

Nota Técnica

## CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS Y PRESENCIA DE MICORRIZAS EN PLANTACIONES DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) EN COSTA RICA<sup>1</sup>

Alfredo Alvarado<sup>2/\*</sup>, Marena Chavarría\*, Ronald Guerrero\*\*, Jimmy Boniche\* y Juan R. Navarro\*\*\*

**Palabras clave:** Micorriza, endomicorriza, acidez del suelo, teca, *Tectona grandis*, fertilidad de suelos.

**Keywords:** Mycorrhiza, endomycorrhiza, soil acidity, teak, *Tectona grandis*, soil fertility.

### RESUMEN

Se estudió el efecto de las propiedades del suelo sobre el grado de micorrización en 41 plantaciones de teca, ubicadas en diferentes regiones bioclimáticas de Costa Rica. Se encontró que el 43% de las plantaciones de teca tenía un bajo porcentaje de infección de micorrizas a nivel de raíz y de igual manera algunos sitios presentaron un bajo número de esporas en el suelo. La correlación entre variables edáficas con el número de esporas en el suelo y el porcentaje de raíces infectadas por la micorriza, obtuvo valores bajos, debido al elevado coeficiente de variación. Sin embargo, cuando se consideró en la correlación solo los suelos con pH menor a 5,5, las correlaciones se elevaron significativamente, más con la variable porcentaje de infección que con el conteo de esporas. Se demuestra así que la acidez del suelo tiene un efecto adverso en el proceso, sea por reducir el desarrollo de las raíces, por inhibir el desarrollo del hongo o ambas variables.

### ABSTRACT

**Soil properties and mycorrhizae in teak plantations (*Tectona grandis* L.f.) of Costa Rica.** This study relates soil properties to mycorrhizae occurrence in 41 teak plantations under different bioclimatic conditions around Costa Rica. Forty three percent of the teak plantations showed poor mycorrhizae development, and some sites have very low spore counts in the soil. The correlation between spore counts and infection percentages and soil properties showed high values only when soils with pH lower than 5.5 were considered. Correlation values were higher between soil variables and infection percentages than with spore counts, reflecting that the infection process is affected more by soil acidity than the survival of spores in the soil, as well as that soil acidity is negatively affecting root development, fungal growth, or both.

---

1/ Recibido el 01 de octubre de 2003. Aceptado el 06 de mayo de 2004.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: alfredo@carari.ucr.ac.cr

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

---

\*\* Precious Woods. Liberia, Guanacaste, Costa Rica.

\*\*\* CIPROC. Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

## INTRODUCCIÓN

El término micorriza fue propuesto por A. B. Frank en 1885, quien lo empleó para describir la existencia de raíces de plantas vasculares infectadas con hongos, hoy en día se utiliza para definir asociaciones simbióticas mutualistas entre hongos y raíces de plantas superiores (Barreno 1991). La mayoría de las especies forestales en el trópico forman asociaciones simbióticas micorrízicas del tipo vesículo arbuscular (Mikola 1969, Padilla 1978, Janos 1980).

En casos específicos, se requiere la adición de micorrizas, principalmente cuando: 1) se introduce una planta nueva; 2) cuando se adicionan cantidades significativas de materiales aluviales o cenizas volcánicas al ecosistema, materiales que no tienen micorriza y 3) cuando se esteriliza el medio de cultivo intencionalmente, en ciertos tipos de medio de enraizamiento o por uso excesivo de agroquímicos.

La respuesta a la inoculación con micorrizas de plantaciones de *Pinus caribaea* en Costa Rica permitió mejorar el crecimiento significativamente (Vega 1964), ya que este tratamiento mejora la absorción de N, P y Zn significativamente (Zech y Drechsel 1992); por el contrario, trabajando en viveros con suelos de Guanacaste, Rojas (1992) no encontró respuesta de la leucaena (*Leucaena leucocephala*), el guanacaste macho (*Albizia guachapele*) y la teca (*Tectona grandis*) a la inoculación con micorrizas nativas y de *Glomus manihota*, excepto cuando el sustrato se esterilizó.

Numerosos trabajos experimentales han puesto de manifiesto las ventajas que se le atribuyen a las micorrizas, entre las cuales se encuentran: 1) las plantas soportan condiciones de clima adversas, la elevación de la temperatura en el suelo, la presencia de agentes contaminantes y además mejoran la resistencia al trasplante (Linderman 1989); 2) mejoran principalmente la disponibilidad de elementos como el P, Zn, Cu, S, Sr, Ca, Br, Cl, N y K y se incrementa el contenido de estos nutrientes en la planta (Chapin 1980, Nye y Tinker 1977, Gianinazzi y Dexheimer 1988, Harley y Smith 1983, Hayman 1983, Barea y Azcón 1987); 3) aumentan la resistencia

al ataque de hongos y nemátodos de las raíces (Bagyaraj 1984); 4) mejoran la absorción de agua y aumentan la resistencia del huésped a la sequía (Hardie y Leyton 1981, Cooper 1984, Allen 1982); 5) aumentan la resistencia a altas concentraciones de sales en el sustrato (Plaut 1988, Pond 1984, Ames y Porter 1984); 6) ocurren cambios en las relaciones hormonales (Barea y Azcón 1982, Allen 1982); 7) mejora la relación parte aérea/raíz, aumentando por lo tanto la biomasa aérea y radical; 8) se obtiene mejor respuesta en el cultivo en aquellos suelos de baja fertilidad o nutricionalmente desequilibrados en los que el contenido en P asimilable es bajo (Smith 1980, Abott 1984, Harley y Smith 1983, Hayman 1983, Smith 1985, Stribley y Snellgrove 1985) y 9) se incrementa el contenido de algunos nutrientes minerales en los tejidos de la planta (Chapin 1980, Nye y Tinker 1977, Gianinazzi y Dexheimer 1988).

