

## ALGUNOS FACTORES AMBIENTALES ASOCIADOS CON EL CRECIMIENTO DE Melina (*Gmelina arborea* Roxb) EN LA ZONA NORTE DE COSTA RICA

Julio Calvo Alvarado\*  
Diego Camacho Cornejo\*\*

**U**n estudio exploratorio se realizó en dos fincas forestales plantadas con *Gmelina arborea* Roxb en la zona norte de Costa Rica, con el objetivo de determinar los factores ambientales que están asociados con la variación del crecimiento de la especie. En cada finca se midió la altura dominante y varias características ambientales de parcelas permanentes seleccionadas. El análisis de datos permitió concluir que dentro de cada finca, en plantaciones de la misma edad, el crecimiento de la especie es significativamente diferente entre estratos. Un análisis de correlación simple mostró que la acidez del suelo y la concentración de bases está altamente asociado a la variación del crecimiento de la especie en una de las fincas, mientras en la otra no se pudo establecer ninguna asociación válida, pese a las diferencias significativas en el crecimiento de los estratos.

**A**n exploratory study was conducted on two sites planted with *Gmelina arborea* Roxb in the northern region of Costa Rica. The main objective of the study was to determine the environmental factors associated with variation in tree growth among plantations of the same age. Measurements of dominant tree height and various environmental characteristics were taken from selected permanent plots at each site. Data analysis led to the conclusion that within plantations there are significant differences in growth among strata of the same age. A simple correlation analysis showed that soil acidity and concentrations of soil bases are significantly associated with tree growth on one site. On the other site tree growth was not

associated with any of the measured independent variables, despite the fact that statistical significant differences in tree growth exist among strata.

### INTRODUCCION

La especie *Gmelina arborea* Roxb es un árbol exótico, procedente del sureste asiático y que debido a su amplia adaptación y rápido crecimiento, ha sido introducida a gran número de países en Asia, Africa, Sur y Centro América. Es una especie caducifolia que alcanza alturas entre 12 y 30 m y un diámetro máximo de 60 a 100 cm. Su madera tiene una gran variedad de usos, desde madera de aserrío para muebles, hasta leña y pulpa de papel. Posee capacidad para regenerar por rebrotes, que en poco tiempo producen gran cantidad de leña. Es una especie prometedora para la reforestación en América Central (Murillo y Valerio, 1991; Rojas, 1981).

La *Gmelina* ha sido plantada ampliamente en la Zona Norte de Costa Rica y en varias de estas plantaciones se ha observado que el crecimiento no es homogéneo, presentándose estratos con diferencias notables en el crecimiento de la especie. Esto a pesar de que estos estratos fueron plantados en la misma

\* Profesor del Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

\*\* Estudiante Carrera de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

fecha, con igual lote de procedencia genética y similares condiciones topográficas, tratamientos silviculturales e historial del uso de la tierra.

Es por tanto importante estudiar las características del sitio que pueden estar directa o indirectamente afectando el crecimiento de la especie, de tal forma, que se pueda predecir la respuesta de la especie en función de las características de los sitios que van a ser reforestados en lo sucesivo. Este tipo de estudios pueden conducir a establecer factores ambientales limitantes al crecimiento de la especie, los que pueden ser tratados con medidas correctivas para así uniformizar el crecimiento de las plantaciones.

En este estudio se formula la tesis de que las diferencias de crecimiento dentro de plantaciones de la misma edad de *Gmelina* de los sitios seleccionados, se deben principalmente a variaciones en la concentración de macronutrientes del suelo.

Consecuentemente los objetivos del estudio son:

- a. Probar si las diferencias en crecimiento de *Gmelina arborea* en estratos de igual edad en plantaciones de la Zona Norte de Costa Rica son estadísticamente diferentes.
- b. Estudiar, a nivel exploratorio, si estas diferencias de crecimiento están asociadas a variaciones en las características ambientales del sitio de fácil medición.

## MATERIALES Y METODOS

### Selección de sitios

Dos fincas forestales de la empresa Los Nacientes Forestales S. A, plantadas con *Gmelina arborea* fueron seleccionadas para llevar a cabo este estudio. El Cuadro 1 resume las características más importantes de estas fincas.

