2: Estadísticos descriptivos en los sitios de bajo crecimiento y según rangos de edad ...	118
Anexo 3 Estadísticos descriptivos en los sitios de medio crecimiento y según rangos de edad .	119
Anexo 4: Estadísticos descriptivos en los sitios de alto crecimiento y según rangos de edad	120
Anexo 5: Comparación de medias de concentración foliar de nutrimentos entre los sitios bajo, medio y alto crecimiento de teca de 3 a 8 años	121
Anexo 6: Coeficientes de Pearson y probabilidades de los coeficientes entre los nutrimentos foliares de teca de 3 a 8 años	122
Anexo 7: Distribución normal de las muestras según concentración foliar de cada nutrimento.	123

JUSTIFICACIÓN

La teca es un árbol de la familia Lamiaceae (Trópicos 2011, Britannica 2011) y crece en forma natural en India, Myanmar, Laos y Tailandia. Se utiliza en plantaciones forestales en países tropicales de Asia, África y América. Se estima que en el mundo hay más de 3 millones de has de teca (Centeno 2001). Solo en Brasil se han plantado 80 000 has en el estado de Mato Grosso y la teca se ha convertido en una de las especies importantes para reforestación (Campos *et al.* 2010).

Su cultivo ha sido incentivado debido a las restricciones de corta en bosques naturales impuestas en la India y Tailandia y a la menor disponibilidad y alto precio de madera proveniente de fuentes naturales (ITTO 2011, Varmola 2002, Bhat y Ma 2004).

En países como Guatemala y Nicaragua hay suficiente tierra fértil para el establecimiento de plantaciones de teca, sin embargo, en otros países como Costa Rica y Panamá ha disminuido la disponibilidad (cantidad y calidad) de tierras, por lo que algunos proyectos se han desarrollado en sitios de menor calidad sobre suelos rojos (Ultisoles) como por ejemplo en la cuenca del canal de Panamá (Varmola 2002, IDIAP 2006). El uso de suelos de este tipo en Panamá ha resultado en plantaciones con crecimiento irregular (Mollinedo *et al.* 2005).

La teca es una especie que requiere de suelos fértiles para su crecimiento productivo (Alvarado 2007), por lo que el uso de áreas menos fértiles requiere del conocimiento de los requerimientos nutricionales para la aplicación de fertilizantes o de argumentos sólidos para tomar la decisión de cambiar de especie, según el costo de los insumos que será necesario aplicar.

La necesidad de nutrimentos podría ser evaluada por medio de análisis foliares o de estudios de absorción en los componentes (hojas, ramas, corteza, madera y raíces), sin embargo, la hoja

es mayormente el órgano que refleja el estado nutricional de las plantas ya que se requiere una determinada concentración de cada nutrimento para el normal desarrollo productivo (Bertsch 1998). La planta es la solución extractora más precisa bajo condiciones específicas de campo y se podría usar un órgano específico de ésta que sea indicativo de las condiciones de clima, edad, tipo de cultivo, suelo y manejo. El nivel de concentración de cada elemento en las hojas dependerá de las condiciones para el crecimiento y por lo tanto es posible encontrar niveles bajos o deficientes, medios o suficientes, adecuados y excesivos. Para interpretar los niveles de concentración es necesario conocer los rangos de suficiencia y comparar los resultados con los valores para cada especie, tomando en cuenta la edad. Existen rangos de concentración foliar para teca compilados por Drechsel y Zech (1991) y Boardman *et al.* (1997), que podrían ser utilizados para comparar los datos generados en otras plantaciones y determinar cuáles nutrimentos están en exceso, suficiencia y deficiencia.

La información de concentración y absorción de nutrimentos podría ser utilizada en los siguientes aspectos:

- Diagnosticar deficiencias nutricionales en los árboles
- Evaluar la fertilidad del suelo de la plantación
- Fundamentar aplicaciones foliares
- Estimar la aplicación de fertilizantes al suelo (Marín y Pérez 1992)
- Calcular las salidas del sistema durante la cosecha del cultivo
- Estudiar el ciclo de nutrimentos

El análisis foliar permite evaluar la fertilidad del suelo indirectamente por medio del cultivo y la cuantificación de la producción y se ha utilizado preferiblemente en el cultivo de especies perennes (Marín 1992) como la teca. La variación de la concentración foliar de nutrimentos en

teca ha sido estudiada en África Oeste¹ (Drechsel y Zech 1994), Nigeria (Nwoboshi 1984), India (Negi 1990, Vimal *et al.* 2003), Costa Rica (Montero y Kanninen 2006) y Venezuela (Hernández *et al.* 1993).

La necesidad de evaluar la concentración y la absorción de nutrimentos en las plantaciones de Panamá se basa en que en otras especies se ha encontrado variaciones altamente significativas entre sitios (Batos *et al.* 2010) y la información generada en otros países no podría extrapolarse sin reservas porque hay condiciones de crecimiento diferentes en los estudios efectuados. También en Panamá se determinó variaciones en la calidad del sitio para teca, ya que el 29% de las plantaciones en la zona de estudio se ubican en la clase de crecimiento bajo (2,9 a 4,3 m³*ha⁻¹*año⁻¹), un 59% se ubican en la clase de crecimiento medio (6,3 a 8,3 m³*ha⁻¹*año⁻¹) y un 12% (10,3 a 13,3 m³*ha⁻¹*año⁻¹) en la clase de crecimiento alto (Mollinedo 2003). Esta diferenciación en calidad productiva del suelo para teca provocaría posiblemente variaciones en la concentración de los nutrimentos y afectaría la absorción de los mismos. Negi *et al.* (1995), encontraron valores de 0,83% de K foliar en hojas de árboles de teca creciendo a una tasa de 7,9 m³*ha⁻¹*año⁻¹, cifras más elevadas que las encontradas en India y Benín (Vimal *et al.* 2003, Zech y Kaupenjohann 1990). La teca creciendo en suelos rojos ácidos en Benín, mostró un crecimiento promedio de 9,3 m³*ha⁻¹*año⁻¹ asociado a contenidos foliares deficientes de K (0,29%), medios de P y Ca (0,11% y 1,09%) y medios a altos de Mg (0,42%) (Zech y Kaupenjohann 1990).

La concentración foliar de la teca es mayor cuando crece en suelos con alto contenido de bases (Vázquez y Ugalde 1995) que en los suelos rojos ácidos y los elementos de mayor concentración variarán según su disponibilidad en el suelo.

¹ África Oeste se refiere a los países de Benín, Costa de Marfil, Liberia, Nigeria, y Togo.

La concentración de nutrimentos en los componentes aéreos (tronco, corteza, ramas, hojas) de la teca no presentó gran variación respecto de la edad de los árboles de 3 a 15 años, pero si fue diferente entre los componentes (Nwoboshi 1984, Negi 1990, Negi *et al.* 1995).

En Nigeria el elemento más absorbido es el K ($2,86 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$), en India y Venezuela es el Ca, sin embargo, Kumar *et al.* (2009) encontraron en India que el elemento más abundante es el N, por otro lado, Kumar (2009), en otro estudio en India encontró que el N es el elemento mayormente absorbido hasta 8 años, no obstante, conforme el árbol crece, el Ca se es el elemento más absorbido por esta especie.

La variación encontrada en la información justifica la necesidad de evaluar la concentración y absorción de nutrimentos en la teca plantada en la cuenca del canal de Panamá con el propósito de determinar las necesidades de fertilización o la posibilidad de cambiar a especies menos exigentes de nutrimentos.

OBJETIVOS:**Generales:**

1. Evaluar la variación de la concentración foliar de nutrimentos bajo diferentes condiciones de crecimiento en la teca de 3 a 8 años.
2. Analizar la concentración y la absorción de nutrimentos en los diferentes tejidos de la biomasa aérea en plantaciones de teca de 3 a 18 años.

Objetivos específicos:

- 1.1 Cuantificar la concentración foliar de macro y microelementos según la edad.
- 1.2 Determinar la concentración foliar en condiciones de bajo, medio y alto crecimiento.
- 1.3 Determinar los límites (bajo, medio y alto) de concentración de los macro y microelementos foliares para la teca de 3 a 8 años en Panamá.
- 1.4 Clasificar la concentración foliar según los rangos de suficiencia (deficiente, marginal, adecuado y alto) existentes para teca.
- 2.1 Determinar la biomasa aérea por componente y según la edad.
- 2.2 Evaluar la concentración de nutrimentos en los componentes aéreos (tronco, corteza, ramas y hojas).
- 2.3 Cuantificar la absorción de nutrimentos en los componentes aéreos.
- 2.4 Elaborar ecuaciones de predicción de la biomasa y los nutrimentos en los componentes aéreos.

CAPITULO I: REVISIÓN DE LITERATURA

LA ESPECIE

Características generales.

La teca (*Tectona grandis* Linn f.) pertenece a la familia Lamiaceae, es un árbol que podría alcanzar hasta 45 m. de altura y desarrolla gambas cuando está maduro. Es una de las maderas tropicales más valiosas y mejor estudiadas, especialmente en el Sudeste de Asia. En forma natural crece desde los 10 hasta los 23 grados de latitud norte, pero se ha plantado desde los 28 grados norte hasta los 18 grados de latitud sur. El área natural de distribución incluye India, Burma, Laos y Thailandia, cubriendo una extensión de 23 millones de hectáreas de las cuales el 39% están en la India (Jha 1999). Las primeras plantaciones fueron establecidas en 1840 en la India y luego fue introducida a Java, Indonesia, Filipinas, Sudeste de Asia, Australia, África y Latinoamérica. Se cultiva en al menos 36 países tropicales, abarcando un área de 5,7 millones de hectáreas, de las cuales el 74% están en india e Indonesia (43% y 31% respectivamente). Sin embargo, la corta de árboles de teca nativos en India fue prohibida en el año 1982, por lo que a partir del año 2006 todos los troncos de teca de India son importados (Padmanabha 2006).

Es una especie heliófila que requiere de mucha luz por todos lados para el crecimiento óptimo y se encuentra asociada en bosques naturales con gran cantidad de especies como *Gmelina arborea* en bosques subhúmedos y con 5 especies de Terminalia en diversas regiones (Bebarta 1999).

Requerimientos climáticos.

La teca se desarrolla en gran variedad de climas tropicales moderadamente húmedos y calientes, con precipitaciones entre los 500 y los 5000 mm, pero crece mejor entre los 1300

a 2500 mm de precipitación con 3 a 5 meses secos. En Costa Rica los mejores sitios para teca se encuentran en lugares con más de 2000 mm de lluvia (Vásquez y Ugalde 1996) y en Guatemala los sitios más productivos se encuentran entre los 1940 y 2200 mm, sin embargo, no se encontró correlación estadísticamente significativa entre las variables de crecimiento y la precipitación (Vaides 2004). Para obtener al menos plantaciones de teca de clase de sitio II (26 m altura en 50 años) se necesitan 3 a 4 meses con menos de 50 mm de lluvia (meses secos) y/o 5 meses con menos de 100 mm (no más) y un rango total de precipitación entre 1200 a 2400 mm (dependiendo del drenaje), pero mejor entre 1500 y 2000 mm (Dreschel y Zech 1994). La especie tolera temperaturas entre 2 y 48 °C, pero la temperatura ideal está entre los 16 y 40 °C.

Requerimientos de altitud (msnm).

Se ha encontrado una relación negativa entre la altitud y el crecimiento de la teca considerándose que este es un efecto indirecto por la influencia de la altitud en la temperatura y la precipitación (Pandey 1996). La teca se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1000 msnm (Fonseca 2004). En Costa Rica los mejores sitios para la teca se encontraron en zonas con menos de 200 msnm (Thiele 2008), lo mismo que en Guatemala (Vaides 2004) y muchos sitios de mal y mediano crecimiento estaban a altitudes mayores de 200 msnm. Los sitios de mal crecimiento por debajo de los 200 metros de elevación se deben a que son otros los factores limitantes como la profundidad efectiva, la fertilidad, etc. (Pandey 1996).

Floración.

En Nigeria la aparición de flores es a partir del año 5, sin embargo, en Thailandia la primera inflorescencia se da entre los 8 y 10 años. Es una especie de polinización cruzada y

el mejor momento para la polinización es entre las 11:30 y la 1 pm (Tangmitcharoen y Owens 1997).

Sistema radical.

Este árbol produce una raíz principal pivotante que puede persistir o desaparecer y en este caso aparecen raíces laterales fuertes y en abundancia. La biomasa de raíces crece 1,4 veces más en el período lluvioso que en el período seco y se encontró que entre el 65 y el 80% de las raíces finas (menores de 2 mm) estaban en los primeros 30 cm de profundidad (Bebarta 1999).

Madera y sus usos.

El duramen es de color verde olivo y comienza a formarse a partir del año 6, sin embargo, su color cambia a pardo dorado cuando está seca. El duramen podría llegar a ser el 36 % y la albura el 64% de la madera, en árboles de 6 años (Abarca 2003), pero podría cambiar de acuerdo con la densidad de la plantación (Pérez y Kanninen 2005). El secado al aire es rápido y el secado al horno podría hacerse en 8 a 10 días (Murillo 2008²), presentando solo rajaduras o torceduras mínimas, siempre y cuando el programa de secado sea el adecuado, no obstante, las rajaduras y torceduras en la madera aumentan conforme el espacio de crecimiento en plantación aumenta (Serrano y Chávez 2004). La madera tiene un peso específico entre 0,55 g*cm⁻³ y 061 g*cm⁻³ y es variable según la posición sociológica del árbol en la plantación (dominante, codominante o dominado) y aumenta con la edad (Govaere *et al.* 2003, Córdoba y Sáenz 2002). El contenido de carbono total es de 38 a 48%, el contenido de cenizas de 1 a 3% y el poder calórico es de 4458 cal*g⁻¹ (Miranda 2009).

² Murillo, R. 2008. Secado al horno de madera de teca (Entrevista). Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional.

Tiene buenas características de trabajabilidad pero contiene hasta 0,3% de sílice (Abarca 2003, Abarca *et al.* 2004), lo que reduce el afilado de las herramientas (Serrano y Sáenz 2002). El tratamiento con preservantes es difícil en el duramen y se recomienda usar tratamientos apropiados según el tipo de madera y la edad, no obstante, se ha usado en la construcción, pilotes, puentes, muelles, muebles finos, cubierta de barcos, pisos, etc. (Canessa y Sáenz 2001).

Problemas fitosanitarios.

Algunos de los animales que causan daño a la teca son: *Phyllophaga* sp. (causa infestación y destrucción de raíces); *Orthogeomys underwoodii* (destrucción de plantas en vivero y árboles jóvenes); Hormigas (defoliación); *Plagiohammus spinipennis* (barrenador de madera y tallos jóvenes); etc. Entre las enfermedades encontradas se citan: la causada por *Agrobacterium tumefasciencens* (daño al tallo); *Colletotrichum* sp. (formación de bandas irregulares rojas sobre la superficie foliar y muerte foliar); *Corynespora* sp. (daño en el follaje en árboles maduros); *Lyctus* sp., *Ustulina deusta* y *Polyporus versicolor* (ataque sobre la albura); entre otros (Arguedas 2004). Se ha reportado la muerte descendente de árboles de teca como el SDLT (síndrome de decaimiento lento de la teca) en las áreas donde se le ha plantado, sin embargo, no se conoce realmente la causa y se dice que podría estar asociado a mala calidad de sitio, no obstante en Costa Rica se menciona preliminarmente una asociación de la enfermedad con altos niveles de Mn y Fe (Arias *et al.* 2005)

Genética.

Se ha intensificado el trabajo con clones para mejorar las características de crecimiento y calidad de fustes, además de la resistencia a enfermedades, lo que ha permitido ganancias genéticas en esta especie de alrededor del 20-25% (Murillo y Badilla 2004).

EL CRECIMIENTO DE LA TECA**Factores que lo determinan.**

La teca crece bien en suelos aluviales, medianamente a profundos (Singh *et al.* 1990), porosos, fértiles (Vásquez y Ugalde 1996, Singh *et al.* 1990, Mollinedo *et al.* 2005), bien drenados (Watterston 1971, Drechsel *et al.* 1991, Vaides 2004) y planos o de poca pendiente (Thiele 2008) con texturas medias.

Los factores del suelo que limitan su crecimiento son los suelos anegados, compactados, arcillosos (Zech y Kaupenjohann 1990), de poca profundidad y con deficiencias de bases especialmente porcentajes de saturación de calcio menores de 40% y porcentajes de saturación de acidez mayores de 6%, así como también los suelos poco fértiles en pendientes escarpadas (Alvarado y Fallas 2004, Mollinedo *et al.* 2005).

A nivel de vivero, se reportó que la deficiencia de micronutrientes en plántulas de teca produjo un retraso del crecimiento en altura del orden de 20% a 52% a los 6 meses de plantados, acortamiento de entrenudos y hacinamiento de ramas (por deficiencia de Fe, Cu, Mn, Mo), el desarrollo de hojas grandes (por deficiencia de Cu, Zn, Mn, Mo) y la reducción del crecimiento de la raíz (por deficiencia de todos los micronutrientes) (Sujatha 2003).

A nivel de campo el crecimiento de los árboles podría ser inhibido por altas concentraciones de los elementos Fe, Al y parcialmente el Mn (Zech y Drechsel 1992). La exposición prolongada de las raíces al Al inhibe su crecimiento y causa una deficiencia de

P, K, Ca y Mg en los árboles, mientras que las hojas presentan modificaciones estructurales y celulares, reducción de la apertura de los estomas, disminución de la actividad fotosintética, clorosis, necrosis y reducción de la biomasa de las plantas (Haug y Vitorello 1996).

El crecimiento de la teca en la cuenca del canal de Panamá.

La teca plantada en suelos rojos de la cuenca del canal de Panamá presenta categorías de crecimiento bajo, medio y alto, con un incremento medio anual en volumen (IMA_V) de 3,44; 7,08 y 11,93 m³*ha⁻¹*año⁻¹, respectivamente (Mollinedo *et al.* 2005). Datos similares de crecimiento se encontraron en Guatemala, con valores de IMA_V igual a 5, de 5 a 10 y de 10 a 20 m³*ha⁻¹*año⁻¹ en sitios malos, medios y altos, respectivamente (Rodas 2006).

Un 29% de las plantaciones de teca en la cuenca del canal de Panamá se encuentran en condiciones de bajo crecimiento, el 59% en condiciones de medio crecimiento y un 12% en condiciones de alto crecimiento (Mollinedo *et al.* 2005).

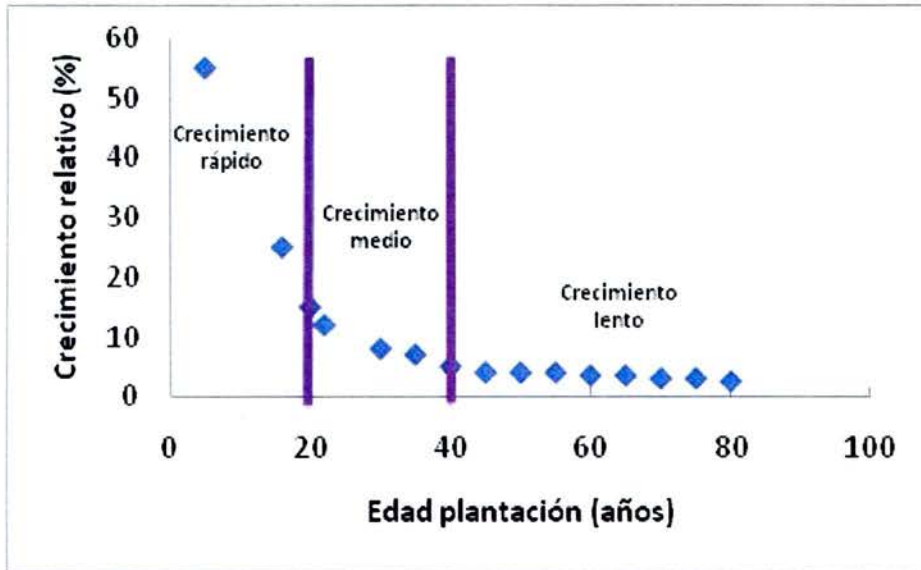
El crecimiento de los árboles de teca aumenta al disminuir la saturación de acidez del suelo (Cuadro 1) y al aumentar la saturación de calcio, además, cuando el pH de suelo es mayor a 5,5 los incrementos en crecimiento (aumento en el incremento medio anual en volumen IMA_V) son mayores a 20 m³*ha⁻¹*año⁻¹.

Cuadro 1: Valores promedio de las características químicas del suelo (20 cm prof.) y el crecimiento de la teca en suelos rojos ácidos de la cuenca del canal de Panamá

Clase Sitio	IMA (m ³ *ha ⁻¹ *año ⁻¹)	Sat Acid (cmol*L ⁻¹)	Sat Ca (cmol*L ⁻¹)	pH	Ca (cmol*L ⁻¹)
Bajo	3,44	20,4	39,8	5,4	7,9
Medio	7,08	3,4	58	5,5	12,5
Alto	11,93	1,3	57,8	5,6	16,1

Adaptado de Mollinedo M. *et al.* 2005.

Nota: Sat Acid= saturación de acidez, Sat Ca= saturación de calcio, prof= profundidad



Tomado de: Vimal *et al.*, 2003.

Figura 1: Curva de crecimiento de la teca hasta los 80 años en India

El aprovechamiento de las plantaciones de teca en Panamá es en turnos de 25 a 30 años, mientras que en India es a los 80 años, por lo tanto, el análisis de la curva de crecimiento de la teca en Panamá corresponde a la parte de la etapa de crecimiento rápido y el inicio del crecimiento medio (Figura 1) de la curva de la teca en India.

BIOMASA Y NUTRIMENTOS

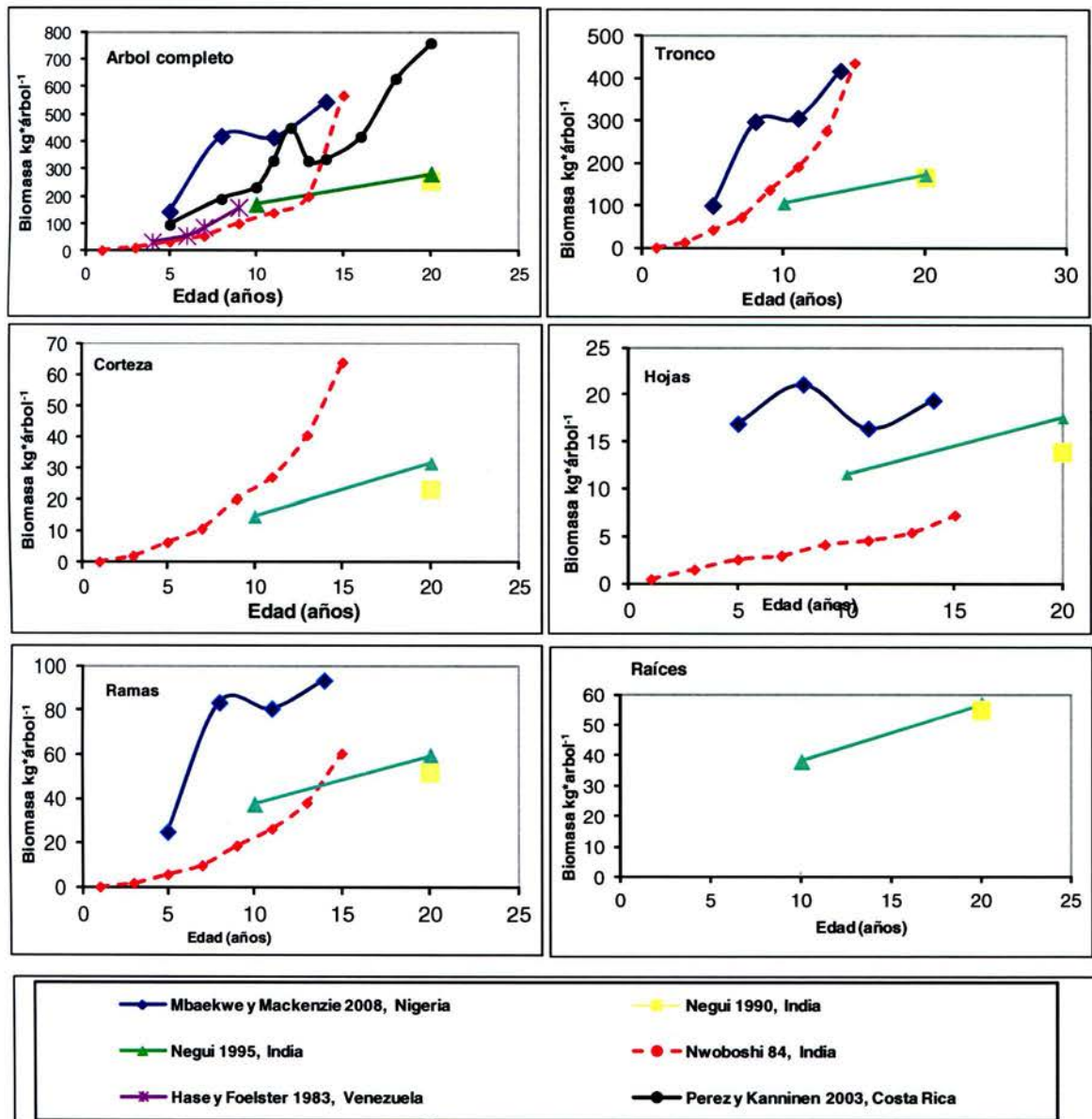
Biomasa de la teca.

La biomasa de la teca varía según la calidad de sitio en la cual esté plantada y se ha estudiado en India (Nwoboshi 1984, Negi, 1990, Negi 1995), Nigeria (Mbaekwe y Mackenzie 2008), Venezuela (Hase y Foelster 1983) y en Costa Rica (Pérez y Kanninen 2003) (Figura 2).

La biomasa reportada en India y Venezuela, es menor que la de Costa Rica, mientras que en Nigeria es mayor. El porcentaje de biomasa del tronco podría oscilar entre 65 y 79%, el de

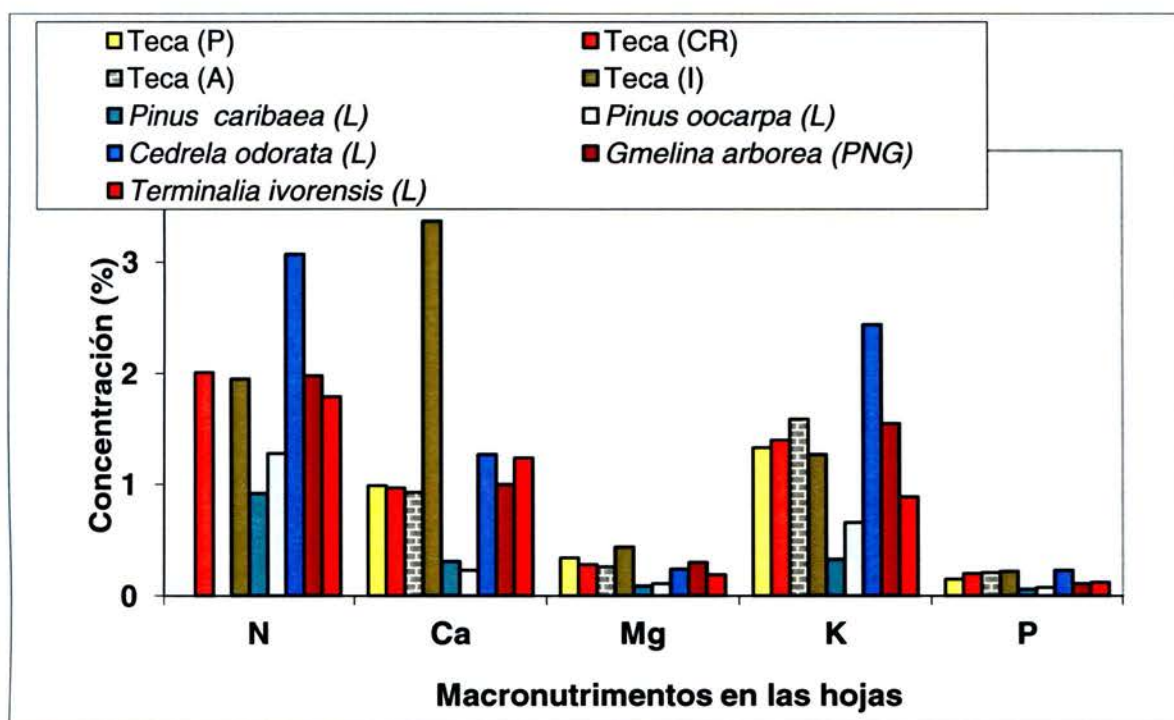
la corteza entre 8 y 11%, el de las ramas entre 8 y 21% y en las hojas podría oscilar entre 2 y 12%.

La biomasa de raíces de la teca podría llegar a estar entre el 15 al 20% respecto de la biomasa aérea (Negi 1990, Negi 1995) y no es común encontrar datos de este tipo en los estudios de biomasa.



Elaboración propia con los datos de los autores

Figura 2: Biomasa aérea de la teca en India, Nigeria, Venezuela y Costa Rica



P (Panamá), CR (Costa Rica), A (África), I (India), L (Liberia), PGN (Papúa Nueva Guinea)
 Elaboración propia con base en: Mollinedo *et al.* 2005, Montero y Kanninen 2006, Drechsel y Zech 1991, Drechsel y Zech 1992, Vimal *et al.* 2003.

Figura 3: Concentración de macronutrientos foliares en teca, pinos, cedro, melina y terminalia

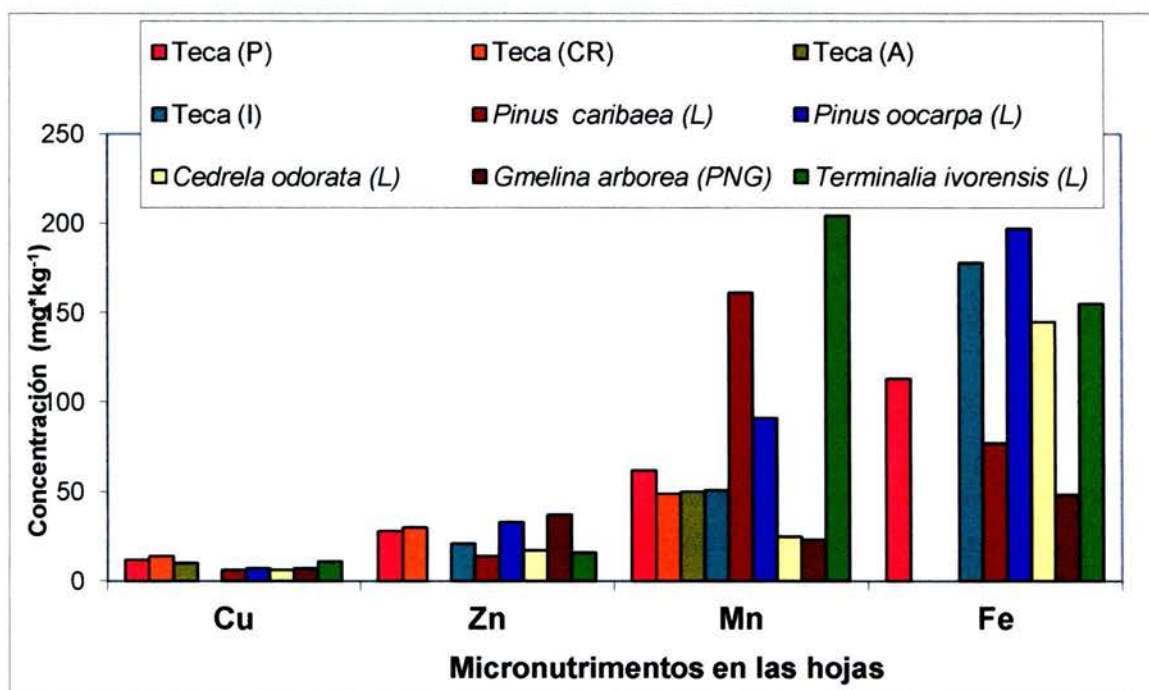
Concentración foliar de nutrimentos en teca.

La variación de la concentración foliar de nutrimentos en teca ha sido estudiada en África Oeste (Drechsel y Zech 1994), Nigeria (Nwoboshi 1984), India (Negi 1990, Vimal *et al.* 2003), Costa Rica (Montero y Kanninen 2006) y Venezuela (Hernández *et al.* 1993).

La concentración de nutrimentos en la biomasa de plantaciones forestales varía según la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, la temperatura ambiente, la altitud sobre el nivel del mar, la fuente de semilla, la aplicación de fertilizantes y la fuente del mismo (Hernández *et al.* 1993, Driessche 1974). La concentración foliar varía también según la especie (Medina y Cuevas 2002, Thorn y Stjernquist 2005) y es mayor en árboles de hoja ancha que en las coníferas (Driessche 1974). Las concentraciones de N, P y K en las hojas

decrecen según la edad debido a la traslocación de nutrimentos hacia los componentes en crecimiento y el efecto de dilución causado por el incremento del grosor de las paredes celulares con la edad (Marsehner 1995). Es posible encontrar diferencias estadísticamente significativas a nivel intraespecífico (especies del mismo género) en la concentración foliar de nutrimentos y dentro de una misma especie causado por diferencias ambientales (Medina y Cuevas 2002). Los macroelementos de mayor concentración foliar son el N, Ca y el K y los de menor concentración son el Mg y el P (Figura 3). La concentración de Ca foliar en la teca de la India es muy superior a las concentraciones en África, Costa Rica y Panamá, lo mismo que la concentración de este elemento con respecto a las especies de *Pinus caribaea*, *Cedrela odorata*, *Gmelina arborea* y *Terminalia amazonia*. La concentración foliar de N y K es mayor en el Cedro amargo que en las especies *Tectona grandis*, *Pinus caribaea*, *Gmelina arborea* y *Terminalia amazonia*, por otro lado, la concentración foliar de todos los macroelementos en las especies *Pinus caribaea* y *Pinus oocarpa* es significativamente menor que en *Tectona grandis*, *Cedrela odorata*, *Gmelina arborea* y *Terminalia amazonia* (Figura 3). La concentración de Mn foliar es más baja en las especies de *Cedrela odorata* y *Gmelina arborea* que en las especies *Tectona grandis* y *Pinus caribaea* además, es mucho mayor en *Terminalia amazonia*.

