

EFECTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN ALGUNAS PROPIEDADES DE LA MADERA DE TECA (*TECTONA GRANDIS*)¹

Róger Moya², Victor Arce L.³, Ernesto Gonzalez P⁴, Carlos Olivares G⁵ e Vinicio Rios G.⁶

RESUMEN – Fue estudiado el efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre algunas propiedades de la madera de *Tectona grandis* en un total de 23 plantaciones entre 7 y 15 años de edad ubicadas en la parte norte y noroeste de Costa Rica, la cual presentan dos tipos de climas (tropical seco y tropical húmedo) y cubriendo una variedad de fertilidad de suelos. Los análisis del suelo consistieron del estudio de las propiedades físicas (porcentaje de arcilla, limo y arena, densidad aparente, porcentaje de retención de agua y agua útil, retención a 15 Bar y 0.33 Bar) y propiedades químicas (pH, acidez y contenido de Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe y Mn). La contracción normal tangencial y radial fueron las propiedades más correlacionadas con las características del suelo, seguido del porcentaje de duramen, medula y corteza y contenido de humedad en verde. La propiedad menos correlacionada fue el peso específico básico, en tanto que la contracción volumétrica no fue correlacionada con ninguna propiedad del suelo. Los coeficientes de correlación fueron altamente significantes ($\alpha=0,05$), sin embargo bajos valores fueron encontrados ($<0,67$), probablemente influenciado por la amplia variedad de condiciones de clima y tipo de suelos presentes en el estudio. Las propiedades del suelo (físicas y químicas) no presentan grandes influencias en las propiedades de la madera de teca. Ello permite inferir, que la gran variedad de suelos existente en Costa Rica son susceptibles para la reforestación comercial sin detrimento de las propiedades de la madera.

Palabras-claves: Corteza, Duramen, Médula, Peso específico, Contracciones y Calidad de madera.

EFEITO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM ALGUNAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE TECA (*TECTONA GRANDIS*)

RESUMO – Estudou-se o efeito das propriedades físicas e químicas do solo em algumas propriedades da madeira de *Tectona grandis* oriundas de plantações entre 7 e 15 anos de idade, localizadas nas regiões Norte e Noroeste da Costa Rica, as quais apresentam dois tipos de clima (tropical seco e tropical úmido) e com grande variedade de fertilidade de solo. As análises do solo consistiram no estudo de suas propriedades físicas (porcentagem de argila, limo e areia, densidade aparente, porcentagem de retenção de água e de água útil, retenção 15 Bar e 0,33 Bar) e propriedades químicas (pH, acidez e conteúdo de Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe e Mn). As contrações tangenciais e radiais foram as propriedades da madeira mais correlacionadas com as características do solo, seguidas da porcentagem de cerne, medula e casca e teor de umidade na condição verde. A propriedade de menor correlação foi a densidade básica, enquanto a contração volumétrica não foi correlacionada com nenhuma propriedade do solo. Os coeficientes de correlação foram altamente significativos ($\alpha = 0,05$), embora baixos valores ($<0,67$) foram encontrados, provavelmente influenciados pela ampla variedade das condições de clima e de solo amostrados. As propriedades físicas e químicas do solo não apresentaram influência expressiva nas propriedades da madeira de teca. Assim, apesar da grande variedade de solos existente na Costa Rica, a Teca pode ser cultivada comercialmente em todos eles sem que ocorram grandes variações nas propriedades da madeira.

Palavras-chave: Casca, Cerne, Medula, Densidade básica, Contrações e Qualidade de madeira.

¹Recebido em 20.11.2007 e aceito para publicação em 25.08.2010.

²Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. E-mail: <rmoya@itcr.ac.cr>.

³Precious Wood Centroamérica S.A., Costa Rica. E-mail: <victor.arce@preciouswoods.co.cr>.

⁴Grupo ECODIRECTA. Costa Rica. E-mail: <ernestogp@ecodirectacr.com>.

⁵Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. E-mail: <colivares@itcr.ac.cr>.

⁶Panamerican Woods S.A., Costa Rica. E-mail: <vrios@panamericanwoods.com>.

1. INTRODUCCIÓN

La *Tectona grandis* Linn F. esta siendo plantada en grandes extensiones de algunos países tropicales de América Latina, Asia, África y Oceanía, abarcando alrededor de 6 millones de hectáreas (FAO, 2006). En las plantaciones son utilizado condiciones de rápido crecimiento y alta producción, a través de la utilización de espaciamientos adecuados, material genéticamente mejorado o el manejo intensivo (PÉREZ y KANNINEN, 2005). No obstante, el afán de incorporar sitios a la producción forestal esta llevando a que muchos reforestadores localicen sus plantaciones en suelos ácidos, pobres en nutrientes, distróficos y de baja capacidad de retención de agua (WEBB et al. 2006), dando como resultado una baja productividad o bien incurrir en mayores costos de producción por la incorporación de los nutrientes faltantes a través de la fertilización (ALVARADO, 2006).