Los factores que influyen en la asociación entre el hongo y la raíz en forma natural son: la planta, el hongo, el suelo y el ambiente en que se desarrollan los 2 simbiontes (Sieverdind 1984a). Janos (1980), menciona que las plantas con raíces gruesas, no ramificadas y con pelos escasos, son más dependientes de la micorriza que aquellas plantas con raíces muy ramificadas y con pelos radicales largos y numerosos.

Desde el punto de vista del suelo, se ha planteado que el balance de nutrientes es lo que más influye sobre el desarrollo de las micorrizas (Bonfante 1987) y que niveles altos de Al, Mn, Cu, Fe y P parecen tener un efecto negativo en las micorrizas vesículo arbusculares (MVA) y en la simbiosis. Mientras que la deficiencia de Mg y Zn puede inhibir la germinación de esporas (Hepper y Warner 1983). La fertilización con P puede reducir el porcentaje de infección, ya que suprime el desarrollo de las estructuras del hongo y disminuye el número de puntos de penetración (Smith y Gianinazzi 1988).

La distribución de micorrizas en el suelo puede ser afectada directamente por el pH del suelo. Estudios realizados sugieren que se obtiene una buena germinación de esporas de MVA en un amplio ámbito de pH que va de 5 a 8 (Siqueira 1989). En trabajos realizados con *Eucalyptus*

*urophylla*, se encontró que la formación de micorrizas no fue afectada por el cambio de pH; sin embargo, la efectividad de las ectomicorrizas fue menor (Aggangan y Dell 1996).

Los objetivos de la presente investigación son:

1. Determinar el grado de infección con micorrizas en plantaciones de teca en 3 regiones de Costa Rica.
2. Aislar las principales cepas de hongos micorrízicos asociados al sistema radical de la teca.
3. Estudiar la relación entre las principales características químicas del suelo y la presencia de infección con micorrizas en teca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación incluyó 41 plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica ubicadas en Guanacaste, el Pacífico Central, el Pacífico Sur y la Zona Norte, las cuales presentan condiciones edáficas y bioclimáticas contrastantes. Las plantaciones de teca oscilaron entre 2 y 40 años de edad, clasificándose la calidad del sitio en forma visual como buena o mala al momento de tomar las muestras de campo. La clasificación del sitio fue hecha por el Ing. Forestal Ronald Guerrero en las zonas del Pacífico y el Dr. Pablo Camacho en la zona Norte, quienes compararon la altura y diámetro de los árboles dominantes o codominantes y la condición aparente de la plantación para cada una de las edades pertinentes, con los valores generados para plantaciones de teca en Costa Rica por Keogh (1987) y Ugalde (1993); sitios buenos fueron aquellos cuyos valores estuvieron por encima de la media reportada y sitios malos aquellos donde los valores de calidad fueron menores a la media. En la figura 1, se incluye la ubicación de los sitios estudiados y su distribución por región se incluye en el cuadro 1. Los suelos en que se ubica la mayoría de las plantaciones de teca investigadas son rojos y con problemas de acidez en el horizonte superior (Ultisoles y Alfisoles); el segundo grupo de suelos es de origen coluvio-aluviales (Inceptisoles, Andisoles y Entisoles) con un tercer grupo de suelos reconocido como “otros” (principalmente Vertisoles).

La recolección del suelo y las raíces terciarias de cada sitio se realizó durante el inicio de la estación lluviosa, cuando los árboles de teca sin problemas de plagas o enfermedades rebrotan después de la época seca, en las regiones donde se presenta este fenómeno. Se tomaron muestras de suelo hasta 15 cm de profundidad en la rizosfera de los árboles de teca y de la capa con material orgánico.

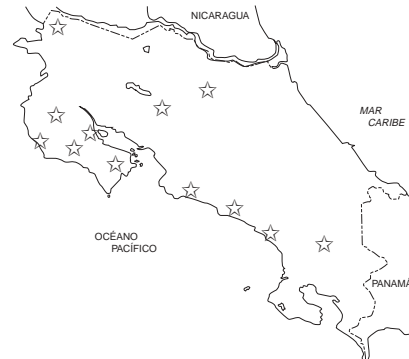


Fig. 1. Ubicación de plantaciones de teca (*Tectona grandis*) estudiadas en Costa Rica.

Las muestras de suelo se analizaron siguiendo la metodología descrita por Henríquez y Cabalceta (1999), de manera que se midió el pH en agua, el contenido de Ca, Mg, y la acidez intercambiables en KCl; el K, el P y los elementos menores en la solución extractora de Olsen Modificado. El Ca, Mg y K se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, el P por colorimetría en un espectrofotómetro UV/VIS y la acidez por titulación. Para la determinación del porcentaje de infección se siguió el método de Koske y Gemma (1989) y la separación de esporas en el suelo se realizó por el método de Sieverding (1984b) en muestras de raíz colectadas en viales de 5 ml y preservadas en alcohol al 5% durante el traslado al laboratorio.

Los resultados obtenidos se analizaron utilizando el Programa Estadístico SAS, versión 6.11 (1997). Se realizaron análisis de variancia (variables edáficas), pruebas de comparación de medias y correlaciones entre las variables edáficas y las de micorrización. La significancia estadística se estableció utilizando como criterio probabilidades menores al 5%.

Cuadro 1. Tipo de suelo, ubicación y edad de las plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en los sitios en estudio.

