

RELACIÓN SUELO-ÁRBOL Y FACTORES DE SITIO, EN PLANTACIONES JÓVENES DE TECA (*Tectona grandis*), EN LA ZONA OESTE DE LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ

Manuel Mollinedo*, Luis Ugalde^{1/}*, Alfredo Alvarado**,
Jean Mark Verjans***, Luis Carles Rudy***

Palabras clave: Calidad de sitio, acidez de suelos, teca, *Tectona grandis*, Canal de Panamá.

Keywords: Site quality, soil acidity, teak, *Tectona grandis*, Panama Canal.

Recibido: 07/12/04

Aceptado: 01/03/05

RESUMEN

Mediante la utilización de un muestreo factorial estratificado con 4 repeticiones (3x3x4) se seleccionaron 36 parcelas permanentes de medición en plantaciones de teca en la zona oeste de la cuenca del Canal de Panamá. En la estratificación se emplearon como criterios el incremento medio anual (IMA) en altura total y la pendiente del terreno. Como variables de sitio se analizaron el estado nutricional del suelo y la concentración foliar de plantaciones de teca hasta de 42 meses de edad, en las cuales se midió el incremento medio anual en altura, diámetro y volumen. Se encontró que, considerando el IMA en volumen, un 29% de las plantaciones se ubican en la clase de crecimientos bajos (2,9-4,3 m³ ha⁻¹ año⁻¹), un 59% en la clase de crecimientos medios (6,3-8,3 m³ ha⁻¹ año⁻¹) y un 12% (10,3-13,3 m³ ha⁻¹ año⁻¹) en la clase de crecimientos altos. Las principales variables que explican las diferencias en crecimiento fueron, el porcentaje de saturación de acidez, el cual debe ser <8%, y el porcentaje de saturación de Ca >40% para lograr los mejores valores de crecimiento de los árboles; este resultado es aún más evidente cuando solo se consideran los suelos con pH<5,5. El análisis de las concentraciones foliares indica que los valores de los diferentes elementos analizados se encuentran sobre el nivel de suficiencia. A partir

ABSTRACT

Soil-tree relationship and site factors in young teak (*Tectona grandis*) plantations in the Western zone of the Panama Canal. This study was carried out in approximately 3000 ha of teak, located in the Western zone of the Panama Canal, using a stratified sampling design (36 monitored permanent plots) for the analysis of tree growth. Plots of 42 months of age were stratified by mean annual total height increments and terrain slope. As site characteristics the nutritional status of the soil and foliar concentration of the trees were analysed, in addition to mean annual increments of height (MHI), diameter (MDBHI), and volume (MVI) of the trees. The sampling design allowed finding that 29% of plots is located in the lower growth class (2.9-4.3 m³ ha⁻¹ year⁻¹), while 59% is located in the middle growth class (6.3-8.3 m³ ha⁻¹ year⁻¹), and 12% belongs in the high growth class (10.3-13.3 m³ ha⁻¹ year⁻¹). The acidity saturation percentage and the Ca saturation percentage proved to be the most limiting factors for each yield and growth, which contributes to explain the condition related to the different growth classes. Optimal conditions were given when acidity saturation was less than 8% and when Ca saturation was more than 40%. This situation was even more evident with soils with pH <5.5. In regard to foliar condition, in

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: lugalde@catie.ac.cr

* CATIE. Apartado postal 7171, Turrialba, Costa Rica.

** Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica.

*** ECOFOREST. Apartado postal 32 Balboa, Ancón. Panamá, Panamá.

del procedimiento estadístico de regresión lineal por pasos y regresión lineal múltiple, se confeccionaron 2 modelos para la predicción del índice de sitio (IS) a partir de variables del suelo.