Los micronutrimentos de mayor concentración foliar reportados en teca son el Fe y el Mn y los de menor concentración son el Zn y el Cu, relación que tiende a mantenerse en otras especies forestales tropicales (Figura 4).



P (Panamá), CR (Costa Rica), A (África), I (India), L (Liberia), PGN (Papúa Nueva Guinea)

Elaboración propia con base en: Mollinedo *et al.* 2005, Montero y Kanninen 2006, Drechsel y Zech 1991, Drechsel y Zech 1992, Vimal *et al.* 2003

Figura 4: Concentración de micronutrientos foliares en teca, Pinus spp, Cedrela spp, Gmelina arborea y Terminalia spp.

Cuadro 2: Macro y micronutrientos foliares en teca

Lugar	Edad (años)	%					mg*kg ⁻¹				Fuente
		N	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	
Panamá	< 4	—	0,99	0,34	1,33	0,15	12	28	62	113	Mollinedo et al 2005
Costa Rica	2 a 8	2,01	0,97	0,28	1,4	0,2	14	30	49	—	Montero y Kanninen, 2006
Africa	< 6	—	0,93	0,26	1,59	0,21	10	0	50	0	Drechsel y Zech 1991
India	0 a 20	1,95	3,37	0,44	1,27	0,22	—	21	51	178	Vimal et al, 2003
Benín	23	—	—	0,46	0,17	0,09	10	18	72	435	Zech y Kaupenjohann (1990)
Benín	23	—	0,96	0,46	0,26	0,1	9	11	90	415	Zech y Kaupenjohann (1990)
Benín	28	—	1,21	0,35	0,44	0,14	8	17	75	240	Zech y Kaupenjohann (1990)

Elaboración propia con base en: Mollinedo *et al.* 2005, Montero y Kanninen 2006, Drechsel y Zech 1991, Vimal *et al.* 2003
Zech y Kaupenjohann (1990)

Cuadro 3: Rangos de suficiencia en la concentración foliar de teca

Elemento		Deficiente	Marginal	Adecuado	Alto
MACRO-ELEMENTOS (%)	N	<1,20	1,20-1,51	1,52-2,78	
	P	<0,10	0,10-0,13	0,14-0,25	0,4
	K	<0,50	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	<0,10	0,10-0,19	0,20-0,37	
	Cu			10-25	
MICRO-ELEMENTOS (mg*kg-1)	Zn		11-19	20-50	
	Mn	<30	30-49	50-112	
	Fe			58-390	379-1074
	Al			85-320	340-480
	B			15-45	

Adaptado por: Alvarado A. s.p. con datos de Drechsel y Zech 1991 y Boardman 1997

El estudio de las concentraciones foliares de teca bajo diferentes condiciones de crecimiento no es completo, especialmente entre los rangos de deficiencia y marginalidad de los microelementos (Cu, Zn, Fe, Al y B) y los rangos altos para micro (Cu, Zn, Mn y B) y macronutrientes (N, S, Ca y Mg) (Cuadro 3).

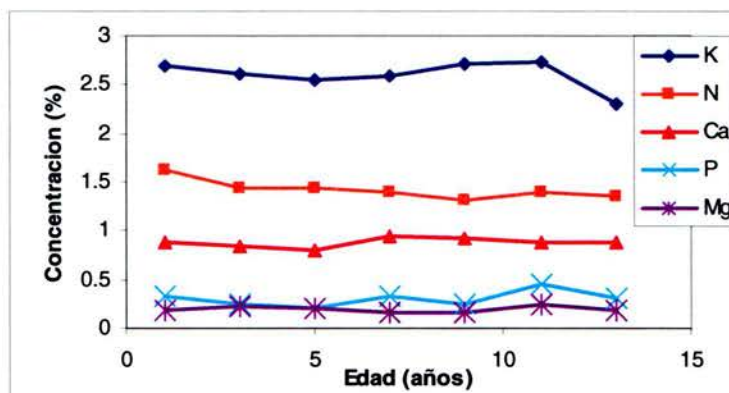
Alvarado (2007) adaptó la información de Dreschel y Zech (1991) y Boardman *et al.* (1997) para ampliar los datos de los rangos de suficiencia de concentración foliar de la teca y con base en estos podemos ubicar los análisis foliares de una plantación y determinar la condición general de esa plantación. Alvarado (2007) estableció que, concentraciones foliares de N menores de 1,2% son deficientes para la teca, así mismo, como valores menores de 0,55% y 0,50% para el Ca y el K respectivamente, mientras que valores menores de 0,10% de P y Mg son deficientes (Cuadro 3).

Si se comparan los datos del Cuadro 2 con los rangos de suficiencia del Cuadro 3, puede decirse que los datos de la literatura de Panamá, Costa Rica e India no presentan deficiencias, mientras que los de Benín son deficientes en K.

Curvas de concentración foliar.

La variación de la concentración de los macroelementos a nivel foliar según la edad de los árboles de teca fue estudiada en Nigeria (Nwoboshi 1984) y Costa Rica (Montero y Kanninen 2006). En Nigeria los nutrimentos de mayor concentración fueron el K, el N y el Ca y presentaron una tendencia (1 a 15 años) que disminuye con la edad (Figura 5).

En Costa Rica, Pérez y Kanninen (2003) encontraron que en las edades de 2 a 8 años los árboles tienen mayor demanda de K, P, N y Cu, mientras que a edades mayores de 8 años los árboles demandan más Ca, Mg, Mn y Zn. El K y el P son los macroelementos foliares que tienen mayor disminución al aumentar la edad.



Elaboración propia con datos del autor

Figura 5: Curvas de concentración foliar de macronutrientes en teca de 1 a 13 años en Nigeria

La importancia del K y el P foliar en teca también fue determinada por Hernández *et al.* (1993), quienes encontraron que las concentraciones fueron mayores en los árboles con

mayor crecimiento en sitios con buen drenaje, mientras que en sitios de menor crecimiento con drenaje restringido las concentraciones de Mg, Fe y Mn fueron mayores.

Concentración de nutrimentos en los distintos componentes (madera, corteza, ramas y hojas).

La concentración de los macronutrimentos varía entre los diferentes componentes en la teca, presentándose las mayores concentraciones de N, P, Mg y K en las hojas, mientras que el Ca se encuentra en mayor concentración en la corteza. El orden (> a <) de concentración según los componentes fue, hojas > corteza > ramas secundarias > ramas primarias > tronco. La madera es el componente que tiene las menores concentraciones de los macronutrimentos (Cuadro 4). Hay diferencias notorias de concentración en las hojas de la teca proveniente de Nigeria e India especialmente en los elementos N, P y K (Cuadro 4).

Cuadro 4: Concentración de macronutrimentos en diferentes componentes de la teca de Costa Rica, Nigeria e India

Elemento (%)	País	Tejido				
		Madera	Corteza	Ramas primarias	Ramas Secundarias	Hojas
N	Nigeria	0,26	0,14	0,37		1,14
	India	0,15	0,43	0,26	0,30	1,65
P	Nigeria	0,08	0,03	0,08		0,29
	India	0,02	0,04	0,03	0,04	0,11
K	Nigeria	0,35	0,83	0,83		2,57
	India	0,20	0,84	0,36	0,75	0,83
Ca	Nigeria	0,20	0,89	0,41		0,90
	India	0,23	2,16	0,50	1,10	1,10
Mg	Nigeria	0,08	0,10	0,08		0,19
	India	0,03	0,17	0,07	0,09	0,17

Elaboración propia con base en: 1) Nw oboshi 1984, Nigeria (1-15 años), 2) Negui 1990, India (20 años)

Los datos en negrita son los valores más altos

Es poca la información disponible sobre la variación de los micronutrientes con la edad en árboles de teca, debido principalmente a que no es sino hasta pocos años que estos se estiman rutinariamente en los laboratorios de análisis de tejidos.

Absorción de nutrimentos.

La absorción de nutrimentos está determinada por la concentración de estos y la biomasa seca aérea y la mayor absorción se da en el tronco, seguida por la corteza, hojas, ramas primarias y ramas secundarias, sin embargo, en algunos casos es posible encontrar la mayor absorción en la corteza (Salas 1987, Negi *et al.* 1995, Nwovoshi 1984). Los nutrimentos que han sido estudiados son el N, P, K, Ca y Mg, mientras que a los micronutrientes no se les ha dado la importancia debida, quizás porque representan menos de 2% del total de nutrimentos.

El árbol de teca podría absorber hasta $7820 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en total de N, P, K, Ca y Mg en 15 años (Nigeria), $1629 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en 30 años (India), $1129 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en 20 años (India), $924 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en 10 años (India) o $862 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en 6 años (Venezuela), dependiendo de las condiciones ambientales para el crecimiento (Nwoboshi 1984, Salas 1987, Negi *et al.* 1995). La tasa de absorción de nutrimentos de la teca ($\text{IMA}_{\text{absorción (kg)}} = \text{Incremento medio anual en absorción}$) según los datos reportados por los anteriores autores, podría variar desde $54 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ hasta los $521 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. En los sitios de mayor crecimiento de la teca en Nigeria, el K es el elemento más absorbido con un 38% respecto del total de nutrimentos (Nwoboshi 1984) y el orden de absorción fue $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{P} = \text{Mg}$ (Figura 6). Esto mismo fue observado en sitios de buen crecimiento en Venezuela (Salas 1987). En los sitios de menor crecimiento en Venezuela, el elemento más absorbido fue el Ca y el orden de

absorción de los nutrimentos en esta especie fue $Ca > N > K > Mg > P$, indistintamente de la edad (Cuadro 5).

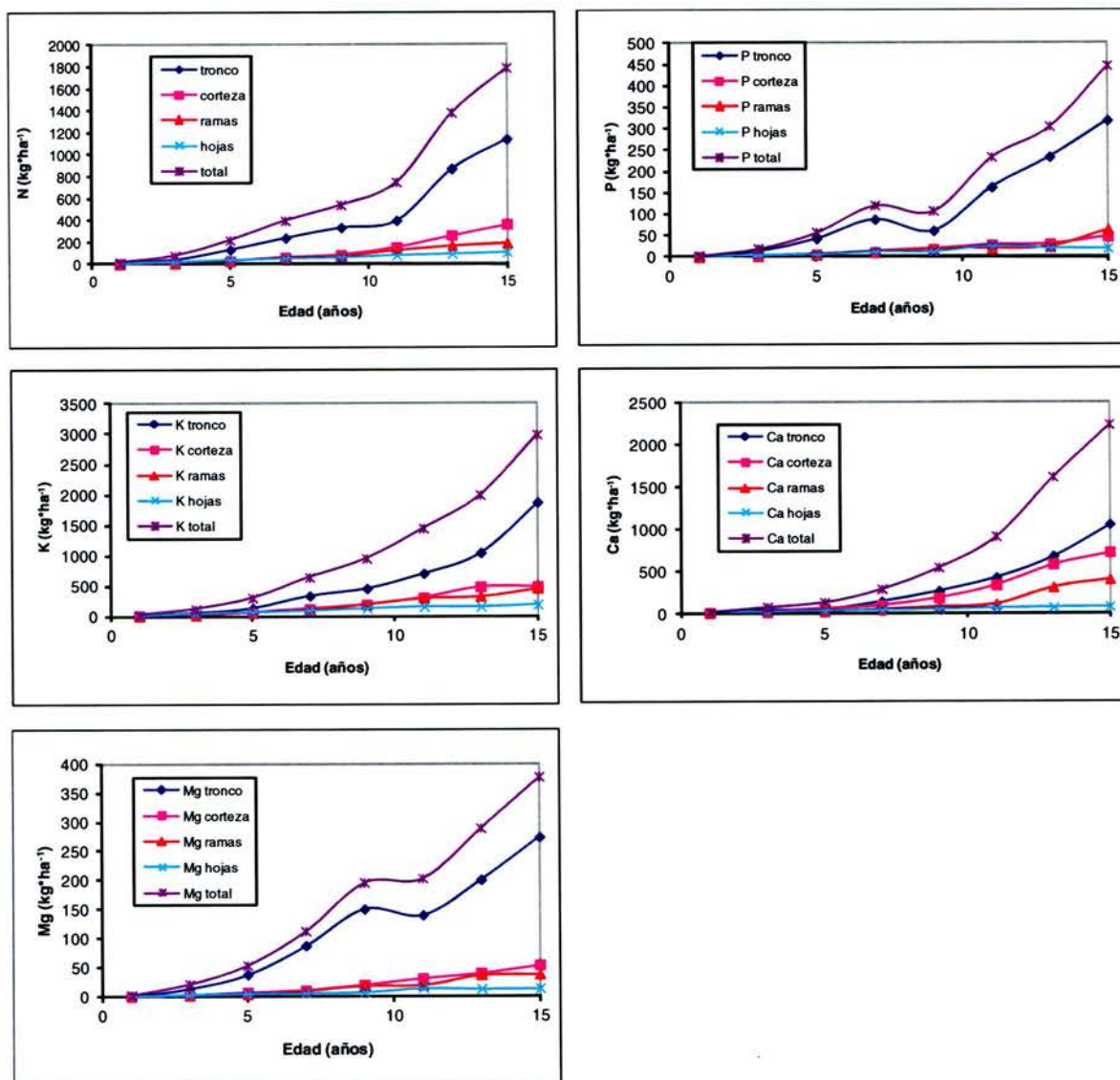
Cuadro 5. Nutrimentos en los diferentes componentes de la biomasa y del mantillo asociados a plantaciones de *T. grandis* en regiones tropicales

Edad plantación	Componente	Peso seco t*ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
			kg*ha ⁻¹				
6 años Venezuela	Hojas	3,4	68	9	52	49	11
	Ramas	4,2	19	7	42	37	6
	Tronco	39,4	125	46	161	200	39
	Mantillo	20,8	159	18	36	240	33
	Total	68,3	371	81	291	526	79
10 años India	Hojas	5,2	60	3	35	61	14
	Ramitas	5	17	1	25	51	9
	Ramas	8,3	28	3	23	37	11
	Corteza	7,9	28	2	34	196	17
	Tronco	48,2	93	4	36	81	56
	Raíces	15,4	47	4	84	143	40
	Total	90	272	18	236	569	147
20 años India	Hojas	5,5	64	1	49	14	14
	Ramitas	5,5	17	1	22	39	7
	Ramas	12,7	20	4	37	62	13
	Corteza	8,9	36	3	63	320	8
	Tronco	58,1	92	10	61	102	71
	Raíces	17,9	72	6	145	177	58
	Total	108,6	300	26	377	713	171
30 años India	Hojas	7,8	111	2	61	82	21
	Ramitas	8,5	33	2	34	34	10
	Ramas	35,1	43	2	72	108	33
	Corteza	13,9	28	4	52	338	8
	Tronco	98,8	176	18	46	185	157
	Raíces	28,5	64	12	191	244	59
	Total	192,6	422	41	456	992	288

Adaptado de Salas 1987, Negi *et al.* 1995)

Las curvas de absorción de nutrimentos en los componentes de la teca han sido estudiadas en Nigeria (Nwoboshi 1984) en plantaciones de 1 a 15 años y los elementos analizados fueron el N, P, K, Ca y Mg, mientras que los micronutrimentos no fueron considerados en

el estudio. Todos los nutrientes mantienen curvas crecientes de absorción determinadas por el incremento en biomasa



Elaboración propia con base en Nwoboshi 1984.

Figura 6: Curvas de absorción de nutrientes en teca de 1 a 15 años en Nigeria

INFORMACIÓN BIOFÍSICA DE LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ.

Geología y geomorfología

La cuenca del canal de Panamá tiene una extensión de 3360 km² y está formada por rocas sedimentarias (como las calizas, areniscas, lutitas) y volcánicas (como las ígneas, extrusivas, basalto y depósitos de caliza). Existen gran cantidad de colinas de forma cónica, los patrones de drenaje son geológicamente recientes, no obstante están bien desarrollados (ACP 2007).

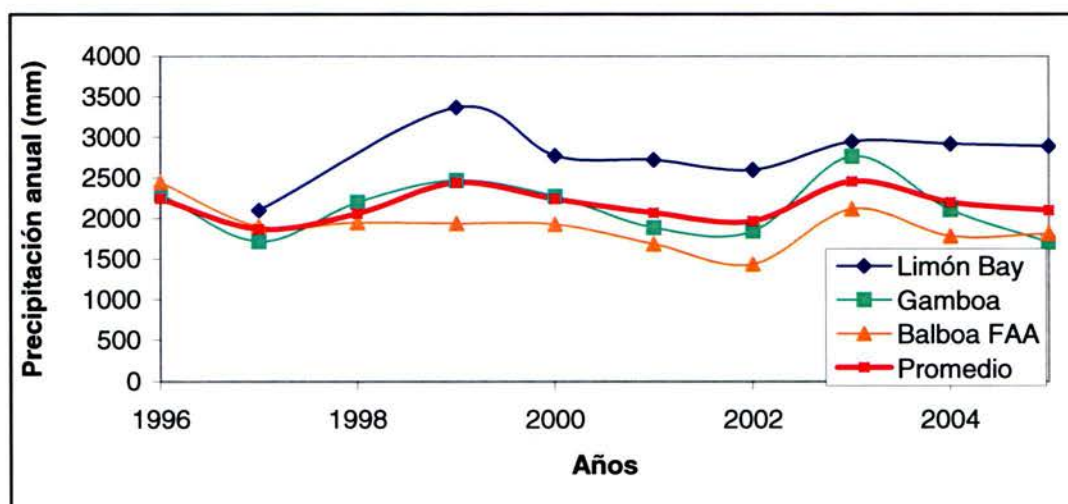
Clima.

Según el sistema de clasificación de Köppen existen 3 tipos de climas en la cuenca del canal de Panamá: Clima Tropical Muy Húmedo, Clima Tropical Húmedo y Clima Tropical de Sabana. El clima tropical muy húmedo se da en la parte noreste y noroeste y tiene abundantes precipitaciones durante todo el año, mientras que el clima tropical húmedo se caracteriza por tener precipitaciones mayores de 2500 mm y una estación seca definida de 3 meses y se da en una franja desde el Atlántico hasta el Pacífico. El clima tropical de sabana se da en el Pacífico y es característico por sus precipitaciones menores de 2500 mm. La temperatura promedio durante el día es de 26,6 °C y presenta pocas variaciones (ACP 2007).

El viento alcanza mayor velocidad en la parte noreste y noroeste (Atlántico) hasta llegar a los 11,7 km*hr⁻¹ promedio en setiembre y 28,8 km*hr⁻¹ en febrero. La velocidad del viento en el Pacífico es de 5,4 hasta 8,7 km*h⁻¹ y las mayores velocidades se presentan en los meses de verano.

Precipitación.

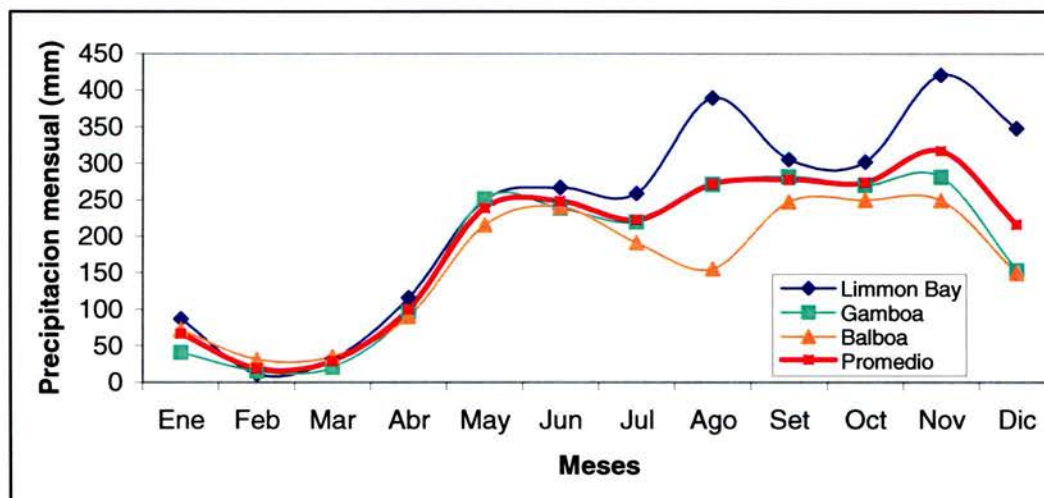
El régimen de lluvias en la cuenca es determinado por la Zona de Convergencia Intertropical y por los vientos alisios. La precipitación promedio anual es de 2234 mm con un mínimo de 1435 mm y un máximo de 3363 mm, con un patrón de lluvias anuales que aumenta hacia el Atlántico (Estación Limón Bay) y disminuye hacia el Pacífico (Estación Balboa) (Figura 7). La lluvia podría disminuir hasta en 75 a 80% de la media con la presencia del fenómeno “El Niño”.



Elaboración propia con base en: URS Holdings 2007

Figura 7: Precipitación anual en la cuenca del canal de Panamá

El período lluvioso se da entre los meses de mayo a diciembre y el período seco entre los meses de enero a abril, presentándose las mayores variaciones de lluvia entre los meses de julio a diciembre y según la cercanía al océano Atlántico o al Pacífico (Figura 8).



Elaboración propia con base en: URS Holdings 2007

Figura 8: Precipitación mensual en la cuenca del canal de Panamá

Características de los suelos del área de estudio.

En la cuenca del canal de Panamá dominan los suelos ácidos (Figura 9) clasificados como Ultisoles, desarrollados a partir de rocas y conglomerados ígneos, son suelos poco fértiles y debido a la erosión han perdido el horizonte superficial (ócrico y úmbrico), que en condiciones naturales varía entre 8 y 20 cm de profundidad (ACP 2007).



Tomado de: IDIAP, 2006

Figura 9: Distribución de los suelos de Panamá según el nivel de pH

Al desaparecer el horizonte superficial, queda expuesto un horizonte argílico (arcilloso) de color rojo, en el cual se acumulan óxidos de hierro y aluminio, por esta razón, los contenidos de saturación de aluminio (Figura 10) en la región se consideran medios.

En los suelos ácidos de la cuenca del canal de Panamá es normal encontrar el horizonte argílico entre los 20 y 40 cm (Cuadro 6), en los cuales la materia orgánica y los nutrientes magnesio y potasio disponibles tienden a disminuir con la profundidad, el pH oscila entre 5,1-5,5, la saturación de acidez entre 21-63%, lo que demuestra que los suelos son efectivamente ácidos (ACP 2007).



Tomado de: IDIAP (2006).

Figura 10: Distribución de los suelos de Panamá según el nivel de saturación de aluminio

Cuadro 6: Perfil de un Ultisol no alterado en la cuenca del canal de Panamá.

Horiz.	Prof (cms)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)	pH	Acidez (meq/100 gr)	Ca (meq/100 grs)	Mg (meq/100 grs)	K (meq/100 grs)	Na (meq/100 grs)	CICE (meq/100gr)	Sat. Ac. (%)
A	0-20	30	30	40	3,02	5,3	1,4	1,81	2,09	1,32	0,16	6,62	21,1
Bt1	20-40	31	20	49	2,68	5,2	3,9	3,29	2,49	0,50	0,07	10,18	38,3
B2	40-75	24	22	54	0,87	5,5	4,8	1,54	1,10	0,20	0,09	7,64	62,8
B3	75-110	26	18	56	0,67	5,4	4,3	5,54	1,74	0,31	0,10	11,89	36,2
C	110-180	24	26	50	0,20	5,1	3,5	1,70	4,70	0,14	0,10	10,04	34,9

Adaptado de: ACP (2007).

También, existen suelos de textura gruesa, más fértiles y menos arcillosos que Ultisoles, clasificados como Entisoles y son de origen aluvial reciente, se encuentran en las partes llanas de los ríos principales (Chagres, Gatún y Gatuncillo), razón por la cual tienen la limitación potencial de inundarse (ACP 2007).

LITERATURA CITADA

- ACP (Autoridad del canal de Panamá, P). 2007.** Estudio de impacto ambiental categoría III. Cap IV: Descripción del ambiente físico. Proyecto de ampliación del canal de Panamá, tercer juego de esclusas. Elaborado por URS Holdings, Inc. 159 p.
- Alvarado, A; Fallas, JL. 2004.** Efecto de la saturación de acidez y encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1):81-87.
- Alvarado, A. 2007.** Nutrición y fertilización de la teca. V Congreso Nacional de Suelos. 29 al 31 de agosto, 2007. INBIO, Santo Domingo, Heredia. 12 p.
- Abarca, R; Blanco, L; Solano, P. 2004.** Obtención de pulpa a la soda antraquinona a partir de *Tectona grandis*. Laboratorio de Productos Forestales. Universidad de Costa Rica. Sin publicar. 15 p.
- Abarca, R. 2003.** Caracterización de *Tectona grandis* de plantación y evaluación del uso potencial de la pulpa y la lignina obtenidas. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, CR.177 p.
- Arguedas, M. 2004.** Problemas fitosanitarios en teca (*Tectona grandis* L.f.) en América Central: nuevos reportes. Centro de Investigación en Integración Bosque Industria, ITCR. Costa Rica. Sin publicar. 11 p.
- Arias, D; Calvo, J; Arguedas, M; Salas, B. 2005.** Síndrome de la mortalidad de la teca en Costa Rica: Informe Final. Instituto Tecnológico de C.R., Centro de Investigación Bosque Industria. 186 p.
- Bebarta, KC. 1999.** Teak: Ecology, Silviculture, Management and profitability. Publicado por International Book Distributors. India. 372 p.

- Boardmann, R; Cromer, RN; Lambert, MJ; Webb, MJ. 1997.** Forest plantations. *In:* D.J. Reuter y J.B. Robinson (eds.). Plant analysis, an interpretation manual. CSIRO Publishing. Australia. p. 505-561.
- Canessa, E; Sáenz, M. 2001.** Biodeterioro y preservación de madera de Teca (*Tectona grandis*) de plantaciones de Guatemala, Costa Rica y Panamá. ITCR, Cartago, Costa Rica. 10 p.
- Córdoba, R; Sáenz, M. 2002.** Propiedades físico-mecánicas de Teca de Costa Rica y Panamá ITCR, Cartago, Costa Rica. 10 p.
- Drechsel, P; Schmall, S; Zech, W. 1991.** Relationships between growth, mineral nutrition and soils in young teak plantations in Benin and Liberia. *Water, Air and Soil Pollution* 54:651-656.
- Drechsel, P; Zech, W. 1991.** Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: A tabular review. *Plant and Soil* 131:29-46.
- Drechsel, P; Zech, W. 1992.** Multiple mineral deficiencies in forest plantations in Liberia. *Forest Ecology and Management*. 48(1992):121-143.
- Drechsel, P; Zech, W. 1994.** DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L.f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on teak growth in West Africa. *Forest Ecology and Management* 70:121-133.
- Dreische, R van den. 1974.** Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. *The Botanical review*: 40 (3): 347-386.
- Fonseca, W. 2004.** Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L.f) en Costa Rica (en línea). San José, CR, FONAFIFO. Disponible en <http://www.fonafifo.com>. Consultado el 20 de Marzo, 2008.

- Govaere, G; Carpio, I; Cruz, L. 2003.** Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de *Tectona grandis*. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica. 15 p.
- Hase, H; Folster, H. 1983.** Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in west Venezuela. *Forest ecology and Management* 6:33-57.
- Haug, A; Vitorello, V. 1996.** Aluminum coordination to calmodulin: thermodynamic and kinetic aspects. *Coordination Chemistry Reviews* 149: 113-124.
- Hernández, R; Torres, A; Márquez, O; Franco, W. 1993.** Contenido foliar y crecimiento en plantaciones de teca en Ticoporo, Venezuela. *Turrialba* 43(1):11-15.
- IDIAP (Instituto de Investigación Agrícola de Panamá, P). 2006.** Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrimentos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Disponible en: <http://www.idiap.gob.pa/zonificacion/mapas/index.htm>. Consultado en marzo, 2008.
- Jha, KK. 1999.** Teak (*Tectona grandis*) Farming. Publicado por Intenational Book Distributing Company. Primera edición. India. 125 p.
- Mbaekwe, E; Mackenzie, A. 2008.** The use of a best-fit allometric model to estimate aboveground biomass accumulation and distribution in an age series of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations at Gambari Forest Reserve, Oyo State, Nigeria. *Tropical Ecology* 49(2):259-270.
- Medina, E; Cuevas, E. 2003.** Comparative analysis of the nutritional status of mahogany plantations in Puerto Rico. Chapter 7: Ecological Studies 159 *BigLeaf Mahogany: Genetic, Ecology, and Management* (A. E. Lugo, J. C. Figueroa Colon, M. Alayón, eds.) Springer Verlag New York. p. 129-145.

- Miranda, S. 2009.** Tesis: Evaluación de los residuos forestales de ciprés (*Cupressus lusitanica*), melina (*Gmelina arborea*) y teca (*Tectona grandis*) como fuente de biomasa para la producción de combustibles. Trabajo sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Química, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Química Industrial. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Química. 136 p.
- Mollinedo, M; Ugalde, L; Alvarado, A; Verjans, JM; Rudy, LC. 2005.** Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.), en la Zona oeste de la cuenca del canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1):67-75.
- Montero, M; Kanninen, M. 2006.** Variación de los nutrimentos foliares con la edad de los árboles de *Tectona grandis* L.f., en Costa Rica. Proyecto: Dinámica de plantaciones. Universidad de Helsinki/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 16 p. Sin publicar.
- Murillo, O; Badilla, Y. 2004.** Potencial de mejoramiento genético de la Teca en Costa Rica. Disponible en internet: <http://www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/Olmanmejoram.pdf>. Consultado el 20 de diciembre del 2008.
- Negi, J. 1990.** Biomass production and distribution of nutrients in 20 years old teak (*Tectona grandis* L.f.) and Gamar (*Gmelina arborea*) plantation in Tripura. *The Indian Forester* 116(9):681-686.
- Negi, J; Bahuguna, V; Sharma, D. 1995.** Biomass and nutrient distribution in young teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Tarai Region of Uttar Pradesh. *Indian Forester* 121(6):455- 464.
- Nwoboshi, L. 1984.** Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria: II Nutrient accumulation and minimum annual requirements. *Forest Science* 30(1):35-40.

- Padmanabha, A. 2006.** Informe Internacional sobre la teca. Product disclosure Statement - Ewards Group Teak Proyect 2006 ARSN 119363727 "INTERNATIONAL TEAK MARKET REPORT". 6 p.
- Pandey, D. 1996.** Estimating productivity of tropical forest plantation by climatic factors. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Resource Management and Geomatics Umea, Report 7.
- Pérez, D; Kaninnen, M. 2003.** Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 15(1):199-213.
- Pérez, D; Kanninen, M. 2005.** Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. *Silva Fennica* 39(2):217-225.
- Rodas, F. 2006.** Efecto del establecimiento de plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en áreas de potrero sobre las características del suelo en Petén, Guatemala. Tesis MSc. CATIE. Turrialba Costa Rica. 90 p.
- Salas, G. de las. 1987.** El suelo bajo producción forestal. *In* Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. San José Costa Rica, IICA. p 319-403.
- Serrano, R; Chávez, V. 2004.** Influencia del espaciamiento de siembra sobre el desarrollo de torceduras y grietas en madera proveniente de plantaciones de teca (*Tectona grandis*). *Kurú: Revista Forestal*: 1(3), 2004. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 12 p.
- Serrano, R; Sáenz, M. 2002.** Trabajabilidad de Teca (*Tectona grandis*) de Costa Rica y Panamá. ITCR, Cartago, Costa Rica. 10 p.
- Singh, P; Das, PK; Nath, S; Banerjee, SK. 1990.** Characteristics of teak (*Tectona grandis*) growing soils in the Tarai Region of West Bengal. *In: Van Vigyan* 28(1-2):6-15.

- Sujatha, MP. 2003.** Significance of micronutrients on the growth of teak seedlings. *In* Bhat, K. *et al.* Proceedings of the International Conference on Quality Timber products of Teak from sustainable forest management. India. p. 491-494.
- Tangmitcharoen, S; Owen, J. 1997.** Biology, pollination, pistil receptivity and pollen growth of teak (*Tectona grandis* Linn f.). *Annals of Botany* 79:227-241.
- Thiele, H. 2008.** Variables edáficas que afectan el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en la Vertiente del Pacífico de Costa Rica. Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales para optar al grado de Magister Scientae en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Suelos. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica. 184 p.
- Thorn, A; Stjernquist, I. 2005.** Micronutrient levels in some temperate European tree species: a comparative field study. *Trees* 19:572-579.
- Vaides, E. 2004.** Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de teca (*Tectona grandis* L.f.), en plantaciones forestales de diferentes regiones en Guatemala Tesis MSc. CATIE, Turrialba, CR. 95 p.
- Vásquez, W; Ugalde, L. 1996.** Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Resumen del informe final Convenio IDA/FAO – CATIE. Presentado en: X Congreso Nacional Agronómico y el II Congreso de Suelos 1996. 7 p.
- Vimal, M; Sudhakara, K; Iayaraman, K; Sunanda, C. 2003.** Effect of soil-leaf nutritional factors on the productivity of Teak (*Tectona grandis* L.f.) in Kerala State, India. *In* Bhat K.M., Nair K.K.N., Bhat K.V., Muralidharan E.M., Sharma J.K.