Muestra	Sitio	Suelo	Edad Aprox. (años)
<b>Guanacaste</b>			
1	Flecha	Alfisol	6
2	Juntas	Aluvial	6
3	Vigía	Otro	14
4	San Francisco Coyote 1	Otro	14
5	San Francisco Coyote 2	Aluvial	15
6	San Francisco Palo Arco (ladera)	Ultisol	14
7	San Pedro	Alfisol	6
8	Estrada	Aluvial	10
9	Carrillo (lote 41)	Ultisol	9
10	Las Ollas	Otro	11
11	Tiesto	Aluvial	10
12	Cabalceta 1	Aluvial	9
13	Cabalceta 2	Aluvial	10
14	Peñas Blancas (estancia)	Otro	5
15	Santa Alicia 1	Otro	5
16	Santa Alicia 2	Otro	5
<b>Pacífico Central y Sur</b>			
17	Ceibo	Ultisol	6
18	Caracol-Paso Real (Batalla 1)	Ultisol	5
19	Caracol-Barú (Batalla 2)	Ultisol	5
20	Barú 1 (terraza del río)	Aluvial	9
21	Caracol-Barú (Batalla 3)	Ultisol	7
22	Savegre	Ultisol	8
23	Damas 1	Aluvial	3
24	Damas 2	Aluvial	40
25	Parrita (Barca)	Ultisol	8
26	Tulín	Aluvial	3
<b>Zona Norte</b>			
27	FF-P6L6	Aluvial	9
28	FF-P6L12 (lote 4)	Aluvial	9
29	FF-P16 (L. Medardo)	Ultisol	15
30	FF-P1L6 (Vasconia)	Ultisol	13
31	Río Koper	Aluvial	27
32	Río Arenal (San Josecito)	Aluvial	8
33	Cutris (San Jorge)	Ultisol	27
34	San Cristóbal	Aluvial	40
35	La Fortuna	Aluvial	20
36	Loma Verde	Ultisol	6
37	Níspero	Ultisol	6
38	Charcón	Ultisol	6
39	Mango	Ultisol	6
40	Limbo 1	Ultisol	6
41	Santa Cecilia	Ultisol	7

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variación de las características químicas de los suelos de los sitios estudiados

En el cuadro 2, se presentan los valores de las variables de fertilidad y el contenido de espo-

ras en los suelos estudiados y en la figura 2 se muestran los suelos más ácidos (Ultisoles) y más básicos (Vertisoles) encontrados en el presente estudio.

En los cuadros 3 y 4 se puede observar que no hubo diferencias significativas entre regiones

Cuadro 2. Características de fertilidad, contenido de esporas y porcentaje de infección en las raíces de teca (*Tectona grandis*) creciendo en los suelos de los sitios en estudio.