INTRODUCCIÓN

La primera importación de semilla de teca en Panamá con propósitos experimentales, fue recolectada en 1965 en Lampang, Norte de Tailandia e introducida al país en marzo de 1967 (CATIE 1997). Posteriormente, el proyecto Madeña estableció 2 rodales semilleros de teca entre los años 1988 y 1992, uno en Quebrada Culebra y el otro en Macaracas, Los Santos, aunque se detectaron otras áreas con potencial en Chiriquí, Veraguas y Colón, con el objetivo de evaluar su crecimiento (CATIE 1997). Según de Camino *et al.* (2002) en 1998 de las 225000 ha de plantaciones forestales en Centro América, el 57,5% se encontraba en Costa Rica, 32,2% en Panamá, 6,1% en El Salvador y 4,2% en Guatemala. Ugalde (2003) estima que actualmente habrá entre 150-200000 ha establecidas en América Tropical y la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM 2003) reporta 33013 ha solamente en Panamá.

En Panamá el establecimiento de plantaciones de teca se prevé que crezca en un 15% en la próxima década (de Camino *et al.* 2002), para lo cual es necesario preparar proyectos de prefactibilidad y considerar en ellos un componente de investigación. Para la Cuenca del Canal de Panamá los estudios llevados a cabo (Jonson 1989), demuestran que debe considerarse como alternativa compatible con el medio natural y socioeconómico, las alternativas de conservación y forestales orientadas al mejoramiento de la producción, dentro de otras, las cuales son ampliamente aceptadas por los ganaderos de la zona de influencia del canal y se apoyan en estudios como los de Vásquez (1999).

El interés del presente trabajo se centra en determinar la calidad de los sitios donde se ubican las plantaciones en Panamá, con el fin de conocer

general, the contents of the studied elements are located in a middle nutritional foliar class. Two models selected for on-site valuation by stepwise linear regression and multiple linear regressions were also developed.

el estado actual de las mismas y poder hacer inferencias para las futuras plantaciones y así poder orientar su establecimiento. Se utilizó la base de datos generada a través de una red de Parcelas Permanentes de Monitoreo (PPM) establecidas en plantaciones jóvenes de teca en Panamá y que proporcionan información base para la toma de decisiones posteriores y concernientes al manejo cultural y silvícola, utilizando la metodología del sistema Mirasilv (Ugalde 2003). De esta manera, también se evalúa la productividad y las relaciones del índice de sitio para conocer las variables edáficas y foliares, que permitan explicar las clases de crecimiento definidas en las PPM. Con la misma base de datos, se agrega la medición correspondiente de 10 ensayos de fertilización en ejecución y se estima el comportamiento y respuesta de la teca a los distintos tratamientos. Así, se plantearon como hipótesis: (1) la no existencia de diferencias significativas en cuanto a las clases de crecimiento definidas; (2) la no existencia de relaciones significativas entre los contenidos nutricionales en el suelo y foliares y (3) averiguar la existencia de diferencias entre los tratamientos en los ensayos de fertilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se ubica dentro del área revertida del Canal de Panamá, en una concesión otorgada por el Gobierno de dicho país para fines de reforestación. La edad de las plantaciones varía de 7-42 meses.

En el área de estudio existe una red de Parcelas Permanentes de Monitoreo (PPM) con un área promedio/PPM de 1000 m², establecidas de acuerdo a la metodología recomendada por Ugalde (2003) e instaladas a través de un muestreo exploratorio que consideró las diferentes

condiciones de sitio como, tipo de suelo, pendiente, drenaje y crecimiento, entre otros. La red contaba al momento de realizar la fase de campo, de un total de 188 PPM distribuidas en toda el área plantada, de las cuales, para el presente estudio, se consideraron 84 PPM con edades de 21-42 meses. En las PPMs se hacen mediciones anuales considerando las variables que se describen más adelante, como lo indica la metodología del sistema Mirasilv (Ugalde 2003). Como variables silviculturales se midió el Incremento Medio Anual (IMA) de la altura de los árboles dominantes (ALTDOM), la Altura Total de los Árboles (ALTOT), el Diámetro a la Altura de Pecho (DAP), el Área Basal (AB) y el Volumen de Madera del Árbol (VOL).

Las PPM se establecieron estratificando 3 niveles de condiciones de sitio utilizando la base de datos de mediciones anuales, según las variables incremento medio anual en altura total promedio (IMAAAltTot, $m \text{ año}^{-1}$) y la pendiente (%) del terreno y considerando los criterios de Vásquez y Ugalde (1995). Así, se escogieron 36 PPM (3 niveles de crecimiento x 3 tipos de pendiente x 4 repeticiones) completamente al azar, según se indica en el cuadro 1.