Para cumplir con los objetivos y probar la hipótesis de este estudio, se caracterizó el crecimiento y las propiedades fisicoquímicas del suelo de fácil medición, en parcelas permanentes que se han establecido previamente dentro de las fincas seleccionadas por el Programa MIRA (Manejo Información Recursos Forestales del CATIE). Estas parcelas tienen dimensiones de 7 x 7 árboles plantados a tres por tres metros.

### Caracterización del crecimiento y el sitio

Los diferentes estratos de crecimiento dentro de cada finca fueron delimitados por inspección de campo y en cada uno de estos se seleccionaron siete parcelas permanentes. En este caso, en la Finca 1 y en la Finca 2 se detectaron tres y dos estratos respectivamente. La selección de estas parcelas fue

CUADRO 1. Algunas características ambientales predominantes de dos fincas plantadas con *Gmelina arborea* en la Zona Norte de Costa Rica.<sup>1/</sup>

Característica	Finca 1 San Clemente	Finca 2 Aparejos
Edad de plantación (meses)	32	56
Elevación (m.s.n.m.)	45	300
Precipitación anual (mm)	2674	3245
Temperatura anual (°C)	25	22,5
Zona de vida (Holdridge)	Bh-t	Bh-t
Suelo principal	Aquic Dystropept	Oxic Dystropept
Textura	Arcilloso	Arcilloso
Relieve	Plano	Ondulado
Pendiente %	2 - 10	5 - 35
Saturación de aluminio %	3 - 20	7 - 75
CICE (meq/100 ml) <sup>2/</sup>	4 - 11	4 - 11
pH en agua	5 - 5,5	4,5 - 5,5
Altura dominante (metros)	4,5 - 10	10 - 24

1/ Resumido de Camacho (1991)

2/ CICE = Capacidad de intercambio catiónico efectivo

*Gmelina arborea Roxb es un árbol exótico, procedente del sureste asiático introducido a gran número de países en Asia, Africa, Sur y Centro América. Es una especie caducifolia que alcanza alturas entre 12 y 30 m y un diámetro máximo de 60 a 100 cm.*

sistemática, de tal forma que la distribución de éstas fuera, en lo posible, distribuida uniformemente dentro de cada estrato.

Una vez seleccionadas las parcelas se procedió a medir el diámetro a la altura del pecho de los árboles con una cinta diamétrica y la altura total de estos con una vara telescópica. La altura dominante ( $H_0$ ) de la parcela se estableció con el promedio de los cuatro árboles más altos de ésta. Adicionalmente se caracterizó el estado fitosanitario y el grado de sobrevivencia.

En cada parcela se determinaron las condiciones ambientales predominantes, tales como: drenaje, pedregosidad, erosión sufrida, microrrelieve, riesgo de inundación, profundidad efectiva y pendiente. Estas características se evaluaron según la metodología descrita por el Centro Científico Tropical (1980).

Para determinar las características físico-químicas del suelo se tomaron en cada parcela tres sub-muestras aleatorias de suelo hasta una profundidad de 20 cm. Con estas tres sub-muestras se procedió a formar una muestra compuesta que se cuarteó para tener una muestra final de 600 gramos. De cada muestra se analizaron las siguientes propiedades: pH en agua, pH en KCl 1M, capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE), contenido de bases (calcio, magnesio y potasio), fósforo disponible, acidez intercambiable y textura.

Paralelamente al muestreo de suelos se realizó una descripción del perfil con una calicata de 0,5 x 0,5 x 0,5 metros. Esta descripción se hizo para establecer las características de los horizontes del suelo tales como: color, grosor y textura, además de definir la profundidad efectiva del sitio. Para establecer el nivel friático se utilizó el barreno Edelman, con el cual se midieron 25 cm adicionales de profundidad. De esta manera se llegó a medir, junto con la calicata, hasta 75 cm de profundidad.

Finalmente se realizó un muestreo para obtener densidad aparente promedio de cada parcela. Cuatro muestras al azar fueron tomadas en cada parcela utilizando cilindros de 3,6 cm de altura con un diámetro de 5 cm y un volumen de 70,6 cm<sup>3</sup>. El análisis de densidad aparente se realizó siguiendo el método de peso seco descrito por Núñez (1985).