No. Sitio	pH Agua	Ca	Mg	K cmol(+) l <sup>-1</sup>	Acidez	CICE	Sat. Acid. %	P	Cu	Fe	Mn mg l <sup>-1</sup>	Zn	B	S	MO	Arcilla %	Infec.	Esporas No. g <sup>-1</sup>	Tipo de sitio
<b>Guanacaste</b>																			
1	4,7	11,2	1,81	0,2	0,2	13,4	1,3	4	8,5	237	12	2	1,0	3	6,9	41	0	32	Malo
2	5,3	29,9	6,3	0,4	0,1	36,7	0,4	3	2,8	27	20	5	0,9	5	6,2	43	45	150	Bueno
3	5,8	31,2	5,9	0,6	0,2	37,9	0,5	5	3,4	32	15	5	0,9	2	8,0	41	34	76	Bueno
4	5,7	47,1	6,9	0,6	0,2	54,7	0,3	9	10,4	23	21	2	1,0	3	4,1	43	50	187	Bueno
5	5,5	48,1	9,2	0,3	0,3	57,9	0,5	4	8,8	21	19	3	0,9	3	5,4	56	8	27	Bueno
6	5,8	33,6	8,3	0,1	0,2	42,2	0,5	2	6,1	14	38	2	1,0	3	6,9	43	25	10	Malo
7	6,0	38,1	8,7	0,9	0,2	47,9	0,4	5	5,7	14	18	1	0,9	3	2,4	28	0	12	Bueno
8	5,5	36,4	11,1	0,2	0,2	47,9	0,5	3	4,6	23	20	1	1,0	4	2,4	33	5	34	Bueno
9	5,8	25,3	4	0,5	0,2	29,9	0,5	2	14,7	37	39	6	1,0	3	7,6	43	2	23	Malo
10	5,7	38,3	6,1	0,8	0,2	45,3	0,4	3	3,8	15	27	1	0,9	2	3,0	36	55	278	Malo
11	5,6	38,4	8,9	0,7	0,2	48,2	0,4	5	6,8	254	25	4	1,0	2	4,3	36	16	11	Bueno
12	5,7	27,5	5,7	0,4	0,2	33,8	0,5	4	6,6	30	35	2	1,0	3	6,2	38	45	189	Bueno
13	6,1	32,4	5,5	0,7	0,2	38,7	0,4	4	6,1	19	36	2	0,9	2	5,8	41	18	22	Malo
14	5,0	28,9	8	0,4	0,1	37,4	0,4	4	4,6	62	84	3	1,0	4	8,2	38	12	65	Bueno
15	5,2	28,2	4,3	0,6	0,1	33,3	0,4	3	5,1	36	36	4	0,9	2	4,4	53	24	34	Bueno
16	4,8	23,5	5,3	0,3	0,2	29,3	0,5	4	3	110	73	5	0,9	3	6,2	38	0	29	Bueno
<b>Pacífico Central y Sur</b>																			
17	5,5	13,5	2,0	0,5	0,2	16,3	1,5	10	4,0	80	10	0	1,2	6	11,6	13	15	32	Bueno
18	6,1	30,1	8,6	1,5	0,2	40,4	0,5	4	2,8	25	28	3	0,9	6	8,5	33	35	89	Bueno
19	5,9	39,8	8,4	0,6	0,2	49,0	0,4	5	3,6	18	27	3	0,9	3	8,3	33	3	50	Malo
20	6,0	26,4	5,8	0,6	0,1	32,9	0,4	9	4,4	279	13	2	0,9	2	3,1	28	55	89	Malo
21	4,3	12,2	5,4	0,4	0,8	18,8	4,4	3	4,9	217	95	4	1,0	2	5,9	53	0	19	Bueno
22	4,3	12,4	4,6	0,1	0,9	25,1	3,6	6	11,4	146	110	3	1,5	5	5,1	40	3	20	Malo
23	6,0	33,2	13,1	0,1	0,2	46,6	0,5	2	8,4	21	9	1	0,9	2	2,5	28	30	54	Bueno
24	6,3	35,6	7,6	0,4	0,2	43,8	0,5	5	58,0	22	8	3	1,0	3	9,9	15	64	369	Bueno
25	4,3	3,7	1,8	0,1	0,5	5,9	7,6	3	5,9	166	175	3	1,18	4	3,9	38	0	27	Malo
<b>Zona Norte</b>																			
26	5,9	39,0	12,9	0,2	0,2	52,3	0,3	5	7,9	22	24	1	0,96	2	4,3	23	0	43	Bueno
27	5,6	18,4	3,1	0,2	0,2	21,9	0,7	4	12,0	102	9	3	0,85	1	4,8	20	45	298	Bueno
28	5,0	7,2	1,3	0,2	0,2	8,9	2,5	4	12,0	175	121	2	0,83	1	3,8	38	11	25	Bueno
29	6,8	18,4	2,0	0,1	0,2	20,7	0,9	4	9,0	47	13	2	1,05	3	8,9	53	3	21	Malo
30	5,7	10,6	1,9	0,1	0,3	12,8	2,1	4	15,0	211	22	2	0,89	3	8,3	65	38	154	Malo
31	4,1	6,4	1,6	0,3	5,0	13,3	37,8	6	15,0	439	56	2	0,9	3	3,1	13	0	8	Bueno
32	5,2	10,5	2,9	0,1	0,2	13,7	1,3	4	23,0	286	102	12	1,08	2	6,1	40	38	235	Bueno
33	5,5	5,8	2,3	0,9	0,2	9,2	1,6	4	21,0	128	110	3	1,27	4,2	5,2	65	22	98	Malo
34	5,6	6,5	1,3	0,6	0,2	8,5	1,9	9	5,0	193	4	2	1,02	4	5,4	5	52	271	Bueno
35	5,6	9,6	2,5	0,4	0,2	12,6	1,3	5	13,0	145	4	16	1,29	4	10,8	8	72	456	Bueno
36	5,8	6,1	1,8	0,3	0,2	8,3	1,8	12	10,5	94	49	1	1,05	0	5,9	0	0	8	Malo
37	5,6	3,9	1,3	0,4	0,2	5,7	2,6	7	5,0	100	79	3	1,05	1	5,4	0	2	6	Malo
38	5,6	4,4	1,6	0,4	0,1	6,5	2,0	7	10,1	97	48	1	1,04	3	5,3	0	0	0	Malo
39	5,5	5,1	1,8	0,3	0,3	7,4	3,4	7	9,2	100	76	2	1,1	3	5,7	0	0	0	Malo
40	5,3	4,2	1,4	0,3	0,1	6,1	2,3	6	15,8	103	93	3	1,07	8	4,8	0	15	23	Bueno
41	4,7	8,0	1,8	0,3	0,2	10,2	2,2	3	8,5	190	39	2	1,19	4	8,1	63	0	11	Malo



Fig. 2. (A) Vertisoles y (B) Ultisoles en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Guanacaste y la Zona Norte, respectivamente.

Cuadro 3. Variación del pH, Ca, Mg, K, acidez y CICE en suelos de plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Guanacaste, Pacífico Central y Sur y la zona Norte de Costa Rica (los valores seguidos por la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes).

Sitio	pH Agua	Ca	Mg	K	Acidez	CICE
		cmol(+) l <sup>-1</sup>				
<b>Guanacaste (n= 16)</b>						
Promedio	5,5	32,4a	6,6a	0,5	0,2	39,7a
Ámbito	4,7-6,1	11,2-48,1	1,8-11,1	0,1-0,9	0,1-0,3	13,4-57,9
<b>Pacífico Central y Sur (n= 10)</b>						
Promedio	5,4	24,6b	7,0a	0,4	0,4	33,1b
Ámbito	4,3-6,3	3,7-39,8	1,8-13,1	0,1-1,5	0,1-0,9	5,9-52,3
<b>Zona Norte (n= 15)</b>						
Promedio	5,4	8,3b	1,9b	0,3	0,5	11,1b
Ámbito	4,1-6,8	3,9-18,4	1,3-3,1	0,1-0,9	0,1-5	5,7-21,9
<b>Total (n= 41)</b>						
Promedio	5,5	21,7*	5,0*	0,4	0,3	27,6*
D. Est.	0,6	13,8	3,4	0,3	0,8	16,7
C. V.	10,6	63,7	67,4	69,1	224,4	60,4
Ámbito	4,1-6,8	3,7-48,1	1,3-13,1	0,1-1,5	0,1-5,0	5,7-57,9

para las variables pH, acidez y contenido de K, pero si en cuanto a los contenidos de Ca, Mg y P. Los suelos oscilaron de fuerte a ligeramente ácidos, mientras que el contenido de S fue deficiente en todos los casos. Los contenidos de Ca, Mg y K entre deficientes y altos. Los contenidos de P y

MO variaron de bajos a medios. El Fe, Mn y Zn variaron de bajos a altos y el Cu y B de medio a alto. El contenido de arcilla de los suelos osciló entre 0-65%.