Para realizar los análisis de suelo, el muestreo se hizo en cada una de las 36 PPM en las cuales se ubicó una calicata de 1 x 1 m x 1 m en el centro de cada parcela. Se tomaron muestras en las paredes, considerando las siguientes profundidades: la primera de 0–20 cm, la segunda de 20–40 cm y una tercera de 40–60 cm.

El muestreo foliar se realizó en cada PPM estudiada y consistió en hojas de 5 a 10 árboles los dominantes y codominantes, ubicados en el centro de la parcela. La muestra en cada árbol

se tomó del tercio superior de la copa viva, iluminadas por completo y libres de daños o enfermedades. Ambas muestras (suelo y follaje) se enviaron a un laboratorio para su análisis químico y físico completo.

El análisis de laboratorio para las muestras de suelo se realizó en los laboratorios del Centro Agronómico Tropical de Enseñanzas e Investigación y consistió en la extracción con Olsen Modificado pH 8,5 (relación suelo-solución 1:10), para la determinación de K, P, Cu, Zn, Mn y Fe. La extracción en cloruro de potasio 1N (relación suelo-solución 1:10), para la determinación de Ca, Mg y acidez extraíble (o Al). El pH en agua (relación 1:2,5) y la materia orgánica a través del método de Walkley y Black. Así mismo, la textura por medio de la granulometría por el método de Bouyucos (Henríquez y Cabalceta 1999), con lecturas iniciales a los 40 s y finales a las 2 h. Las otras variables se derivaron de las fórmulas contenidas en la Guía para la Interpretación de Análisis de Suelo de Díaz-Romeu y Hunter (1978). El análisis de laboratorio para las muestras foliares se realizó utilizando la metodología de digestión húmeda con mezcla de ácidos nítrico-perclórico 5:1, determinándose en el extracto Ca, Mg, K, Zn, Cu, Mn y el Fe por absorción atómica y P por el método colorimétrico (Henríquez *et al.* 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estadístico del diseño de muestreo

Se encontró que entre los tratamientos (escenarios), todas las variables silvícolas

Cuadro 1. Valores de estratificación empleados en la definición de las clases de estratificación del presente estudio.

IMA- Altura total		Pendiente del terreno	
Clase (C)	$m \text{ año}^{-1}$	Clase (P)	(%)
Baja (CB)	Hasta 2,25	Baja (PB)	Hasta 15
Media (CM)	2,26-3,25	Media (PM)	15-30
Alta (CA)	Mayor a 3,26	Alta (PA)	Mayor a 30

alcanzaron probabilidades estadísticas altamente significativas ($p \geq 0,000$) en particular entre clases de crecimiento (Cuadro 2).

Variación en los niveles de pH

El valor de pH en los suelos de las parcelas bajo estudio varió entre 4,90 y 5,95, valores considerados como moderadamente ácidos. Al estudiar la variación del incremento medio anual en volumen (IMA Vol) en función del pH en los primeros 20 cm de suelo, se encontró que en las PPM con $\text{pH}=5,5$ el IMA Vol fue de $14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que cuando el pH era $>5,5$ los incrementos fueron $>20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El promedio de las clases de crecimiento se ubicó en $13,33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para la clase alta y el mejor sitio alcanzó $21,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Al considerar el efecto del pH a otras profundidades (20-40 y >40 cm), se encontró una mayor concentración de sitios por debajo del límite señalado (75% y 78%, respectivamente) y sitios característicos de crecimientos altos en pendientes bajas, medias y altas, 11 sitios a segunda y 8 a tercera profundidad, respectivamente (25 y 22%) en condiciones de un pH mayor al nivel definido.