Proceedings of the International Conference on Quality Timber Products of Teak from Sustainable Forest Management. Peechi, India. 2-5 December. 2003. p.530-539.

Watterston, K. 1971. Crecimiento de la teca bajo condiciones edáficas en el Valle de Lancetilla, Honduras. Turrialba 21(2):1-4.

Zech, W; Kaupenjohann, M. 1990. Potassium and phosphorus deficiencias of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus* sp., *Acacia auriculiformis* and *Tectona grandis* in south Benin (West Africa). Bois et Forest des Tropiques 226: 29-36.

Zech, W; Drechsel, P. 1992. Multiple mineral deficiencies in forest plantations in Liberia. Forest Ecology and Management 48(1992):121-143.

CAPITULO II: CONCENTRACION FOLIAR DE NUTRIMENTOS EN PLANTACIONES DE TECA EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMA

RESUMEN

Se colectó 89 muestras de hojas en plantaciones de teca en la cuenca del canal de Panamá con el fin de determinar la variación de la concentración foliar de macro y microelementos según el crecimiento (bajo, medio y alto) y según los grupos de edad entre 3-4, 5-6 y 7-8 años. Se determinó que el orden de la concentración promedio de los macroelementos en las hojas de teca fue N (1,9%), Ca (1,1%), K (0,7%), S (0,2%) y P (0,1%), mientras que el orden de concentración de los microelementos fue Mn (50), Fe (43), Al (36), B (29), Zn (28), Cu (8) y Mo (0,4) mg*kg⁻¹ respectivamente.

Según los rangos de suficiencia reportados el K, P y el Fe se encuentran en niveles claramente bajos, mientras que las concentraciones de N, Ca, Mg y Mn, podrían considerarse como marginales o ligeramente bajas. Los nutrientes foliares que variaron con la edad del árbol fueron el Ca, Mg, N, K, Mn, Zn, Fe y Al. Las concentraciones foliares de Ca, Mg, Mn, Fe y Al muestran una tendencia a aumentar con la edad mientras que el N, K y Zn muestran una tendencia a disminuir con la edad. El contenido foliar de Ca aumentó conforme aumenta la categoría de crecimiento de la teca (alta, media, baja), mientras que el contenido foliar de Mn disminuye con el aumento en la categoría de crecimiento.

INTRODUCCION

La información encontrada sobre la concentración foliar de nutrimentos en árboles de teca creciendo en Panamá se refiere a datos de plantaciones con no más de 3,5 años de edad. Esos valores hallados en Panamá (Mollinedo *et al.* 2005), son más bajos que los mencionados para plantaciones de esta especie en África (Nwoboshi 1984, Drechsel y Zech 1991) pero similares a las concentraciones foliares encontradas en plantaciones de teca en Costa Rica (Montero y Kanninen 2006).

En un trabajo de resumen de la literatura disponible en África, Drechsel y Zech (1991) desarrollaron criterios de suficiencia, marginalidad y exceso de nutrimentos a nivel foliar para la especie. Sin embargo, no mencionaron que algunas concentraciones varían con la edad de la plantación, tal como hacen Montero y Kanninen, 2006 y Nwoboshi 1984, quienes encontraron que las concentraciones de K y N son mayores en árboles de 1 año de edad y no se registraron interacciones importantes con la edad para los otros macroelementos. Otros autores, aportan un poco más de conocimiento sobre la variación de la concentración foliar de nutrimentos en teca (Zech y Kaupenjohann 1990, Koppad y Rao 2003).

La inmovilización de nutrimentos en plantaciones de teca es alta, comparada con un bosque natural tropical o una plantación tropical de pinos (Nwoboshi 1984). La absorción de nutrimentos por las hojas de la teca está en función de la disponibilidad en el suelo y de las condiciones ambientales para absorberlos. Así, la concentración foliar es mayor en suelos con alto contenido de bases, como los vertisoles bien drenados, que en los suelos rojos ácidos, los elementos de mayor concentración variarán según su disponibilidad, por lo que en suelos vérticos con gran cantidad de Ca, éste será el elemento predominante en las hojas.

Datos similares encontraron Vázquez y Ugalde (1995) para suelos del Pacífico estacionalmente seco de la provincia de Guanacaste, Costa Rica.

Richards y Bevege (1972) consideran que la concentración de un elemento en un tejido dado es el resultado de muchas interacciones entre procesos, incluyendo la disponibilidad de los nutrimentos, la absorción de los mismos, su traslocación y la tasa de crecimiento del árbol. La concentración de nutrimentos en la hoja varía según su posición en la copa, en las ramas y la época de crecimiento (Sampaio y Huber 1999, Evans 1979). Evans (1979), encontró en árboles de *Gmelina arborea* que el N, P, Zn y B decrecen desde la parte más externa de la copa hasta la más interna, es decir, con el aumento en la sombra, mientras que el Ca y el Fe aumentaron.

La variación del contenido de humedad del suelo por medio de la aplicación de obras de conservación no causó una diferencia significativa en la concentración de N, P y K foliar, sin embargo la aplicación de fertilizantes sí causó una diferencia de concentración significativa del N y el K, el cual aumentó desde 1,60 % hasta 2,58 % y de 0,93 % hasta 1,38%, respectivamente (Koppad y Rao 2003).

La concentración foliar de nutrimentos, permite relacionar las variables de crecimiento con la nutrición de las plantaciones. El contenido de K foliar explicó el 57% de la variación del área basal de la teca en suelos moderado y pobremente drenados en Venezuela (Hernández *et al.* 1993), mientras que en Guatemala el K correlacionó en un 76% con el incremento medio anual en diámetro (Rodas 2006). En el primer caso, el K foliar presentó valores de 2,25 % en suelos de drenaje moderado y 1,15 % en suelos de drenaje pobre (Hernández *et al.* 1993) y el contenido de P foliar fue mayor en los suelos moderadamente drenados con un valor de 0,38 % (Hernández *et al.* 1993). Negi *et al.* (1990), encontraron valores de 0,83% de K foliar en hojas de árboles de teca creciendo a una tasa de $7,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$,

cifras más elevadas que las encontradas en India y Benín (Vimal *et al.* 2003, Zech y Kaupenjohann 1990). La teca que crece en suelos rojos ácidos en Benín, mostró un crecimiento promedio de $9,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ asociado a contenidos foliares deficientes de K (0,29%), medios de P y Ca (0,11% y 1,09%) y medios a altos de Mg (0,42%) (Zech y Kaupenjohann 1990).

En la India, Vimal *et al.* (2003) no encontraron relaciones satisfactorias entre los contenidos foliares de nutrientes y el crecimiento de la teca de menos de 20 años, los autores desarrollaron un modelo lineal con el N (coeficiente negativo) para explicar el desarrollo de la teca y lo explicaron como un efecto de la dilución de la concentración del nutriente en las hojas al incrementarse el crecimiento. En este mismo estudio, se encontró una relación ($R^2 = 0,41$) entre el incremento corriente anual del área basal y los nutrientes Zn, Fe, N y Mg en las hojas, todos con coeficientes negativos.

La concentración de los microelementos en las hojas de teca ha sido menos estudiada que la concentración de macronutrientes, aunque su importancia ha sido demostrada, debido a que la deficiencia de todos los microelementos producen retardo en el crecimiento de la planta, reducción en el número de hojas saludables, acortamiento entre nudos, hojas anormalmente más grandes y disminución del crecimiento apical del tallo y de la raíz (Sujatha 2003). La mayor reducción del crecimiento fue debido a deficiencias de Mo, mientras que la mayor disminución de hojas saludables fue debido a deficiencias de Fe y la mayor disminución en el crecimiento de la raíz se debió a deficiencias de Cu (Sujatha 2003).

El crecimiento de los árboles de teca podría ser inhibido por concentraciones altas de los elementos Fe, Al y parcialmente el Mn (Drechsel y Zech 1992), sin embargo, el Al foliar es un mal indicador de toxicidad (Dreschel y Zech 1994). Su toxicidad inhibe el crecimiento

radicular y podría inducir deficiencia de B (Lenoble *et al.* 1996(a), Lenoble *et al.* 1996(b)), además de reducir la eficiencia del P, K, Ca y Mg (Vitorello *et al.* 2005). La respuesta de las hojas a la toxicidad por Al son modificaciones estructurales y celulares, reducción de la apertura de los estomas, disminución de la actividad fotosintética, clorosis y necrosis y reducción de la biomasa de las plantas (Vitorello *et al.* 2005). El efecto negativo de la acidez del suelo sobre el crecimiento de los árboles de teca en varios países, también ha sido ampliamente documentado (Oliveira 2003, Alvarado y Fallas 2004, Mollinedo *et al.* 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se ubica dentro de la cuenca del canal de Panamá, entre las coordenadas geográficas 9°00' y 9°10' norte, 79°45' y 80°00' oeste. Los suelos son mayormente rojos y ácidos, se clasifican como Ultisoles y las propiedades según el pH y según la clasificación de calidad de teca pueden verse en el

Cuadro 7. El área se encuentra en la zona de vida bosque húmedo tropical, según la clasificación de Holdridge, la temperatura promedio anual es de 26,3°C y la precipitación promedio anual es de 2880 mm (TLBG, 2006).

El sitio de muestreo consiste en una red de parcelas permanentes preestablecidas y clasificadas según el incremento medio anual en volumen, como bajo ($2,9-5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), medio ($5,4-9,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) y alto ($9,4-13,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$).

Cuadro 7. Propiedades de los suelos al inicio de las plantaciones y en función de la calidad de los sitios para plantar teca en la zona del canal de Panamá.

No. muestras	Ph	P	K	Ca	Acidez	Sat. Acidez	Sat. Ca.
	Variación de las propiedades de suelo en las plantaciones al inicio						
		ppm	cmol(+) *L ⁻¹			%	
4	<4,00	10	0,39	5,24	3,96	35	36
9	4,04-4,50	14	0,60	13,03	1,64	5	57
15	4,51-5,00	9	0,55	10,44	1,15	5	51
13	5,01-5,50	2	0,20	13,27	0,58	5	56
12	>5,50	1	0,27	16,08	0,15	1	59
Variación de las propiedades de suelo en función de la calidad del sitio							
Baja (2)	4,1	11	0,84	7,51	1,03	6	42
Media (5)	4,5	15	0,67	13,26	1,24	4	54
Alta (11)	5,1	13	1,01	13,58	0,96	3	58

Se seleccionaron 30 parcelas por clase de crecimiento en volumen, distribuidas equitativamente en cada ámbito de años (3-4, 5-6 y 7-8), para un total de 89 parcelas. Se realizó un muestreo de hojas de teca en 4 árboles dominantes (5 hojas por árbol) localizados a no más de 15 m del borde de cada parcela permanente seleccionada. Cada muestra se compuso de 20 hojas obtenidas del tercio superior completamente iluminado del árbol y a partir del tercer par de hojas desde el ápice hacia el centro de la rama (Figura 11). Evans (1979) encontró 2 tendencias de concentración en nutrimentos foliares de *Gmelina arborea* con el incremento en la sombra de las hojas, una tendencia de la parte alta de la copa hasta la parte baja y otra de la parte externa hasta la parte interna, razón por la que sugiere usar la parte expuesta e iluminada del árbol, criterio que se utilizó en este experimento.

En el campo, las muestras se almacenaron en bolsas de papel debidamente identificadas, se guardaron en hieleras para evitar el deterioro y se enviaron al laboratorio del CIA en Costa Rica. El análisis de las muestras foliares se realizó utilizando la metodología de digestión

húmeda con ácido nítrico, en el extracto se determinó el contenido de Ca, Mg, K, Zn, Cu, Mn y Fe por emisión atómica con plasma (LSF 2012³).

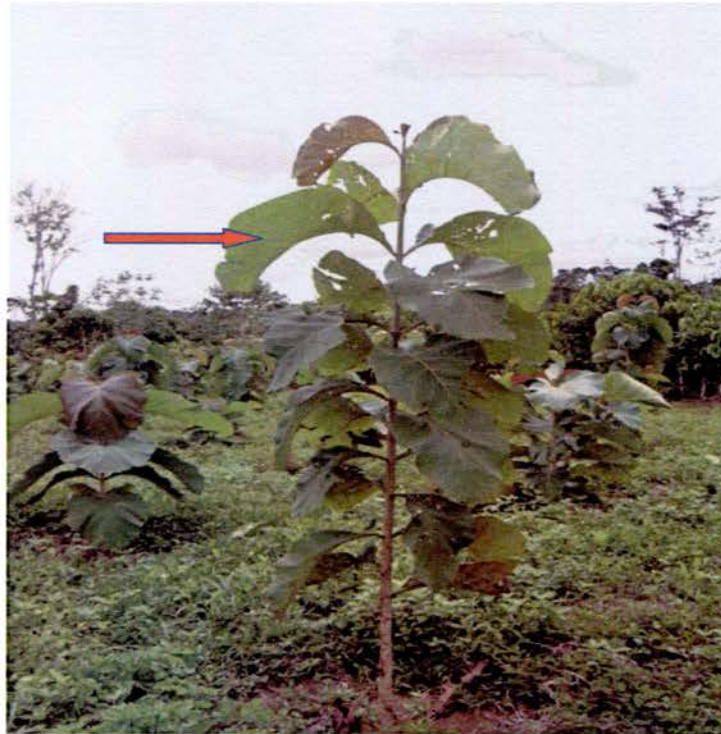


Figura 11: Árbol de teca de 6 meses con el tercer par de hojas bien desarrollado

Se realizó un análisis de regresión entre la concentración foliar, la clase de edad y la clase de sitio para cada uno de los elementos. Se hizo la prueba de medias para cada uno de los nutrientes según el crecimiento en volumen sin distinción de la edad y según la edad sin distinción del crecimiento en volumen. Para cada uno de los elementos, se llevó a cabo un análisis para cuantificar su suficiencia según estándares internacionales (Dreschel y Zech 1991) sin considerar la edad o el nivel productivo de los sitios.

Con toda la población de datos, se realizó la distribución normal de frecuencias, para calcular la normalidad estadística de los valores y definir ámbitos como moderadamente

³ LSF (Laboratorio de Suelos y Foliare) 2012. Metodología de determinación de nutrientes en suelos y foliares (Entrevista). San José, CR, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

bajos (valores representando el 10% del área a la izquierda de la curva normal), adecuados (el 80% de los valores del área de la curva) y moderadamente altos (valores representando el 10% del área a la derecha de la curva normal) de la concentración de cada uno de los elementos. Debido a que no se encontró síntomas de deficiencia foliar en las plantaciones, esta separación asume que la concentración de todos los elementos comparados fue de suficiencia, lo cual puede o no ser así, según los criterios de suficiencia definidos por Dreschel y Zech (1991). Los datos se analizaron con el programa: Estadística StatSoft, Inc. (2001) STATISTICA (Data Analysis Software System), versión 6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación de la concentración foliar de nutrimentos

En el Cuadro 8, se presentan los valores mínimo, promedio y máximo, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el error estándar de las concentraciones de todos los elementos analizados a nivel foliar en las plantaciones estudiadas, indiferentemente de la edad de la plantación o de la calidad del sitio. La mayoría de los valores presenta coeficientes de variación que podrían considerarse medios a altos, dependiendo del elemento, según el criterio establecido por el Comité de Laboratorios de Costa Rica (Corrales *et al.* 2005).

Al comparar los valores de concentración foliar de los diferentes elementos analizados con los parámetros de suficiencia foliar desarrollados por Dreschel y Zech (1991) para plantaciones de teca en África, se encuentra que las concentraciones de N, Ca, Zn, B y S están adecuadas (Figura 12), mientras que las concentraciones de K, P, Fe y Cu son claramente bajas (Figura 14). La concentración de Mg es ligeramente superior al nivel crítico (Figura 13). Los valores de Na y Mo no se podrían comparar ya que Dreschel y Zech

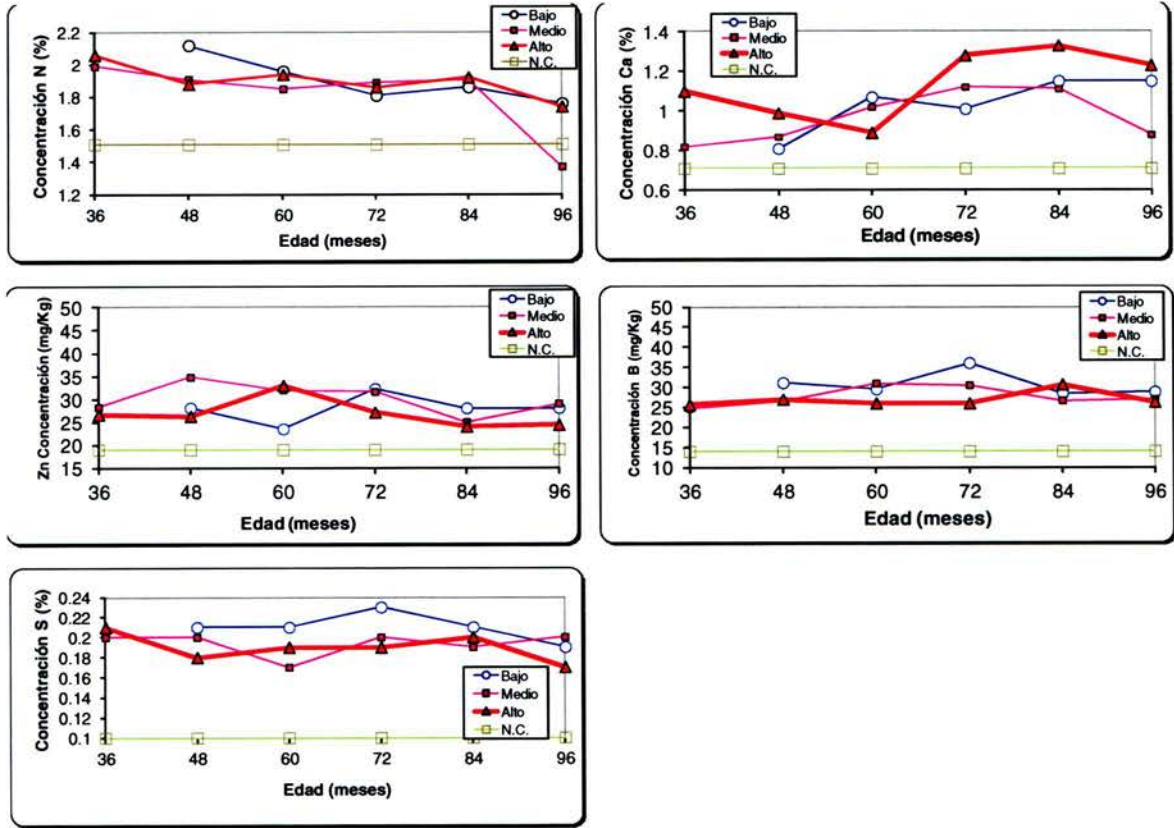
(1991) no los consideran en su estudio y por tanto representan un nuevo aporte a la literatura. Las concentraciones de Al están por debajo del rango de exceso (Figura 14), sin embargo, Dreschel y Zech (1994) mencionan que el Al foliar no es buen indicador de toxicidad por Al, razón por la cual se tomó este dato con reservas. Las concentraciones de Mn aumentan conforme disminuye la calidad de sitio (Figura 15) y aquellas de los sitios de bajo crecimiento se encuentran en concentraciones mayores que el nivel de suficiencia crítico determinado por Dreschel y Zech (1991).

Cuadro 8. Estadísticos para el contenido foliar de nutrimentos de la teca de 3 a 8 años en la cuenca del canal de Panamá

Elemento		n	Media	CV (%)	Mín	Máx
Macro- elementos (%)	N	89	1,9	13	1,36	2,61
	Ca	89	1,06	25	0,50	1,84
	K	89	0,66	25	0,26	1,02
	Mg	89	0,27	37	0,12	0,57
	S	89	0,20	11	0,14	0,25
	P	89	0,12	12	0,09	0,16
	Na	89	0,01	33	0,003	0,01
Micro- elementos (mg*kg ⁻¹)	Mn	89	50	48	21	135
	Fe	89	43	14	33	72
	Al	89	36	28	20	94
	B	89	29	21	16	54
	Zn	89	28	31	16	67
	Cu	89	8	24	4	13
	Mo	89	0,35	24	0,2	0,64

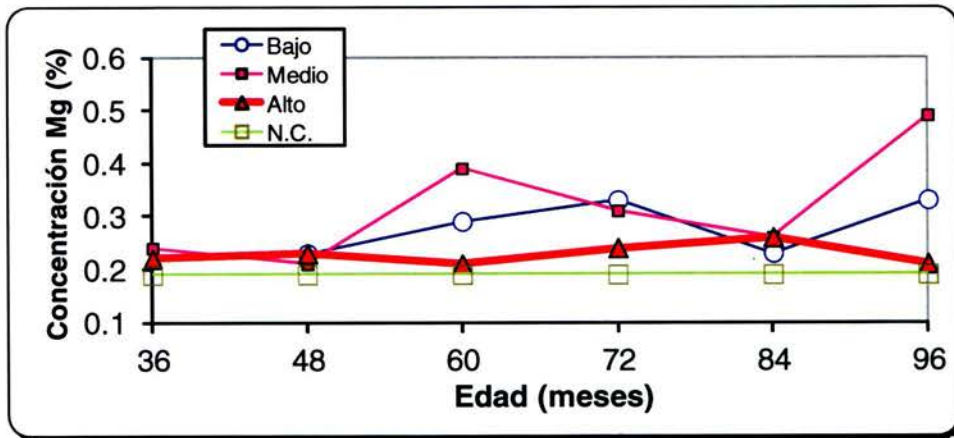
n= muestras, CV= coeficiente variación, Min=valor mínimo, Max=valor máximo

Media, Min y Max están en unidades de cada elemento



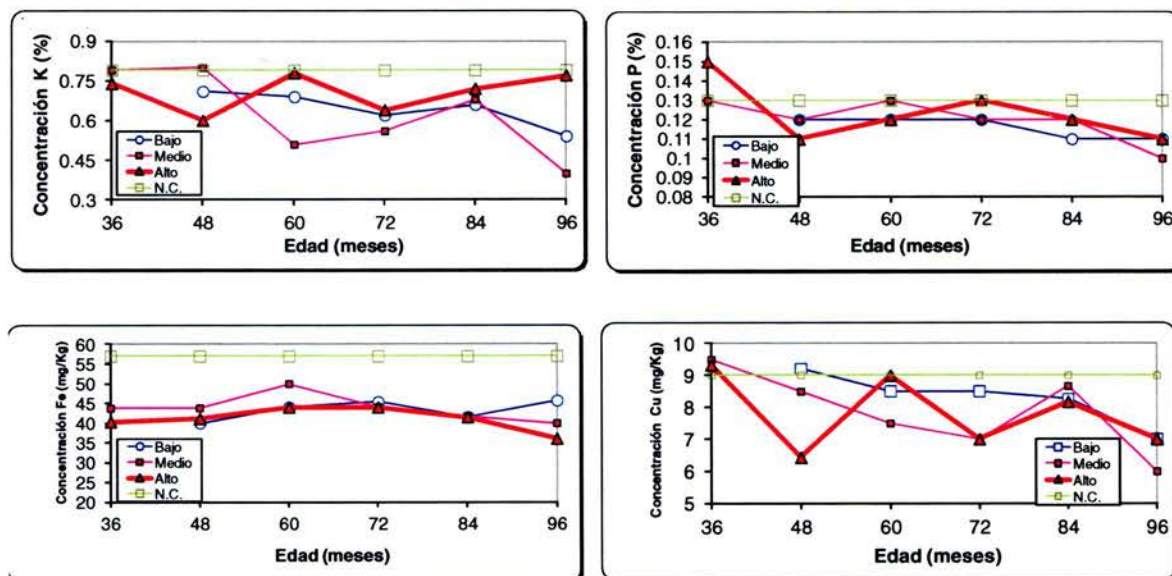
N.C.= Nivel crítico según Drechsel y Zech, (1991)

Figura 12: Curvas de concentración foliar de N, Ca, Zn, B y S en plantaciones de teca según la edad y la calidad de sitio en Panamá



NC= Nivel crítico según Drechsel y Zech, (1991)

Figura 13: Curva de concentración foliar del Mg en plantaciones de teca según la edad y la calidad de sitio en Panamá



N.C.= Nivel crítico

Figura 14: Curvas de concentración foliar de K, P, Fe y Cu en plantaciones de teca según la edad y la calidad de sitio en Panamá

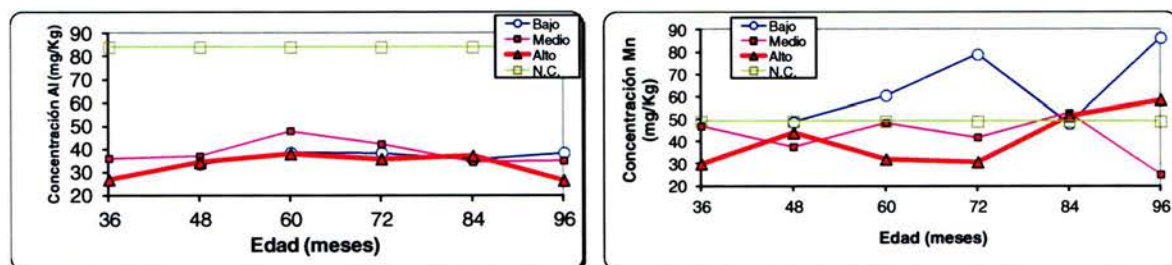


Figura 15: Curvas de concentración foliar de Al y Mn en plantaciones de teca según la edad y la calidad de sitio en Panamá

Al realizar la distribución de frecuencia de los datos por elemento, se encontró que en general tienen una distribución normal, excepto para el Zn y el Mn. En términos de concentración foliar el 79% de las muestras de K y el 92% de las muestras de P (Figura 16 y 17) están por debajo del nivel crítico.

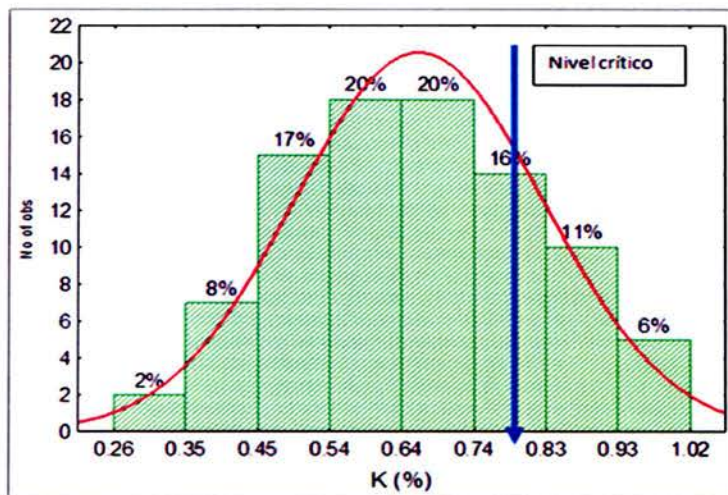


Figura 16: Distribución de frecuencia de todas las muestras de concentración foliar de K y el nivel crítico según Dreschel y Zech (1991)

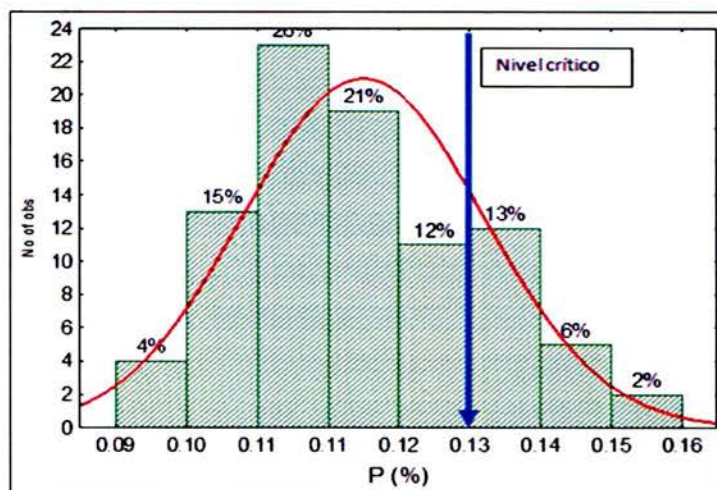


Figura 17: Distribución de frecuencia de todas las muestras de concentración foliar de P y el nivel crítico según Dreschel y Zech (1991)

Efecto de la calidad de sitio sobre la concentración foliar de nutrimentos

Al agrupar los datos por calidad de sitio, se encuentra que, en general las diferencias no son significativas para la mayoría de los elementos excepto para el Ca y el Mn. Las curvas de concentración foliar del Ca en los sitios de crecimiento alto están por encima que curvas de los sitios de crecimiento bajo, lo que indica que este elemento se necesita en mayor cantidad en los sitios de mayor crecimiento. Por el contrario, los valores de concentración del Mn en los sitios de crecimiento alto tienen la tendencia a estar por debajo de las curvas de crecimiento bajo.

Cuadro 9: Valores promedio y coeficiente de variación para los nutrimentos en hojas de teca de 3 a 8 años en las 3 categorías de crecimiento

Variable		CATEGORIA DE CRECIMIENTO ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)					
		BAJO (2,9 - 5,3)		MEDIO (5,4 - 9,3)		ALTO (9,4 - 13,3)	
		Media	CV (%)	Media	CV	Media	CV
Macro- elementos (%)	N	1,92	13	1,89	14	1,89	12
	Ca	0,99	24	1,01	24	1,18	23
	K	0,64	26	0,67	28	0,67	20
	Mg	0,28	39	0,28	39	0,24	30
	S	0,21	11	0,19	11	0,19	10
	P	0,11	11	0,12	11	0,12	14
	Micro- elementos ($mg \cdot kg^{-1}$)	Mn	65	47	45	34	41
Fe		43	13	44	16	42	13
Al		36	24	38	33	34	24
B		32	24	28	14	27	21
Zn		29	30	30	34	26	25
Cu		8	21	8	24	7	25
Mo		0,36	22	0,35	26	0,3	21

La concentración foliar de Mn en los sitios de bajo crecimiento es de $65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y en los sitios de alto crecimiento es de $41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, para los otros microelementos las diferencias no son estadísticamente significativas.

En los sitios con crecimiento bajo de la teca los valores de concentración foliar de Ca son en promedio de 0,99 % y en los sitios de crecimiento alto son de 1,18% (Cuadros 9 y 10).

Cuadro 10: Comparación de medias de concentración foliar de nutrientes en teca de 3 a 8 años según categoría de crecimiento bajo, medio y alto

Variable		Crecimien- to (1)	Crecimien- to (2)	n(1)	n(2)	Media (1)	Media (2)	T	p
MACRONU- TRIENTES (%)	Ca	Alto	Bajo	29	30	1,18	0,99	2,91	0,0052
	Ca	Alto	Medio	29	30	1,18	1,01	2,5	0,0152
MICRONU- TRIENTES (mg*kg ⁻¹)	Mn	Alto	Bajo	29	30	41	65	-3,72	0,0005
	Mn	Bajo	Medio	30	30	65	45	3,22	0,0024
	B	Alto	Bajo	29	30	27	32	-2,49	0,0157
	B	Bajo	Medio	30	30	32	28	2,45	0,0184

n = número de muestras, media (1 o 2) = promedio de concentración 1 o 2, T = valor de t, p= probabilidad de error (diferencias estadísticas a un nivel de 5%)

Efecto de la edad de la plantación sobre la concentración foliar de nutrientes.

El comportamiento de las curvas de concentración foliar y su relación con la edad de la plantación es variable. El Ca ($R^2=0,30$) y el Mg ($R^2=0,17$) tienen la tendencia a aumentar con la edad de los árboles, mientras que el N ($R^2=0,49$), P ($R^2=0,43$) y K ($R^2=0,20$) disminuyen con la edad. La variación en la concentración foliar según la edad explica (Cuadro 11), en parte, la dispersión de los datos (CV) según la concentración foliar por clase de crecimiento. El incremento del Ca y Mg foliar con la edad ya había sido reportado para plantaciones de teca en Costa Rica por Montero y Kanninen (2006), mientras que la disminución de N, P y K ha sido también documentada durante el primer año de crecimiento (Nwoboshi 1984), durante los primeros 4-6 años (Drechsel y Zech 1994) y en árboles de 2-8 años vs 9-45 años de edad (Montero y Kanninen 2006).

Las mayores concentraciones de P se observan en las edades más jóvenes, tanto en sitios de alto como en algunos de bajo crecimiento. Esta información tiene relevancia si se desea estimar la exportación del fósforo del sistema al realizar raleos a muy temprana edad, o también, con la tendencia actual a cosechar la teca cada vez más temprano.

La concentración del N tiene la tendencia a disminuir con la edad y una ligera tendencia a disminuir con el aumento en la clase de crecimiento (Figura 19), sin embargo, la mayor concentración ocurre en edades más jóvenes y el efecto en la concentración foliar provocado por la edad es mayor que el efecto provocado por la categoría de crecimiento.