Al analizar los resultados por zona geográfica y por calidad de sitio se encontró que,

Cuadro 4. Variación del P, Cu, Fe, Mn, Zn, B, S, MO, y arcilla en suelos de plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Guanacaste, Pacífico Central y Sur y la zona Norte de Costa Rica (valores seguidos por la misma letra o carentes de ellas no son significativamente diferentes).

Sitio	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S	MO	Arcilla
	mg l <sup>-1</sup>							%	
<b>Guanacaste (n = 16)</b>									
Promedio	4	6,3	60 b	32	3	1,0	3	5,5	41
Ámbito	2-9	2,8-14,7	14-254	12-84	1-6	1,0-1,9	2-5	2,4-8,2	28-57
<b>Pacífico Central y Sur (n = 10)</b>									
Promedio	5	11,1	100 ab	50	2	1,0	4	6,3	30
Ámbito	2-10	2,8-58	18-279	8-175	1-4	0,9-1,5	2-6	2,5-11,6	14-53
<b>Zona Norte (n = 15)</b>									
Promedio	6	12,3	161 a	55	4	1,0	3	6,1	25
Ámbito	3-12	5,0-23	47-439	4-121	1-16	0,8-1,3	0-8	3,1-10,8	0-65
<b>Total (n = 41)</b>									
Promedio	5	9,7	106 *	45	3	1,0	3	5,9	32
D. Est.	2	9,1	98	40	3	0,1	2	2,3	19
C. V. (%)	48	94,2	92	88	89	13,7	48	38,1	57
Ámbito	2-12	2,8-58	14-439	4-175	1-16	0,8-1,5	0-8	2,4-11,6	0-65

\* Diferencia significativa (P = 0,05)

por zona, los contenidos de nutrientes, de MO y de arcilla en los suelos son similares entre sitios considerados como de buen y mal crecimiento de la teca (Cuadro 2). Al comparar los sitios buenos de las 3 zonas estudiadas, se encontró que en Guanacaste, el Pacífico Central y Sur, los contenidos de Ca, Mg, CICE y arcilla fueron más altos y los de Fe menores que los observados en la Zona Norte, todos en forma estadísticamente significativa. En los sitios malos, la región de Guanacaste presentó niveles significativamente más altos de Ca, Mg, CICE, arcilla y menores de saturación de acidez que las otras zonas comparadas. La tendencia a encontrar mayores contenidos de bases en Guanacaste, en todos los sitios, se atribuye a la menor cantidad de precipitación de esta región (Bertsch *et al.* 2000); de la misma manera podría atribuirse la acumulación de bases en sitios buenos del Pacífico Central y Sur a la ocurrencia de suelos aluviales recientes, donde se acu-

mulan las bases lixiviadas de terrenos aledaños, influenciados por la presencia de materiales calcáreos de la cordillera Costanera.

### Caracterización del hongo micorrizante en las plantaciones de teca

Los sitios que presentaron los mayores valores de infección de raíces y de número de esporas en el suelo, coinciden con una amplia diversidad de especies del género *Glomus*, para lo cual fue necesario una identificación taxonómica, la cual se llevó a cabo utilizando el manual de identificación de micorrizas (Schenck y Pérez 1990). Lo que hace suponer que este género sea el más infectivo y efectivo en plantaciones de teca en Costa Rica. En la figura 3 puede observarse la ocurrencia de estructuras como arbuscúlos, micelios y esporas de este género, observadas en muestras de raíces de teca tomadas en el área de estudio.



Fig. 3. Arbúsculos (A), micelios (B), esporas (C) de *Glomus* en raíces de árboles de teca (*Tectona grandis*).

### Porcentaje de infección y número de esporas en las diferentes plantaciones de teca

En el cuadro 2 se presenta los porcentajes de infección y del número de esporas encontrados en cada uno de los sitios estudiados. En el cuadro 5 se incluye los valores promedio y los ámbitos de variación de dichas variables para cada región, tomando en cuenta la calidad de los sitios (buenos vs. malos). Para toda la población estudiada, se encontró que el 43% de las plantaciones de teca presentan la necesidad de mejorar las condiciones del suelo principalmente el de MO con el fin aumentar el número de estructuras del hongo micorriza o inocular dichos sitios con cepas agresivas y efectivas.

Se encontró que el porcentaje de infección (micorrización) en raíces, así como el número de esporas identificadas en el suelo en las regiones estudiadas, presentan valores positivos y no positivos. De manera que se puede concluir que el comportamiento de estas variables no se relaciona con las variables ambientales de las regiones estudiadas, ni tampoco con la calidad de sitio de cada plantación. Esto es normal si se tiene en cuenta que la variabilidad del grado de infección y del número de esporas en el suelo depende de factores específicos para cada sitio, entre ellos el pH, la temperatura y el contenido de humedad del suelo, la fertilización de la plantación y el uso de agroquímicos en cada plantación (Schenck y

Cuadro 5. Promedio de infección en raíces y de esporas de micorrizas en el suelo asociadas a plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en el Pacífico y Zona Norte de Costa Rica (valores seguidos por la misma letra o carentes de ellas no son significativamente diferentes).

Agrupación de los sitios	Porcentaje infección	No. Esporas g <sup>-1</sup> suelo
Guanacaste (n = 16)	0-55 (Prom.21)	10-278 (Prom. 74)
Pacífico Central y Sur (n = 10)	0-64 (Prom. 20)	19-369 (Prom. 79)
Zona Norte (n = 15)	0-72 (Prom. 20)	0-456 (Prom. 108)
Sitios buenos (n = 24)	0-72 (Prom. 26 a)	8-456 (Prom. 114 a)
Sitios malos (n = 17)	0-55 (Prom. 14 b)	0-278 (Prom. 52 b)
<b>Guanacaste (n = 16)</b>		
Sitios buenos	22	74
Sitios malos	20	73
<b>Pacífico Central y Sur (n = 10)</b>		
Sitios buenos	24	101
Sitios malos	15	46
<b>Zona Norte (n = 15)</b>		
Sitios buenos	33 a	188 a
Sitios malos	8 b	37 b
Total de los sitios (n = 41)	0-72 (Prom. 20)	0-456 (Prom. 87)



Kellem 1981, Sieverdind 1984a, Smith y Gianinazzi 1988, Siqueira *et al.* 1989).