Variación del porcentaje de saturación de acidez extraíble

En el presente estudio se encontró que un valor de saturación de acidez de 6,8% en suelos con pH hasta 5,5 limita el crecimiento en altura de la teca. Al considerar el IMAVol, el nivel se sitúa en 8%. La saturación de acidez fue utilizada por Alvarado y Fallas (2004) en suelos ácidos (hasta $\text{pH}=6$) del norte de Costa Rica, en donde encontraron que un valor $>5,8\%$ limita el crecimiento en altura de la teca, mientras que en Brasil, Oliveira (2003) considera este valor como de un 10%. Para lograr mayores incrementos en altura y en productividad, se requiere valores de saturación de acidez inferiores a los arriba mencionados. Si en el análisis se consideran sólo los sitios con $\text{pH} < 5,5$, se visualiza una disminución de la productividad y un aumento de la saturación de acidez con un aumento del

Cuadro 2. Variación de algunos parámetros silvícolas y de suelo (0-20 cm) en los sitios estudiados (los símbolos de tratamiento se describen en el cuadro 1).

Trats.	Sitios de crecimiento bajo						Sitios de crecimiento medio						Sitios de crecimiento alto					
	IMAVol	SatAcidezI	SatCal	pH	CaI	Trats.	IMAVol	SatAcidezI	SatCal	pH	CaI	Trats.	IMAVol	SatAcidezI	SatCal	pH	CaI	
CBPB	2,3	35,2	34,9	5,2	7,0	CBPB	6,3	4,9	57,6	5,3	20,9	CBPB	21,2	0,4	71,0	6,2	8,8	
CBPB	0,7	34,1	40,4	5,2	9,6	CBPB	5,4	14,9	52,0	5,2	5,1	CBPB	9,4	0,2	60,0	5,9	19,9	
CBPB	6,5	0,8	35,2	5,7	5,9	CBPB	6,9	0,9	65,9	5,5	10,1	CBPB	9,3	1,0	39,4	5,7	18,6	
CBPB	3,0	44,9	38,1	5,2	2,2	CBPB	7,5	2,6	51,3	5,4	17,4	CBPB	13,4	0,4	72,1	6,0	10,3	
CBPM	1,5	45,2	35,8	5,1	3,3	CBPM	7,5	0,5	64,4	5,7	8,7	CBPM	10,3	0,1	65,2	5,7	41,1	
CBPM	4,1	29,1	39,7	5,1	12,0	CBPM	8,8	0,4	63,9	6,1	8,8	CBPM	10,7	2,7	43,7	5,4	17,1	
CBPM	4,3	1,5	50,5	5,5	5,9	CBPM	6,7	0,6	72,7	5,7	37,9	CBPM	8,9	0,2	66,7	5,2	19,5	
CBPM	1,8	29,7	42,2	5,1	14,0	CBPM	10,4	7,7	60,8	5,0	5,8	CBPM	11,3	0,4	58,9	5,6	10,2	
CBPA	3,5	23,3	33,1	5,0	7,8	CBPA	5,1	7,2	39,6	5,2	7,7	CBPA	13,6	8,7	42,4	4,9	11,1	
CBPA	6,0	0,3	43,3	6,0	12,3	CBPA	3,6	0,4	53,9	5,9	7,6	CBPA	8,9	1,1	58,8	5,3	9,1	
CBPA	4,1	0,4	35,9	6,0	8,4	CBPA	10,8	0,6	52,9	5,6	12,1	CBPA	9,1	0,6	46,9	5,7	7,7	
CBPA	3,5	0,6	48,3	5,8	6,9	CBPA	5,9	0,6	60,5	5,7	7,3	CBPA	17,1	0,2	68,4	5,9	19,7	

valor r^2 , lo que hace que las variables expliquen aún mejor el efecto (Figura 1).

Variación de la concentración y del porcentaje de saturación de Ca

Para los sitios comparados, se encontró que se requieren al menos entre 8-10 $\text{cmol}(+)\text{l}^{-1}$ para alcanzar crecimientos medios a altos, aunque el crecimiento mejora si estos valores son mayores. Lo encontrado, concuerda con lo mencionado por Seth y Yadav (1959), quienes citan a varios autores que encontraron desde 1931 el efecto de la alta necesidad de Ca por los árboles de teca, así como el efecto de la alta saturación de bases en su distribución natural en los países de origen. También se corrobora lo reportado por Vázquez y Ugalde (1995) y Vallejos (1996), en el sentido de que la teca tiene requerimientos mínimos de 10 $\text{cmol}(+)\text{l}^{-1}$, inclusive en el rango de 4-23 $\text{cmol}(+)\text{l}^{-1}$ señalado por Montero (1999).