### Análisis estadístico

El análisis estadístico de este estudio se desarrolló bajo los siguientes tres supuestos:

- Todos los estratos estudiados fueron plantados con material de un mismo lote de procedencia y bajo las mismas condiciones de preparación de terreno y mantenimiento silvicultural.
- El historial del uso de la tierra dentro de cada finca es el mismo en todas las parcelas y estratos estudiados. Es decir, antes de establecerse las plantaciones estos terrenos fueron sometidos a la misma actividad agropecuaria y con la misma intensidad.

Consulta con los técnicos y administradores de estas fincas forestales permitieron establecer que los anteriores supuestos son válidos y por tanto aceptables para la conducción del estudio.

La comparación estadística del crecimiento entre estratos dentro de cada finca se realizó por medio de un análisis de varianza simple (ANDEVA). El modelo lineal aditivo que trata de explicar la variación de crecimiento de la ANDEVA fue:

$$H_0 = u + t + E_{ij}$$

Donde  $H_0$  es altura dominante,  $u$  es la media de  $H_0$ ,  $t$  es el efecto de estratos

en Ho,  $E_{ij}$  es variación no explicada por el modelo (error).

La altura dominante (Ho) fue seleccionada como la variable dependiente en el anterior modelo, ya que Ho se considerada en la literatura como la variable más aceptable para indicar el potencial del sitio para el crecimiento de una especie, a una edad determinada y en condiciones de plantación (Alder, 1980).

Cuando el ANDEVA involucra solamente dos estratos, caso Finca Aparejos, la comparación de las medias de Ho se realizó utilizando los límites de confianza, calculados con un Alfa = 0,05. De contar con más de dos estratos, caso Finca San Clemente, las medias de Ho fueron comparadas adicionalmente utilizando métodos de comparación múltiple, tales como la *Diferencia Mínima Significativa* de Tukey y Duncan con un Alfa = 0,05. Para ilustrar la magnitud de las diferencias de Ho entre estratos en ambos casos se calcularon los intervalos de confianza al 95%.

Para establecer las asociaciones entre Ho y las variables independientes se realizó un análisis de correlación simple. En este caso el análisis de correlación toma la Ho de cada parcela dentro de cada finca y los relaciona con todas las posibles características ambientales medidas en cada parcela. Aquellas variables

independientes que muestren un nivel de significancia superior o igual a 0,05 serán consideradas como variables asociadas potencialmente con la variación de Ho de *Gmelina arborea*. Para el análisis de correlación simple se supone preliminarmente que de existir alguna asociación entre Ho y las variables independientes, ésta es lineal en principio.

En este punto debe recalarse que este estudio es exploratorio y por tanto no se insistirá en la transformación de las variables para ajustar modelos lineales de predicción, lo cual requiere de un muestreo y diseño experimental de mayor rigor que el presente estudio.

Para el análisis de datos de este estudio se utilizó el programa PC-SAS (SAS, 1988).

## DISCUSION DE RESULTADOS

### Finca San Clemente

El modelo propuesto para el análisis de varianza (ANDEVA) resultó altamente significativo (Alfa > 0,0001), con un  $R^2$  de 0,90 y un coeficiente de variación (C.V) de 8,3%. Esto implica que la variación de Ho se asocia al efecto de los estratos. El Cuadro 2 muestra las medias de Ho de cada estrato, los intervalos de confianza con Alfa = 0,05 y las Diferencias Mínimas Significativas según Duncan y Tukey.

La Diferencia Mínima Significativa de Tukey y Duncan indicadas al pie del Cuadro 2 reafirman, con un 95% de confiabilidad, que las medias de Ho entre estratos son significativamente diferentes. Consecuentemente se concluye que es válido estudiar los factores ambientales que se asocian a este comportamiento.

Dado que las matrices de correlación simple pueden contener hasta 24 variables independientes, se decidió incluir en este artículo solo las variables de mayor variación. Según el Cuadro 3

CUADRO 2. Media de la altura dominante, intervalos de confianza y Diferencia Mínima Significativa para estratos de *Gmelina arborea*, de 32 meses de edad en finca San Clemente, Zona Norte de Costa Rica.

Estrato	N	Límite inferior	Media	Límite superior
101	7	8,91	9,39	9,86
102	7	6,57	7,05	7,53
103	7	4,61	5,01	5,56

Alfa = 0,05 Grados de libertad = 18

Diferencia Mínima Significativa según Tukey = 0,8207

Diferencia Mínima Significativa según Duncan = 0,6755

CUADRO 3. Matriz de correlación simple entre Ho de Melina y algunas variables independientes, Finca San Clemente (Coeficiente de Correlación/Nivel de significancia, n = 21)\*.