El Ca es el macronutriente que presenta una tendencia más clara respecto de la edad y la clase de crecimiento. Conforme aumenta la edad, mayor es la concentración en las hojas así también, conforme aumenta el crecimiento también aumenta la concentración de Ca (Figura 19). Las concentraciones más bajas se observan en la categoría de bajo crecimiento y en edades jóvenes.

En relación a la variación de los microelementos en el componente foliar de la teca, se ha mencionado que el Cu y el Zn permanecen relativamente estables con la edad (Drechsel y Zech 1994) y que el Cu tiende a disminuir en plantaciones de Costa Rica (Montero y Kanninen 2006).

El análisis de la concentración foliar de nutrientes según los grupos de edad (Cuadro 12) muestra que la variabilidad del Ca entre el grupo de árboles de 3 y 4 años es estadísticamente diferente ($\alpha = 0,05$) del grupo de edad de 5 y 6 años y del grupo de 7 y 8 años (Figura 18). El N, Mg y Mn registraron también diferencias significativas con el aumento en edad.

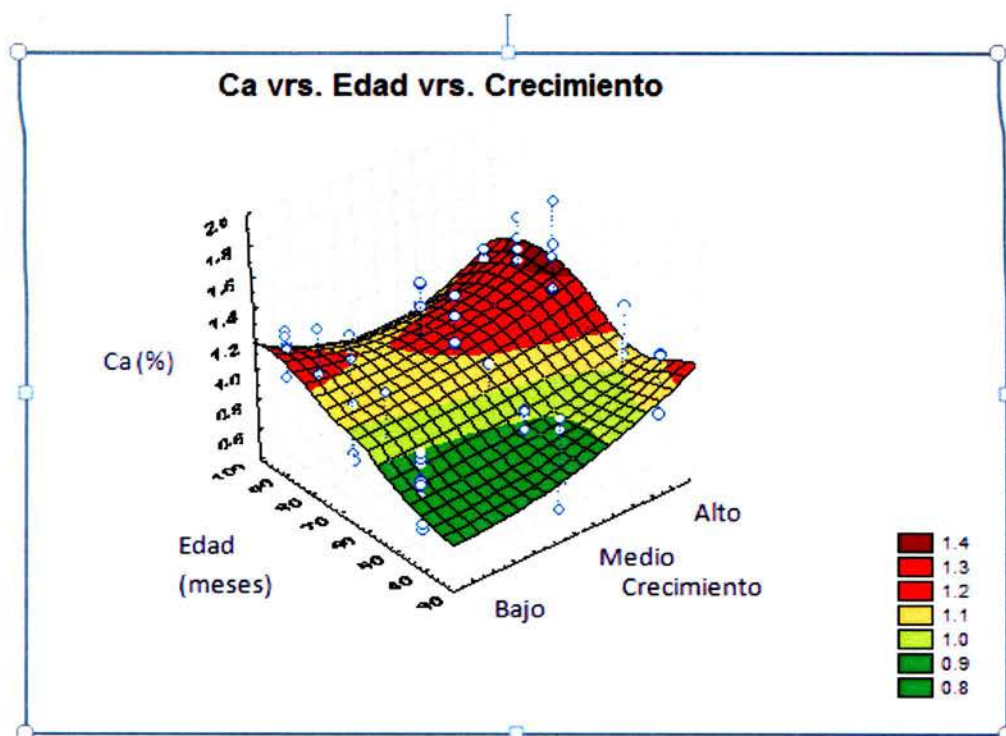


Figura 18: Variación del Ca foliar en teca según la edad (3 a 8 años) y la calidad de sitio (alto, medio y bajo crecimiento)

Cuadro 11: Valores promedio y coeficiente de variación en la concentración de los nutrientes en hojas de teca en relación con la edad

Variable		RANGOS DE EDAD (años)					
		3 a 4		5 a 6		7 a 8	
		Media	CV (%)	Media	CV	Media	CV
Macro- elementos (%)	N	2,00	10	1,86	13	1,84	14
	Ca	0,89	25	1,12	24	1,17	18
	K	0,72	23	0,61	25	0,66	26
	Mg	0,23	25	0,30	40	0,27	37
	S	0,20	11	0,20	11	0,19	12
	P	0,12	14	0,12	10	0,11	10
	Na	0,01	67	0,01	40	0,01	92
Micro- elementos (mg*kg ⁻¹)	Mn	43	48	50	54	58	40
	Fe	42	9	45	18	42	13
	Al	34	18	39	34	35	25
	Zn	29	37	30	27	26	24
	B	28	20	30	26	28	15
	Cu	8	26	8	25	8	19
	Mo	0,34	17	0,36	23	0,36	31

Cuadro 12: Comparación de medias de concentración foliar de nutrimentos en teca de 3 a 8 años según grupos de edad (3-4, 5-6, 7-8 años), en la cuenca del canal de Panamá

Variable	Grupo de Edad (1)	Grupo de Edad (2)	media(1)	media(2)	p	
MACRONUTRIENTES (%)	Ca	3 - 4	7 - 8	0,89	1,17	<0,0001
	Ca	3 - 4	5 - 6	0,89	1,12	0,0007
	Mg	3 - 4	5 - 6	0,23	0,3	0,006
	N	3 - 4	7 - 8	2,00	1,84	0,0087
	N	3 - 4	5 - 6	2,00	1,86	0,0234
	K	3 - 4	5 - 6	0,72	0,61	0,0129
	Mg	3 - 4	7 - 8	0,23	0,27	0,0334
MICRONUTRIENTES (mg*kg⁻¹)	Mn	3 - 4	7 - 8	43	58	0,0101
	Zn	5 - 6	7 - 8	30	26	0,0357

* Medias diferentes al 5%

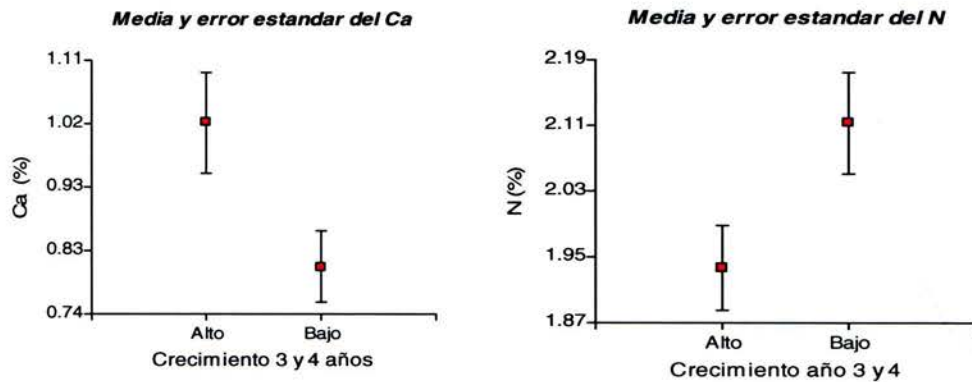
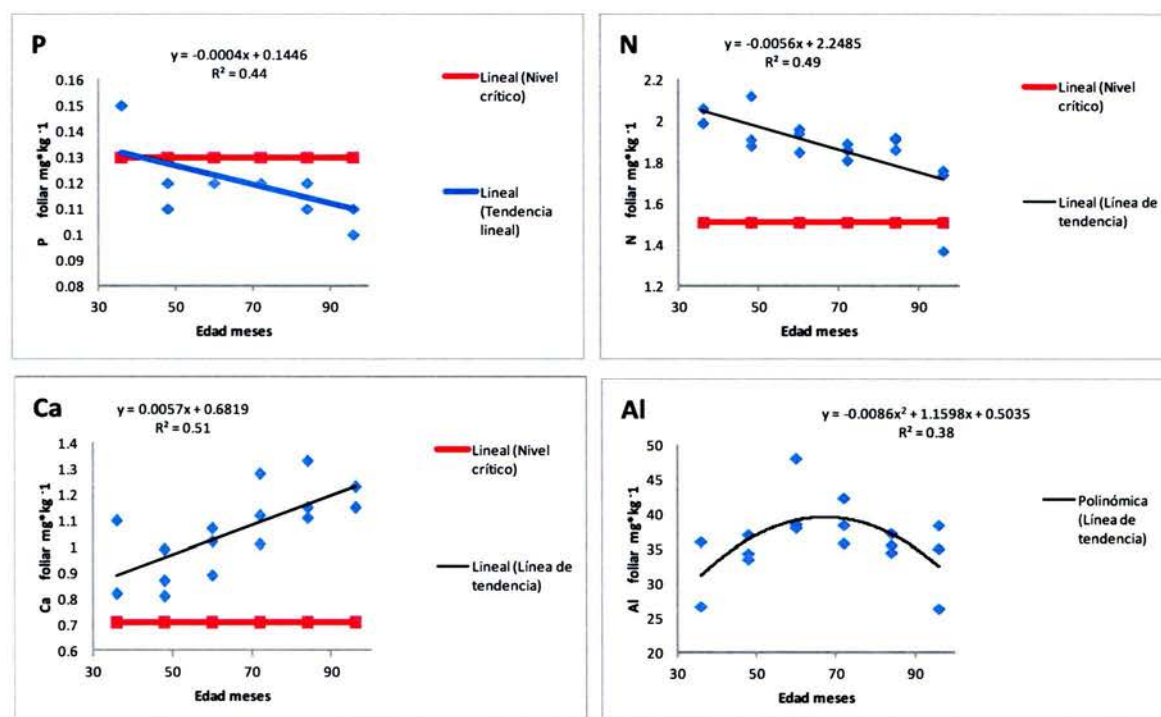


Figura 19: Promedio y error estándar de la concentración de Ca y N foliar en sitios de alta y baja tasa de crecimiento a la edad de 3 y 4 años

Como puede observarse en el cuadro 12, el Zn tiende a disminuir significativamente después del año 5 ($p=0,05$) en los grupos de edad de 5-6 años y 7-8 años, sin embargo en términos absolutos la diferencia es pequeña. Se ha reportado en la literatura que la concentración de Zn en árboles de hoja ancha oscila comúnmente entre 15 y 50 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ e

inusualmente entre 65 y 200 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en árboles que crecen en suelos ácidos en bosques húmedos (Boardman y Mcguire 1990). La concentración foliar de Zn en coníferas se ha reportado que oscila entre 15 y 65 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Raupach 1975 citado por Boardman y Mcguire 1990).



Nivel crítico según Drechsel y Zech (1991)

Figura 20: Tendencia de la concentración foliar del P, N, Ca y Al en teca de 36 a 96 meses de edad en la cuenca del canal de Panamá

Con base en los datos foliares de P, N, Ca y Al de Panamá se elaboró la curva de mejor ajuste para cada uno de estos elementos (Figura 20), mostrando además el nivel crítico definido por Dreschel y Zech (1991). La variación en la concentración foliar del Ca, N, P y Al podría ser explicada por la edad en un 51%, 49%, 44% y 38% respectivamente. La curva de mejor ajuste para el P y el K foliar de las plantaciones de teca de Costa Rica (Montero y

Kanninen 2006) no se ajustan a los datos de Panamá. Los contenidos de P y K foliar en Panamá son menores a los contenidos foliares de tecla en Costa Rica.

Cantidad de nutrimentos foliares en la tecla

Los macroelementos que se registraron en mayor concentración foliar en este estudio fueron N, Ca y K y en menor cantidad Mg, P y S (Figura 21). Similares resultados han sido reportados en la India y Nigeria (Nwoboshi 1983, 1984, Negi *et al.* 1990, Dreschel y Zech 1991) y en Costa Rica por Montero y Kanninen (2006). La concentración foliar de nutrimentos para tecla varía más en suelos fértiles de la India (Negi *et al.* 1990) y en Nigeria (Nwoboshi 1983, 1984) que en los suelos ácidos encontrados en el presente trabajo en el Canal de Panamá. Las variaciones en concentración foliar encontradas, posiblemente se deban a la disponibilidad de los elementos en el suelo en cada sitio con sus condiciones ambientales, así como a diferencias en factores climáticos que pudieron afectar su absorción.

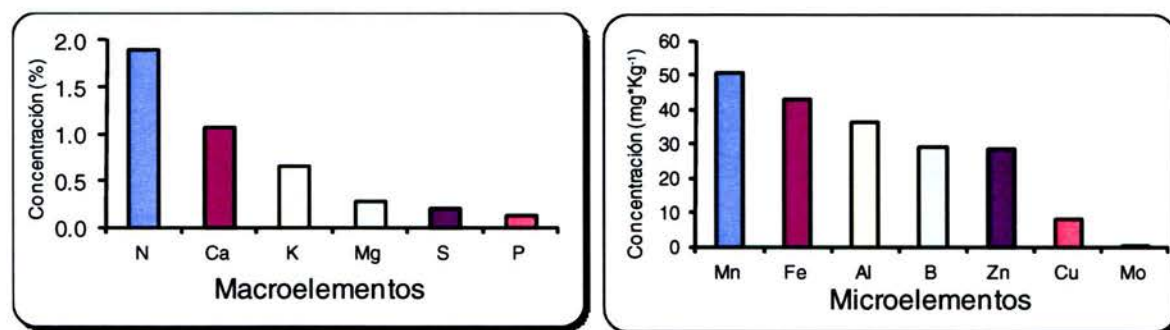


Figura 21: Concentración de macro y microelementos foliares en tecla de 3 a 8 años en la cuenca del canal Panamá

De acuerdo con los datos del presente trabajo, los microelementos con mayor concentración (Mn > Fe > Al) en el Cuadro 8 presentan valores más bajos a los reportados para plantaciones en África (Dreschel y Zech 1991), mientras que los valores de B, Zn y Cu (B

> Zn > Cu) son muy similares a los registrados en Costa Rica (Montero y Kanninen 2006) (Cuadro 13).

Cuadro 13: Valores de concentración foliar (%) de macronutrientes en plantaciones de teca

País	N	P	K	Ca	Mg	Orden mayor a menor	Autor
	%						
Panamá	1,90	0,12	0,66	1,06	0,27	N > Ca > K > Mg > P	Presente trabajo 2012
Costa Rica	2,01	0,2	1,40	0,97	0,28	N > K > Ca > Mg > P	Montero y Kanninen (2006)
África	2,15	0,20	1,56	1,46	0,29	N > K > Ca > Mg > P	Dreschel y Zech (1991)
India	1,14	0,05	0,67	1,18	0,27	Ca > N > K > Mg > P	Negi <i>et al.</i> (1990)
Nigeria	1,41	0,29	2,57	0,90	0,19	K > N > Ca > P > Mg	Nwoboshi (1983, 1984)

Cuadro 14: Valores de concentración foliar (mg*kg⁻¹) de microelementos en plantaciones de teca

País	Fe	Cu	Mn	B	Zn	Al	Orden	Autor
	mg * kg ⁻¹							
Panamá	43	8	50	29	28	36	Mn > Fe > Al > B > Zn > Cu	Presente trabajo 2012
África	224	18	81	30	35	202	Fe > Al > Mn > B > Zn > Cu	Dreschel y Zech (1991)
Costa Rica	nd	14	49	nd	30	nd	Mn > Zn > Cu	Montero y Kanninen (2006)

Cuadro 15: Comparación de intervalos de concentración de elementos foliares de teca en Panamá vs África

Nutrimiento		Panamá	África	Panamá vs. África
Macro- elementos (%)	Mg	0,16 - 0,44	0,20 - 0,37	(14% Menor) (61% ≈) (25% mayor)
	N	1,58 - 2,19	1,52 - 2,78	≈
	Ca	0,72 - 1,42	0,72 - 2,2	≈
	S	0,17 - 0,23	0,11 - 0,23	≈
	K	0,45 - 0,89	0,8 - 2,32	77% Menor
	P	0,10 - 0,14	0,14 - 0,25	98% Menor
Micro- elementos (mg*Kg ⁻¹)	Al	28 - 46	85 - 320	100 % Menor favorable
	B	23 - 36	15 - 45	≈
	Zn	19 - 39	20 - 50	(4% Menor) (96% ≈)
	Cu	6 - 11	10 - 25	80% Menor
	Fe	37 - 50	58 - 390	100 % Menor
	Mn	0,25 - 0,45	50 - 112	100% Menor
	Mo	25 - 75	n.d.	n.d.

≈ dentro rango

%= % del rango de Panamá que es menor o mayor respecto del rango de África

El ámbito de valores de concentración del N, Ca, y S foliar determinado para Panamá está dentro de la variación reportada para África, aunque la amplitud de valores para Panamá es un poco menor (Cuadro 15). Los macroelementos P y K se encuentran en concentraciones menores que las registradas en África. Todos los microelementos, excepto el B y el Zn, se encuentran en ámbitos menores de concentración que los reportados en África. Los valores de los nutrimentos N, P, K, Ca, S, Fe, Cu, Al, B y el Mo muestran una distribución normal (Anexo 7), mientras que el Mg, el Mn y el Zn exhiben un cierto sesgo a la derecha.

El Cuadro 16 muestra los límites de concentración determinados para Panamá. Con base en los datos se determinó que el 80% de la distribución normal correspondía al límite medio de concentración foliar de cada uno de los nutrimentos. El ámbito medio de la concentración foliar de Ca en la teca de la cuenca del canal de Panamá es desde 0,72% hasta 1,42%.

Cuadro 16: Intervalos (bajo, medio y alto) de concentración foliar para los macro y microelementos en teca de 3 a 8 años en Panamá

Variable		Bajo	Adecuado	Alto
Macro- elementos (%)	N	< 1,58	$\geq 1,58$ y $\leq 2,19$	> 2,19
	P	< 0,10	$\geq 0,10$ y $\leq 0,14$	> 0,14
	K	< 0,45	$\geq 0,45$ y $\leq 0,89$	> 0,89
	Ca	< 0,72	$\geq 0,72$ y $\leq 1,42$	> 1,42
	Mg	< 0,16	$\geq 0,16$ y $\leq 0,44$	> 0,44
	S	< 0,17	$\geq 0,17$ y $\leq 0,23$	> 0,23
Micro- elementos (mg*kg ⁻¹)	Fe	< 37	≥ 37 y ≤ 50	> 50
	B	< 23	≥ 23 y ≤ 36	> 36
	Cu	< 6	≥ 6 y ≤ 11	> 11
	Al	< 28	≥ 28 y ≤ 46	> 46
	Mo	< 0,25	$\geq 0,25$ y $\leq 0,45$	> 0,45
	Zn	< 19	≥ 19 y ≤ 39	> 39
	Mn	< 25	≥ 25 y ≤ 75	> 75

CONCLUSIONES

1. El orden registrado de la concentración foliar de macronutrientes en teca en la cuenca del canal de Panamá fue el N (45%), Ca (25%), K (16%), Mg (6%), S (5%) y el P (3%).
2. El orden de la concentración foliar de los microelementos en la teca en la cuenca del canal de Panamá fue el Mn (25%), Fe (22%), Al (19%), B (15%), Zn (15%) y el Cu (4%).
3. El comportamiento de las curvas de concentración foliar de los macronutrientes según la edad es variable: el Ca y el Mg aumentan con la edad, mientras que el N, P y el K disminuyen a mayor conforme aumenta la edad.
4. La concentración de N y P foliar es explicada en un 49% y 43% respectivamente, por la edad de la teca entre 36 y 96 meses.

5. El Mo y el Mn tienen una tendencia a aumentar conforme aumenta la edad, el Al, B, Fe y Zn tienen una tendencia a aumentar primero y luego disminuyen y el Cu disminuye conforme aumenta la edad.
6. La concentración de Al y B es explicada por la edad de la teca entre 36 y 96 meses, en 39% y 28% respectivamente.
7. Los nutrimentos P, K, Fe y Cu se registraron en niveles marginales y deficientes en la cuenca del canal de Panamá en relación con los ámbitos definidos para teca en África (Dreschel y Zech, 1991).
8. El P y el K son nutrimentos foliares que en Panamá se encuentran debajo de los niveles reportados como apropiados para Costa Rica, de acuerdo con Pérez y Kanninen (Comunicación personal 2006).
9. La concentración foliar de Ca y Mg en Panamá es similar a la concentración foliar de la teca en Costa Rica.
10. La concentración foliar de Ca, Mn y B de los sitios de alto crecimiento con respecto a los de bajo crecimiento es estadísticamente diferente a un nivel de probabilidad del 95%.
11. La concentración foliar de Ca y N es estadísticamente diferente en los tres grupos de edad evaluados en este estudio.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, A; Fallas, JL. 2004.** Efecto de la saturación de acidez y encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1):81-87.
- Bat, K; Ma, HO. 2004.** Productores de teca, uniros. Instituto de Investigación Forestal en Kerala: División de Ciencia de la madera e ITTO. *Actualidad forestal Tropical* 12(1). 3p. Disponible en: <http://www.kmbhat@kfri.org>. Consultado en Junio, 2009.
- Boardman, R; Mcguire, DO. 1990.** The role of zinc in forestry. I Zinc in forest environments, ecosystems and tree nutrition. *Forest Ecology and Management* 37:167-205.
- Brito, M; Guimarães, L; Luiz, M; Backes, C; Amaral, I. 2010.** Influência da Adubação Potássica Teor e Acúmulo de Macronutrientes em Folhas de Teca. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010. Centro de Convenções do SESC. 4 p.
- Drechsel, P; Zech, W. 1991.** Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: A tabular review. *Plant and Soil* 131: 29-46.
- Drechsel, P; Zech, W. 1992.** Multiple mineral deficiencies in forest plantations in Liberia. *Forest Ecology and Management*. Vol. 48(1992): 121-143.
- Drechsel, P; Zech, W. 1994.** DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L.f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on teak growth in West Africa. *Forest Ecology and Management* 70: 121-133.
- Evans, J. 1979.** The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of *Gmelina arborea*. *Plant and Soil* 52: 547-552.

- Hernández, R; Torres, A; Márquez, O; Franco, W. 1993.** Contenido foliar y crecimiento en plantaciones de teca en Ticoporo, Venezuela. *Turrialba* 43(1):11-15.
- IDIAP 2006. Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrimentos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. En línea:
<http://www.idiap.gob.pa/zonificacion/mapas/index.htm>. Consultado en marzo, 2008.
- ITTO (International Tropical Timber Organization, J). 2007.** Tropical timber report. 12(16): 16-31 August.
- Koppad, A; Rao, R. 2003.** Effect of moisture conservation methods and fertilizers on nutrient uptake in two-old teak (*Tectona grandis* L.f.) plantation. In Bhat, K. *et al.* Proceedings of the International Conference on Quality Timber products of teak from sustainable forest management. India. p. 206-211.
- Lenoble, ME; Blevins, DG; Sharp, RE; Cumbie, BG. 1996 (a).** Prevention of aluminum toxicity with supplemental boron. I. Maintenance of root elongation and cellular structure. *Plant, cell and Environmental* 19:1132-1142.
- Lenoble, ME; Blevins, DG; Liles, RJ. 1996 (b).** Prevention of aluminum toxicity with supplemental boron. II. Stimulation of root growth in an acidic, high-aluminum subsoil. *Plant, cell and Environmental* 19:1143-1148.
- Mollinedo, M; Ugalde, L; Alvarado, A; Verjans, JM; Rudy, LC. 2005.** Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.), en la Zona oeste de la cuenca del canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1): 67-75.
- Montero, M; Kanninen, M. 2006.** Variación de los nutrimentos foliares con la edad de los árboles de *Tectona grandis* L.f., en Costa Rica. Proyecto: Dinámica de plantaciones. Universidad de Helsinki/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 16 p. Sin publicar.

- Negi, J. 1990.** Biomass production and distribution of nutrients in 20 years old teak (*Tectona grandis* L.f.) and Gamar (*Gmelina arborea*) plantation in Tripura. The Indian Forester 116(9): 681-686.
- Nwoboshi, L. 1983.** Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria: I Linear growth and biomass production. Forest Science 29(1): 159-165.
- Nwoboshi, L. 1984.** Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria: II Nutrient accumulation and minimum annual requirements. Forest Science 30(1): 35-40.
- Oliveira, JRV. 2003.** Sistema para cálculo de balance nutricional e recomendação de calagem de povoamentos de teca. NUTRITECA. Tesis MSc. Universidad de Viçosa, Viçosa, Brasil. 79 p.
- Richards, BN; Bevege, DI. 1972.** Principles and practice of foliar analysis as a basis for crop-logging in pine plantations. 1. Basic considerations. Plant and Soil 36:109-119.
- Rodas, F. 2006.** Efecto del establecimiento de plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en áreas de potrero sobre las características del suelo en Petén, Guatemala. Tesis MSc. CATIE. Turrialba Costa Rica. 90 p.
- Sampaio, A; Huber, D. 1999.** Concentração e distribuição de nutrientes nas folhas de especies florestais, na Amazonia Ocidental. Floresta e Ambiente: 6(1):127-137.
- StatSoft Inc. 2001.** STATISTICA (Data Analysis Software System), versión 6.
- Sujatha, MP. 2003.** Significance of micronutrients on the growth of teak seedlings. In Bhat, K. *et al.* Proceedings of the International Conference on Quality Timber products of Teak from Sustainable Forest Management. India. p. 491-494.
- TLBG (The Louis Berger Group Inc, P). 2006.** Informe de la región occidental de la cuenca del canal de Panamá. Presentado a la Autoridad del canal de Panamá. 21 p.

- Varmola, M. 2002.** Working Paper FP/19: Teak (*Tectona grandis* L.f.) in Central America. Forest Plantations Working Papers: based on the work in 1998 of R.V. De Camino, M.M. Alfaro y L.F.M. Sage, consultants. FAO. Forestry Department. 64 p.
- Vásquez, W; Ugalde, LA. 1995.** Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea*, en Guanacaste, Costa Rica. CATIE/ IDA/ FAO/ HOLANDA. Proyecto Madelaña-3. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico, No. 256. 33 p.
- Vimal, M; Sudhakara, K; Iayaraman, K; Sunanda, C. 2003.** Effect of soil-leaf nutritional factors of the productivity of teak (*Tectona grandis* L.f.) in Kerala State, India. *In: Proceedings of the International Conference on Quality Timber Products of Teak from Sustainable Forest Management.* Peechi, India. 2-5 December. 2003. p.530-539.
- Vitarello, VA; Capaldi, FR; Stefanuto, VA. 2005.** Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17(1):129-143.
- Zech, W; Kaupenjohann, M. 1990.** Carences en potassium et en phosphore chez *Casuarina equisetifolia*, *Eucaliptus sp.*, *Acacia auriculiformis* et *Tectona grandis* L.f. au Sud-Benin (Afrique occidentale). *Bois et Forests des Tropiques* 226: 29-36.

CAPITULO III: CONCENTRACION Y ABSORCION DE NUTRIMENTOS EN LA BIOMASA AEREA DE PLANTACIONES DE TECA EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMA

RESUMEN

Se colectaron 80 muestras de biomasa aérea (tronco, corteza, ramas principales, ramas secundarias y hojas) de 16 árboles dominantes de plantaciones de teca cuyo rendimiento fue de 9,4 a 13,3 m³*ha⁻¹*año⁻¹, entre las edades de 3 a 18 años en la cuenca del canal de Panamá, con el propósito de determinar la concentración y absorción de macronutrientes (N, K, Ca, Mg, P y S) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu y B) por componente y por árbol, en suelos rojos y ácidos clasificados como Ultisoles. Se midió la biomasa fresca y se elaboró las curvas de biomasa fresca y seca por componente según la edad. Se ajustaron funciones de regresión para estimar la absorción de cada nutriente según la edad.

La biomasa seca del tronco representó el 59,6% de la biomasa seca total, mientras que las ramas primarias el 16,6%, la corteza el 9,4%, las hojas el 7,9% y las ramas secundarias el 6,5%.

Los macronutrientes de mayor concentración según el componente fueron el Ca (2,01%) en la corteza, el N (1,98%) en las hojas y el K (1,92%) en las flores. Los micronutrientes de mayor concentración fueron el Fe (767 mg*kg⁻¹), Mn (60 mg*kg⁻¹) y Zn (50 mg*kg⁻¹), todos en la corteza. Los macronutrientes representan el 98,6% del total de nutrientes absorbidos y los micronutrientes corresponden al 1,4% del total de nutrientes absorbidos. La absorción acumulada de macronutrientes fue de 15,9 kg*árbol⁻¹ (7,3 kg de Ca, 3,9 kg de N, 2,6 kg de K, 1,0 kg de Mg, 0,7 kg de P y 0,4 kg de S) y de micronutrientes fue de 124 g (89 g de Fe, 18 g de Zn, 9 g de B, 5 g de Mn y 3 g de Cu).

INTRODUCCION

Biomasa aérea

La biomasa aérea de la teca (el tronco desde el nivel del suelo, la corteza, las ramas primarias y secundarias y las hojas) se ha estudiado principalmente en África y Asia (Kaul 1979, Nwoboshi 1984, Negi 1990, Zech y Kaupenjohann 1990, Negi *et al.* 1995, Drechsel y Zech 1991, Koppad y Rao 2002, Mbaekwe y Mackenzie 2008, Kumar *et al.* 2009, Kumar 2009) y recientemente se ha estudiado en América (Barroso 2005, Vieira 2006, Guimaraes *et al.* 2010). La distribución de la materia seca total entre las diferentes partes aéreas del árbol, cambian con la edad, de tal forma que la proporción del tronco y las ramas tienden a aumentar mientras que la proporción de hojas tiende a disminuir (Nwoboshi 1983, Mbaekwe y Mackenzie 2008, Kumar 2009). Se han encontrado diferencias significativas en biomasa de diferentes especies tropicales que crecen en similares condiciones climáticas (Brawn y Lugo 1992) y se ha determinado que los árboles de hoja ancha tienden a tener menor biomasa de hojas que las coníferas (van der Driessche 1974). Vieira (2006) evaluó la biomasa seca de la teca que crece en suelos ácidos bajo espaciamientos de 3x2 m (1667 árboles*ha⁻¹) hasta 5x5 m (400 árboles*ha⁻¹) en plantaciones de 6,3 años en Brasil y encontró que la biomasa seca total*ha⁻¹ disminuyó desde 58 hasta 14 ton*ha⁻¹ conforme aumentó el espaciamiento. Mientras que la biomasa seca por árbol aumentó desde los 35 hasta los 54 kg*árbol⁻¹ y la mayor biomasa se obtuvo cuando el área de crecimiento por árbol estuvo entre 12 y 16 m²*árbol⁻¹.

La biomasa en árboles jóvenes de teca (menos de 1 año) cambió según la deficiencia de macronutrientes en el suelo, presentándose una disminución del orden de 44% hasta 90%, en experimentos en los que se empleó la técnica del elemento faltante (Barroso

2005). Los elementos N y Ca causaron la mayor reducción de la biomasa cuando fueron limitantes, 90% y 80% respectivamente, mientras que los macronutrientes K, Mg, P y S ocasionaron una reducción promedio de 49%. La aplicación de dosis crecientes de K a plantas jóvenes causó primeramente un aumento de la biomasa y luego una disminución (Guimaraes *et al.* 2010).

La biomasa seca de las hojas y las ramas en árboles de 6 años disminuyó con el aumento en el espaciamiento hasta en 64%. Por el contrario, la biomasa seca del tronco se reporta que disminuye (26% en el mayor espaciamiento de 5x5 m y en 67% en el espaciamiento de 4x4 m) en espaciamientos de alta densidad (Vieira 2006).

La biomasa seca de la teca de un año de edad registró $2,7 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$ (Nwoboshi 1983), en árboles de 7,5 años de $12,9 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$ (Kumar 2009), en árboles de 10 años de $79 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$ (Karma *et al.* 2009) y $514 \text{ kg} \cdot \text{árbol}$ en árboles de 13 años en Nigeria e India (Nwoboshi 1983). La biomasa seca acumulada en árboles de 15 años alcanzó $592 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ (88% para el tallo y la corteza, 11% para las ramas y un 1% para el follaje) en Nigeria (Nwoboshi 1983), sin embargo en India alcanzó $16 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ en árboles de 10 años (57% para el tallo y la corteza y 43% para las ramas y el follaje), pero en Tripura estado de la India a los 20 años registró $114 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ y a los 38 años $130 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ en Dehra-Dun, India (Kaul *et al.* 1979). Valores similares fueron obtenidos en Nigeria pero con árboles más jóvenes (8 a 14 años) (Mbaekwe y Mackenzie 2008).

Concentración de nutrimentos en la biomasa aérea

La concentración de nutrimentos en la biomasa de plantaciones forestales varía según la especie (Medina y Cuevas 2002, Thorn y Stjernquist 2005) y el tipo de componente, especialmente en las hojas de los árboles, en donde la concentración en árboles de hoja

ancha es mayor que en las coníferas (van der Driessche 1974). La concentración se reporta que varía según su posición en la copa (altura y aspecto), la clase de copa (dominante, codominante, dominada), la edad del follaje, la etapa fenológica, el espacio de crecimiento, la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, efectos de competencia (estrés por humedad, la intensidad de la luz), la temperatura ambiente, la altitud sobre el nivel del mar, la fuente de semilla, la aplicación de fertilizantes y la fuente del mismo (Hernández *et al.* 1993, Driessche, 1974), así como por errores propios del laboratorio (Bertsch *et al.* 2005). Las concentraciones de N, P y K en las hojas decrecen según la edad debido a la traslocación hacia los componentes en crecimiento y el efecto de dilución causado por el incremento del grosor de las paredes celulares con la edad (Marsehner 1995). Es posible encontrar diferencias estadísticamente significativas a nivel intraespecífico (especies del mismo género) en la concentración foliar de nutrimentos y dentro de una misma especie causado por diferencias ambientales (Medina y Cuevas 2002). Las variaciones debidas al procedimiento empleado para muestras foliares de varias especies en el laboratorio fueron de 5 a 10% en el caso de elementos foliares mayores y de 10 a 15% en los elementos menores a nivel foliar (Bertsch *et al.* 2005).