Las características físicas y químicas del suelo influyen directamente sobre el crecimiento de los árboles en plantaciones forestales (BARROSO et al., 2005) y por supuesto en la calidad de la madera. En la literatura es frecuente encontrar las relación de las características físicas y químicas del suelo sobre la tasa de crecimiento y sobre la acumulación de las biomasa (MEKONNEN et al., 2006). No obstante, estudios sobre los efectos en las propiedades de la madera aún son escasos (RIGATTO et al., 2004). Sin embargo, algunas investigaciones de otras regiones diferentes a América muestran la relación entre las características del suelo con la calidad de la madera (ZOBEL y VAN BUIJTENEN, 1989).

Algunos estudios muestras los efectos de las características físicas y químicas del suelo sobre el crecimiento de los árboles en plantaciones para la teca. Por ejemplo, Alvarado y Fallas (2004), reportaron que para valores de pH menor a 6, el crecimiento de los árboles se reduce en un 3%, en tanto que cuando el nivel de calcio es superior a 68% se tiene un buen crecimiento de los árboles. Ugalde et al. (2005) nuevamente confirmó esto en plantaciones de Panamá. Por su parte, Alvarado et al. (2004) encontró que el nivel de pH altera los niveles de micronizas de las raíces, afectando el crecimiento de los árboles. En relación a la variación de las propiedades de la madera de teca por la variación de las características físicas y químicas del suelo los trabajos son escasos. Generalmente se

encuentran estudios referidos a diferentes sitios, no obstante ello significa procedencias geográficas. Bhat y Priya (2004) estudiaron las diferencia en las características anatómicas para diferentes clones de teca en diferentes sitios. Bhat y Florence (2003) determinaron la durabilidad para diferentes sitios. Kokutse et al. (2004) encontró que el porcentaje de duramen, la densidad, el modulo de elasticidad dinámico y el contenido de humedad es dependiente del sitio donde se desarrollo el árbol o la plantación.

Por los pocos trabajos orientados en plantaciones de teca a conocer el efecto en la composición física y química del suelo, es que el presente trabajo tiene como objetivo mostrar las variaciones que se producen en algunas características de la madera de teca (porcentaje de albura, de corteza y de médula, el peso específico, la densidad verde, el contenido de humedad verde y las contracciones tangencial, radial y volumétrica) en plantaciones jóvenes de rápido crecimiento por las variaciones en las propiedades físicas y químicas del suelo en la parte norte y noroeste de Costa Rica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

En el presente estudio fueron seleccionadas 23 plantaciones con edad entre los 7-15 años de edad en la parte norte (Zona norte) y noroeste (Pacífico norte) de Costa Rica. Dos condiciones de clima están presentes en esas regiones: clima tropical seco y clima tropical húmedo. La zona Pacífico Norte (de clima tropical seco) presenta una precipitación anual de 1 500 a 2 000 mm y una temperatura media de 25 a 28 °C con una estación seca bien definida de Diciembre a Abril. La Zona norte, de clima tropical húmedo, posee una precipitación media al año de 2 800 a 5 000 mm, temperatura media de 20 a 25 °C con una estación seca muy corta de Febrero a Marzo.

2.2. Plantaciones muestreadas

Las 23 plantaciones correspondían a 3 diferentes empresas ubicadas en la región de estudio y establecidas en sitios de diferente fertilidad. Las plantaciones presentaban densidades entre 160-580 árboles por hectárea. Las condiciones dasométricas de la plantación fueron medidas de parcelas permanentes de medición que poseen las diferentes empresas (Tabla 1).

Tabla 1 – Condiciones de las plantaciones de teca muestreadas en la Zona Norte y Pacífico Norte de Costa Rica.
Tabela 1 – Condições dos plantios de teca amostrados na Zona Norte e Pacífico Norte da Costa Rica.