	Ho	Den	SIAI	Bas	pH <sub>2</sub> O	pHKCl	P	Al	Ca	Mg	K	Cu	Fe	CICE	RMgK	RMgCaK	RCaK
Ho	1,0000 0,0000																
Den	0,0416 0,8578	1,0000 0,0000															
SIAI	0,3077 0,1749	0,3927 0,0782	1,0000 0,0000														
Bas	-0,1890 0,4119	0,0507 0,8271	-0,2366 0,3017	1,0000 0,0000													
pH <sub>2</sub> O	0,1818 0,4302	-0,2302 0,3154	-0,5078 0,0188	-0,3230 0,1533	1,0000 0,0000												
pHKCl	-0,4759 0,0292	-0,1530 0,5079	-0,7746 0,0001	0,0490 0,8328	0,3099 0,1716	1,0000 0,0000											
P	-0,0932 0,6877	0,4432 0,0442	0,3643 0,1044	0,2036 0,3761	-0,3499 0,1199	-0,3377 0,1344	1,0000 0,0000										
Al	0,2983 0,1891	0,4434 0,0441	0,9809 0,0001	-0,0607 0,7938	-0,5946 0,0045	-0,7759 0,0001	0,3991 0,0731	1,0000 0,0000									
Ca	-0,1036 0,6551	-0,0806 0,7283	-0,3782 0,0910	0,9566 0,0001	-0,1356 0,5579	0,1038 0,6544	0,1571 0,4966	-0,2132 0,3536	1,0000 0,0000								
Mg	-0,3434 0,1275	0,2127 0,3546	0,0418 0,8574	0,7655 0,0001	-0,5506 0,0097	-0,0044 0,9850	0,1265 0,5847	0,1789 0,4377	0,5589 0,0084	1,0000 0,0000							
K	-0,0799 0,7308	0,4466 0,0424	0,2939 0,1960	0,5939 0,0045	-0,5428 0,0110	-0,2572 0,2603	0,4804 0,0275	0,4147 0,0616	0,4693 0,0318	0,4769 0,0288	1,0000 0,0000						
Cu	-0,0541 0,8160	-0,1297 0,5753	-0,0322 0,8900	-0,0787 0,7344	0,0491 0,8325	-0,0940 0,6853	-0,0367 0,0924	-0,0494 0,8316	-0,1096 0,6362	0,0706 0,7610	-0,1880 0,4144	1,0000 0,0000					
Fe	-0,0267 0,9085	0,3516 0,1180	0,0633 0,7852	0,3505 0,1193	-0,1060 0,6476	0,1971 0,3917	0,3015 0,1842	0,1261 0,5859	0,2831 0,2136	0,4128 0,0629	0,1555 0,5010	-0,1539 0,5054	1,0000 0,0000				
CICE	-0,1190 0,0674	0,1553 0,5015	0,0006 0,9979	0,9711 0,0001	-0,4666 0,0330	-0,1375 0,5524	0,2988 0,1882	0,1786 0,4385	0,8904 0,0001	0,7994 0,0001	0,6888 0,0006	-0,0896 0,6995	0,3724 0,0964	1,0000 0,0000			
RMgK	-0,1264 0,5850	-0,2860 0,2089	-0,2382 0,2985	-0,0704 0,7617	0,0836 0,6865	0,2306 0,3146	-0,4565 0,0375	-0,2638 0,2479	-0,1087 0,6390	0,2642 0,2472	-0,6887 0,0006	0,2990 0,1879	0,0801 0,7301	-0,1360 0,5566	1,0000 0,0000		
RMgCaK	0,0464 0,8418	-0,5216 0,0153	-0,4844 0,0261	0,0237 0,9188	0,3655 0,1033	0,2927 0,1978	-0,5061 0,0192	-0,4962 0,0222	0,1380 0,5508	-0,0025 0,9916	-0,7565 0,0001	0,1823 0,4291	-0,0020 0,9830	-0,1019 0,6603	0,8400 0,0001	1,0000 0,0000	
RCaK	0,1118 0,6295	-0,5703 0,0069	-0,5406 0,0114	0,0584 0,7990	0,4425 0,0446	0,2918 0,1993	-0,4813 0,0272	-0,5458 0,0105	0,2250 0,3267	-0,1095 0,6367	-0,7195 0,0002	0,1192 0,6069	-0,0349 0,8907	-0,0792 0,7331	0,7014 0,0004	0,9759 0,0001	1,0000 0,0000

\* Véase descripción de las variables en p. 20.