Si se considera sólo la profundidad de 0-20 cm, se nota que el porcentaje de saturación de Ca en los cuales se ubican los sitios con crecimiento alto y algunos medios es $\geq 58\%$, indicando que los suelos deberán tener de una saturación de Ca

$>40\%$, si se consideran como variables dependientes el IMA en altura total e IMAVol. Oliveira (2003) y Alvarado y Fallas (2004), encontraron que este valor debía partir de un 65%, para el caso de suelos ácidos en Brasil y del 67,5% para el norte de Costa Rica, teniendo como variable dependiente el IMA en altura total.

Crecimiento y productividad

En el cuadro 3, se observa el efecto de estratificar las PPMs según el IMA de la altura total según la clase de crecimiento sea baja (CB), media, (CM) o alta (CA), sin considerar el efecto de pendiente del sitio. Los sitios con mayor rendimiento y productividad, son los de menor edad y los que se aglutinan dentro del escenario con condiciones de crecimientos altos en pendientes bajas (CAPB). Si se considera sólo el valor promedio del porcentaje relativo del IMAVol, se observa (Figura 2), que dicho incremento es mayor en las PPMs de CM (59% y $7,06 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), intermedio en las PPM de CB (29% y $3,44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y muy inferior en las PPM de CA (12% y $11,93 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

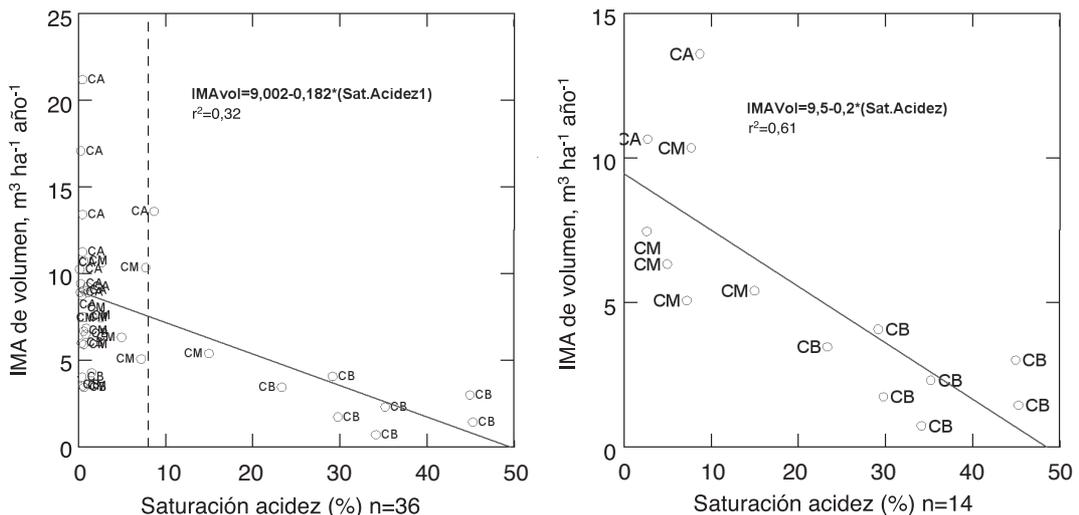


Fig. 1. Relación entre el IMAVol y el porcentaje de saturación de acidez extraíble, a 0-20 cm en todas las PPM (a) y en las PPM con $\text{pH} < 5,5$ (b).

Cuadro 3. Resumen de promedios por escenario y clase de crecimiento.