Numero de plantación	Edad (años)	Latitud(N)	Longitud(O)	Altura total(m)	Diámetro a la altura del pecho(cm)	Densidad de plantación (n ha ⁻¹)	Área basal (m ² ha ⁻¹)
1	14	N10°45'42"	W84°27'15"	25,80	25,60	264	13,59
2	14	N10°45'35"	W84°27'41"	16,90	16,90	226	5,07
3	14	N10°48'43"	W84°26'20"	22,10	25,30	264	13,27
4	14	N10°48'52"	W84°25'59"	15,50	16,30	245	5,11
5	7	N10°51'21"	W84°29'54"	18,07	19,90	396	12,32
6	7	N10°51'16"	W84°30'19"	14,89	15,34	377	6,97
	14	N10°59'03"	W84°45'04"	19,10	22,30	188	7,34
8	14	N10°59'09"	W84°45'05"	18,10	25,40	151	7,65
9	9	N10°58'46"	W84°44'45"	16,13	19,37	318	9,37
10	11	N11°05'24"	W85°27'36"	17,70	21,30	300	10,69
11	11	N11°04'48"	W85°27'00"	15,90	18,90	440	12,34
12	10	N11°06'36"	W85°28'12"	18,00	22,50	440	17,49
13	10	N11°06'00"	W85°28'12"	15,00	18,90	520	14,59
14	8	N11°12'00"	W85°35'24"	13,10	17,80	580	14,43
15	8	N11°12'00"	W85°36'00"	16,50	21,10	500	17,48
16	10	N11°11'24"	W85°37'48"	14,10	18,70	460	12,63
17	10	N11°11'24"	W85°37'12"	19,10	25,10	320	15,83
18	15	N11°09'36"	W85°41'24"	22,50	26,50	300	16,55
19	15	N11°09'00"	W85°41'24"	21,60	24,20	320	14,72
20	13	N09°50'49"	W85°10'52"	23,20	25,40	172	8,70
21	13	N09°50'18"	W85°11'02"	23,30	27,40	160	9,40
22	15	N09°49'19"	W85°14'40"	22,00	23,20	328	13,90
23	15	N09°49'56"	W85°14'32"	22,10	24,20	338	15,50

2.3. Estudio de suelo

En un lugar con las condiciones promedio y próximas a las parcelas permanentes de medición, se estableció una calicata de 1 x 1 x 1 m para su descripción y obtención de las muestras para el estudio físico y químico del suelo. Dentro de la calicata fueron determinados y medidos los diferentes horizontes. En los 3 primeros horizontes fueron obtenidas muestras de suelo para el análisis de textura y químico. La determinación de la textura, que comprende la determinación del porcentaje de arcilla, limo y arena, retención a 15 bares y retención a 0.33% bares se realizaron acuerdo a la metodología de Forsythe (1985). Los análisis químicos del primer horizonte se realizó usando las metodologías descritas por Briceño y Pacheco (1984), Bertsch (1986) y Diaz-Romeu y Hunter (1978) comúnmente utilizado en Costa Rica para el análisis químico de suelos. En la determinación de acidez intercambiable en cmol(+)/L, concentración en cmol(+)/L de calcio (Ca) y magnesio (Mg) se utilizó cloruro de potasio (KCl) como extractante, mientras que para la cuantificación de concentración en mg/L de fósforo (P), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), y zinc (Zn) y en la concentración en cmol(+)/L de potasio

(K) se utilizó en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Análisis 300. La medición de pH en agua, en relación al suelo una solución de 1:2.5. La capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE) en cmol(+)/L se mide por espectrofotometría de AA (CIA-SC09-01-02-2005) y la saturación de la acidez (SA) fue determinado por la acidez intercambiable/CICE expresado porcentualmente.

2.4. Árboles muestreados y propiedades de madera

Próximo a la calicata fueron cortados 3 árboles con el diámetro promedio, sin torceduras, con ramas normales y sin presencia de daños. Un disco fue cortado al diámetro del la altura del pecho, equivalente a 1,13 m, y colocado en bolsas de poliestireno para mantener la humedad de la madera. Sobre este disco fue determinado el porcentaje de duramen, corteza y médula. El diámetro total, el diámetro sin corteza y el diámetro duramen y de la medula fue calculado con el promedio de las mediciones del estos diámetros en la dirección nortesur y este-oeste. El espesor de la corteza fue establecida por la diferencia entre el diámetro total y el diámetro sin corteza. El porcentaje de duramen, corteza y medula

fueron determinados por la relación existente entre el área de esos tejidos y el área total de la sección transversal del disco. Posteriormente, de ese mismo disco fueron determinadas: contracción radial, tangencial y volumétrica (normal, de verde a seca al aire, y total, de verde a seca al horno), densidad en condición verde, contenido de humedad en verde y el peso específico (básico y seco al aire) acorde con ASTM D-143 (ASTM, 2003). La forma de cortar el disco para las diferentes propiedades de la madera es mostrado en Figura 1. Posteriormente las muestras fueron acondicionadas a una temperatura de 65% de humedad relativa y 22 °C en temperatura (condición seca al aire), posteriormente las muestras fueron secadas en horno a 105 °C por 24 hrs. En ambas condiciones las muestras fueron pesadas y determinado su volumen.

2.5. Análisis estadístico

Primeramente se aplicó una matriz de correlación de Pearson entre las propiedades de la madera, con el fin de establecer cuáles propiedades de la madera

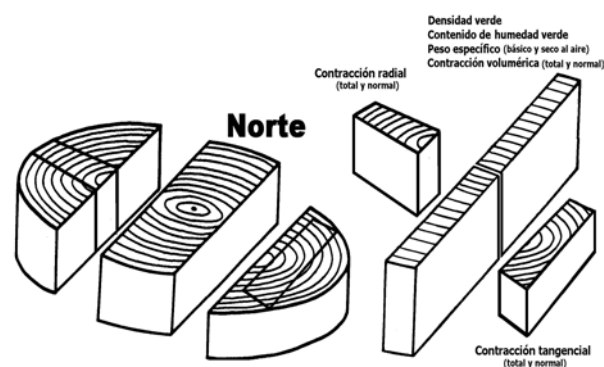


Figura 1 – Forma de obtener las muestras en la determinación de las propiedades físicas.