Los valores de infección y de número de esporas fueron significativamente mayores en los sitios agrupados como buenos, lo que sugiere que en dichos sitios las condiciones de suelo le son más favorables al hongo para su desarrollo, o a la planta para establecer la simbiosis (Cuadro 5). No se encontraron diferencias significativas para el porcentaje de infección y el número de esporas en el suelo entre sitios, salvo para la Zona Norte, en donde los sitios buenos mostraron un grado de infección significativamente mayor al encontrado en los sitios malos.

### Relación entre la presencia de micorriza y las variables edáficas de los sitios estudiados

El porcentaje de infección y el número de esporas de micorrizas en plantaciones de teca en Costa Rica, está fuertemente determinado por el grado de acidez del suelo (también medido como pH) o su inverso el grado de saturación de bases (Cuadro 6). Cuando se considera como base de datos todos los sitios estudiados en Costa Rica, puede notarse que los valores de correlación son bajos, debido probablemente a un coeficiente de variación alto. Sin embargo, en esta misma base de datos se observa que la relación entre las variables de micorrización y de incremento en la saturación de acidez es negativa, mientras que con aumentos en pH y en saturación de bases es positiva. La correlación entre las 2 variables de micorrización es significativa, y responde a un modelo lineal, como se muestra en la figura 4.

Al dividir la base de datos por regiones, los valores de correlación entre las variables anteriormente mencionadas aumentan, a excepción de la región de Guanacaste, donde la frecuencia de suelos ácidos es muy reducida o nula. De la misma manera, puede notarse que al dividir la base de datos por región y por pH (todos los suelos vs. los suelos con pH inferior a 5,5), los valores de correlación aumentan, llegando a ser tan altos como 0,99. Alvarado y Fallas (2004) (en este mismo número de *Agronomía Costarricense*) mencionan el efecto negativo que tiene la acidez del suelo sobre

Cuadro 6. Valores de correlación entre el pH, la saturación de Ca + Mg de la saturación de acidez sobre la micorrización en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica.

Costa Rica			
	Todos los datos (n=41)		
	pH en Agua	%Sat Ca+Mg	%Sat Acid.
% Infección	0,36	0,26	-0,23
No. esp g <sup>-1</sup> suelo	0,23	0,18	-0,16
	pH menor de 5,5 (n=18)		
% Infección	0,49	0,30	-0,29
No. esp g <sup>-1</sup> suelo	0,28	0,26	-0,23
Guanacaste			
	Todos los datos (n=16)		
% Infección	0,30	0,13	-0,40
No. esp g <sup>-1</sup> suelo	0,12	0,01	-0,24
	pH menor de 5,5 (n=7)		
% Infección	0,33	0,07	-0,50
No. esp g <sup>-1</sup> suelo	0,13	0,12	-0,32
Pacífico Central y Sur			
	Todos los datos (n=10)		
% Infección	0,67	0,36	-0,53
No. esp g <sup>-1</sup> suelo	0,52	0,29	-0,36
	pH menor de 5,5 (n=4)		
% Infección	0,99	0,25	-0,80
No. esp g <sup>-1</sup> suelo	0,79	0,52	-0,22
Zona Norte			
	Todos los datos (n=15)		
% Infección	0,12	0,29	-0,27
No. esp g <sup>-1</sup> suelo	0,12	0,27	-0,23
	pH menor de 5,5 (n=7)		
% Infección	0,71	0,50	-0,51
No. esp g <sup>-1</sup> suelo	0,46	0,38	-0,35

el crecimiento de la teca, lo cual en parte ayudaría a explicar el por qué del bajo grado de infección de raíces de los árboles de teca. El efecto de la acidez del suelo sobre el porcentaje de infección de las raíces es más importante que el que se ejerce sobre la sobrevivencia de las esporas en el suelo, como puede deducirse de los valores altos de correlación con la primera variable mencionada.

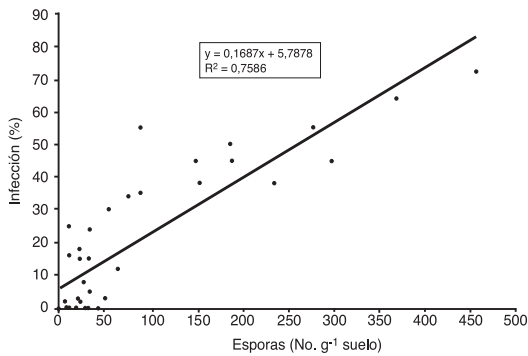


Fig. 4. Relación entre el número de esporas y el porcentaje de infección con micorrizas en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica.