Pendiente	Índice Sitio	Edad	IMA					Referido
			ALTOT (m)	ALDOM (m)	DAP (cm)	AB (m ²)	VOL (m ³)	
Sitios de crecimiento bajo								
Baja (10)	12,90	39	1,73	2,33	1,98	0,43	3,16	24
Media (17)	12,35	40	1,71	2,29	1,94	0,44	2,90	22
Alta (23)	15,05	42	1,98	2,79	2,07	0,53	4,26	32
Promedio (21)	13,43	40	1,81	2,47	1,99	0,47	3,44	29
Sitios de crecimiento medio								
Baja (9)	15,15	36	2,63	3,41	2,72	0,65	6,53	49
Media (20)	15,83	36	2,90	3,63	2,95	0,79	8,34	63
Alta (38)	15,18	36	2,67	3,44	2,65	0,66	6,33	47
Promedio (22)	15,38	36	2,73	3,49	2,77	0,70	7,06	59
Sitios de crecimiento alto								
Baja (12)	16,45	29	3,96	4,55	3,90	1,03	13,33	100
Media (28)	18,78	31	3,62	4,43	3,56	0,87	10,28	77
Alta (39)	18,20	33	3,58	4,34	3,56	0,94	12,18	91
Promedio (27)	17,14	31	3,72	4,44	3,67	0,95	11,93	12

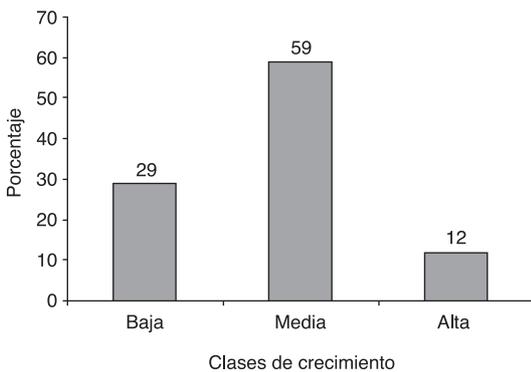


Fig. 2. Promedios de IMA en Volumen para las clases de crecimiento consideradas.

Diagnóstico nutricional de las plantaciones basado en el análisis foliar

La concentración foliar de todas las PPMs bajo estudio se ubica en el rango de suficiencia

definido por Dreshsel y Zech (1991) para plantaciones de edad similar a las del presente estudio en África y dentro del rango de concentraciones foliares mencionado por Montero (1999) para plantaciones de tecla de Costa Rica (Cuadro 4). Los contenidos siguen el orden $K > Ca > Mg > P$ y en el caso de los microelementos $Fe > Mn > Zn > Cu$, secuencias normales para la especie cuando se planta en condiciones de suelos fuertemente meteorizados, como los del presente estudio (Vázquez 1999).

Construcción de modelos para la predicción del índice de sitio

Para conocer cuáles variables explican las diferentes clases de crecimiento, se confeccionaron varios modelos cuya variable de respuesta es el índice de sitio (IS) a una edad base de 10 años (Vallejos y Ugalde 1998), mediante regresión lineal por pasos (stepwise) y regresión lineal

Cuadro 4. Concentración foliar de varios elementos en las plantaciones de teca estudiadas en Panamá (los niveles de suficiencia se refieren a los de Drechsel y Zech (1991) para plantaciones <5 años).

Estadístico	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe
	%				mg kg ⁻¹			
Promedio	0,99	0,34	1,33	0,15	12	28	62	113
Des. Est.	0,30	0,11	0,26	0,04	2	8	26	50
Niv. Suf.	0,72-2,20	0,20-0,37	0,80-2,32	0,14-0,25	10-25	20-50	50-75	58-390

múltiple. Los modelos estimados tanto para el IMAVol, como para el IS, alcanzaron los mejores coeficientes de determinación (r^2). El procedimiento incluyó las variables de sitio y las de suelo hasta 20 cm de profundidad en los sitios estudiados ($n=36$). De esta manera, los mejores modelos de regresión fueron los siguientes:

$$IS_{10} = 19,874 - 0,192 * (\text{Sat.Acidez}) - 0,150 * (\text{Sat.Ca}) + 3,238 * (\text{Ca/Mg}) \quad (r^2 \ 0,46)$$

$$\text{IMAVol} = 11,185 - 0,300 * (\text{Sat.Acidez}) - 0,194 * (\text{Sat.Ca}) + 5,874 * (\text{Ca/Mg}) \quad (r^2 \ 0,50)$$