Figura 1 – Obtenção das amostras para determinação das propriedades físicas da madeira.

considera otras propiedades de la misma (Tabla 2) y posteriormente fueron sometidas nuevamente a un análisis de correlación de Pearson con las propiedades físicas y químicas del suelo. Así también fue considerado

Tabla 2 – Coeficientes de correlación de Pearson estadísticamente significativos ($\alpha = 0,05$) entre las propiedades de la madera en *Tectona grandis* (N = 67).

Tabla 2 – Coeficientes de correlação de Pearson estatisticamente significativos ($\alpha = 0,05$) entre as propriedades da madeira em *Tectona grandis* (N = 67).

	CTN	CRN	CTT	CRT	CVN	CVT	PEB	PE ₁₂	PE _O	D ₁₂	DV	CH	PD	PM	PC
CTN	1														
CRN	0,60**	1													
CTT	0,95**	0,47*	1												
CRT	0,45*	0,92**	0,33*	1											
CVN	-	-	-	-	1										
CVT	-	-	-	-	0,93**	1									
PEB	-	-	-	-	-	-	1								
PE ₁₂	-	-	-	-	0,35*	0,27*	0,91**	1							
PE _O	-	-	-	-	0,39*	0,25*	0,90**	0,99**	1						
D ₁₂	-	-	-	-	0,36*	0,28*	0,90**	1**	0,99**	1					
DV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1				
CH	-	-	-	-	-	-	-0,79**	-0,71**	-0,69**	-0,69**	0,41*	1			
PD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
PM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
PC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,36*	-	1

Nota: ** Estadísticamente significativa en 99%; * estadísticamente significativa 95%; CTN: contracción tangencial normal, CRN: contracción radial normal, CTT: contracción total tangencial, CRT: contracción total radial, CVN: contracción volumétrica normal, CVT: contracción volumétrica total, PEB: peso específico básico, PE₁₂: peso específico al 12% de contenido de humedad, PBO: peso específico seco al horno, D₁₂: densidad al 12% de contenido de humedad, DV: densidad verde, CH: contenido de humedad en condición verde, PD: porcentaje de duramen, PM: porcentaje de medula y PC: porcentaje de corteza.

Nota: ** Estatisticamente significativa a 99%. * Estatisticamente significativa a 95%. CTN: retração tangencial normal; CRN: contração radial normal; CTT: contração tangencial total; CRT: retração radial total; CVN: retração normal; CVT: retração PEB total; basic gravidade específica; PE12: massa específica em 12% de umidade; PBO: massa seca forno específico; D12: densidade a 12% de umidade; DV, densidade a verde; CH: teor de umidade condição verde; PD: percentagem de cerne; PM: percentagem de osso; e PC: percentagem de casca.

en este análisis las condiciones de la plantación ya que fueron muestreados una variedad de condiciones en las plantaciones muestreadas (Tabla 3). Una vez establecida cuales propiedades del suelo influyen las propiedades de la madera, fue utilizado un análisis de regresión múltiple de tipo “forward stepwise” con el fin de establecer cuales de las afectan en mayor porcentaje la propiedad de la madera (Tabla 4). Finalmente fueron construidos superficies de respuesta de tipo polinomial entre la característica de la madera y las dos variables principales de la plantación o del suelo (Ecuación) con el fin de dar un soporte grafico de la importancia de la interacciones de las variables (Figura 2).

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_1^2 + B_4X_2^2 + B_5X_1X_2 + \varepsilon \quad (1)$$

Donde: B_0 : Intercepción, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 : coeficientes de la superficie de respuesta y ε : error

3. RESULTADOS

3.1. Correlación entre las propiedades de la madera

Fue encontrado que muchas de las características de la madera están correlacionadas entre ellas (Tabla 2). Las contracciones (tangencial, radial, y volumétrica) normales están correlacionadas con las contracciones

Tabla 3 – Coeficientes de correlación de Pearson entre las características de la madera y las condiciones de la plantación y las características físicas y químicas del suelo.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as características da madeira e as condições dos plantios e as características físicas e químicas do solo.