En el cuadro 7 se presentan las principales relaciones entre el porcentaje de infección de micorrizas en las raíces y el número de esporas en el suelo, con el contenido de nutrimentos, MO y arcilla en el suelo. Al analizar todos los sitios, se encontraron correlaciones importantes entre el número de esporas en el suelo y el porcentaje de infección en raíces y con los contenidos de Zn; Hepper y Warner (1983) encontraron que la deficiencia de Zn puede inhibir la germinación de esporas. En la zona de Guanacaste, con suelos de fertilidad natural elevada, se obtuvieron solamente correlaciones importantes entre la infección en raíces y la esporulación en el suelo. En el Pacífico Central y Sur, con suelos de fertilidad natural muy variada, se obtuvieron correlaciones significativas entre la infección en raíces y los contenidos de pH, acidez, Cu, Mn, arcilla y esporas en el suelo; mientras que los contenidos de esporas en el suelo correlacionaron con los valores de pH, Cu y arcilla. Montero (1999), menciona correlaciones altas entre el contenido de cationes y el crecimiento de la teca, indicando además que contenidos de Cu inferiores a 10 mg kg<sup>-1</sup> afectan negativamente el crecimiento de la especie. Podría agregarse que de la misma manera afecta el desarrollo de la micorrización. En la Zona Norte la infección en raíces correlacionó de manera importante con los contenidos de Zn; mientras que la esporulación en el suelo correlacionó con Mg, Zn, arcilla e infección en raíces, lo que denota la dependencia del hongo con la fertilidad natural del suelo en esta región.

Cuadro 7. Valores de correlación obtenidos entre la infección en raíces y el número de esporas de micorrizas en suelo de las principales plantaciones de teca (*Tectona grandis*) con variables edáficas de los sitios estudiados por cada zona.

Variable edáfica	Porcentaje infección	No. Esporas g <sup>-1</sup> suelo
<b>Guanacaste</b>		
% Infección	1	0,86
<b>Pacífico Central y Sur</b>		
% Infección	1	0,77
pH en Agua	0,67	0,52
Acidez (cmol+ l <sup>-1</sup> )	-0,53	-0,36
Cu (ppm)	0,58	0,94
Mn (ppm)	-0,58	-0,39
% de Arc.	-0,51	-0,51
<b>Zona Norte</b>		
% Infección	1	0,98
Mg (cmol+ l <sup>-1</sup> )	0,49	0,59
Zn (ppm)	0,68	0,75
% arcilla	-0,4	-0,5
<b>Total</b>		
% Infección	1,00	0,87
Zn (ppm)	0,36	0,52

En la figura 5 se compara el grado de infección y el número de esporas con los principales tipos de suelos estudiados. Se encontró que los suelos sobre depósitos aluviales antiguos (en su mayoría Inceptisoles) presentaron valores significativamente más altos para ambas variables, que los encontrados en el grupo denominado “otros suelos” (como los Vertisoles, Mollisoles y Entisoles) y que los encontrados en Alfisoles y Ultisoles (suelos con la menor fertilidad natural de todos los investigados).

El mayor o menor número de esporas presente en cada tipo de suelo, no necesariamente indica que se de una mayor infección de la raíz por el mismo organismo, pues este proceso depende de la especificidad hongo-hospedero; sin embargo, se puede asumir que la incidencia de infección aumenta con relación al número de esporas en el suelo. Cuando el número de esporas es alto se esperaría que el porcentaje de infección deba ser elevado a menos que: 1) la teca no sea altamente micorrizable y 2) que los géneros de hongo encontrados en los diferentes suelos se

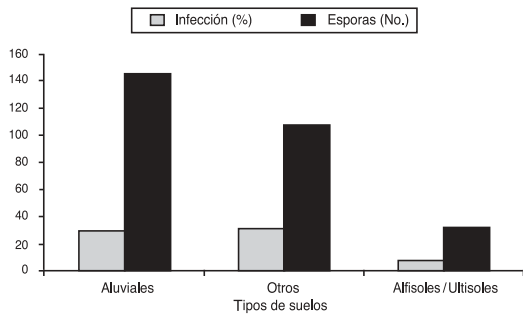


Fig. 5. Variación del contenido de esporas en el suelo y del porcentaje de infección en la raíz según tipo de suelo en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica.

encuentren en poblaciones elevadas pero no sean infectivos o efectivos (Moorman y Reeves 1979, Sieverding 1991).

## AGRADECIMIENTOS

A la empresa MACORI por el financiamiento parcial. A Pablo Camacho y Juan L. Fallas de EXPOMADERAS por su colaboración en el muestreo de plantaciones de la zona Norte y a Lidieth Uribe por sus valiosos comentarios durante la preparación del documento.

## LITERATURA CITADA

- ABOTT L. 1984. The effect of mycorrhizas on plant growth. *In: VA mycorrhiza*. C. L. Powell, D. Bagyaraj (eds.). CRC. Boca Ratón, Florida. p. 113-130.
- AGGANGAN N., DELL B. 1996. Effects of soil pH on the ectomycorrhizae response of *Eucalyptus urophylla* seedlings. *New Phytol.* 134: 539-546.
- ALLEN M. 1982. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on water movement through *Bouteloua gracilis* (H.B.K.). *Lax ex steud.* *New Phytol.* 91: 191-196.
- ALVARADO A., FALLAS J. L. 2004. Saturación de acidez y enalado de la teca (*Tectona grandis*, L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense.* 28(1): 81-87.
- AMES R., PORTER L. 1984. Nitrogen sources and 'A' values for vesicular-arbuscular and non-mycorrhizal sorghum grown at three rates of <sup>15</sup>N ammonium sulphate. *New Phytol.* 97: 269-276.
- BAGYARAJ D. 1984. Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. *In: VA Mycorrhiza*. C. L. Powell, D.J. Bagyaraj (eds). CRC. Boca Raton, Florida p.131-153.
- BAREA J., AZCÓN C. 1982. Productions of plant growth-regulating substances by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Appl. Environ. Microbiol.* 43: 810-813.
- BAREA J., AZCÓN C. 1987. Vesicular-arbuscular mycorrhiza improve both symbiotic N<sub>2</sub> fixation and N uptake from soils as assessed with a N<sup>15</sup> technique under field conditions. *New Phytol.* 106: 717-725.
- BARRENO E. 1991. Biotecnología forestal: Micorrizas, bosques, erosión y agricultura. Departamento de Biología Vegetal, Botánica. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Valencia. 46100 - Burjassot. 17 p.
- BERTSCH F., ALVARADO A., HENRÍQUEZ C., MATA R. 2000. Properties, geographic distribution, and management of major soil orders of Costa Rica. *In: Ch.A.S. Hall (ed.), Quantifying sustainable development, the future of tropical economies.* Academic p. 265-294.
- BONFANTE P. 1987. Vesicular arbuscular mycorrhizae: Fungus-plants interactions at the cellular level. *Symbiosis* 3: 249-268.
- COOPER K. 1984. Physiology of VA mycorrhizal associations. *In: VA mycorrhiza*. C. L. Powell, D. Bagyaraj (eds.). CRC. Boca Raton, Florida. p. 155-203.
- CHAPIN F. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 11: 233-260.
- GIANINAZZI S., DEXHEIMER J. 1988. Recherche sur les mécanismes intervenant dans les interactions symbiotiques plante-champignon endomycorrhizogènes VA. *Cryptog. Mycol.* 9: 201-209.
- HARDIE K., LEYTON L. 1981. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth and water relations of red clover. *New Phytol.* 89: 599-608.
- HARLEY J., SMITH S. 1983. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic London. 216 p.
- HAYMAN D. 1983. The physiology of vesicular arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Can. J. Bot.* 61: 944-963.
- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. San José, Costa Rica. 111 p.