La mayor concentración de nutrimentos en los componentes de la teca ocurre en las partes reproductivas, luego el follaje, seguido de las ramas, corteza y en menor concentración en el tronco (Karma *et al.* 2009). La concentración de nutrimentos en los componentes aéreos (tronco, corteza, ramas, hojas) no presentó gran variación respecto de la edad de los árboles de 3 a 15 años, pero si fue diferente entre los componentes, de tal forma que, la concentración de N, K, Mg y P fue mayor en las hojas, mientras que la concentración de Ca fue similar en las hojas, la corteza y la raíz (Nwoboshi 1984, Negi 1990, Negi *et al.* 1995).

En plantaciones de Nigeria, la variación de las concentraciones de cada elemento en los diferentes componentes fue mayor para el Mg y el P (26% y 25% respectivamente), menor para el Ca y el K (16% y 10% respectivamente) y mucho menor para el N (Nwoboshi 1984).

El orden (> a <) de concentración de los macronutrientos foliares en la teca de 3,5 años en Panamá fue K, Ca, Mg y P (1,33, 0,99, 0,34 y 1,15% respectivamente) y de los micronutrientos fue Fe, Mn, Zn y Cu (112, 62, 28 y 12 mg*kg⁻¹ respectivamente) (Mollinedo 2003, Mollinedo *et al.* 2005). Mollinedo (2003) encontró que el 44% de los sitios evaluados en Panamá tenían deficiencias de P, el 10% tenía deficiencias de Ca y el 28% tenía deficiencias de Fe. En Nigeria el elemento de mayor concentración en la teca fue el K, seguido del Ca, N, P y Mg y se encuentran mayormente concentrados en las hojas (Nwoboshi 1984). La concentración de K foliar reportada (Negi *et al.* 1990) en hojas de teca de 20 años creciendo a una tasa de 7,9 m³*ha⁻¹*año⁻¹ fue mayor en India (0,83%) que en Benín (0,29%), sin embargo, el porcentaje de P (0,11%) fue igual. El contenido de K foliar en plantaciones de teca creciendo en suelos rojos ácidos en Benín fue definido como deficiente y la teca mostró un crecimiento promedio de 9,3 m³*ha⁻¹*año⁻¹ asociado también a contenidos foliares con niveles medios de P y Ca (0,11% y 1,09% respectivamente) y niveles medios a altos de Mg (0,42%) (Zech y Kaupenjohann 1990). En Ticoporo Venezuela, las plantaciones de teca registran tasas de crecimiento de 8,2 m³*ha⁻¹*año⁻¹ sobre suelos moderadamente drenados, con concentraciones de K y P foliar más altas (2,25%, y 0,38%) que en los sitios de pobre drenaje (1,15%, y 0,21% respectivamente).

En el Oeste de África las curvas reportadas de concentración foliar de N y P en árboles de teca de 4 a 6 años decrecen con la edad, mientras que la concentración de otros elementos

como K, Mg, Zn y Cu permanece relativamente estable (Drechsel y Zech 1994). Las curvas de concentración foliar de N, P y K elaboradas en Costa Rica manifiestan una tendencia a disminuir hasta una edad de 8 años, mientras que la concentración foliar de Ca, Mg, Mn y Zn tiende a aumentar con la edad (Montero 1999).

La información disponible sobre concentración de micronutrientos en los componentes aéreos de árboles de teca es mucho menor que la de macronutrientos. Mollinedo (2003) evaluó plantaciones de teca de 3,5 años en Panamá y encontró que había deficiencias foliares de Fe (28% de los sitios), Mn (6% de sitios) y Zn (3% de sitios), cuyos valores de concentración foliar fueron $112,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para el Fe, $62 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para el Mn, $28,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para el Zn y $12,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para el Cu. Evaluaciones hechas en India para teca de 1 a 20 años muestran valores medios de $178 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Fe, $51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Mn y $21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Zn, cuyos valores guardan el mismo orden de concentración según la cantidad absoluta y no son tan diferentes, excepto para el Fe. Osundina y Osonubi (1989) encontraron que las concentraciones foliares de Fe y Mn en árboles de teca de menos de 1 año podrían aumentar hasta 400% y 186% respectivamente bajo condiciones de anegamiento y podrían alcanzar niveles tóxicos para la planta. Las concentraciones foliares en otra especie como el roble (*Quercus robur*) de zonas templadas fueron $1126 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Mn, $101 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Fe, $47,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de B, $24,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Zn y $8,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Cu (Thorn y Stjernquist 2005). En otra especie latifoliada como el *Alnus acuminata* la concentración foliar de micronutrientos mantuvo el siguiente orden $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{B}$ y con valores de $137 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente. No se encontraron diferencias entre las edades estudiadas, sin embargo, si hubo diferencias entre las concentraciones de los componentes, mostrando una mayor concentración a nivel de

hojas excepto para el Zn, cuya concentración fue mayor en las ramas secundarias (Segura *et al.* 2005).

La concentración de micronutrientes por lo general ocurre mayoritaria y significativamente en las hojas que en el resto del árbol, y es posible encontrar diferencias significativas entre especies (Thorn y Stjernquist 2005).

La deficiencia de B participa en la pérdida de dominancia apical en árboles (Tarja *et al.* 2010) y afecta la calidad de su madera, debido a que constituye la pared celular. Su efecto puede provocar un peculiar comportamiento según las condiciones de deficiencia o abundancia que le permite ser inmóvil o potencialmente móvil (Dannel *et al.* 1998 citado por Tarja *et al.* 2010). El B que forma parte de la pared celular es inmóvil y bajo condiciones que no son deficientes su concentración en los componentes es relativamente constante, sin embargo, la fracción que no forma parte de esos componentes es potencialmente móvil. Bajo condiciones extremas de deficiencia la concentración en las hojas nuevas y viejas es similar o puede llegar a ser más alta en las hojas viejas (Dannel *et al.* 1998 citado por Tarja *et al.* 2010). En algunas especies de árboles frutales (manzanas y peras) se encontró movilidad del B hacia las flores y los frutos (Hanson 1991 citado por Tarja *et al.* 2010).

Brockley (2001) afirma que el análisis foliar refleja la disponibilidad de nutrientes en el suelo y el grado en el que los árboles son capaces de usarlos. Fernández *et al.* (2009) encontraron que el diagnóstico foliar fue una herramienta útil para el manejo de las plantaciones de Olivo y consiguieron una disminución de 10 veces en el costo de los nutrientes aplicados, en comparación con la práctica convencional, lo que les permitió el uso racional de abonos y evitar la sobre dosificación. Según estos autores, a pesar de la disminución de fertilizantes no se presentaron reducciones significativas en la producción,

ni en calidad ni en cantidad, al manejar las plantaciones según el diagnóstico foliar en comparación con el método convencional.

Absorción en la biomasa aérea

La absorción de nutrimentos en los árboles de teca en plantación es alta, comparada con un bosque tropical natural o con una plantación de pino tropical (Nwoboshi 1984). El 43% de los nutrimentos en árboles de teca se encuentran en el tronco y la corteza y el 57% se encuentra en la copa (hojas, ramas, partes reproductivas) (Kumar *et al.* 2009). En Nigeria el elemento más abundante es el K ($2,86 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$) y le siguen el Ca ($2,14 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$), el N ($1,71 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$), el P ($0,43 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$) y el Mg ($0,36 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$) (Nwoboshi 1984). El elemento más abundante reportado en la biomasa aérea de teca en India y Venezuela, fue el Ca, seguido en abundancia por el N y el K (Negi 1995, Hase 1981 citado por Salas 1987). Sin embargo, Kumar *et al.* (2009) encontraron en India que el elemento más abundante fue el N, seguido del Ca, K y Mg. Kumar (2009), en otro estudio en India encontró que el N es el elemento mayormente absorbido en edades tempranas (hasta 8 años), sin embargo, conforme el árbol crece, el Ca se vuelve el elemento más absorbido por esta especie.

En Nigeria, los elementos mayores (N, P, Ca) mantuvieron una curva creciente de absorción desde los 6 hasta los 30 años, pero el K y Mg tendieron a disminuir en el período de 6 a 10 años, para ascender nuevamente después de 10 años (Negi 1995, Hase, 1981 citado por Salas 1987).

No se registran datos de curvas de absorción de nutrimentos para teca creciendo en suelos ácidos de Panamá y que incluyan las edades de 1 a 8 años. Dentro de la clase de edad de 1 a 8 años se determinó en Nigeria (suelos ligeramente ácidos) que el elemento de mayor

absorción total fue el K, seguido por el N y el Ca. Donde se mantuvo una proporción de K 37% más alta que N y 140% mayor que Ca a la edad de 5 años (Nwoboshi 1984). El anterior estudio de curvas de absorción en teca realizado por Nwoboshi (1984) se llevó a cabo en una zona donde la precipitación es relativamente menor (1600 mm) a la registrada en la cuenca del canal de Panamá (2880 mm). El único estudio que considera la misma área geográfica (zona del canal de Panamá) solo contempla las edades hasta 3,5 años y el muestreo fue realizado al finalizar el período lluvioso, cuando el árbol ya se había preparado para la floración y fructificación. Se estima que el momento adecuado para realizar el muestreo de componentes debe ser a la mitad del período lluvioso (agosto), cuando el árbol exprese un crecimiento vegetativo representativo. En Venezuela se investigó la absorción de nutrimentos en la teca en suelos aluviales (Hernández *et al.* 1993) fértiles, muy diferentes a los considerados en la presente investigación.

La absorción de micronutrimentos en árboles ha sido mucho menos estudiada que los macronutrimentos, posiblemente porque representan alrededor del 1,5% de la concentración total de nutrimentos. Estudios realizados en *Pinus pinaster* de 16 años muestran que las mayores cantidades están en el tronco y las ramas, con excepción del Mn, que se encontró en mayores cantidades en las acículas (Saur *et al.* 1992). La inmovilización total de micronutrimentos en *P. pinaster* mantuvo el siguiente orden, Mn>Fe>Zn>B>Cu y valores absolutos de 202, 154, 61, 34 y 11 kg*ha⁻¹, respectivamente (Saur *et al.* 1992). Este mismo orden de absorción fue registrado en *Pinus elliottii* var. *elliottii* de 24 años en Brazil (Torraca *et al.* 1984), cuyos valores fueron 41, 14, 2,8, 2,5 y 0,8 kg*ha⁻¹ respectivamente. Sin embargo, estas extracciones fueron mucho menores que las de *Pinus pinaster*, debido a que el *Pinus elliottii* estaba creciendo en suelos muy bajos en nutrimentos. La absorción de micronutrimentos en plantaciones de *Alnus acuminata* en

suelos andisoles en Costa Rica fue del orden de $3,965 \text{ kg*ha}^{-1}$ de Fe, $2,126 \text{ kg*ha}^{-1}$ de Zn, $0,537 \text{ kg*ha}^{-1}$ de Cu, $0,465 \text{ kg*ha}^{-1}$ de Mn y $0,336 \text{ kg*ha}^{-1}$ de B (Segura *et al.* 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se ubicó dentro de la cuenca del canal de Panamá, entre las coordenadas geográficas $9^{\circ}00'$ y $9^{\circ}10'$ Norte, $79^{\circ}45'$ y $80^{\circ}00'$ Oeste. Los suelos son mayormente rojos y ácidos, clasificados como ultisoles. El área se encuentra en la zona de vida clasificada como bosque húmedo tropical según la clasificación de Holdridge (TLBG *et al.* 2006). La temperatura promedio anual es de $26,3$ grados y la precipitación promedio anual es de 2880 mm (TLBG 2006).

El sitio de muestreo consistió en parcelas permanentes de crecimiento que formaban parte de una red establecida y clasificada según el incremento medio anual en volumen (IMA_v). Las parcelas se clasificaron en bajo ($2,9\text{-}5,3 \text{ m}^3\text{*ha}^{-1}\text{*año}^{-1}$), medio ($5,4\text{-}9,3 \text{ m}^3\text{*ha}^{-1}\text{*año}^{-1}$) y alto crecimiento ($9,4\text{-}13,3 \text{ m}^3\text{*ha}^{-1}\text{*año}^{-1}$) respectivamente. Se escogieron 16 parcelas dentro del grupo de alto crecimiento con el propósito de seleccionar 16 árboles representativos de cada una (uno por parcela). Los árboles seleccionados se utilizaron para cuantificar su biomasa aérea y determinar la concentración y absorción de nutrientes en los diferentes componentes de la biomasa aérea distribuidos en edades de 3 hasta 18 años. Los árboles fueron seccionados en 5 componentes: tronco, corteza, ramas primarias, ramas secundarias y hojas por árbol, a edades de 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 14 y 18 años. En las edades 4, 5, 6, 7, 8, y 9 se cortaron 2 árboles por clase de edad para un total de 80 muestras de biomasa aérea. El trabajo de campo se realizó en el mes de agosto, con el fin de capturar el

momento de mayor crecimiento vegetativo y por tanto, una mayor representatividad de su estado nutricional.

Los árboles seleccionados eran dominantes, sanos (follaje verde, copa completa, crecimiento en un solo eje o tronco), sin problemas fitosanitarios (enfermedades visibles como protuberancias, follaje descolorido, ataque de plagas como hormigas, comején o cualquier otro insecto), entre 10 y 30 metros del borde de la parcela o de caminos, o claros en el bosque y con una densidad de plantación normal de acuerdo con la edad. Como árbol representativo se seleccionó un individuo de posición sociológica dominante debido a que el árbol promedio tiende a subestimar la biomasa seca total ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y el contenido de nutrimentos totales en un 27% respecto del método estratificado (Kaul *et al.* 1979).

Antes de talar cada árbol se limpió de hojas verdes caídas y se colocó una lona sobre la cual se dirigió el árbol. En lonas separadas extendidas sobre el suelo, se recogió la biomasa de cada una de las fracciones del árbol. Como ramas primarias se denominaron aquellas que salían del tronco, mientras que las secundarias fueron aquellas que salían de otra rama. Se pesó en fresco e *in situ* cada una de las fracciones totales por medio de una balanza con precisión de 0,2 kg. Posteriormente, de cada fracción se obtuvo submuestras debidamente identificadas y se pesaron en una balanza con precisión de 0,025 kg.

De la muestra de follaje se obtuvo una submuestra conformada por 4 grupos de 10 hojas (40 en total por árbol), de diferentes partes de toda la fracción, introduciendo las manos en el cúmulo, sin ver la hoja seleccionada. La muestra de ramas secundarias se hizo con 20 trozos pequeños tomados al azar del total y se envió al laboratorio, donde fueron molidos con un triturador con cuchillas. El tronco se partió en secciones consecutivas de 1 m y se procedió a quitarle la corteza. Para quitar la corteza se partió longitudinalmente con la motosierra y se desprendió con una herramienta en forma de espátula. Para la toma de la

muestra del tronco se partió las secciones del tronco en segmentos de 25 cm con la ayuda de una motosierra y se recogió 1 kg de aserrín sobre una lona limpia. La muestra de corteza y ramas primarias se obtuvo cortando con motosierra todas las secciones y recogiendo luego cerca de 1 kg de aserrín previamente homogeneizado para cada caso y colocado en bolsas plásticas. Antes de recoger el aserrín se aseguró de eliminar la contaminación con basuras o cualquier pedazo de material sin cortar.

El uso de la motosierra permitió obtener una muestra homogénea, ya que se usó material de todos los segmentos del tronco, además la cantidad de aserrín fue proporcional al tamaño de las partes cortadas. Si se encontraron flores y frutos se recogieron y pesaron para su envío al laboratorio.

Las muestras se trasladaron al laboratorio de suelos y foliares del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA). Los nutrimentos que se determinaron fueron: N, P, Ca, Mg, K y S en porcentaje, mientras que Fe, Cu, Zn, Mn y B en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Los procedimientos utilizados en el CIA para determinar los macro y micronutrimentos incluyeron la combustión seca (incineración a 500°C) para el N y los otros elementos por digestión húmeda con espectrofotometría de emisión atómica con plasma. La digestión húmeda se realiza con ácido nítrico en horno de microondas (Bertsch *et al.* 1998).

Biomasa

Se pesó la biomasa fresca y seca total por árbol y se ajustó un modelo de predicción por regresión para ambos casos, en función con la edad desde los 3 hasta los 18 años. Para cada una de las fracciones de biomasa seca (tronco, rama primaria, rama secundaria, corteza y

follaje) se ajustaron modelos matemáticos específicos según la edad, desde los 3 hasta los 18 años.

Concentración

Para cada uno de los macro y micronutrientes según cada fracción del árbol se obtuvo el valor promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación, con y sin distinción de la edad. Se hizo una comparación de medias (según Tukey $\alpha = 0,05$) de concentración de nutrientes en los componentes sin distinción de la edad.

Absorción

Se determinó ecuaciones de regresión usando el programa Statistica 6,0 y se escogió la curva de mejor ajuste para la absorción total de todos los nutrientes, según la edad y sin distinción de los componentes ni de nutrientes. Esta absorción total se refiere a la sumatoria de todos los nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, B) en $\text{kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$ a una edad determinada. Posteriormente, se graficó las curvas de absorción para cada fracción según la edad. Se calculó la cantidad relativa absorbida de cada nutriente según la edad, así como la absorción anual absoluta para cada fracción según la edad.

Se crearon ecuaciones para la estimación de la absorción total de cada nutriente según la edad (1 hasta 18 años). Se calculó las ecuaciones a cada edad y para cada nutriente y se obtuvo la diferencia de absorción entre años (Ej: año 4 menos año³) para estimar la absorción interanual. Para todas las ecuaciones con coeficiente de determinación mayor de 60% se hizo un análisis de residuales. Se graficaron los residuales estandarizados contra la variable dependiente (absorción de nutriente). En las figuras se observó los “outliers”, u observaciones con algún desvío importante con relación a la población de datos generado

por el modelo de regresión. Si los residuales estandarizados eran mayores que 3 se eliminó ese dato y se volvió a ajustar la ecuación de nuevo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Biomasa

La biomasa seca de los árboles de teca de 3 a 18 años varió desde los 34 kg*árbol⁻¹ hasta los 1286 kg*árbol⁻¹, respectivamente, con un IMA_{Biomasa} (Incremento Medio Anual en Biomasa = peso*edad⁻¹) de 71,4 kg*árbol⁻¹*año⁻¹ a la edad de 18 años. Los valores obtenidos en India por Negi *et al.* (1995) fueron menores ya que a los 20 años la biomasa seca fue de 181 kg*árbol⁻¹, con un índice de 9,1 kg*árbol⁻¹*año⁻¹ y esto se debe a que la biomasa de los árboles está en función de factores ambientales, del suelo, del material genético y del manejo.

La biomasa seca del tronco representó el 59.6% de la biomasa seca total, mientras que las ramas primarias, ramas secundarias, corteza y hojas representaron el 16,6%, 6,5%, 9,4% y 7,9% respectivamente del total. La biomasa del tronco y la corteza fue de 69%, que es similar a lo obtenido por Mbaekwe y Mackenzie (2008) quienes determinaron que la biomasa seca del tronco con corteza varió desde 70 a 76% respecto del total. Mientras que la biomasa seca de las hojas entre 5 y 14 años disminuyó desde un 11,8 % hasta 3,6 %, con una tendencia a disminuir con la edad, mientras que la biomasa seca del tronco tiene la tendencia a aumentar con la edad.

La biomasa seca por árbol podría ser determinada con la ecuación $y = 22,211 * e^{0,2094x}$, donde "x" es la edad y el $R^2 = 0,94$ (Figura 22). La biomasa fresca por árbol podría ser determinada con la ecuación $y = 62,093 * e^{0,1947x}$, donde "x" es la edad y el $R^2 = 0,94$.

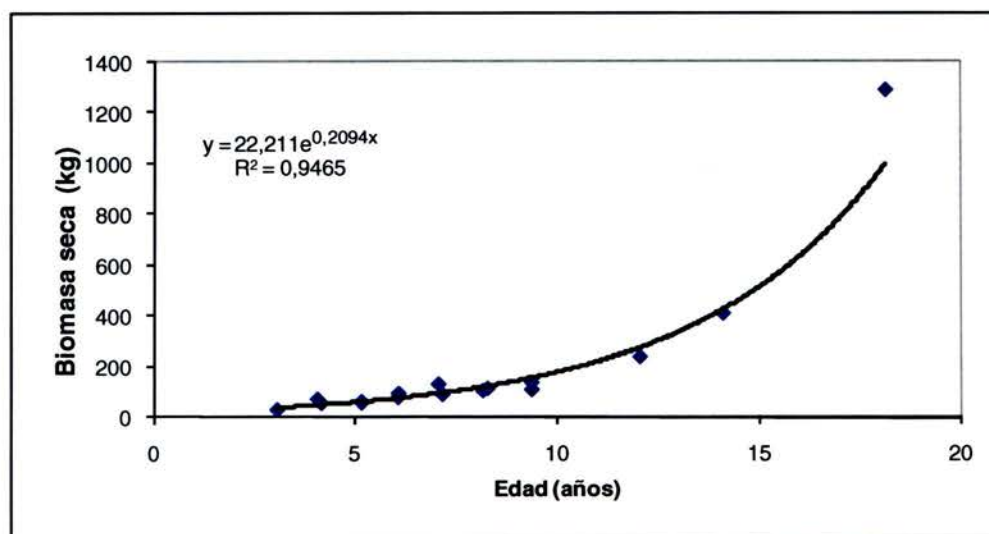


Figura 22: Curva de biomasa seca total por árbol de teca entre 3 y 18 años, en la zona del canal de Panamá

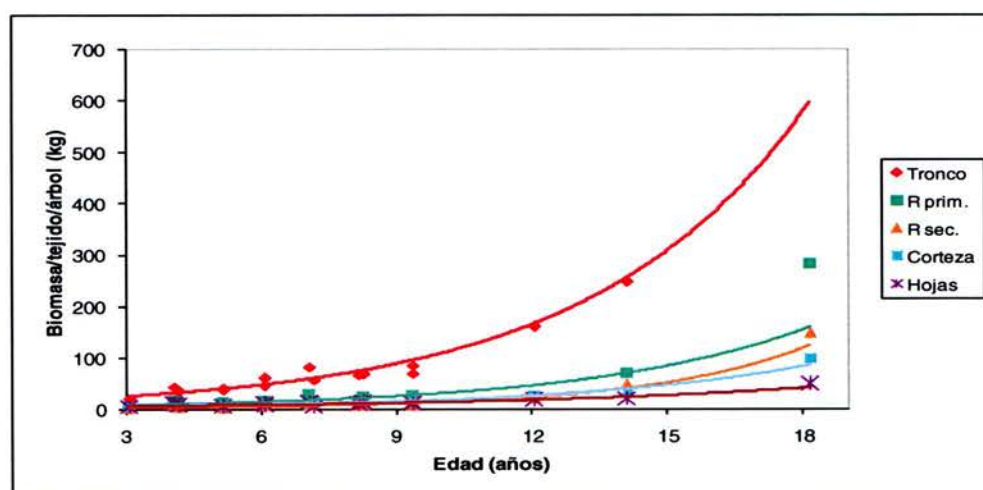


Figura 23: Curvas de biomasa seca por componente en árboles de teca entre 3 y 18 años, en la zona del canal de Panamá

Se estableció una función para la determinación de la biomasa seca de cada uno de los componentes del árbol de teca: biomasa del tronco = $13,212e^{0,2096x}$ ($R^2 = 0,95$), biomasa de ramas primarias = $3,6721e^{0,2074x}$ ($R^2 = 0,85$), biomasa de ramas secundarias = $0,729e^{0,2823x}$ ($R^2 = 0,84$), biomasa de corteza = $2,2318e^{0,1991x}$ ($R^2 = 0,97$) y la biomasa de las hojas =

$2,7035e^{0,148x}$ ($R^2= 0,81$). Todas las funciones ajustadas mostraron una tendencia a aumentar en forma exponencial conforme aumenta la edad de los árboles, en vez de ajustarse a un modelo sigmoideo, indicando que los árboles todavía mantienen un buen ritmo de crecimiento (Figura 23).

Otros autores (Negi *et al.* 1995, Salas e Infante 2006) han obtenido ecuaciones pero son válidas a nivel local que podrían ser extrapoladas únicamente bajo condiciones ambientales y de material genético similar.

Concentración

El componente con la mayor concentración de macronutrientes (sumatoria de concentraciones) (Cuadro 17) fue el follaje con 4,66%, seguido por la corteza con 4,17% y las flores con 4,18%. Sin embargo, el peso de las flores es muy bajo (en este caso) respecto del total y su importancia relativa es poco relevante.

El orden de la concentración de los macronutrientes en este estudio concuerda con el encontrado en otros trabajos desarrollados en Nigeria (Nwoboshi 1984), India (Negi 1990) y Costa Rica (Montero y Kanninen 2006). Sin embargo, los valores variaron dependiendo de las condiciones ambientales (fertilidad del suelo, factores limitantes del crecimiento) y de la edad de los árboles. Así por ejemplo la concentración de K foliar en Nigeria tiene valores de 2,39% a la edad de 15 años, en Costa Rica 0,85% promedio entre 9 y 45 años y en India 0,83% a los 20 años.

El componente de biomasa con la mayor concentración de micronutrientes fue la corteza con $916 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, mientras que el componente con la menor cantidad de macro y

micronutrientes fue el tronco con 0,72% y 153 mg*kg⁻¹, respectivamente. Estos resultados podrían ser de utilidad si se deseara reducir la exportación de nutrientes del sistema en el manejo sostenible de plantaciones, por ejemplo, en alguna práctica de reintroducción de corteza.

Cuadro 17: Concentración de nutrientes en fracciones de biomasa de teca entre 3 a 18 años, en la zona del canal de Panamá

Tejido	Macronutrientes (%)						Micronutrientes (mg*kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Corteza	0,69	0,07	1,07	2,01	0,26	0,07	767	7	60	50	32
Flores	1,32	0,14	1,92	0,55	0,15	0,1	207	10	18	20	20
Hojas	1,98	0,13	1,02	1,16	0,25	0,12	139	10	41	30	18
Ramas p.	0,45	0,04	0,54	0,74	0,13	0,05	148	4	19	26	10
Ramas s.	0,54	0,05	0,73	0,91	0,16	0,06	75	7	19	17	12
Tronco	0,27	0,05	0,19	0,11	0,08	0,02	125	2	3	20	3

Nota: color amarillo = valores máximos, color gris = valores mínimos.

Los macronutrientes de mayor concentración según la fracción de biomasa fueron el Ca (2,01%) en la corteza, N (1,98%) en las hojas y K (1,92%) en las flores. Los micronutrientes de mayor concentración según el componente de biomasa fueron el Fe (767 mg*kg⁻¹), Mn (60 mg*kg⁻¹) y Zn (50 mg*kg⁻¹), todos en la corteza. Hay muy poca información publicada sobre la concentración de micronutrientes en los componentes de biomasa de teca, quizás porque representan un porcentaje muy bajo (1,4%) respecto del total de nutrientes absorbidos por el árbol.

Por último, se registraron diferencias significativas de concentración entre los componentes de biomasa (Cuadro 18).

Cuadro 18: Comparación entre la concentración de macro y micronutrientos (Tukey ($\alpha=0,05$)) según el componente de biomasa en plantaciones de teca en la zona del canal de Panamá

Tejido	Macronutrientos						Micronutrientos				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Corteza	C	A	C	C	C	C	B	B	C	B	D
Flores	D	B	D	B	AB	D	A	C	AB	A	C
Hojas	E	B	C	D	C	E	A	C	BC	A	C
Ramas p.	B	A	B	B	AB	B	A	AB	AB	A	B
Ramas s.	B	A	B	D	B	BC	A	B	AB	A	B
Tronco	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Letras diferentes entre las casillas y en una misma columna del cuadro 18 representan diferencias estadísticamente significativas con una probabilidad de un 95%. Así por ejemplo, tenemos que el promedio de concentración del Fe y Zn en la corteza es mayor que su concentración en los otros componentes de biomasa (Cuadro 17 y 18). La letra A en el cuadro 18 representa un valor promedio menor y las letras subsecuentes representan valores mayores de concentración promedio.

Absorción

La absorción total de nutrientes por árbol en la teca según edad, podría ser descrita con la ecuación, $y = 0,4005 * e^{0,2014 * X}$, donde “x” = edad del árbol, con un R^2 de 0,93 (Figura 24). Los macronutrientos representan el 98,6% del total de nutrientes absorbidos y los micronutrientos corresponden al 1,4% respectivamente.

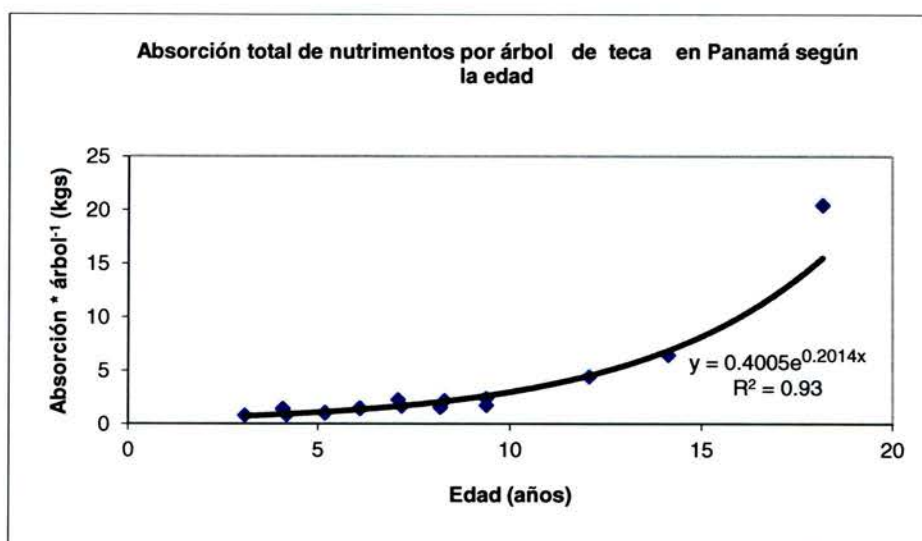


Figura 24: Curva de absorción total de nutrientes de la teca según la edad, en la cuenca del canal de Panamá

Las curvas de absorción del N, Ca, Mg, S, K y en menor grado el P tienen tendencias crecientes para los distintos componentes de biomasa en teca (Figura 25). Esto se explica principalmente con los incrementos en biomasa. El 58% del N absorbido se encuentra mayormente en el tronco y las hojas, el Mg, P y S (40%, 61%, 32% respectivamente) se encuentran mayormente en el tronco, mientras que el 68% del K absorbido se encuentra en tronco, ramas primarias y corteza (Figura 25). Por otro lado el 33% del Ca absorbido se encuentra en mayor cantidad en la corteza.

La absorción de nutrientes reportada para teca en Nigeria varía respecto de la absorción en Panamá, ya que un árbol de 15 años en Nigeria absorbe 2,86 kg de K, 2,14 kg de Ca, 1,71 kg de N, 0,43 kg de P y 0,36 kg de Mg (Nwoboshi 1984), mientras que un árbol de 14 años en Panamá (en esta investigación) absorbe 2,49 kg de Ca, 1,57 kg de N, 1,40 kg de K y 0,38 kg de P y 0,38 kg de Mg. Por tanto, un árbol de teca de 15 años en Nigeria absorbe más N, P y K que un árbol de 14 años en Panamá, que absorbe más Ca y Mg que uno de Nigeria.