	Parámetro	PEB	CTN	CRN	CVN	DV	CH	PD	PM	PC
Características físicas del suelo	Profundidad		0,467**	-						0,355*
	Prof-efectiva		0,440**	0,353**		0,294*				
	Ret. (0.33)		-0,376**					0,336*		
	Ret. (15)		0,3893**						-0,2688*	
	Agua útil		-0,651**	-0,345*			-0,294*			0,298*
	Den. suelo		0,331*							-0,406**
	% arena									
	% limo			0,530**	0,360**		0,439**			-0,325*
% arcilla	-0,298*					-0,387**			0,302*	
Características químicas del suelo	pH		-0,253*			0,242*	0,389**			
	acidez			-0,250*					0,355**	
	Ca		0,495**	0,244*					-0,366**	-0,243*
	Mg		0,505**	0,249**					-0,265*	-0,267*
	K			0,289*		0,433**			-0,244*	
	CICE		0,510*	0,248*					-0,337**	-0,265*
	SA			0,253*					0,259*	
	P		-0,669**	-0,518**						0,296*
	Zn					0,279*	0,371**			
	Cu	-0,255*					0,315**	0,266*		
	Fe		-0,630**	-0,354**						
Mn		-0,340**	-0,339**						0,261*	
Característica de la plantación	Edad	0,297*						0,508**	-0,409**	
	Altura	-0,246*					0,301*	-0,471**		
	DAP							0,501**		
	Tasa de crec.	-0,324**					0,336**	-0,246*	0,258*	
	A basal							0,553**	-0,253*	-0,317*
Den-plant		0,400**				0,300*	0,369**		-0,258*	

Nota: Los espacios con “-” la relación no fue significativa, por lo que no fue colocado sus valores.

** Estadísticamente significativo en 99%; * estadísticamente significativo 95%; y ver detalle en la tabla 2 para la simbología de letras. Ret: retención; Den.: densidad; crec: crecimiento.

Nota: Nos campos com “-” a relação não foi significativa e, portanto, não foi colocado os seus valores.

*** Estatisticamente significativo a 99%. * Estatisticamente significativo a 95% e veja detalhes na Tabela 2 para o simbolismo das cartas. Ret: retenção, Den.: Densidade, o crescimento: o crescimento.*

Tabla 4 – Análisis de regresión múltiple stepwise entre las propiedades de la madera y las características físicas y químicas del suelo.

Tabela 4 – Análises de regressão múltipla “stepwise” entre as propriedades da madeira de teca e as características físicas e químicas do solo.

Propiedad de madera	1 ^{er} parámetro	2 ^{do} parámetro	3 ^{er} parámetro	4 ^{to} parámetro
Peso específico básico**	Tasa**0,150 ²	Cu**0,132		
Múltiple R= 0,538 ¹				
Contracción normal tangencial **	P**0,423	Agua útil**0,097	Den-plant*0,054	Mg*0,038
Múltiple R= 0,783				
Contracción normal radial**	P**0,181	Mg**0,183	pH*0,057	K*0,053
Múltiple R=0,688				
Densidad verde**	K*0,198			
Múltiple R=0,445				
Contenido de humedad verde**	Tasa**0,141	Cu**0,081		
Múltiple R=0,471				
Porcentaje de duramen**	DAP**0,306	Edad*0,059		
Múltiple R=0,605				
Porcentaje de médula**	Edad**0,167	Ca**0,17	SA*0,053	
Múltiple R=0,625				
Porcentaje de corteza**	Den-plant**	Prof-efectiva*		
Múltiple R= 0,467	0,165	0,059		

** Estadísticamente significativa en 99%; * estadísticamente significativa 95%; y ver detalle en la tabla 2 para la simbología de letras.

1: Coeficiente de correlación múltiple (R) de todas las variables involucradas

2: Aporte de la variable indicada al coeficiente de regresión múltiple (R²).

** Estatisticamente significativa a 99%. * Estatisticamente significativo a 95% e veja detalhes na Tabela 2 para o simbolismo das cartas.

1: coeficiente de correlação múltipla (R) de todas as variáveis envolvidas.

2: Contribuição da variável dado o coeficiente de regressão múltipla (R²).

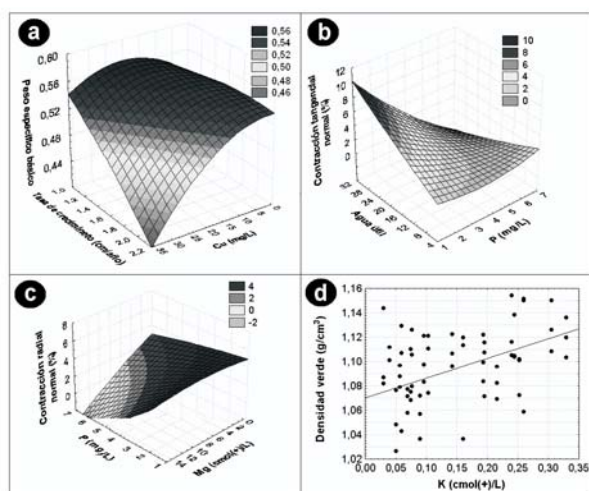


Figure 2 – Superficie de respuesta para el peso específico básico, contracción tangencial y radial normal y la densidad verde en relación a las variaciones de las condiciones físico-química de suelo.