- HEPPER C., WARNER A. 1983. Role of organic matter in growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus in soil. *Trans. Br. Mycol. Soc. Cambridge* 81: 155-156.
- JANOS D. 1980. Mycorrhize influence tropical succession. *Biotropica* 12 (suppl): 56-64.
- KEOGH R.M. 1987. The care and management of teak (*Tectona grandis* L.f.): a practical field guide for foresters in the Caribbean, Central America, Venezuela and Colombia. Gorta y Universidad Nacional. GORTA, Irlanda. 48 p.
- KOSKE R.E., GEMMA C. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research* 92(4):468-488.
- LINDERMAN G. 1989. Micorrhizal symbiosis. *Animal and Plant Species* (1): 181-187.
- MIKOLA P. 1969. Importancia y técnica de la inoculación con micorrízica. *Unasylyva* 23(1):35-84.
- 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. Ciencias. Universidad Austral de Chile, Valdivia/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- MOORMAN T., REEVES F. 1979. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid west. II. A bioassay to determine the effect of land disturbance on endomycorrhizae populations. *Amer. J. Bot.* 66:14-18.
- NYE P., TINKER K.B. 1977. Solute movement in the soil root system. Oxford: Blackell Scientific. 342 p.
- PADILLA S.O. 1978. Comparativo de 5 hongos micorrízicos en plántulas de *Pinus radiata* D. Don en Cajamarca. CICAFOR. Publicación No. 5. 30 p.
- PLAUT Z. 1988. Photosynthesis of salt-stressed maize as influenced by Ca:Na ratios in the nutrient solution. *Plant and Soil* 105:283-286.
- POND G. 1984. Improved growth of tomato in salinized soil by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi collected from saline soils. *Mycology* 76:84.
- ROJAS I. 1992. Efecto de la micorrización sobre el crecimiento de 3 especies forestales en 2 suelos de Guanacaste. Tesis M.Sc. Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. San José, Costa Rica. 73 p.
- SCHENCK N., PÉREZ. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. IVAM, University of Florida, Gainesville, FL. 245 p.
- SCHENCK N., KELLAM M. 1981. Can mycorrhizae control root disease. *Plant Disease March*: 231-235.
- SIEVERDIND E. 1984a. Aspectos básicos de la investigación de la micorriza vesículo arbuscular. *In*: E. Sieverdind, M. Sánchez y N. Bravo (eds.) Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Memorias del primer curso Nacional de micorrizas. Universidad Nacional de Colombia. p. 1-15.
- SIEVERDIND E. 1984b. Effect of herbicides on population dynamic of VA- mycorrhiza with cassava. *Botanik*. 58: 283-294.
- SIEVERDIND E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agro systems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany. Eschborn. Schriftenreihe der GTZ. No. 224: 371.
- SIQUEIRA J. 1989. Ocorrencia de micorrizas vesicular arbusculares em agro-ecosistemas naturais do Estado de Minas Gerais. *Pesq. Agrop. Bras, Brasilia*, 24 (12): 1496-1506.
- SMITH S. 1980. Mycorrhizas of autotrophic higher plants. *Biol. Rev.* 55: 475-510.
- SMITH S. 1985. Activity of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in *Trifolium subterraneum* L. and *Allium cepa* L. Effects of mycorrhizal infection and phosphate nutrition. *New Phytol.* 99:211-227.
- SMITH S., GIANINAZZI V. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiology* 39: 221-224.
- STRIBLEY D., SNELGROVE R. 1985. Physiological changes accompanying mycorrhizal infection in leek. *In*: Proceedings of 8th North American conference on mycorrhizae. R. Molina (ed). Oregon State University. Corvallis, Oregon: For. Res. Lab. p 395.
- UGALDE L. 1993. Crecimiento y calidad de sitio de teca en América Central. Curso de manejo de plantaciones forestales en la Región Chorotega, Costa Rica. CATIE, Turrialba. 9 p.
- VALDÉS M. 1989. Aspectos ecofisiológicos de las micorrizas. *Bol. Soc. Bot. México* 49: 19-30.
- VEGA L. 1964. Efecto de las micorrizas en el crecimiento inicial de coníferas tropicales. *Turrialba* 14(3): 151-155.
- ZECH W., DRECHSEL P. 1992. Multiple mineral deficiencies in forest plantations in Liberia. *Forest Ecology and Management* 48: 121-143.