Un segundo paso consistió en incluir como variables de sitio y suelo solo las que tenían un pH hasta 5,5 ($n=17$), lo que mejoró los valores de r^2 , según los siguientes modelos:

$$IS_{10} = 20,507 - 0,138 * (\text{Sat.Acidez}) - 0,081 * (\text{Sat.Ca}) \quad (r^2 \ 0,54)$$

$$\text{IMAVol} = 17,752 - 0,325 * (\text{Sat.Acidez}) - 0,262 * (\text{Sat.Ca}) \quad (r^2 \ 0,56)$$

Sobresale el hecho de que en ambos casos, las únicas variables edáficas que ayudaron a explicar el comportamiento del IS_{10} y del IMAVol fueron el porcentaje de saturación de acidez y el de saturación de Ca, aunque cuando se consideró toda la población de suelos estudiada, también influyó la relación Ca/Mg. Con los modelos que predicen el valor del IS_{10} , se encontró que en promedio, se puede estimar dicho valor con una diferencia del 13%, sustituyendo los valores de tales variables de otros sitios. Estos modelos

consideran solamente variables de suelo y estiman la productividad en función de las condiciones propias de sus variables químicas y son válidos para las condiciones del presente trabajo. Otros investigadores tendrán la responsabilidad y el criterio de utilizarlas y de interpretarlas para sus condiciones de trabajo.

Necesidades de encalado

Se pueden utilizar varias fórmulas para calcular las necesidades de cal de la teca (Oliveira 2003, Alvarado y Fallas 2004), basadas en la necesidad de neutralizar la acidez del suelo hasta el nivel de tolerancia de la especie (en el caso particular teca). En Brasil, Oliveira (2003), encontró un 10% como valor máximo de saturación de Al para la teca, un mínimo de 2,5 cmol (+) Ca+Mg l⁻¹ y una saturación de bases del 65%. En Costa Rica, Alvarado y Fallas (2004) encontraron que para optimizar el crecimiento de la teca, debe neutralizarse la saturación de acidez hasta valores cercanos al 3%.

Según los valores mencionados, de los 36 sitios estudiados solo 6 sitios necesitan aplicaciones de cal de hasta 6,40 t ha⁻¹, sin olvidar que tales aplicaciones deben ser espaciadas y que por lo tanto es técnicamente factible realizar 2-3 aplicaciones, dependiendo de la forma de aplicar el producto. En el caso de sitios con pH<5,5 ($n=17$), 11 de ellos tienen concentraciones de acidez extraíble que sobrepasan 1,5 cmol(+)⁻¹, nivel máximo que sería el recomendable para reducir de acuerdo con Berstch (1995).

Se recomienda la instalación de ensayos donde se establezcan tratamientos en forma

similar a lo probado por Alvarado y Fallas (2004) quienes reportan que la adición de cal agrícola seguida de una aplicación de fertilizante químico, elevó en un 216% el IMA en altura total de árboles de teca en la zona norte de Costa Rica. Esto es en principio una sugerencia, a lo cual debe sumársele una sugerencia técnica, la cual consiste en recomendar la instalación de ensayos de aplicación en dosis, épocas, frecuencias, de acuerdo a otras experiencias y con base principalmente a los mejores tratamientos emanados de una evaluación en ensayos de fertilización en la misma área de estudio.