Figura 2 – Superfície de resposta para o peso específico básico, contração tangencial e radial normal e densidade em verde em função das variações das condições físicas e químicas do solo.

totales y el peso específico básico con los otros valores de peso específico, con la densidad verde y con el contenido de humedad. También se encontró que el porcentaje de duramen, medula y corteza no fueron correlacionados con las contracciones, peso específico, la densidad o el contenido de humedad. Entre ellos, solamente se determinó correlación significativa entre el porcentaje de duramen y porcentaje de corteza (Tabla 2).

3.2. Relación entre las propiedades de la madera y las características del suelo

Las contracción tangencial y radial y los porcentajes de médula y corteza fueron las características más afectados estadísticamente por las características físicas y químicas del suelo, seguido de la densidad verde, contenido de humedad y porcentaje de duramen (Tabla 3). Los parámetros menos afectados por las características del suelo fueron la densidad y contenido de humedad en verde y el porcentaje de duramen. La contracción volumétrica normal no presentó ningún tipo de relación con las características del suelo. Es importante de destacar

es que pesar que se presentan correlaciones altamente significativa ($\alpha=0,05$), los coeficiente de correlación de Pearson en la mayoría de los casos son bajos, inferior a 66,9% (Tabla 3), ello quizás influenciado a la gran variedad de condiciones de climas y plantaciones muestreadas.

Los análisis de regresión múltiples “stepwise” mostró que, a pesar que muchas de las características de la madera presentaron correlaciones estadísticamente significativas con las características físicas o químicas del suelo, pocas propiedades del suelo aportan significativamente variación en las propiedades de la algunas de la madera (Tabla 4). No obstante, en casi todas las propiedades de la madera, alguna condición de la plantación afecta la propiedad de la madera, como por ejemplo en el peso específico básico, contracción tangencial normal, contenido de humedad, entre otras (Tabla 4). Los coeficiente de correlación (R) para los diferentes modelos de regresión se encontraron en algunos casos fueron inferior a 0,50 y en otros superior a 0,60. Los bajos valores encontrados de R, confirma nuevamente que las variaciones en las propiedades de la madera no pueden ser explicados en su totalidad por las características las condiciones físicas o químicas del suelo y que otros factores no considerados pueden estar influenciando en ellos tales como la genética, el tipo de manejo, meses secos en el año, precipitación entre otros.

Las propiedades del suelo aportan diferente variación en cada una de las propiedades de la madera. En el peso específico básico la variación puede ser atribuida a las variaciones de tasa de crecimiento del árbol (15,0%) y la cantidad de Cu en el suelo (13,2%). En variación de la contracción normal tangencial al contenido de P en el suelo (42,3%) y el porcentaje de agua útil en el suelo (9,7%). En variación de contracción radial se debe a la variación del contenido de P (18,1%) y Mg (18,3%). La variación de la densidad verde solamente puede ser explicada por el contenido de K (19,8%). El contenido de humedad de la madera verde por la variación de tasa de crecimiento del árbol (14,1%) y el contenido de Cu en el suelo (8,1%). La variación del porcentaje de la albura no se encontró que alguna propiedad física y química del suelo influyera en esta característica de la madera, ya que solamente fue afectada por el DAP en un 30,6% y la edad del árbol en 5,6%. La variación del porcentaje de medula es atribuida a la variación de edad (16,7%) y el contenido

de Ca en el suelo (17,0%). Finalmente, la variación del porcentaje de corteza se debe a la variación densidad de plantación (16,5%) y la profundidad efectiva del suelo en 5,9% (Tabla 4).

Los gráficos de superficie de respuestas con las dos principales propiedades del suelo o la plantación que afectan las propiedades de la madera son mostrados en la Figura 3 y que nos ayuda a interpretar el comportamiento de la propiedad de la madera con la variación de las características del suelo. En el peso específico básico, el valor más alto se da en plantaciones con tasas de crecimiento/año inferior a 1,4 cm y en sitios con contenidos de Cu menor a 15 mg/L (Figura 2a). En el contracción tangencial normal se obtienen los valores más bajos en sitios con agua útil inferior a 12% y concentraciones de P superior a 4 mg/L (Figura 2b). En la contracción radial normal valores bajos se tienen en sitios con contenidos de P superior a 5 mg/L y concentraciones de Mg mayor a 10 cmol(+)/L (Figura 2c). En la densidad en condición verde los valores más altos se dan en plantaciones creciendo en sitios con contenidos de K en el suelo superior a 0,25 cmol(+)/L (Figura 2d).