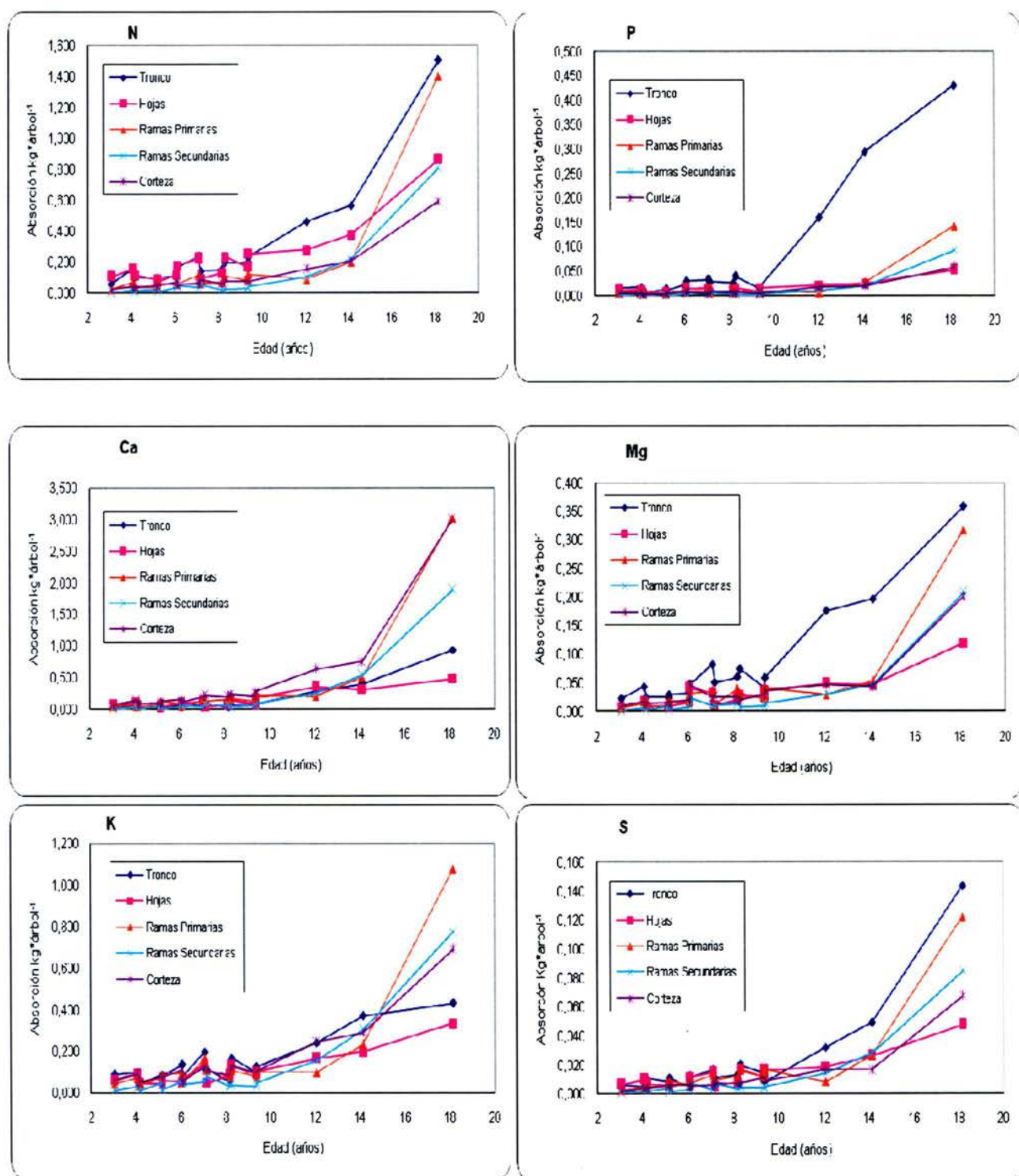


Figura 25: Curvas de absorción de macronutrientes en árboles de teca de 3 a 18 años en la zona del canal de Panamá

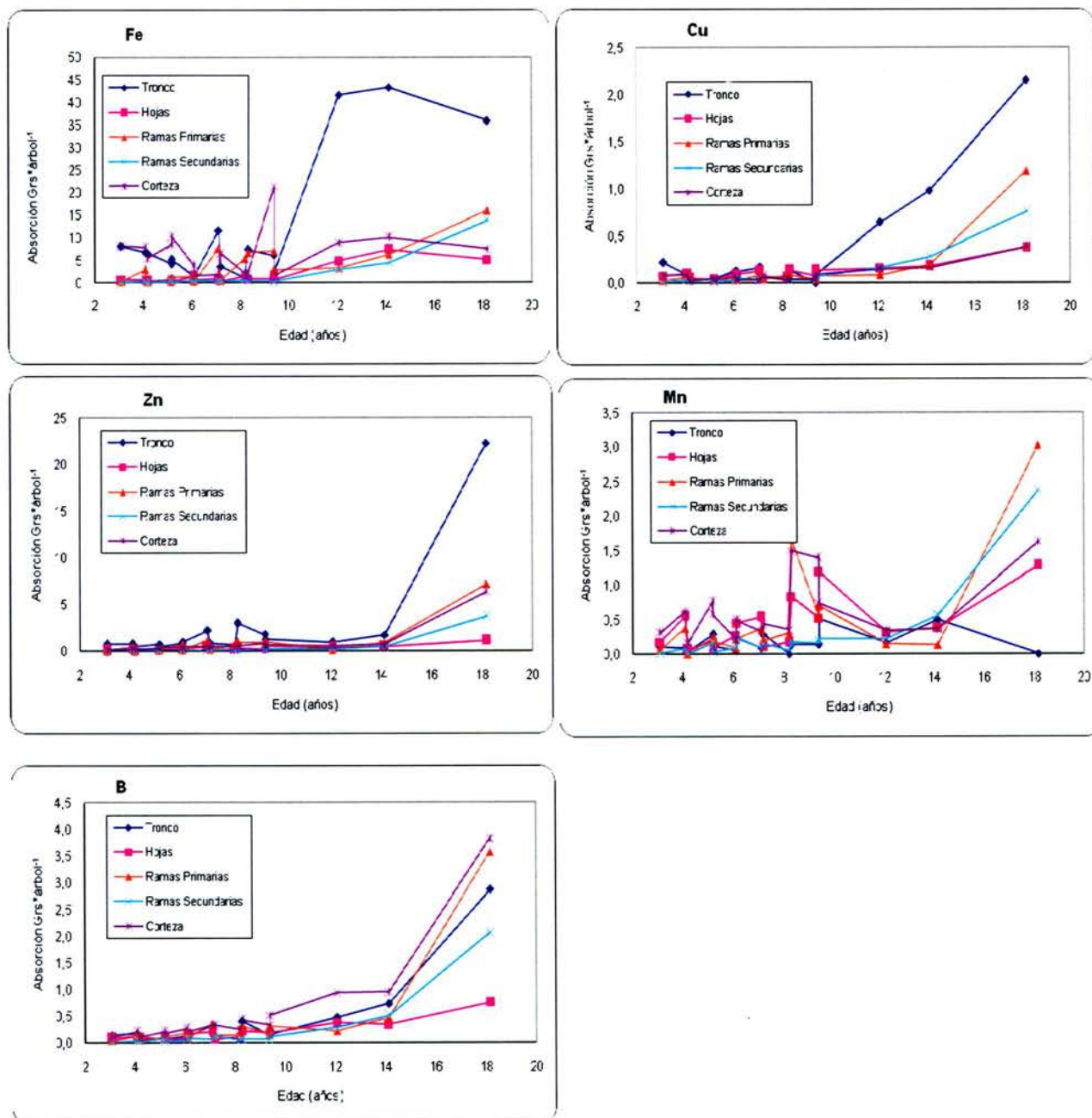


Figura 26: Curvas de absorción total de micronutrientos en árboles de teca de 3 a 18 años en la zona del canal de Panamá

Las curvas de absorción de los microelementos son crecientes en relación con el incremento en edad, principalmente a partir del año 10. El Fe, el Cu y el Zn (47%, 43% y

52% respectivamente), son los microelementos mayormente absorbidos en el tronco, el 31% del Mn es mayormente absorbido en la corteza y las ramas primarias y el B es absorbido en mayor parte en la corteza, tronco y ramas primarias (31%, 22%, 22% respectivamente).

La proporción relativa de la absorción total de Ca (Figura 27) tiene la tendencia a aumentar después del año 7 hasta el 18, mientras que la proporción relativa de la absorción total de K tiene la tendencia a disminuir con la edad a partir del año 7. La proporción relativa total de absorción de S, Mg y P se mantiene estable desde los 3 hasta los 18 años. Estas tendencias también se observaron en los datos desarrollados por Nwoboshi (1984) en Nigeria, sin embargo, las diferencias están en los valores absolutos de absorción, los cuales dependen de la disponibilidad para ser absorbidos.

En relación con los micronutrientes no se encontró ninguna tendencia en la tasa de absorción con respecto a la edad.

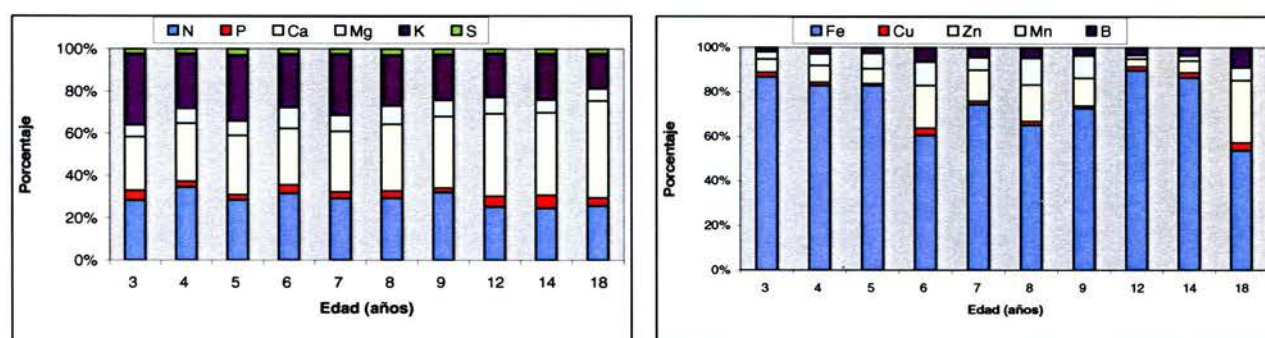


Figura 27: Absorción relativa de absorción de cada macro y microelemento según la edad, en plantaciones de teca de la zona del canal de Panamá

Cuadro 19: Ecuaciones para la estimación de la absorción total de nutrimentos (*) por componentes de biomasa en plantaciones de teca de 3 a 18 años, de la zona del canal de Panamá

VARIABLE	TRONCO		CORTEZA		RAMAS PRIMARIAS		RAMAS SECUNDARIAS		HOJAS	
	Ecuación	R ²	Ecuación	R ²	Ecuación	R ²	Ecuación	R ²	Ecuación	R ²
N	$y = 0,0422e^{0,1894x}$	0,91	$y = 0,0173e^{0,184x}$	0,95	$y = 0,0168e^{0,204x}$	0,81	$y = 0,004e^{0,2779x}$	0,84	$y = 0,0573e^{0,1389x}$	0,77
P	$y = 0,0038e^{0,2622x}$	0,79	$y = 0,0017e^{0,1733x}$	0,80	$y = 0,0017e^{0,1921x}$	0,69	$y = 0,0004e^{0,2605x}$	0,75	$y = 0,0041e^{0,1261x}$	0,63
Ca	$y = 0,0106e^{0,2411x}$	0,93	$y = 0,0332e^{0,2348x}$	0,95	$y = 0,0181e^{0,253x}$	0,90	$y = 0,0043e^{0,3324x}$	0,90	$y = 0,0235e^{0,1773x}$	0,65
Mg	$y = 0,0127e^{0,1883x}$	0,87	$y = 0,0075e^{0,1586x}$	0,81	$y = 0,0047e^{0,2053x}$	0,79	$y = 0,0012e^{0,2715x}$	0,81	$y = 0,0053e^{0,1736x}$	0,72
K	$y = 0,044e^{0,1278x}$	0,65	$y = 0,0324e^{0,1564x}$	0,86	$y = 0,0254e^{0,1699x}$	0,74	$y = 0,0061e^{0,2601x}$	0,81	$y = 0,0322e^{0,1264x}$	0,72
S	$y = 0,0027e^{0,2034x}$	0,82	$y = 0,0017e^{0,1881x}$	0,94	$y = 0,002e^{0,204x}$	0,82	$y = 0,0005e^{0,2826x}$	0,85	$y = 0,0036e^{0,1387x}$	0,74
Fe							$y = 0,0363e^{0,3206x}$	0,84	$y = 0,212e^{0,1985x}$	0,71
Cu					$y = 0,0141e^{0,1967x}$	0,75	$y = 0,0054e^{0,2664x}$	0,83		
Zn	$y = 0,2932e^{0,1802x}$	0,61	$y = 0,1313e^{0,174x}$	0,80			$y = 0,0105e^{0,2928x}$	0,79		
Mn							$y = 0,0104e^{0,2969x}$	0,67		
B	$y = 0,0346e^{0,2144x}$	0,71	$y = 0,0623e^{0,2143x}$	0,94	$y = 0,033e^{0,2223x}$	0,79	$y = 0,0071e^{0,3031x}$	0,87	$y = 0,0462e^{0,1513x}$	0,76

(*) Macronutrimentos (N, P, Ca, Mg, K, S) en kg*árbol⁻¹ y Micronutrimentos (Fe, Cu, Zn, Mn, B) g*árbol⁻¹.

Para todos los macronutrimentos absorbidos fue posible ajustar una función de estimación para cada componente de biomasa, con un coeficiente de determinación mayor de 0,6. Las mejores ecuaciones de estimación se obtuvieron para la corteza seguida del tronco, mientras que las de menor ajuste fueron para la biomasa foliar.

Las funciones de absorción de biomasa para los micronutrimentos registraron en general un menor valor de ajuste y predicción que con los macronutrimentos. La absorción del B fue explicada por la edad en todos los componentes de biomasa estudiados, mientras que la absorción de Zn solo fue explicada satisfactoriamente en la biomasa del tronco, la corteza y las ramas secundarias. Mientras que la absorción de Fe, Cu y Mn no pudieron ser explicadas con claridad en la mayoría de los componentes de biomasa.

Se determinó también en forma satisfactoria ecuaciones para la estimación de la absorción acumulada total desde el año 1 hasta el año 18, para cada uno de los nutrimentos (Cuadro 20). Para todos los macronutrimentos los coeficientes de determinación fueron mayores al 89% mientras que en el caso de los micronutrimentos los valores de R² estuvieron entre 0,65 y 0,82, con excepción del B con un 97% de explicación de la variación. Con estas

funciones de predicción se creó un modelo de absorción por árbol*año⁻¹ para cada macronutriente (Cuadro 21), así como para cada micronutriente (Cuadro 22).

Cuadro 20: Funciones para la estimación de la absorción total de nutrientes por árbol en teca de 1 a 18 años

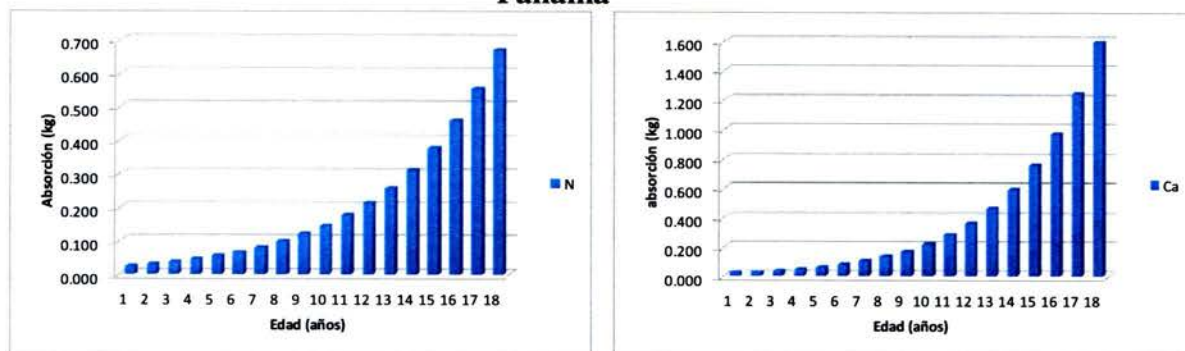
VARIABLE		Ecuación	R ²
MACRONUTRIMENTOS	N	$y = 0,1281e^{0,1897x}$	0,96
	P	$y = 0,0111e^{0,2295x}$	0,89
	Ca	$y = 0,0871e^{0,2462x}$	0,98
	Mg	$y = 0,0304e^{0,1957x}$	0,96
	K	$y = 0,1358e^{(-3,2874 + (0,244172X))}$	0,99
	S	$y = 0,01e^{0,1988x}$	0,98
MICRONUTRIMENTOS	Fe	$y = 6,5956e^{0,1449x}$	0,72
	Cu	$y = 0,0964e^{0,1983x}$	0,82
	Zn	$y = 0,595e^{0,1881x}$	0,77
	Mn	$y = 0,577e^{0,1222x}$	0,65
	B	$y = 0,1825e^{0,2176x}$	0,97

(x) edad del árbol

Con base en las funciones ajustadas (Cuadro 20) se estimó que la absorción acumulada total de nutrientes fue de 15594 kg*árbol⁻¹ hasta la edad de 18 años (7,322 kg de Ca, 3,895 kg de N, 2,657 kg de K, 1,03 kg de Mg y 0,691 kg de P). La absorción acumulada de nutrientes reportada en otros estudios como en India (Kumar 2009) a la edad de 18,5 años fue mucho menor con 2211 kg*árbol⁻¹ (0,802 kg de N, 0,768 kg de Ca, 0,382 kg de K, 0,181 kg de Mg y 0,078 kg de P) comparada con los resultados de este estudio. Esta diferencia podría ser explicada en parte por la baja fertilidad de los suelos, la menor precipitación y menor tasa de crecimiento en general, así como por la alta densidad inicial de las plantaciones en India (1700 árboles por hectárea). La teca, es una especie exigente de

suelos fértiles y la disponibilidad de nutrientes dependerá de las reservas en el suelo (Vimal *et al.* 2003), la velocidad del ciclo de cada nutriente (Drechsel y Zech 1994), la distribución de los nutrientes en los componentes del árbol (Nwoboshi 1984) y el suministro adecuado de nutrientes por medio de los programas de fertilización.

Figura 28: Absorción anual de Ca y N en árboles de teca en la cuenca del canal de Panamá



La necesidad anual de nutrientes por la teca es creciente (Figura 28) y los datos generados por las funciones de biomasa podrían utilizarse para la aplicación adecuada de fertilizantes, bajo las condiciones de sitio de este estudio y tomando en cuenta la eficiencia de los mismos en suelos rojos ácidos.

Los microelementos de mayor absorción anual fueron el Fe y el Zn, mientras que el de menor absorción fue el Cu (Cuadro 22). El rango de absorción anual del Fe fue desde 1,2 g en el año 2 hasta 12 g en el año 18 y el rango del Cu fue de 0,03 g hasta los 0,6 g en el mismo período.

Cuadro 21: Absorción anual de macronutrientes por árbol de teca en la cuenca del canal de Panamá

Edad (años)	Macronutrientes (Kg)					
	N	P	Ca	Mg	K	S
1	0,155	0,014	0,111	0,037	0,160	0,012
2	0,032	0,004	0,031	0,008	0,029	0,003
3	0,039	0,005	0,040	0,010	0,034	0,003
4	0,047	0,006	0,051	0,012	0,040	0,004
5	0,057	0,007	0,065	0,014	0,047	0,005
6	0,069	0,009	0,083	0,017	0,056	0,006
7	0,084	0,011	0,107	0,021	0,066	0,007
8	0,101	0,014	0,136	0,026	0,078	0,009
9	0,122	0,018	0,174	0,031	0,091	0,011
10	0,148	0,023	0,223	0,038	0,108	0,013
11	0,178	0,028	0,285	0,047	0,127	0,016
12	0,216	0,036	0,365	0,057	0,150	0,020
13	0,261	0,045	0,467	0,069	0,177	0,024
14	0,315	0,057	0,597	0,084	0,209	0,029
15	0,381	0,071	0,763	0,102	0,246	0,036
16	0,461	0,090	0,977	0,124	0,291	0,043
17	0,557	0,113	1,249	0,150	0,343	0,053
18	0,673	0,142	1,598	0,183	0,405	0,065

Según los valores de absorción anual predichos en el Cuadro 22, en el año 1 ocurre una absorción muy fuerte en todos los microelementos en comparación con los siguientes años. El Zn, Cu y B, alcanzan los valores del primer año entre los años 8 al 10, mientras que el Fe lo logra en el año 14. En el caso del Mn nunca se alcanza una absorción anual tan alta como la del año 1. La mayor parte, si no toda la cantidad absorbida de estos elementos, la suple el ecosistema, sea como elementos disponibles por meteorización del suelo, circulación o por adición de algunos de ellos vía precipitación pluvial.

Cuadro 22: Absorción anual de micronutrientos predicha por árbol de teca en la zona del canal de Panamá

Edad (años)	Micronutrientos (Grs)				
	Fe	Cu	Zn	Mn	B
1	7,624	0,118	0,718	0,652	0,227
2	1,189	0,026	0,149	0,085	0,055
3	1,374	0,031	0,179	0,096	0,069
4	1,588	0,038	0,217	0,108	0,085
5	1,836	0,047	0,261	0,122	0,106
6	2,122	0,057	0,315	0,138	0,132
7	2,453	0,069	0,381	0,156	0,164
8	2,836	0,085	0,459	0,176	0,203
9	3,278	0,103	0,555	0,199	0,253
10	3,789	0,126	0,669	0,225	0,314
11	4,380	0,154	0,808	0,255	0,391
12	5,063	0,187	0,975	0,288	0,486
13	5,852	0,228	1,177	0,325	0,604
14	6,765	0,278	1,420	0,367	0,751
15	7,819	0,340	1,714	0,415	0,933
16	9,039	0,414	2,069	0,469	1,160
17	10,448	0,505	2,497	0,530	1,442
18	12,077	0,615	3,014	0,599	1,793

La absorción de micronutrientos (proporción respecto del total) disminuyó continuamente desde 1,9% en el año 1 hasta 0,6% en el año 18.

CONCLUSIONES

Biomasa

- a) La biomasa seca de los árboles de teca de 3 a 18 años varió desde los 34 kg*árbol⁻¹ hasta los 1286 kg*árbol⁻¹, con un $IMA_{Biomasa}$ (peso*edad⁻¹) de 71,4 kg*árbol⁻¹*año⁻¹ a la edad de 18 años.
- b) La biomasa seca promedio del tronco representó el 59,6% de la biomasa seca total, mientras que las ramas primarias el 16,6%, las ramas secundarias el 6,5%, la corteza el 9,4% y las hojas el 7,9%.

Concentración

- a) El componente de biomasa con la mayor concentración de macronutrientes total fue el follaje con 4,66%, seguido por la corteza con 4,17% y las flores con 4,18%, mientras que el componente con la mayor cantidad de micronutrientes total fue la corteza con 916 mg*kg⁻¹.
- b) El componente con la menor cantidad de macro y micronutrientes total fue el tronco con 0,72% y 153 mg*kg⁻¹, respectivamente.
- c) Los macronutrientes de mayor concentración individual según componente de biomasa fueron el Ca (2,01%) en la corteza, N (1,98%) en las hojas y K (1,92%) en las flores. Los micronutrientes de mayor concentración individual fueron el Fe (767 mg*kg⁻¹), Mn (60 mg*kg⁻¹) y Zn (50 mg*kg⁻¹), todos en la corteza.

Absorción

- a) La absorción acumulada de nutrientes a la edad de 18 años asociada a un rendimiento de 1286 Kg*árbol⁻¹ de materia seca, fue de 15,9 kg*árbol⁻¹ de macronutrientes (7,3 kg de Ca, 3,9 kg de N, 2,6 kg de K, 1,0 kg de Mg, 0,7 kg de P y 0,4

kg de S) y de $124 \text{ g} \cdot \text{árbol}^{-1}$ de micronutrientos (89 g de Fe, 18 g de Zn, 9 g de B, 5 g de Mn y 3 g de Cu).

- b)** El 58% del N absorbido se encuentra mayormente en el tronco y las hojas, mientras que el 68% del K absorbido se encuentra en tronco, ramas primarias y corteza.
- c)** El Fe, el Cu y el Zn, son los microelementos mayormente absorbidos en el tronco.
- d)** La absorción total de Ca tiene la tendencia a aumentar después del año 7 hasta el 18, mientras que la absorción total de K tiene la tendencia a disminuir con la edad a partir del año 7.

LITERATURA CITADA

- Barroso, D; Mazzei, FA; Pereira, RS; Chahad, V; Mendonça, L; Silva, L. 2005.** Macronutrient deficiency diagnosis in teak seedlings. *Árvore* 29 (5):671-679.
- Bertsch, F; Corrales, M; Bejarano, J. 2005.** Los Laboratorios de análisis de suelos y foliares en Costa Rica: Informe del Comité de Laboratorios de análisis de suelos, plantas y aguas. *Agronomía Costarricense* 29(3): 125-135.
- Brawn, S; Lugo, A. 1992.** Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17(1): 8-18.
- Brockley, R. 2001.** Foliar analysis as a planning tool for operational fertilization. *Proceedings of Enhanced Forest Management: Fertilization & Economics Conference* March 1 & 2. p 66-67.
- Drechsel, P; Zech, W. 1991.** Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular Review. *Plant and Soil* 131: 29-46.
- Drechsel, P; Zech, W. 1994.** DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L.f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on teak growth in West Africa. *Forest Ecology and Management* 70: 121-133.
- Dreische, R van den. 1974.** Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. *The Botanical Review*: 40 (3): 347-386.
- Fernández, R; Parra, MA; Navarro, C; Arquero, O. 2009.** Foliar diagnosis as a guide to olive fertilization. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2009 7(1): 212-223.
- Guimarães, L; Brito, M; Luiz de AM; Backes, C; Amaral, I. 2010.** Influência da Adubação Potássica no Acúmulo de Matéria Seca em Plantas de Teca. XXIX

Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010. Centro de Convenções do SESC. 4 p.

Hernández, R; Torres, A; Márquez, O; Franco, W. 1993. Contenido foliar y crecimiento en plantaciones de teca en Ticoporo, Venezuela. *Turrialba* 43(1):11-15

Kaul, ON; Sharma, DC; Tandom, VN; Srivastava, PBL. 1979. Organic matter and plant nutrients in a teak (*Tectona grandis*) plantation. *Indian Forester* 105(8): 573-582.

Koppad, A; Rao, R. 2003. Effect of moisture conservation methods and fertilizers on nutrient uptake in two-old teak (*Tectona grandis* L.f.) Plantation. *In: Bhat, K. et al.* Proceedings of the International Conference on Quality Timber products of Teak from sustainable forest management. India. P. 206-211

Kumar, JIN; Kumar, RN; Kumar, R; Sajish, PR. 2009. Quantification of nutrient in the aboveground biomass of teak plantation in a tropical dry deciduous forest of Udaipur, India. *Journal of Forest Science* 55(6): 251-256.

Kumar, P. 2009. Nutrient dynamics of Teak plantations and their impact on soil productivity: A case study from India. XIII World Forestry Congress. Buenos Aires, Argentina, 18-23 de Octubre 2009. 11 p.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Hancourt Broce & Company. London, U.K. Second edition. 889 p.

Mbaekwe, E; Mackenzie, A. 2008. The use of a best-fit allometric model to estimate aboveground biomass accumulation and distribution in an age series of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations at Gambari Forest Reserve, Oyo State, Nigeria. *Tropical Ecology* 49(2): 259-270.

- Medina, E; Cuevas, E. 2002.** Comparative analysis of the nutritional status of mahogany plantations in Puerto Rico. In: *Big-Leaf Mahogany: Genetics, Ecology and Management*. 2003 Ed. Springer-Verlag New York, Inc. 424 p.
- Mollinedo, M. 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: MSc. en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE, Costa Rica. 101 p.
- Mollinedo, M; Ugalde, L; Alvarado, A; Verjans, JM; Rudy, L. 2005.** Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.), en la Zona oeste de la cuenca del canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1): 67-75.
- Montero, M. 1999.** Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 77 p.
- Montero, M; Kanninen, M. 2006.** Variación de los nutrimentos foliares con la edad de los árboles de *Tectona grandis* L.f., en Costa Rica. Proyecto: Dinámica de plantaciones. Universidad de Helsinki/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 16 p. Sin publicar.
- Negi, J. 1990.** Biomass production and distribution of nutrients in 20 years old teak (*Tectona grandis* L.f.) and gamar (*Gmelina arborea*) plantation in Tripura. *The Indian Forester* 116 (9): 681-686.
- Negi, J; Bahuguna, V; Sharma, D. 1995.** Biomass and nutrient distribution in young teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Tarai Region of Uttar Pradesh. *Indian Forester* 121(6):455- 464.
- Nwoboshi, L. 1983.** Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria: I Linear growth and biomass production. *Forest Science* 29(1): 159-165.

- Nwoboshi, L. 1984.** Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria: II Nutrient accumulation and minimum annual requirements. *Forest Science* 30(1): 35-40.
- Osundina, MA; Osonubi, O. 1989.** Adventitious roots, leaf abscission and nutrient status of flooded *Gmelina* and *Tectona* seedlings. *Tree Physiology* 5:473-483.
- Salas, J; Infante, A. 2006.** Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Rev. For. Lat.* 40:47-70.
- Saur, E; Ranger, J; Lemoine, B; Gelpe, J. 1992.** Micronutrient distribution in 16-year-old maritime pine. *Tree Physiology* 10:307-316.
- Segura, M; Castillo, A; Alvarado, A; Blanco, F. 2005.** Extracción de nutrimentos en plantaciones de Jaúl (*Alnus acuminata*) en la cuenca del río Virilla, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(2): 109-120.
- Tarja, L; Teija, R; Bernard, D. 2010.** Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 260: 2053–2069
- Thorn, A; Stjernquist, I. 2005.** Micronutrient levels in some temperate European tree species: a comparative field study. *Trees* 19: 572-579.
- Torraca, SM; Haag, HP; Migliorini, AJ. 1984.** Recrutamento e exportação de nutrimentos por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP IPEF 27: 41-47.
- Vieira, E. 2006.** Biomass study of *Tectona grandis* under different spacing conditions in the north of Mato Grosso state. *Árvore* 30(3):337-341.
- Vimal, M; Sudhakara, K; Iayaraman, K; Sunanda, C. 2003.** Effect of soil-leaf nutritional factors on the productivity of teak (*Tectona grandis* L.f.) in Kerala State, India. *In: Proceedings of the International Conference on Quality Timber Products of*

Teak from Sustainable Forest Management. Peechi, India. 2-5 December. 2003.
p.530-539.

Zech, W; Kaupenjohann, M. 1990. Carences en potassium et en phosphore chez *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus* sp., *Acacia auriculiformis* et *Tectona grandis* L.f. au Sud-Benin (Afrique occidentale). Bois et Forests des Tropiques 226: 29-36.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN GENERAL

DISCUSIÓN

La información generada en otros países sobre la biomasa, la concentración de nutrimentos en los componentes aéreos y la absorción de nutrimentos en la teca, no podría extrapolarse sin reservas a los países de América porque hay condiciones de crecimiento diferentes en los estudios efectuados. La investigación de la concentración foliar y absorción de nutrimentos en otras especies de árboles ha determinado variaciones altamente significativas entre sitios (Batos *et al.* 2010), lo que justifica la evaluación de las plantaciones de teca en la cuenca del canal de Panamá.

El incremento medio anual en biomasa seca ($IMA_{Biomasa} = \text{peso seco} \cdot \text{edad}^{-1}$) determinado para los árboles en Panamá fue de $71,4 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en un período de 1 a 18 años y es mayor a los incrementos medidos en India por Negi *et al.* (1995) a los 20 años ($IMA_{Biomasa}$ fue de $9,1 \text{ kg} \cdot \text{árbol} \cdot \text{año}$). Por otro lado, la biomasa en plantaciones estimada en India y Venezuela, es menor que la reportada Costa Rica, mientras que la biomasa reportada en Nigeria es mayor que la de Costa Rica.

La biomasa seca del tronco aumentó con la edad y representó el 59,6% de la biomasa seca total, mientras que las hojas representaron el 7,9% del total con una tendencia a disminuir con la edad. Algo parecido fue obtenido por Mbaekwe y Mackenzie (2008) quienes determinaron que la biomasa seca de las hojas de árboles entre 5 y 14 años varió de 11,8 % hasta 3,6 %, con una tendencia a disminuir con la edad. Este patrón es normal y ha sido reportado en otras especies. Su explicación se fundamenta en que a mayor edad, el árbol disminuye su tasa de crecimiento y requiere de menor área foliar para proveerse de los productos de la fotosíntesis

La concentración foliar de nutrimentos en teca ha sido estudiada en África Oeste (Drechsel y Zech 1994), Nigeria (Nwoboshi 1984), India (Negi 1990, Vimal *et al.* 2003), Costa Rica (Montero y Kanninen 2006) y Venezuela (Hernández *et al.* 1993).

El orden de concentración foliar de los macroelementos en la teca en la zona de estudio fue $N > Ca > K > Mg > P > S$, lo mismo ha sido encontrado en la India y África (Nwoboshi 1983, 1984, Negi *et al.* 1990, Dreschel y Zech 1991). Los valores estimados de N, Ca, Mg, y S son similares a los mencionados en Costa Rica por Montero y Kanninen (2006).

La concentración foliar de nutrimentos para teca plantada en los suelos ácidos encontrados en el presente trabajo varía menos que en suelos fértiles de la India (Negi *et al.* 1990) y África (Nwoboshi 1983, 1984) Tales variaciones se deben posiblemente a la disponibilidad de los elementos en el suelo en los diferentes ambientes, así como a diferencias en factores climáticos que puedan afectar su absorción.

El orden de concentración foliar de los microelementos encontrado en este estudio fue: $Mn > Fe > Al > B > Zn > Cu$. Los valores de B, Zn y Cu son muy similares a los encontrados en la literatura para Costa Rica (Montero y Kanninen 2006), no así para el Mn, Fe y Al. La concentración foliar de Mn, Fe y Al en el presente estudio es más baja a la mencionada para plantaciones en de África (Drechsel y Zech 1991).

El rango del N, Ca, y S foliar determinado para Panamá está dentro del ámbito determinado para África, aunque el intervalo de concentración para Panamá es un poco menor. Todos los microelementos, excepto el B y el Zn, se encuentran dentro de intervalos menores de concentración a los reportados en África.

Las concentraciones foliares de S, B, Zn y Al en este estudio son adecuadas, mientras que las concentraciones de N, Ca, Mg y Mn son marginales o ligeramente bajas, mientras que las de K, P, Fe y Cu son claramente bajas. El 88% de las muestras tienen

niveles marginales de concentración foliar de K, P, Fe y Cu. Lo anterior se determinó al comparar los valores de concentración foliar de los diferentes elementos analizados con los parámetros de suficiencia foliar desarrollados por Dreschel y Zech (1991) para plantaciones de teca en África.