CONCLUSIONES

- El diseño experimental empleado permitió identificar las diferencias en desarrollo de las plantaciones jóvenes de teca en cuanto a su crecimiento y productividad.
- Se confirma la condición “basófila” de la teca, dada su dependencia en especial en sitios con $\text{pH} < 5,5$, requiriendo cantidades mayores a $8\text{-}10 \text{ cmol (+) Ca l}^{-1}$.
- El porcentaje de saturación de acidez y el porcentaje de saturación de Ca, respectivamente, indican que la teca en plantaciones hasta 42 meses, prefiere suelos con saturación de acidez $< 8\%$ y saturaciones de Ca $> 40\%$.
- La variable pendiente (inclinación del terreno) y el grado de pedregosidad, indican que la mayoría de los sitios analizados, tienen un desarrollo aceptable. Sin embargo establecer plantaciones en categorías mayores a 40% de pendiente, podría inducir a la degradación de los suelos, especialmente en sitios con estructuras más susceptibles a la erosión. Es necesario mantener un manejo apropiado, que permita mantener el crecimiento de cierto sotobosque, para reducir los problemas de erosión por escorrentía superficial.
- En el 64% de los casos, la fertilidad alta de los suelos estuvo ligada a un amplio rango de crecimiento incluyendo los medios a altos, aunque estadísticamente el coeficiente de determinación no fue lo suficientemente aceptable.
- Solamente el Ca foliar tuvo una correlación positiva con la variable pH, en las 3 profundidades estudiadas, la suma de bases a la primera profundidad del suelo (0-20 cm), y con las relaciones Ca/Mg y Mg/K a una profundidad mayor de 40 cm.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO A., FALLAS J.L. 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.
- ANAM. 2003. Estadísticas actualizadas de plantaciones forestales en la República de Panamá. Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá. Sitio web <http://www.anam.gob.pa/Sif%202002/plantacione%20forestales.htm>
- BERTSCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- CALDERÓN J.J. 2001. Evaluación económica de árboles y bosquetes remanentes dentro de plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en la cuenca del canal de Panamá. Tesis Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 78 p.
- CATIE. 1997. Resultados de 10 años de investigación silvicultural del proyecto MADELEÑA en Panamá. Luis A. Ugalde Arias (ed). Turrialba, CR. Serie Técnica no. 293. 133 p.
- de CAMINO R.V., ALFARO M.M., SAGE L.F.M. 2002. Teak (*Tectona grandis*) in Central America. Ed. Forest plantation working papers # 19. Forest resources development service, forest resources division. FAO, Rome (*unpublished*).
- DÍAZ-ROMEY R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejidos vegetales e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 61 p.
- DRECHSEL P., ZECH W. 1991. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular review. *Plant and Soil* 131: 29-46.

- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con enfoque agrícola. San José, Costa Rica. ACCS. 111 p.
- HENRÍQUEZ C., BERTSCH F., SALAS R. 1995. Fertilidad de suelos: manual de laboratorio. San José, Costa Rica. ACCS. 64 p.
- HERRERA B., ALVARADO A. 1998. Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. San José, CR. *Agronomía Costarricense*. 22(1): 99-117 p.
- JONSON O.J. 1989. Alternativas para la conservación de la micro cuenca del Río Gatuncillo, en el contexto de la planificación del manejo de la cuenca del Canal de Panamá. 1989. Tesis Magíster Sciential, CATIE. Turrialba Costa Rica. 250 p.
- MONTERO M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinatum* (Jacq), Dugand, en Costa Rica. Tesis Magister Scientiae. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 111 p.
- OLIVEIRA J.R.V. 2003. Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem de povoa-mentos de teca- NUTRITECA. Tesis Maestria. Viçosa, Brasil, Universidad Federal de Viçosa. 79 p.
- SETH S.K., YADAV J.S.P. 1959. Teak soils. *Indian Forester* 85(1):2-16.
- UGALDE L. 2003. Sistema de manejo de información arbórea y silvicultural -*Mirasilv*-. CATIE, Turrialba. 35 p.
- VÁSQUEZ A. 1999. Estudio semidetallado de suelos y determinación de la capacidad de uso de las tierras (Globo Sur, Central y Norte). ECOS, Panamá. San José, Costa Rica. 75 p.
- VÁSQUEZ W., UGALDE L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Serie Técnica no. 256. Convenio de Cooperación entre el Proyecto MADELEÑA 3/Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO/HOLANDA). 33 p.
- VALLEJOS O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq), Dugand y *Gmelina arborea* Roxb, en Costa Rica. Tesis Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, CR. 147 p.
- VALLEJOS O., UGALDE L. 1998. Índice de sitio dasométrico y ambiental para *Tectona grandis* L.f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. creciendo en Costa Rica. In: Primer Congreso Latinoamericano, El manejo sustentable de los recursos forestales, desafío del siglo XX. Valdivia, Chile, 22 al 28 de noviembre.