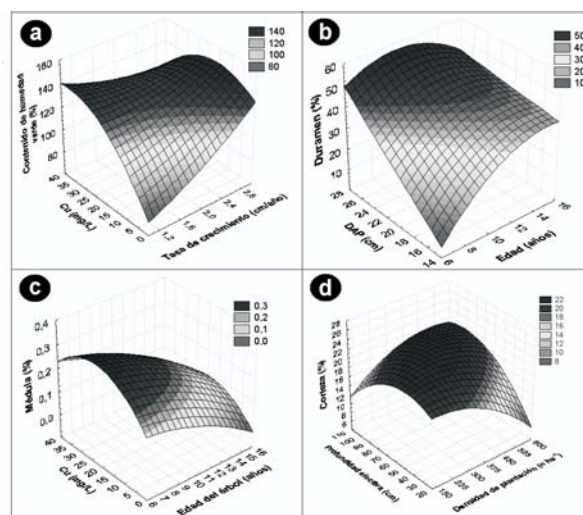


Figure 3 – Superfície de resposta para o conteúdo de humidade verde e os percentajes de duramen, médula y cortezas en relación a las variaciones de las condiciones físico-química de suelo.

Figura 3 – Superfície de resposta para o teor de umidade e porcentagem de cerne, medula e casca em função das variações das condições físicas e químicas do solo.

Los valores más altos de contenido de humedad en condición verde se presentan suelos con un contenido de Cu superior a 30 mg/L y con tasas de crecimiento superior a 2,4 cm/año (Figura 3a). En el porcentaje de duramen se encontró que es mayor árboles con DAP superior a 24 cm y edad superior a los 10 años (Figura 3b). En la medula se tiene que sitios con contenidos de Cu superior a 20 mg/L y plantaciones con edades inferior a 10 años produce alto porcentaje de este tejido en las trozas (Figura 3c). Por último se tiene que bajos contenidos de corteza en árboles se dan en plantaciones con densidad de plantación superior a 450 árboles ha⁻¹ y profundidad efectiva menor a 40 cm (Figura 3d).

4. DISCUSIÓN

Algunos estudios en teca han mostrado el efecto de sitio (no un componente físico o químico del suelo) en la estructura anatómica de la madera (BHAT et al., 2001; BHAT y PRIYA 2004; RAHMAN et al., 2005), relacionado a la presencia de los diferentes elementos celulares en la madera (fibra, vasos, radios y parénquima). A su vez, se ha encontrado que las contracciones están directamente relacionadas con los elementos celulares, principalmente los radios (BURGERT et al., 2001), siendo probablemente la razón de por que las contracciones son las propiedades de la madera más afectada por las características físicas y químicas del suelo (Tabla 3) debido a la alta relación de los elementos celulares con las contracciones.

El efecto de la cantidad de P en las contracciones de la madera fue mostrado su importancia en la contracción radial y tangencial. Diferentes trabajos han mostrado que cuando este elemento es agregado por la fertilización produce un efecto en muchas propiedades de la madera, dentro de ellos las contracciones (ZOBEL y VAN BUIJTENEN, 1989). En árboles de teca, aunque poca información se tiene sobre los efectos de estos elementos en la madera, se ha mostrado que ocurre un aumento de la tasa de crecimiento del árbol con una mayor disponibilidad de P en el suelo (ALVARADO, 2006). Este aumento puede conllevar a producir alteraciones en la composición química o anatómica de la madera dando como resultado alteraciones en sus contracciones por la variación del P (Figura 2b y 2c).

Para el peso específico en teca en muchas investigaciones se ha mostrado que aumenta con la tasa de crecimiento de los árboles en plantaciones de rápido crecimiento (BHAT et al., 2001; MOYA et al.,

2003; PÉREZ y KANNINEN, 2003). El Cu, también afectó significativamente en este parámetro, sin embargo el análisis de regresión stepwise mostró que el cobre no influye en gran proporción en la variación del peso específico (Tabla 4). El Cu por su parte aunque no es un elemento tan esencial en el crecimiento de los árboles mostró que al incrementar este elemento en el suelo, el peso específico puede decrecer (Tabla 3), por lo que a futuro es importante investigar aun más importancia de este elemento en las propiedades de la madera debido a la escasa información existente sobre este elemento en las propiedades de la madera.

Las propiedades de la madera que fueron afectadas casi exclusivamente por las características físicas y químicas del suelo, son las contracciones tangenciales y radiales y la densidad verde que fueron influenciados por al menos una propiedad física o química del suelo (Tabla 4). No obstante, otras propiedades, como el peso específico básico, el contenido de humedad verde, porcentaje de corteza y medula, están determinadas por una combinación las características del suelo y otros parámetros de la plantación tal como la edad, la tasa de crecimiento, el DAP o bien la densidad de plantación. Dichos parámetros, a excepción de la edad, en muchas ocasiones son controlados por el manejo de la plantación. El porcentaje de duramen es la propiedad de la madera que no depende de las características del suelo, si no que es exclusivamente dependiente de la edad del árbol y el DAP que presenta el árbol, como ha sido anteriormente mostrados por varios estudios llevados a cabo en plantaciones de rápido crecimiento de Costa Rica (PÉREZ y KANNINEN, 2003).