En los sitios de alto crecimiento las curvas de concentración foliar del P, K y el Ca, se encuentran por encima de las curvas de los sitios de crecimiento bajo, lo que indica que estos elementos se absorben en mayor cantidad en los sitios de mayor crecimiento. Por el contrario, las curvas de concentración del Mg y el S en los sitios de crecimiento alto tienen la tendencia a disminuir y a ubicarse por debajo de las curvas de sitios de crecimiento bajo.

Hay una tendencia clara en las curvas de concentración foliar de micronutrientes a mantener valores más bajos en los sitios de mayor crecimiento, respecto de los sitios de medio y bajo crecimiento. Lo que sugiere que la teca que crece en estos sitios de bajo crecimiento podría tener problemas de toxicidad con alguno de los micronutrientes según Dreschel y Zech (1991).

El comportamiento de las curvas de concentración foliar y su relación con la edad de la teca es variable, mientras que el Ca aumenta con la edad de los árboles, el N, P y el K disminuyen con la misma. El incremento del Ca y Mg foliar según la edad ya había sido mencionado para plantaciones de teca en Costa Rica por Montero y Kanninen (2006), así como también la disminución de N, P y K conforme aumenta la edad (Nwoboshi 1984, Drechsel y Zech 1994, Montero y Kanninen 2006).

El P es un macroelemento que se requiere mayormente en las edades más jóvenes y está positivamente relacionado con la calidad de las plantaciones ya que se observan las

mayores concentraciones en sitios de alto crecimiento. Mientras que los valores de concentración foliar de P más bajos están en los sitios de bajo crecimiento.

El Ca es el macronutriente que presenta una tendencia más clara respecto de la edad y la clase de crecimiento. Conforme aumenta la edad de los árboles de teca, es mayor la concentración en las hojas y conforme aumenta el crecimiento también aumenta la concentración de Ca. Las concentraciones más bajas se observan en la categoría de bajo crecimiento y en la de edades jóvenes.

En relación a la variación de los micronutrientes en el componente foliar de la teca, la literatura es escasa pero se ha mencionado que el Cu y el Zn permanecen relativamente estables con la edad (Drechsel y Zech 1994) y que el Cu tiende a disminuir con la edad en plantaciones de Costa Rica (Montero y Kanninen 2006).

Los contenidos de P y K foliar en Panamá son menores a los contenidos en las hojas de los árboles de teca de Costa Rica determinados por Montero y Kanninen (2006).

El orden de la concentración de los macronutrientes en este estudio concuerda con el encontrado en otros lugares como Nigeria (Nwoboshi 1984), India (Negi 1990) y Costa Rica (Montero y Kanninen 2006), sin embargo, los valores podrían variar dependiendo de las condiciones ambientales (fertilidad del suelo, factores limitantes del crecimiento) y de la edad de los árboles. Así por ejemplo tenemos que la concentración de K foliar en Nigeria tiene valores de 2,39% a la edad de 15 años, en Costa Rica 0,85% promedio entre 9 y 45 años y en India 0,83% a los 20 años.

El componente con la mayor concentración de micronutrientes fue la corteza, mientras que el componente con la menor cantidad de macro y micronutrientes fue el tronco con 0,72% y 153 mg*kg⁻¹, respectivamente.

Los macronutrientes de mayor concentración según el componente fueron el Ca (2,01%) en la corteza, N (1,98%) en las hojas y K (1,92%) en las flores. Los micronutrientes de mayor concentración según el componente fueron el Fe ($767 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Mn ($60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y Zn ($50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), todos en la corteza.

Los macronutrientes representan el 98,6% del total de nutrientes absorbidos y los micronutrientes corresponden al 1,4% del total de nutrientes absorbidos.

Las curvas de absorción del N, Ca, Mg, S, K y en menor grado el P tienen tendencias crecientes para los distintos componentes de la teca, esto se debe principalmente a los incrementos en biomasa.

El tronco contiene una gran cantidad de nutrientes por lo que es importante medir la cantidad extraída de las plantaciones para reponerlo por medio de fertilizantes y mantener el nivel de los mismos en el sistema suelo. La corteza también contiene muchos nutrientes y podría pensarse en la posibilidad de descortezar en las fincas o devolverla desde los aserraderos. Lo anterior significa que debería planificarse la ubicación de las industrias a no más de 70 km de distancia para mantener el costo de transporte a niveles competitivos y que pueda devolverse a las fincas los residuos del aserrío.

El 58% del N absorbido se encuentra mayormente en el tronco y las hojas, el Mg, P y S (40%, 61%, 32% respectivamente) se encuentran mayormente en el tronco, mientras que el 68% del K absorbido se encuentra en tronco, ramas primarias y corteza. Por otro lado el 33% del Ca absorbido se encuentra en mayor cantidad en la corteza.

La absorción de nutrientes reportada para teca en Nigeria varía respecto de la absorción en Panamá, ya que un árbol de 15 años en Nigeria absorbe 2,86 kg de K, 2,14 kg de Ca, 1,71 kg de N, 0,43 kg de P y 0,36 kg de Mg (Nwoboshi 1984), mientras que

un árbol de 14 años en Panamá (en esta investigación) absorbe 2,49 kg de Ca, 1,57 kg de N, 1,40 kg de K y 0,38 kg de P y 0,38 kg de Mg, es decir, un árbol de teca de 15 años en Nigeria absorbe más N, P, K y menos Ca y Mg que un árbol de 14 años en Panamá.

Las curvas de absorción de los microelementos son crecientes conforme aumenta la edad y generalmente mayor a partir del año 10. El 47% de Fe, el 43% de Cu y el 52% de Zn, es absorbido en el tronco, el 31% de Mn es absorbido en la corteza y las ramas primarias y el B es absorbido en mayor parte en la corteza, tronco y ramas primarias (31%, 22%, 22% respectivamente). No encontraron reportes en la literatura de curvas de absorción hay curvas de absorción de micronutrientos para teca.

La proporción relativa de la absorción total de Ca tiene la tendencia a aumentar después del año 7 hasta el 18, mientras que la proporción relativa de la absorción total de K tiene la tendencia a disminuir con la edad desde el año 7. La proporción relativa total de absorción de S, Mg y P se mantiene estable desde los 3 hasta los 18 años. Estas tendencias también se observaron en los datos desarrollados por Nwoboshi (1984) en Nigeria, sin embargo, las diferencias están en los valores absolutos de absorción, los cuales dependen de la disponibilidad para ser absorbidos.

La absorción de B fue explicada por la edad en todos los componentes estudiados, mientras que la absorción de Zn solo es explicada en el tronco, la corteza y las ramas secundarias. La absorción de Fe, Cu y Mn según la edad, no podrían ser explicadas con claridad en la mayoría de los componentes.

Con base en las ecuaciones determinadas se encontró que la absorción acumulada de nutrientes fue de $15,594 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$ hasta la edad de 18 años y las absorciones durante este período (1 a 18 años) son crecientes después del segundo año. La absorción acumulada de nutrientes en otros lugares como en India (Kumar 2009) a la edad de

18,5 años fue mucho menor, $2,211 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$ comparada con los resultados de este estudio. Esta enorme diferencia podría ser explicada en parte por la baja fertilidad de los suelos y principalmente por la alta densidad de las plantaciones evaluadas en India (1700 árboles por hectárea). La teca es una especie exigente de suelos fértiles y la disponibilidad de nutrimentos dependerá de las reservas del suelo (Vimal *et al.* 2003), la velocidad de circulación de los nutrimentos (Drechsel y Zech 1994), la distribución en los componentes de biomasa del árbol (Nwoboshi 1984) y el suministro adecuado de nutrimentos por medio de los programas de fertilización.

La necesidad anual de nutrimentos por la teca es creciente y los datos generados por las ecuaciones podrían utilizarse para la aplicación adecuada de fertilizantes, bajo las condiciones de sitio de este estudio y tomando en cuenta la eficiencia de los mismos en los suelos rojos y ácidos.

Los microelementos de mayor absorción anual fueron el Fe y el Zn, sin embargo, el de menor absorción fue el Cu. Según los valores predichos, en el año 1 se da una absorción mayor de todos los microelementos en comparación con los siguientes años y para el caso del Zn, Cu y B, esta absorción anual alcanza nuevamente el valor del primer año entre el año 8 y 10. Mientras que para el caso del Fe ocurre se da en el año 14 y para el Mn nunca se alcanza una absorción anual tan alta como la del año 1. La mayor parte, si no toda la cantidad absorbida de estos elementos, la suple el ecosistema, tanto como elementos disponibles por meteorización del suelo, como por circulación o por adición de algunos de ellos vía precipitación pluvial.

CONCLUSIONES GENERALES

Concentración Foliar

La concentración foliar de los macronutrientes en la teca que crece en la cuenca del canal de Panamá mantiene el siguiente orden decreciente: $N > Ca > K > Mg > S > P$ y el orden en la concentración foliar de los microelementos es $Mn > Fe > Al > B = Zn > Cu > Mo$.

El comportamiento de las curvas de concentración foliar de los macronutrientes según la edad es variable: el Ca y el Mg tienden a aumentar con la edad, mientras que el N, P y el K disminuyen conforme aumenta la edad. Los microelementos Mo y Mn tienen una tendencia a aumentar conforme aumenta la edad, mientras que el Cu disminuye conforme aumenta la edad.

El P, K, Fe y el Cu son los nutrientes foliares de la teca que se encuentran en niveles no adecuados (marginal y deficiente) según los ámbitos definidos para teca en África. También, el P y el K son nutrientes foliares que en Panamá se encuentran debajo de los niveles reportados como apropiados para Costa Rica.

La concentración foliar de Ca y Mg en Panamá es similar a la concentración foliar de la teca en Costa Rica. La concentración foliar de Ca, Mn y B de los sitios de alto crecimiento con respecto a los de bajo crecimiento es estadísticamente diferente. La concentración foliar de Ca y N es estadísticamente diferente en los tres grupos de edad (3-4, 5-6 y 7-8 años).

Biomasa

La biomasa seca de los árboles de teca de 3 a 18 años varió desde los $34 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$ hasta los $1286 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$, con un $\text{IMA}_{\text{Biomasa}}$ ($\text{peso} \cdot \text{edad}^{-1}$) de $71,4 \text{ kg} \cdot \text{árbol}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ a la edad de 18 años. La biomasa seca del tronco representó el 59,6% de la biomasa seca total,

mientras que las ramas primarias el 16,6%, las ramas secundarias el 6,5%, la corteza el 9,4% y las hojas el 7,9%.

Concentración de nutrimentos en los componentes.

El componente con la mayor cantidad de macronutrimentos total fue el follaje con 4,66%, seguido por la corteza con 4,17% y las flores con 4,18% y el componente con la mayor cantidad de micronutrimentos total fue la corteza con 916 mg*kg^{-1} , mientras que el componente con la menor cantidad de macro y micronutrimentos total fue el tronco con 0,72% y 153 mg*kg^{-1} , respectivamente.

Los macronutrimentos de mayor concentración individual según el componente fueron el Ca (2,01%) en la corteza, el N (1,98%) en las hojas y K (1,92%) en las flores. Los micronutrimentos de mayor concentración individual fueron el Fe (767 mg*kg^{-1}), Mn (60 mg*kg^{-1}) y Zn (50 mg*kg^{-1}), todos en la corteza.

Absorción

La absorción acumulada de nutrimentos a la edad de 18 años asociada a un rendimiento de $1286 \text{ Kg*árbol}^{-1}$ de materia seca, fue de $15,9 \text{ kg*árbol}^{-1}$ de macronutrimentos y de 124 g*árbol^{-1} de micronutrimentos. De los 15,9 kg de macronutrimentos absorbidos, el 46% es Ca, el 25% es N, el 16% es K, el 6% es Mg, el 4% es P y el 3% es S. De los 124 g de micronutrimentos absorbidos, el 72% es Fe, el 15% es Zn, el 7% es B, el 4% es Mn y el 2% es Cu.

El 58% del N absorbido se encuentra mayormente en el tronco y las hojas, el 68% del K absorbido se encuentra en tronco, ramas primarias y corteza. El Fe, el Cu y el Zn, son los microelementos mayormente absorbidos en el tronco.

La absorción total de Ca tiene la tendencia a aumentar después del año 7 hasta el 18, mientras que la absorción total de K tiene la tendencia a disminuir con la edad a partir del año 7.

RECOMENDACIONES GENERALES

Muestrear árboles de 20, 25 y 30 años en Panamá para completar la base de datos del presente estudio y definir las curvas de absorción hasta la edad de corta con el fin de poder determinar la cantidad de nutrimentos removidos de la plantación.

Cuantificar los nutrimentos depositados en el mantillo a diferentes edades para determinar el aporte del reciclaje.

Evaluar la concentración y absorción de nutrimentos en la teca que se desarrolla en otros países de América Central para consolidar un estudio aplicable a toda esta región.

Realizar un ensayo piloto con un cierto número de clones comprobados en América Central para evaluar la concentración y absorción por parte de materiales genéticos de mayor crecimiento.

LITERATURA CITADA TOTAL

- Abarca, R. 2003.** Caracterización de *Tectona grandis* de plantación y evaluación del uso potencial de la pulpa y la lignina obtenidas. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, CR.177 p.
- Abarca, R; Blanco, L; Solano, P. 2004.** Obtención de pulpa a la soda antraquinona a partir de *Tectona grandis*. Laboratorio de Productos Forestales. Universidad de Costa Rica. Sin publicar. 15 p.
- ACP (Autoridad del canal de Panamá, P). 2007.** Estudio de impacto ambiental categoría III. Cap IV: Descripción del ambiente físico. Proyecto de ampliación del canal de Panamá, tercer juego de esclusas. Elaborado por URS Holdings, Inc. 159 p.
- Alvarado, A. 2007.** Nutrición y fertilización de la teca (*Tectona grandis* L.f.). V Congreso Nacional de suelos. 29, 30 y 31 de agosto, 2007. INBioparque, Santo Domingo de Heredia. 12 p.
- Alvarado, A; Fallas, JL. 2004.** Efecto de la saturación de acidez y encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1):81-87.
- Arguedas, M. 2004.** Problemas fitosanitarios en teca (*Tectona grandis* L.f.) en América Central: nuevos reportes. Centro de Investigación en Integración Bosque Industria, ITCR. Costa Rica. Sin publicar. 11 p.
- Arias, D; Calvo, J; Arguedas, M; Salas, B. 2005.** Síndrome de la mortalidad de la teca en Costa Rica: Informe Final. Instituto Tecnológico de C.R., Centro de Investigación Bosque Industria. 85 p.

- Barroso, D; Mazzei, FA; Pereira, RS; Chahad, V; Mendoça, L; Silva, L. 2005.** Macronutrient deficiency diagnosis in teak seedlings. *Árvore* 29 (5):671-679.
- Bat, K; Ma, HO. 2004.** Productores de teca, uniros. Instituto de Investigación Forestal en Kerala: División de Ciencia de la madera e ITTO. *Actualidad Forestal Tropical*: 12(1):3p. <http://www.kmbhat/kfri.org>. Consultado el 12 de Junio, 2009.
- Batos, B; Miletic, Z; Orlovic, S; Miljkovic, D. 2010.** Variability of nutritive macroelements in pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) leaves in Serbia. *Genetika* 42(3):435-453.
- Bebarta, KC. 1999. Teak: Ecology, Silviculture, Management and profitability.** Publicado por International Book Distributors. India. 372 p.
- Bertsch, F. 1998.** La fertilidad de los suelos y su manejo. 1ª. Reimpresión. San José, C.R.: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 157 p.
- Bertsch, F; Corrales, M; Bejarano, J. 2005.** Los Laboratorios de análisis de suelos y foliares en Costa Rica: Informe del Comité de Laboratorios de análisis de suelos, plantas y aguas. *Agronomía Costarricense* 29(3): 125-135.
- Boardman, R; Cromer, RN; Lambert, MJ; Webb, MJ. 1997.** Forest plantation. In D.J. Reuter y J.B Robinson (eds). *Plant analysis, an interpretation manual*. CSIRO Publishing. Australia. p. 505-561.
- Boardman, R; Mcguire, DO. 1990.** The role of zinc in forestry. I Zinc in forest environments, ecosystems and tree nutrition. *Forest Ecology and Management* 37:167-205.
- Brawn, S; Lugo, A. 1992.** Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17(1): 8-18.

- Britannica 2011.** Lamiales. (2011). In *Encyclopædia Britannica*. Consultado el 23 abril del 2011 en: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/328712/Lamiales> y en <http://www.britannica.com/facts/5/6014/teak-as-discussed-in-Lamiales-plant-order>
- Brito, M; Guimarães, L; Luiz, M; Backes, C; Amaral, I. 2010.** Influência da Adubação Potássica Teor e Acúmulo de Macronutrientes em Folhas de Teca. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010. Centro de Convenções do SESC. 4 p.
- Brockley, R. 2001.** Foliar analysis as a planning tool for operational fertilization. Proceedings of Enhanced Forest Management: Fertilization & Economics Conference March 1 & 2. p 66-67.
- Campos, LE; Tomazello, M; Lisi, CS; Yopez, F; Sifuentes, D; Pereira, VH; Vega, J. 2010.** La teca en Brasil y su importancia en la industria forestal. Disponible en Internet: <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/PUBL501.pdf>. Consultado el 22 de enero 2010.
- Canessa, E; Sáenz, M. 2001.** Biodeterioro y preservación de madera de Teca (*Tectona grandis*) de plantaciones de Guatemala, Costa Rica y Panamá. ITCR, Cartago, Costa Rica. 10 p.
- Centeno, JC. 2001** The management of teak plantations. 2001. Disponible en: <http://www.itto.org.jp/newsletter/v7n2/10management.html>. Consultado el 25 de enero 2010.
- Córdoba, R; Sáenz, M. 2002.** Propiedades físico-mecánicas de teca de Costa Rica y Panamá ITCR, Cartago, Costa Rica. 10 p.

- Drechsel, P; Schmall, S; Zech, W. 1991.** Relationships between growth, mineral nutrition and soils in young teak plantations in Benin and Liberia. *Water, Air and Soil Pollution* 54:651-656.
- Drechsel, P; Zech, W. 1992.** Multiple mineral deficiencies in forest plantations in Liberia. *Forest Ecology and Management*. 48(1992):121-143.
- Drechsel, P; Zech, W. 1994.** DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L.f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on teak growth in West Africa. *Forest Ecology and Management* 70:121-133.
- Drechsel, P; Zech, W. 1991.** Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: A tabular review. *Plant and Soil* 131:29-46.
- Dreische, R van den. 1974.** Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. *The Botanical Review*: 40 (3): 347-386.
- Evans, J. 1979.** The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of *Gmelina arborea*. *Plant and Soil* 52: 547-552.
- Fernández, R; Parra, MA; Navarro, C; Arquero, O. 2009.** Foliar diagnosis as a guide to olive fertilization. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2009 7(1): 212-223.
- Fonseca, W. 2004.** Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L.f) en Costa Rica (en línea). San José, CR, FONAFIFO. Disponible en <http://www.fonafifo.com>. Consultado el 20 de Marzo, 2008.
- Govaere, G; Carpio, I; Cruz, L. 2003.** Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de *Tectona grandis*. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica. 15 p.
- Guimarães, L; Brito, M; Luiz, de AM; Backes, C; Amaral, I. 2010.** Influência da Adubação Potássica no Acúmulo de Matéria Seca em Plantas de Teca. XXIX

- Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010. Centro de Convenções do SESC. 4p.
- Hase, H; Folster, H. 1983.** Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of Young alluvial soils in west Venezuela. *Forest ecology and Management* 6:33-57.
- Haug, A; Vitorello, V. 1996.** Aluminum coordination to calmodulin: thermodynamic and kinetic aspects. *Coordination Chemistry Reviews* 149: 113-124.
- Hernández, R; Torres, A; Márquez, O; Franco, W. 1993.** Contenido foliar y crecimiento en plantaciones de teca en Ticoporo, Venezuela. *Turrialba* 43(1):11-15.
- IDIAP (Instituto de Investigación Agrícola de Panamá, P). 2006.** Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrimentos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Disponible en: <http://www.idiap.gob.pa/zonificacion/mapas/index.htm>. Consultado el 16 marzo, 2008.
- ITTO (International Tropical Timber Organization, J). 2007.** Tropical timber report. 12(16): 16-31 August.
- ITTO (International Tropical Timber Organization, J) 2011.** Tropical timber market report. 16(23):1st- 15st December 2011. Report from Myanmar: Myanmar Teak Log Auction Prices (natural forest logs). Disponible en Internet: www.itto.int/direct/topics/topics_pdf_download/topics_id=2857&no=0. Consultado el 19 de mayo, 2012.
- Jha, KK. 1999.** Teak (*Tectona grandis*) Farming. Publicado por Intenational Book Distributing Company. Primera edición. India. 125 p.
- Kaul, ON; Sharma, DC; Tandom, VN; Srivastava, PBL. 1979.** Organic matter and plant nutrients in a teak (*Tectona grandis*) plantation. *Indian Forester*: 573-582.

- Koppad, A; Rao, R. 2003.** Effect of moisture conservation methods and fertilizers on nutrient uptake in two-old teak (*Tectona grandis* L.f.) plantation. *In: Bhat, K. et al.* Proceedings of the International Conference on Quality Timber products of teak from sustainable forest management. India. p. 206-211.
- Kumar, JIN; Kumar, RN; Kumar, R; Sajish, PR. 2009.** Quantification of nutrient in the aboveground biomass of teak plantation in a tropical dry deciduous forest of Udaipur, India. *Journal of Forest Science* 55(6): 251-256.
- Kumar, P. 2009.** Nutrient dynamics of Teak plantations and their impact on soil productivity: A case study from India. XIII World Forestry Congress. Buenos Aires, Argentina, 18-23 de Octubre 2009. 11 p.
- Lenoble, ME; Blevins, DG; Sharp, RE; Cumbie, BG. 1996 (a).** Prevention of aluminum toxicity with supplemental boron. I. Maintenance of root elongation and cellular structure. *Plant, Cell and Environment* 19:1132-1142.
- Lenoble, ME; Blevins, DG; Liles, RJ. 1996 (b).** Prevention of aluminum toxicity with supplemental boron. II. Stimulation of root growth in an acidic, high-aluminum subsoil. *Plant, Cell and Environment* 19:1143-1148.
- Marín, M; Pérez, R de R. 1992.** Importancia del análisis foliar en la evaluación de la fertilidad de suelos en Venezuela: una revisión. *Revista de Agronomía* 9:1-15.
- Marschner, H. 1995.** Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Hancourt Broce & Company. London, U.K. Second edition. 889 p.
- Mbaekwe, E; Mackenzie, A. 2008.** The use of a best-fit allometric model to estimate aboveground biomass accumulation and distribution in an age series of teak (*Tectona*

grandis L.f.) plantations at Gambari Forest Reserve, Oyo State, Nigeria. *Tropical Ecology* 49(2): 259-270.

Medina, E; Cuevas, E. 2002. Comparative analysis of the nutritional status of mahogany plantations in Puerto Rico. *In: Big-Leaf Mahogany: Genetics, Ecology and Management.* 11 p.

Miranda, S. 2009. Tesis: Evaluación de los residuos forestales de ciprés (*Cupressus lusitanica*), melina (*Gmelina arborea*) y teca (*Tectona grandis*) como fuente de biomasa para la producción de combustibles. Trabajo sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Química, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Química Industrial. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Química. 136 p.

Mollinedo, M. 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: MSc. en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE, Costa Rica. 101 p.

Mollinedo, M; Ugalde, L; Alvarado, A; Verjans, JM; Rudy, LC. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.), en la Zona oeste de la cuenca del canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1):67-75.

Montero, M; Kanninen, M. 2006. Variación de los nutrimentos foliares con la edad de los árboles de *Tectona grandis* L.f., en Costa Rica. Proyecto: Dinámica de plantaciones. Universidad de Helsinki/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 16 p. Sin publicar.

Murillo, O; Badilla, Y. 2004. Potencial de mejoramiento genético de la Teca en Costa Rica. Disponible en internet: <http://www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/Olmanmejoram.pdf>. Consultado el 20 de diciembre del 2008.

- Negi, J. 1990.** Biomass production and distribution of nutrients in 20 years old teak (*Tectona grandis* L.f.) and gamar (*Gmelina arborea*) plantation in Tripura. The Indian Forester 116 (9): 681-686.
- Negi, J; Bahuguna, V; Sharma, D. 1995.** Biomass and nutrient distribution in young teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Tarai Region of Uttar Pradesh. Indian Forester 121(6):455- 464.
- Nwoboshi, L. 1983.** Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria: I Linear growth and biomass production. Forest Science 29(1): 159-165.
- Nwoboshi, L. 1984.** Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria: II Nutrient accumulation and minimum annual requirements. Forest Science 30(1): 35-40.
- Oliveira, JRV. 2003.** Sistema para cálculo de balance nutricional e recomendação de calagem de povoamentos de teca. NUTRITECA. Tesis MSc. Universidad de Viçosa, Viçosa, Brasil. 79 p.
- Osundina, MA; Osonubi, O. 1989.** Adventitious roots, leaf abscission and nutrient status of flooded *Gmelina* and *Tectona* seedlings. Tree Physiology 5:473-483.
- Padmanabha, A. 2006.** Informe Internacional sobre la teca. Product disclosure Statement - Ewards Group Teak Proyect 2006 ARSN 119363727 "INTERNATIONAL TEAK MARKET REPORT". 6 p.
- Pandey, D. 1996.** Estimating productivity of tropical forest plantation by climatic factors. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Resource Management and Geomatics Umea, Report 7.
- Pérez, D; Kaninnen, M. 2003.** Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. Journal of Tropical Forest Science 15(1):199-213.

- Pérez, D; Kanninen, M. 2005.** Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. *Silva Fennica* 39(2):217–225.
- Rodas, F. 2006.** Efecto del establecimiento de plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en áreas de potrero sobre las características del suelo en Petén, Guatemala. Tesis MSc. CATIE. Turrialba Costa Rica. 90 p.
- Salas, G. de las. 1987.** Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical: Capítulo13. San José Costa Rica, IICA. 450 p.
- Salas, J; Infante, A. 2006.** Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Rev. For. Lat.* 40: 47-70.
- Sampaio, A; Huber, D. 1999.** Concentração e distribuição de nutrientes nas folhas de especies florestais, na Amazonia Ocidental. *Floresta e Ambiente* 6(1):127-137.
- Saur, E; Ranger, J; Lemoine, B; Gelpe, J. 1992.** Micronutrient distribution in 16-year-old maritime pine. *Tree Physiology* 10:307-316.
- Segura, M; Castillo, A; Alvarado, A; Blanco, F. 2005.** Extracción de nutrientes en plantaciones de Jaúl (*Alnus acuminata*) en la cuenca del río Virilla, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(2): 109-120.
- Serrano, R; Chávez, V. 2004.** Influencia del espaciamiento de siembra sobre el desarrollo de torceduras y grietas en madera proveniente de plantaciones de teca (*Tectona grandis*). Kurú: *Revista Forestal* 1(3), 2004. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 12 p.
- Serrano, R; Sáenz, V. 2002.** Trabajabilidad de Teca (*Tectona grandis*) de Costa Rica y Panamá. ITCR, Cartago, Costa Rica. 12 p.

- Singh, P; Das, PK; Nath, S; Banerjee, SK. 1990.** Characteristics of teak (*Tectona grandis*) growing soils in the Tarai Region of West Bengal. *Van Vigyan* 28(1-2):6-15.
- StatSoft Inc. 2001.** STATISTICA (Data Analysis Software System), versión 6.
- Sujatha, MP. 2003.** Significance of micronutrients on the growth of teak seedlings. *In:* Bhat, K. *et al.* Proceedings of the International Conference on Quality Timber products of Teak from sustainable forest management. India. p. 491-494.
- Tangmitcharoen, S; Owen, J. 1997.** Biology, pollination, pistil receptivity and pollen growth of teak (*Tectona grandis* Linn f.). *Annals of Botany* 79:227-241.
- Tarja, L; Teija, R; Bernard, D. 2010.** Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 260: 2053–2069
- Thiele, H. 2008.** Variables edáficas que afectan el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en la Vertiente del Pacífico de Costa Rica. Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales para optar al grado de Magister Scientiae en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Suelos. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica. 184 p.
- Thorn, A; Stjernquist, I. 2005.** Micronutrient levels in some temperate European tree species: a comparative field study. *Trees* 19: 572-579.
- TLBG (The Louis Berger Group Inc, P) 2006.** Informe de la región occidental de la cuenca del canal de Panamá. Presentado a la Autoridad del canal de Panamá. 21 p.
- Torraca, SM; Haag, HP; Migliorini, AJ. 1984.** Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP IPEF 27: 41-47.

- Trópicos. 2011. Missouri Botanical Garden.** Disponible en internet: <http://www.tropicos.org>. Consultado el 15 de enero del 2010.
- Vaides, E. 2004.** Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de teca (*Tectona grandis* L. f.), en plantaciones forestales de diferentes regiones en Guatemala Tesis MSc. CATIE, Turrialba, CR. 95 p.
- Varmola, M. 2002.** Working Paper FP/19: Teak (*Tectona grandis* L.f.) in Central America. Forest Plantations Working Papers: based on the work in 1998 of R.V. De Camino, M.M. Alfaro y L.F.M. Sage, consultants. FAO. Forestry Department. 64 p.
- Vásquez, W; Ugalde, LA. 1996.** Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Resumen del informe final Convenio IDA/FAO – CATIE. Presentado en: X Congreso Nacional Agronómico y el II Congreso de Suelos 1996. 7 p.
- Vásquez, W; Ugalde, LA. 1995.** Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea*, en Guanacaste, Costa Rica. CATIE/ IDA/ FAO/ HOLANDA. Proyecto Madelaña-3. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico, No. 256. 33 p.
- Vieira, E. 2006.** Biomass study of *Tectona grandis* under different spacing conditions in the north of Mato Grosso state. *Árvore* 30(3): 337-341.
- Vimal, M; Sudhakara, K; Iayaraman, K; Sunanda, C. 2003.** Effect of soil-leaf nutritional factors o the productivity of Teak (*Tectona grandis* L.f.) in Kerala State, India. *In*: Bhat K.M., Nair K.K.N., Bhat K.V., Muralidharan E.M., Sharma J.K. Proceedings of the International Conference on Quality Timber Products of Teak from Sustainable Forest Management. Peechi, India. 2-5 December. 2003. p.530-539.

- Vitorello, VA; Capaldi, FR; Stefanuto, VA. 2005.** Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17(1).
- Watterston, K. 1971.** Crecimiento de la teca bajo condiciones edáficas en el Valle de Lancetilla, Honduras. *Turrialba* 21(2):1-4.
- Zech, W; Drechsel, P. 1992.** Multiple mineral deficiencies in forest plantations in Liberia. *Forest Ecology and Management* 48(1992):121-143.
- Zech, W; Kaupenjohann, M. 1990.** Carences en potassium et en phosphore chez *Casuarina equisetifolia*, *Eucaliptus* sp., *Acacia auriculiformis* et *Tectona grandis* L.f. au Sud-Benin (Afrique occidentale). *Bois et Forests des Tropiques* 226: 29-36.