4. CONCLUSIONES

1. Las propiedades del suelo (físicas y químicas) no presentan grandes influencias en las propiedades de la madera de teca. Ello permite inferir, por lo menos preliminarmente, que la gran variedad de suelos existente en Costa Rica son susceptibles para la reforestación comercial sin detrimento de las propiedades de la madera.

2. Características químicas del suelo como Cu, P, Mg, K y algunas físicas como el porcentaje de agua útil y profundidad efectiva mostraron tener efectos importantes en las propiedades de la madera, por lo que es importante valorar ellos en momento de establecer a plantación comercial de teca.

3. El porcentaje de duramen en teca, que es una de las características de la madera más importante para la comercialización de esta especie, es poco afectado por las propiedades químicas y físicas del suelo, por lo que el manejo de las plantaciones se debe buscar de producir grandes diámetros y altos volúmenes en sitios de alta fertilidad o bien suministrar las deficiencias las deficiencias nutricionales con fertilización.

5. AGRADECIMIENTOS

En especial a los diferentes propietarios de las plantaciones donde se realizó el muestreo y por supuesto a todo el personal de la finca donde se ubicaban todas las plantaciones muestreadas. A la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el apoyo financiero al Proyecto de Investigación.

6. REFERENCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Test methods for small clear specimens of timber**. Annual Book of ASTM Standards, v.04.10, D 143-940, Philadelphia: 2003. p.55.

ALVARADO, A. Nutrición y fertilización de la teca. **Informaciones Agronómicas**, v.61, n.2, p.1-8, 2006.

ALVARADO, A. et al. Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v.28, n.1, p.89-100, 2004.

ALVARADO, A.; FALLAS, J. L. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v.28, n.1, p.81-87, 2004.

BARROSO, D. et al. Diagnóstico de deficiencia de macronutrientes en mudas de teca. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.671-679, 2005.

BERTSH, F. **Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica**. San José: Universidad de Costa Rica, 1986. 10p.

BHAT, K. M.; FLORENCE, E. J. Natural decay resistance of juvenile teak wood grown in high input plantations. **Holzforchung**, v.57, n.5, p.453-455, 2003.

BHAT, K. M.; PRIYA, P. B. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the Western Ghat Region in India. **IAWA**, v.25, n.3, p.273-282, 2004.

BHAT, K. M.; PRIYA, P.; RUGMINI, P. Characterisation of juvenile wood in teak. **Wood Science Technology**, v.34, n.4, p.517-532, 2001.

BRICEÑO, J.; PACHECO, R. **Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas**. San José: Universidad de Costa Rica, 1984.137p.

BURGERT, I. et al. The influence of rays on the transverse elastic anisotropy in green wood of deciduous trees. **Holzforchung**, v.55, n.5, p.449-454, 2001.

DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. **Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero**. Turrialba: CATIE, 1978. 68p.

FAO. **Global planted forest thematic study: results and analysis**. In: DEL LUNGO, J.B.; CARLE, J. Planted forests and trees. Rome: 2006. (Working paper, 38) accessible en: <www.fao.org/forestry/10368/en>.

FORSYTHE, W. **Física de suelos: manual de laboratorio**. San José: IICA, 1985. 212p.

KOKUTSE, A. et al. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L.f.). **Forest Ecology and Management**, v.189, n.1-3, p.37-48, 2004.

MOYA, R.; PEREZ, D.; ARCE, A. Wood density of *Tectona grandis* at two plantation spacings in Costa Rica. **Journal of Tropical Forest Products**, v.9, n.1/2, p.153-161, 2003.

MEKONNEN, K. et al. Performance of eight tree species in the highland Vertisols of central Ethiopia: growth, foliage nutrient concentration and effect on soil chemical properties. **New Forest**, v.32, n.3, p.285-298, 2006.

PÉREZ, D.; KANNINEM, M. Heartwood, sapwood and bark content and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) tree grown in Costa Rica. **Silvae Fennica**, v.37, n.1, p.45-54, 2003.



PÉREZ, D.; KANNINEM, M. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v.210, n.1-3, p.425-441, 2005.

RAHMAN, M.; FIJIWARA, S.; KANAGAWA, Y. Variations in volume and dimensions of rays and their effect on Wood properties of teak. **Wood and Fiber Science**, v.37, n.3, p.497-504, 2005.

RIGATTO, P.; DEDECEK, R.; MONTEIRO DE MATOS, L. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft. **Revista Árvore** v.28, n.2, p.267-273, 2004.

UGALDE, L. et al. Soil-tree relationship and site factors in young teak (*Tectona grandis*) plantations in the Western zone of the Panama Canal. *Agronomía Costarricense*, v.28, n.1, p.81-87, 2005.

WEBB, M. et al. Determining P and N status of a tropical timber species (teak): Assessment of 'quick' chemical tests and a root phosphatase assay. *Developments in Plant and Soil Sciences*, v.92, p.706-707, 2006.

ZOBEL B., van BUIJTENEN, B. Wood variation: its causes and control. *New Work: Springer Verlag*, 1989. 363p.