ANEXOS

Anexo 1: Comparación de concentración foliar entre clases de edad para teca de 3 a 8 años en la cuenca del canal de Panamá

Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	media(1)	media(2)	LI(95%)	LS(95%)	p(Var, Hom.)	T	p	
MACRONUTRIENTES MEDIAS DIFERENTES A 5%	Ca	(34)	(78)	30	29	0,89	1,17	-0,39	-0,17	0,8605	-4,97	<0,0001
	Ca	(34)	(56)	30	30	0,89	1,12	-0,35	-0,1	0,2673	-3,57	0,0007
	Na	(56)	(78)	30	29	0,01	0,01	0,00056	0,0028	0,5007	2,99	0,0041
	Mg	(34)	(56)	30	30	0,23	0,3	-0,12	-0,02	0,0002	-2,89	0,006
	N	(34)	(78)	30	29	2,00	1,84	0,04	0,28	0,1404	2,72	0,0087
	N	(34)	(56)	30	30	2,00	1,86	0,02	0,25	0,2033	2,33	0,0234
	K	(34)	(56)	30	30	0,72	0,61	0,02	0,19	0,7105	2,57	0,0129
	P	(56)	(78)	30	29	0,12	0,11	0,00087	0,01	0,7156	2,28	0,0265
	P	(34)	(78)	30	29	0,12	0,11	0,00057	0,02	0,0518	2,15	0,0357
Mg	(34)	(78)	30	29	0,23	0,27	-0,09	-0,0039	0,0018	-2,2	0,0334	
MACRONUTRIENTES SIN DIFERENCIA ESTADISTICA	Na	(34)	(56)	30	30	0,01	0,01	-0,0022	0,000092	0,7483	-1,84	0,0707
	K	(34)	(78)	30	29	0,72	0,66	-0,03	0,14	0,8658	1,34	0,1854
	S	(56)	(78)	30	29	0,2	0,19	-0,0045	0,02	0,6595	1,24	0,2213
	S	(34)	(78)	30	29	0,2	0,19	-0,0048	0,02	0,9148	1,2	0,2353
	Na	(34)	(78)	30	29	0,01	0,01	-0,00047	0,0017	0,7215	1,15	0,2566
	K	(56)	(78)	30	29	0,61	0,66	-0,13	0,04	0,5914	-1,12	0,2684
	Ca	(56)	(78)	30	29	1,12	1,17	-0,18	0,07	0,2036	-0,84	0,4069
	Mg	(56)	(78)	30	29	0,3	0,27	-0,04	0,08	0,5002	0,73	0,4692
	N	(56)	(78)	30	29	1,86	1,84	-0,1	0,16	0,8302	0,42	0,6775
P	(34)	(56)	30	30	0,12	0,12	-0,01	0,01	0,1077	0,26	0,7968	
MICRONUTRIENTES con significancia al 5%	Mn	(34)	(78)	30	29	43,23	58,45	-26,67	-3,76	0,5563	-2,66	0,0101
	Zn	(56)	(78)	30	29	29,97	25,9	0,28	7,86	0,1493	2,15	0,0357
	Fe	(34)	(56)	30	30	41,57	44,8	-6,47	0,003	<0,0001	-2,02	0,0502
	Al	(34)	(56)	30	30	34,03	39,27	-10,62	0,16	0,0001	-1,96	0,0567
MICRONUTRIENTES SIN DIFERENCIA ESTADISTICA	Fe	(56)	(78)	30	29	44,8	41,83	-0,6	6,54	0,0468	1,67	0,1007
	Cu	(34)	(56)	30	30	8,47	7,6	-0,19	1,92	0,5002	1,65	0,1048
	B	(34)	(56)	30	30	27,87	30,43	-6,08	0,95	0,0548	-1,46	0,1495
	Al	(56)	(78)	30	29	39,27	35,14	-1,72	9,98	0,032	1,42	0,1625
	B	(56)	(78)	30	29	30,43	28,17	-1,03	5,55	0,0009	1,38	0,1732
	Mn	(56)	(78)	30	29	49,77	58,45	-21,79	4,42	0,4314	-1,33	0,1899
	Zn	(34)	(78)	30	29	28,9	25,9	-1,56	7,56	0,0049	1,32	0,1917
	Cu	(34)	(78)	30	29	8,47	7,9	-0,39	1,53	0,0454	1,19	0,2404
	Mn	(34)	(56)	30	30	43,23	49,77	-18,94	5,88	0,1669	-1,05	0,2963
	Cu	(56)	(78)	30	29	7,6	7,9	-1,19	0,59	0,1767	-0,67	0,5071
	Mo	(34)	(78)	30	29	0,34	0,36	-0,06	0,03	0,0002	-0,61	0,5423
	Al	(34)	(78)	30	29	34,03	35,14	-5,05	2,84	0,0688	-0,56	0,5775
	Zn	(34)	(56)	30	30	28,9	29,97	-5,99	3,85	0,1506	-0,43	0,6659
	Mo	(56)	(78)	30	29	0,35	0,36	-0,06	0,04	0,0527	-0,38	0,7046
	Mo	(34)	(56)	30	30	0,34	0,35	-0,04	0,03	0,0593	-0,27	0,7894
	B	(34)	(78)	30	29	27,87	28,17	-2,85	2,23	0,1327	-0,24	0,8103
	Fe	(34)	(78)	30	29	41,57	41,83	-2,69	2,17	0,0297	-0,22	0,8301
S	(34)	(56)	30	30	0,2	0,2	-0,01	0,01	0,7364	0	>0,9999	

Anexo 2: Estadísticos descriptivos en los sitios de bajo crecimiento y según rangos de edad para la concentración foliar de elementos

Grupo Edad (años)	Nutrimiento	Número muestras	Media	D.E.	E.E.	CV (%)	Mín	Máx
3 - 4	N (%)	10	2,12	0,2	0,06	9,48	1,83	2,52
3 - 4	P (%)	10	0,12	0,02	0,01	14,7	0,09	0,14
3 - 4	K (%)	10	0,71	0,19	0,06	27,05	0,35	1,02
3 - 4	Ca (%)	10	0,81	0,17	0,05	20,77	0,52	1,02
3 - 4	Mg (%)	10	0,23	0,08	0,03	36,98	0,16	0,45
3 - 4	S (%)	10	0,21	0,02	0,01	8,69	0,18	0,25
3 - 4	Na (%)	10	0,01	0,0032	0,001	35,14	0,00	0,01
3 - 4	Fe (ppm)	10	40,0	3,65	1,15	9,13	34	47
3 - 4	Mn (ppm)	10	48,6	31,05	9,82	63,88	21	129
3 - 4	B (ppm)	10	31,1	3,93	1,24	12,63	26	37
3 - 4	Cu (ppm)	10	9,2	2,3	0,73	25	6	13
3 - 4	Zn (ppm)	10	28,1	10,13	3,2	36,04	18	53
3 - 4	Mo (ppm)	10	0,36	0,07	0,02	18,47	0,25	0,47
3 - 4	Al (ppm)	10	33,5	7,29	2,31	21,77	23	48
5 - 6	N (%)	10	1,84	0,15	0,05	8,38	1,66	2,08
5 - 6	P (%)	10	0,12	0,01	0,0031	8,45	0,1	0,13
5 - 6	K (%)	10	0,64	0,14	0,04	22,05	0,43	0,9
5 - 6	Ca (%)	10	1,02	0,27	0,09	26,55	0,68	1,5
5 - 6	Mg (%)	10	0,32	0,11	0,04	34,38	0,16	0,47
5 - 6	S (%)	10	0,22	0,01	0,0045	6,36	0,2	0,25
5 - 6	Na (%)	10	0,01	0,0048	0,0015	69,01	0,00	0,01
5 - 6	Fe (ppm)	10	45,1	6,01	1,9	13,32	37	54
5 - 6	Mn (ppm)	10	75,2	31,67	10,02	42,12	32	135
5 - 6	B (ppm)	10	34,7	10,68	3,38	30,77	23	54
5 - 6	Cu (ppm)	10	8,5	1,51	0,48	17,76	7	11
5 - 6	Zn (ppm)	10	30,5	9,3	2,94	30,49	23	48
5 - 6	Mo (ppm)	10	0,37	0,08	0,02	21,13	0,2	0,46
5 - 6	Al (ppm)	10	38,4	9,09	2,88	23,68	23	51
7 - 8	N (%)	10	1,8	0,25	0,08	13,67	1,48	2,29
7 - 8	P (%)	10	0,11	0,01	0,0028	8,03	0,1	0,12
7 - 8	K (%)	10	0,59	0,17	0,05	28,65	0,26	0,82
7 - 8	Ca (%)	10	1,15	0,13	0,04	11,36	0,94	1,4
7 - 8	Mg (%)	10	0,29	0,11	0,04	39,41	0,16	0,5
7 - 8	S (%)	10	0,2	0,03	0,01	13,94	0,14	0,23
7 - 8	Na (%)	10	0,004	0,01	0,0016	129,1	0,00	0,01
7 - 8	Fe (ppm)	10	44,0	6,53	2,07	14,85	36	53
7 - 8	Mn (ppm)	10	71,0	23,64	7,47	33,29	34	104
7 - 8	B (ppm)	10	28,7	5,36	1,69	18,66	23	38
7 - 8	Cu (ppm)	10	7,5	0,85	0,27	11,33	6	9
7 - 8	Zn (ppm)	10	28,0	7,06	2,23	25,2	18	41
7 - 8	Mo (ppm)	10	0,34	0,1	0,03	27,97	0,23	0,52
7 - 8	Al (ppm)	10	37,2	9,59	3,03	25,78	25	54

D,E = desviación estándar

E,E = error estándar

CV (%) = coeficiente de variación

Mín = valor mínimo

Máx = valor máximo

Anexo 3 Estadísticos descriptivos en los sitios de medio crecimiento y según rangos de edad para la concentración foliar de elementos

Grupo Edad (años)	Nutrimiento	Número muestras	Media	D.E.	E.E.	C.V. (%)	Mín	Máx
3 - 4	N (%)	10	1,94	0,18	0,06	9,03	1,71	2,19
3 - 4	P (%)	10	0,12	0,01	0,0042	10,79	0,1	0,14
3 - 4	K (%)	10	0,79	0,14	0,04	17,75	0,56	1,00
3 - 4	Ca (%)	10	0,85	0,2	0,06	24,01	0,5	1,09
3 - 4	Mg (%)	10	0,22	0,04	0,01	15,86	0,16	0,3
3 - 4	S (%)	10	0,2	0,03	0,01	14,16	0,16	0,25
3 - 4	Na (%)	10	0,01	0,01	0,0016	86,07	0,00	0,01
3 - 4	Fe (ppm)	10	43,8	3,71	1,17	8,46	40	50
3 - 4	Mn (ppm)	10	41,4	11,74	3,71	28,36	30	65
3 - 4	B (ppm)	10	25,9	3,9	1,23	15,06	19	32
3 - 4	Cu (ppm)	10	8,9	1,91	0,6	21,48	6	11
3 - 4	Zn (ppm)	10	32,2	14,17	4,48	44,01	21	67
3 - 4	Mo (ppm)	10	0,33	0,02	0,01	6,61	0,3	0,37
3 - 4	Al (ppm)	10	36,6	5,3	1,67	14,47	28	46
5 - 6	N (%)	10	1,88	0,34	0,11	17,86	1,36	2,61
5 - 6	P (%)	10	0,12	0,01	0,0039	10,08	0,11	0,15
5 - 6	K (%)	10	0,55	0,16	0,05	28,43	0,38	0,85
5 - 6	Ca (%)	10	1,1	0,21	0,07	18,95	0,82	1,47
5 - 6	Mg (%)	10	0,32	0,13	0,04	39,41	0,14	0,57
5 - 6	S (%)	10	0,19	0,02	0,0048	8,06	0,16	0,21
5 - 6	Na (%)	10	0,01	0,0032	0,001	35,14	0,00	0,01
5 - 6	Fe (ppm)	10	45,3	11,19	3,54	24,69	36	72
5 - 6	Mn (ppm)	10	43,2	9,65	3,05	22,33	24	54
5 - 6	B (ppm)	10	30,6	3,63	1,15	11,85	27	36
5 - 6	Cu (ppm)	10	7,1	1,79	0,57	25,24	5	10
5 - 6	Zn (ppm)	10	31,7	8,73	2,76	27,54	18	46
5 - 6	Mo (ppm)	10	0,35	0,09	0,03	26,34	0,22	0,5
5 - 6	Al (ppm)	10	43,4	20,27	6,41	46,71	31	94
7 - 8	N (%)	10	1,86	0,26	0,08	13,79	1,37	2,3
7 - 8	P (%)	10	0,12	0,01	0,004	10,9	0,1	0,14
7 - 8	K (%)	10	0,66	0,19	0,06	28,84	0,4	0,98
7 - 8	Ca (%)	10	1,09	0,26	0,08	24,03	0,66	1,44
7 - 8	Mg (%)	10	0,29	0,12	0,04	41,72	0,13	0,51
7 - 8	S (%)	10	0,19	0,02	0,01	10,23	0,16	0,23
7 - 8	Na (%)	10	0,004	0,01	0,0016	129,1	0,00	0,01
7 - 8	Fe (ppm)	10	41,6	3,1	0,98	7,45	36	47
7 - 8	Mn (ppm)	10	50,0	22,24	7,03	44,47	25	84
7 - 8	B (ppm)	10	26,7	2,87	0,91	10,75	21	31
7 - 8	Cu (ppm)	10	8,4	1,84	0,58	21,88	6	11
7 - 8	Zn (ppm)	10	25,4	4,86	1,54	19,13	18	32
7 - 8	Mo (ppm)	10	0,37	0,13	0,04	34,89	0,25	0,6
7 - 8	Al (ppm)	10	34,5	4,53	1,43	13,12	27	42

D.E. = desviación estándar

E.E. = error estándar

CV (%) = coeficiente de variación

Mín = valor mínimo

Máx = valor máximo

Anexo 4: Estadísticos descriptivos en los sitios de alto crecimiento y según rangos de edad para la concentración foliar de elementos

Grupo Edad (años)	Nutrimiento	Número muestras	Media	D.E.	E.E.	C.V. (%)	Mín	Máx
3 - 4	N (%)	10	1,94	0,17	0,05	8,59	1,7	2,2
3 - 4	P (%)	10	0,12	0,02	0,01	17,16	0,1	0,16
3 - 4	K (%)	10	0,64	0,12	0,04	19,46	0,48	0,84
3 - 4	Ca (%)	10	1,02	0,24	0,08	23,46	0,62	1,41
3 - 4	Mg (%)	10	0,23	0,04	0,01	18,19	0,16	0,29
3 - 4	S (%)	10	0,19	0,02	0,01	9,7	0,16	0,22
3 - 4	Na (%)	10	0,01	0,01	0,0016	86,07	0,00	0,01
3 - 4	Fe (ppm)	10	40,9	2,47	0,78	6,04	38	46
3 - 4	Mn (ppm)	10	39,7	15,28	4,83	38,5	21	66
3 - 4	B (ppm)	10	26,6	7,00	2,21	26,3	18	43
3 - 4	Cu (ppm)	10	7,3	1,95	0,62	26,66	4	10
3 - 4	Zn (ppm)	10	26,4	6,79	2,15	25,7	18	42
3 - 4	Mo (ppm)	10	0,35	0,07	0,02	18,79	0,25	0,44
3 - 4	Al (ppm)	10	32,0	5,52	1,74	17,24	20	39
5 - 6	N (%)	10	1,87	0,24	0,08	13,02	1,54	2,33
5 - 6	P (%)	10	0,13	0,01	0,0045	11,47	0,11	0,14
5 - 6	K (%)	10	0,65	0,15	0,05	23,51	0,49	0,93
5 - 6	Ca (%)	10	1,24	0,3	0,1	24,38	0,89	1,84
5 - 6	Mg (%)	10	0,24	0,1	0,03	41,59	0,12	0,47
5 - 6	S (%)	10	0,19	0,01	0,0047	7,85	0,17	0,21
5 - 6	Na (%)	10	0,01	0,00	0,000	0,00	0,01	0,01
5 - 6	Fe (ppm)	10	44,0	6,63	2,1	15,08	33	58
5 - 6	Mn (ppm)	10	30,9	8,52	2,69	27,56	23	46
5 - 6	B (ppm)	10	26,0	5,66	1,79	21,76	16	36
5 - 6	Cu (ppm)	10	7,2	2,2	0,7	30,57	4	11
5 - 6	Zn (ppm)	10	27,7	6,53	2,07	23,58	19	40
5 - 6	Mo (ppm)	10	0,32	0,06	0,02	19,04	0,25	0,44
5 - 6	Al (ppm)	10	36,0	6,27	1,98	17,42	29	45
7 - 8	N (%)	10	1,86	0,29	0,1	15,87	1,47	2,27
7 - 8	P (%)	10	0,12	0,01	0,0044	11,54	0,1	0,14
7 - 8	K (%)	10	0,74	0,11	0,04	15,56	0,61	0,93
7 - 8	Ca (%)	10	1,3	0,19	0,06	14,54	0,96	1,61
7 - 8	Mg (%)	10	0,24	0,07	0,02	28,28	0,16	0,4
7 - 8	S (%)	10	0,19	0,02	0,01	12,06	0,15	0,22
7 - 8	Na (%)	10	0,01	0,0033	0,0011	37,5	0,00	0,01
7 - 8	Fe (ppm)	10	39,67	5,87	1,96	14,81	35	54
7 - 8	Mn (ppm)	10	53,89	19,57	6,52	36,32	23	85
7 - 8	B (ppm)	10	29,22	3,7	1,23	12,66	25	35
7 - 8	Cu (ppm)	10	7,78	1,56	0,52	20,1	5	10
7 - 8	Zn (ppm)	10	24,11	6,53	2,18	27,07	16	39
7 - 8	Mo (ppm)	10	0,36	0,12	0,04	33,48	0,24	0,64
7 - 8	Al (ppm)	10	33,56	11,57	3,86	34,47	22	62

D.E. = desviación estándar

E.E. = error estándar

CV (%) = coeficiente de variación

Mín = valor mínimo

Máx = valor máximo

Anexo 5: Comparación de medias de concentración foliar de nutrientes entre los sitios bajo, medio y alto crecimiento de tecla de 3 a 8 años

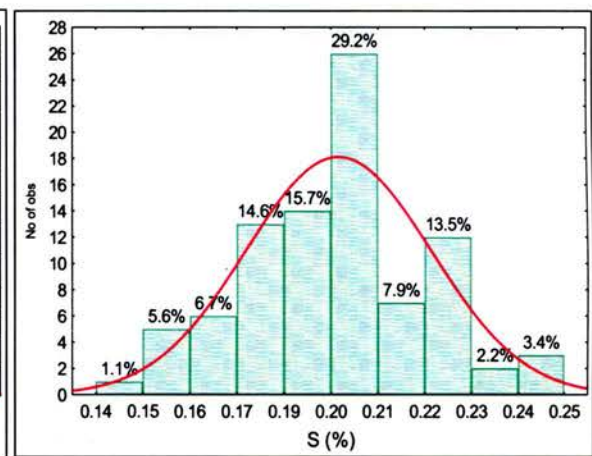
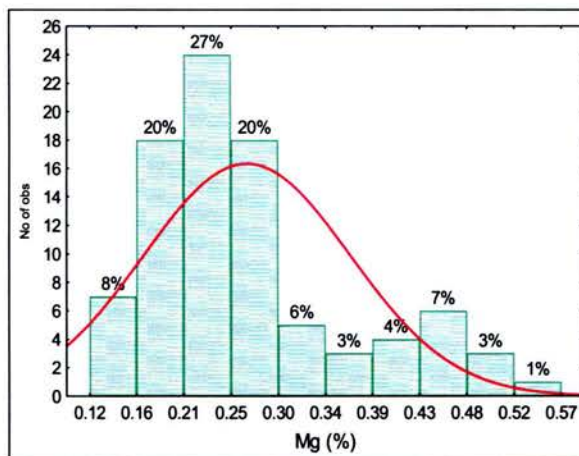
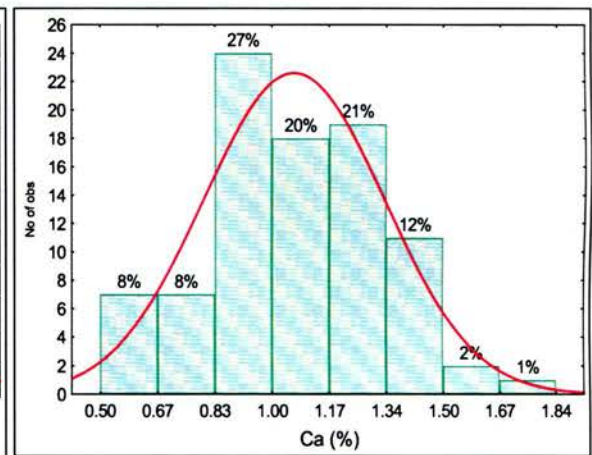
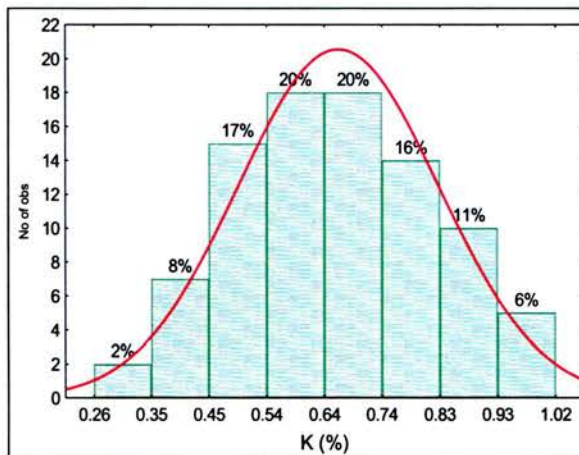
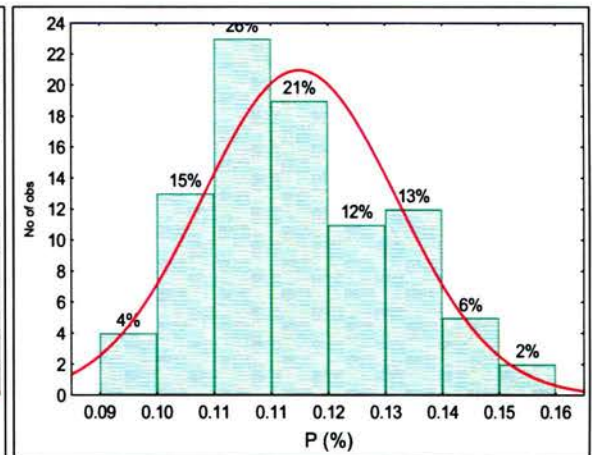
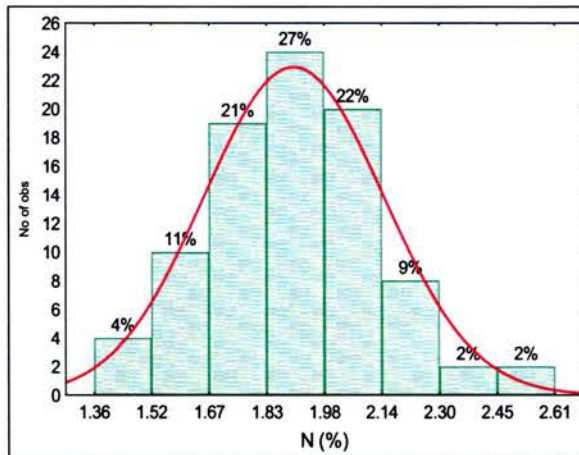
Clasificación	Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	media(1)	media(2)	(Var.Hom)	T	p
Macro- elementos (%)	S	{Alto}	{Bajo}	29	30	0,19	0,21	0,2844	-3,88	0,0003
	S	{Bajo}	{Medio}	30	30	0,21	0,19	0,8788	3,11	0,0029
	Ca	{Alto}	{Bajo}	29	30	1,18	0,99	0,5153	2,91	0,0052
	Ca	{Alto}	{Medio}	29	30	1,18	1,01	0,659	2,5	0,0152
	Mg	{Alto}	{Bajo}	29	30	0,24	0,28	0,0314	-1,77	0,0829
	P	{Alto}	{Bajo}	29	30	0,12	0,11	0,2017	1,73	0,0895
	Mg	{Alto}	{Medio}	29	30	0,24	0,28	0,0318	-1,67	0,1006
	P	{Bajo}	{Medio}	30	30	0,11	0,12	0,8462	-1,61	0,1128
	K	{Alto}	{Bajo}	29	30	0,67	0,64	0,2216	0,75	0,4553
	S	{Alto}	{Medio}	29	30	0,19	0,19	0,357	-0,57	0,5697
	N	{Alto}	{Bajo}	29	30	1,89	1,92	0,8089	-0,47	0,6413
	K	{Bajo}	{Medio}	30	30	0,64	0,67	0,5994	-0,44	0,6625
	Na	{Alto}	{Bajo}	29	30	0,01	0,01	0,2615	0,39	0,695
	N	{Bajo}	{Medio}	30	30	1,92	1,89	0,7663	0,39	0,7004
	Ca	{Bajo}	{Medio}	30	30	0,99	1,01	0,8325	-0,38	0,7079
	P	{Alto}	{Medio}	29	30	0,12	0,12	0,1425	0,36	0,7202
	Na	{Alto}	{Medio}	29	30	0,01	0,01	0,3545	0,27	0,7896
	K	{Alto}	{Medio}	29	30	0,67	0,67	0,0833	0,23	0,819
	Na	{Bajo}	{Medio}	30	30	0,01	0,01	0,8407	-0,12	0,9021
	Mg	{Bajo}	{Medio}	30	30	0,28	0,28	0,9955	0,08	0,9337
N	{Alto}	{Medio}	29	30	1,89	1,89	0,592	-0,06	0,9499	
Micro- elementos (mg*kg⁻¹)	Mn	{Alto}	{Bajo}	29	30	41,07	64,93	0,0036	-3,72	0,0005
	Mn	{Bajo}	{Medio}	30	30	64,93	44,87	0,0005	3,22	0,0024
	B	{Alto}	{Bajo}	29	30	27,21	31,5	0,1481	-2,49	0,0157
	B	{Bajo}	{Medio}	30	30	31,5	27,73	0,0011	2,45	0,0184
	Cu	{Alto}	{Bajo}	29	30	7,41	8,4	0,7101	-2,08	0,0417
	Zn	{Alto}	{Medio}	29	30	26,14	29,77	0,0227	-1,64	0,108
	Al	{Alto}	{Medio}	29	30	33,86	38,17	0,0186	-1,58	0,1209
	Cu	{Alto}	{Medio}	29	30	7,41	8,13	0,8651	-1,44	0,154
	Zn	{Alto}	{Bajo}	29	30	26,14	28,87	0,1387	-1,36	0,1796
	Fe	{Alto}	{Medio}	29	30	41,59	43,57	0,1896	-1,22	0,2289
	Al	{Alto}	{Bajo}	29	30	33,86	36,37	0,6579	-1,15	0,2534
	Fe	{Alto}	{Bajo}	29	30	41,59	43,03	0,7283	-0,99	0,3264
	Mn	{Alto}	{Medio}	29	30	41,07	44,87	0,5586	-0,89	0,377
	Al	{Bajo}	{Medio}	30	30	36,37	38,17	0,0509	-0,65	0,5207
	Mo	{Alto}	{Bajo}	29	30	0,34	0,36	0,7583	-0,61	0,5433
	Cu	{Bajo}	{Medio}	30	30	8,4	8,13	0,585	0,56	0,579
	B	{Alto}	{Medio}	29	30	27,21	27,73	0,0632	-0,42	0,6793
	Zn	{Bajo}	{Medio}	30	30	28,87	29,77	0,4047	-0,37	0,7137
	Mo	{Alto}	{Medio}	29	30	0,34	0,35	0,6027	-0,36	0,7202
	Fe	{Bajo}	{Medio}	30	30	43,03	43,57	0,3277	-0,32	0,7482
Mo	{Bajo}	{Medio}	30	30	0,36	0,35	0,4039	0,21	0,8336	

Anexo 6: Coeficientes correlación de Pearson entre los nutrimentos foliares de teca de 3 a 8 años en sitios de crecimiento bajo, medio y altos en la cuenca del canal de Panamá

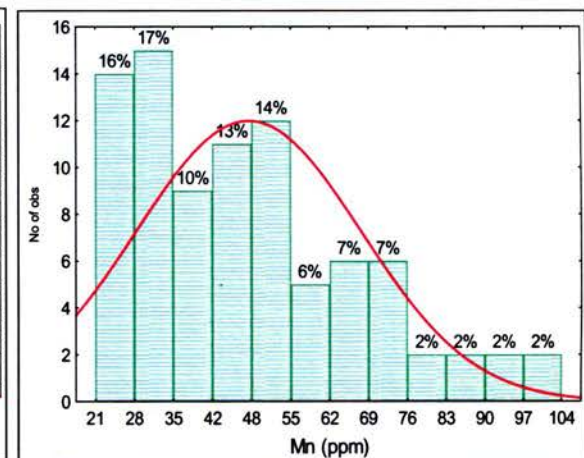
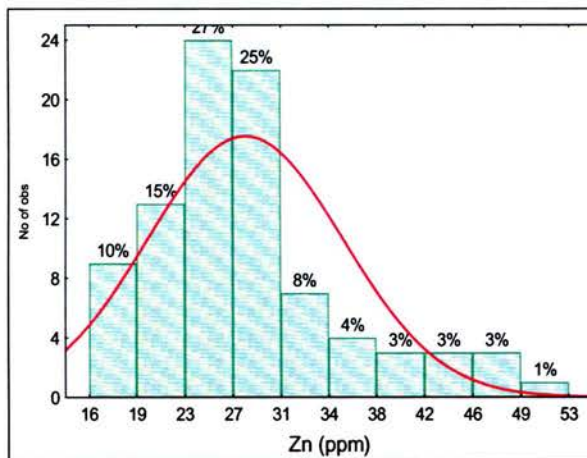
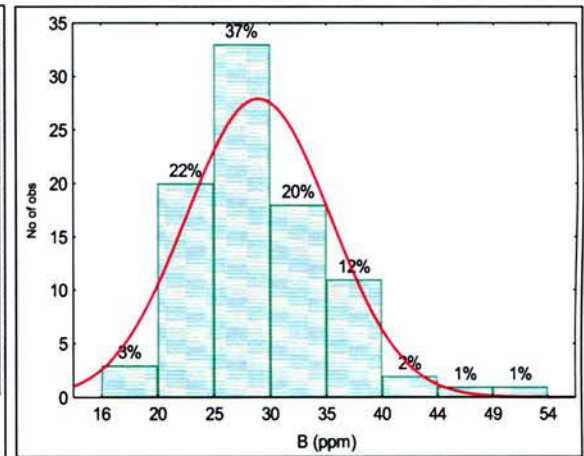
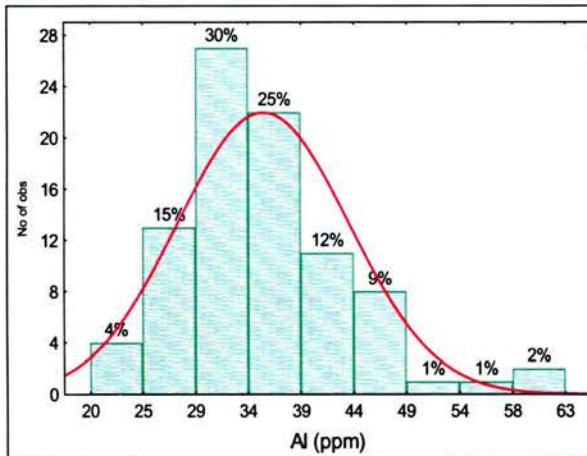
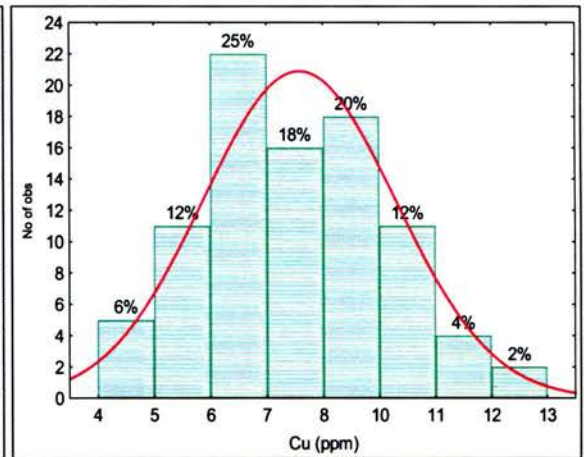
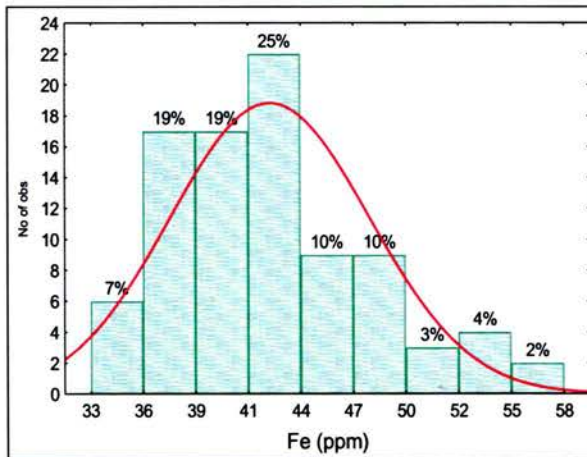
Nutrimento	PROBABILIDADES DE LOS COEFICIENTES DE PEARSON													
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Mo	Al
N	1	0.01	0.16	0.38	3.90E-03	0.06	0.21	0.74	0.36	0.18	0.22	0.01	0.24	0.48
P	0.29	1	0.18	0.08	0.73	0.04	0.88	0.38	0.18	0.26	5.90E-04	0.48	0.13	0.82
K	0.15	0.14	1	0.02	1.20E-09	2.50E-03	0.38	0.07	0.01	0.01	5.90E-12	0.25	0.02	0.02
Ca	-0.09	0.19	-0.25	1	0.16	0.07	0.57	0.86	0.78	0.07	0.11	0.02	0.7	0.81
Mg	-0.30	0.04	-0.59	0.15	1	0.81	0.73	4.20E-05	1.60E-04	6.30E-06	0.40	8.30E-04	0.00	6.20E-05
S	0.20	0.21	0.32	-0.19	-0.03	1	0.02	0.43	0.22	4.10E-03	4.80E-07	0.16	0.30	0.87
Na	0.13	0.02	0.09	0.06	-0.04	0.25	1	0.32	0.45	1.30E-04	0.11	0.03	0.93	0.19
Fe	-0.04	0.10	-0.19	0.02	0.42	0.08	0.11	1	0.06	0.07	0.90	0.14	2.30E-04	0
Mn	-0.10	-0.14	-0.26	0.03	0.39	0.13	-0.08	0.20	1	4.40E-03	0.66	0.02	0.03	0.04
B	0.14	0.12	-0.26	0.20	0.46	0.30	0.4	0.19	0.30	1	0.54	0.42	3.00E-03	0.13
Cu	0.13	0.36	0.65	-0.17	-0.09	0.5	0.17	0.01	-0.05	0.07	1	0.45	0.14	0.86
Zn	-0.26	-0.08	-0.12	-0.25	0.35	0.15	0.22	0.16	0.26	0.09	0.08	1	0.05	0.02
Mo	-0.13	0.16	-0.24	0.04	0.74	0.11	0.01	0.38	0.23	0.31	0.16	0.21	1	6.30E-04
Al	-0.08	-0.02	-0.25	-0.03	0.41	-0.02	0.14	0.89	0.22	0.16	-0.02	0.25	0.36	1

COEFICIENTES DE PEARSON

Anexo 7: Distribución normal de las muestras según concentración foliar de cada nutriente



Continuación: Distribución normal de las muestras según concentración foliar de cada nutriente



Continuación: Distribución normal de las muestras según concentración foliar de cada nutriente