Nota: descripción de las variables

Ho	Altura dominante (metros)
Den	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
StAl	Saturación de aluminio (%)
Bas	Total de bases intercambiables (meq/100 ml)
pH <sub>2</sub> O	pH del suelo en agua
pHKCl	pH del suelo en cloruro de potasio
P	Fósforo (µg/100 ml)
Al	Aluminio (meq/100 ml)
Ca	Calcio (meq/100 ml)
Mg	Magnesio (meq/100 ml)
K	Potasio (meq/100 ml)
Cu	Cobre (µg/ml)
Fe	Hierro (µg/ml)
CICE	Capacidad de intercambio catiónico efectivo (meq/100 ml)
RMgK	Relación magnesio/potasio
RMgCaK	Relación (magnesio + calcio)/potasio
RCaK	Relación calcio/potasio

solo el pH en KCl (Cloruro de Potasio) mostró una correlación significativa con Ho. Esta asociación no se considera causa efecto, ya que no corresponde a una explicación biofísica válida. De esta correlación negativa se deduce que a menor pH del suelo mayor será la altura dominante de la melina, lo cual no es consecuente con el comportamiento de las plantas en relación con el problema de la acidez del suelo (menor crecimiento a mayor acidez). Por consiguiente esta correlación debe tomarse como fortuita, tentativamente asociada con un error de muestreo.

### Finca Aparejos

El modelo propuesto para la ANDEVA en esta finca resultó altamente

CUADRO 4. Media de altura dominante, intervalos de confianza y Diferencia Mínima Significativa para estratos de *Gmelina arborea*, de 56 meses de edad en la Finca Aparejos, Zona Norte de Costa Rica.

Estrato	N	Límite inferior	Media	Límite superior
201	7	19,3	20,8	22,3
202	7	10,7	12,2	13,7

Alfa = 0,05 Grados de libertad = 12

significativo (Alfa > 0,0001), con un R-cuadrado de 0,86 y un coeficiente de variación de 11%. Por lo tanto la variación de Ho se asocia al efecto de los estratos. El Cuadro 4 muestra la media de Ho para cada estrato y los límites de confianza con un Alfa = 0,05.

Del Cuadro 4 se concluye, con un 95% de confiabilidad, que las medias de Ho entre los dos estratos son significativamente diferentes. El Cuadro 5 incluye los coeficientes de correlación y niveles de significancia entre Ho y las variables independientes de mayor variación. De este Cuadro se infiere que la variación de Ho está altamente asociada a las propiedades químicas del sitio, tales como: saturación de aluminio, saturación de bases, aluminio, calcio, magnesio y el pH del suelo. Todas estas correlaciones siguen una tendencia lógica de causa-efecto y anticipable desde el punto de vista de fertilidad de suelos y crecimiento de las plantas.

Cabe señalar que cuando el porcentaje de saturación de aluminio es mayor del 60% puede existir toxicidad para el desarrollo de las plantas (Bertsch, 1987). En este caso, la saturación de aluminio está altamente asociada la variación de Ho.

Las siguientes variables: total de bases intercambiables (Bas), aluminio (Al), calcio (Ca), magnesio (Mg) y pH del suelo (pH<sub>2</sub>O y pHKCl), están íntimamente relacionadas con el problema de la acidez del suelo y por tanto con la variación de Ho. La alta concentración de aluminio intercambiable en el suelo causa acidez y contrarresta la acción de las bases, Ca, Mg y K (Figura 1). Estos resultados son similares a los obtenidos por un estudio de índices de sitio de *Gmelina* en el Pacífico Sur de Costa Rica (Obando, 1989).

Finalmente existe una moderada correlación positiva y significativa entre altura dominante (Ho) y la densidad

CUADRO 5. Matriz de correlación simple entre Ho de Melina y algunas variables independientes, Finca Aparejos.  
(Coeficiente de Correlación/Nivel de significancia, n = 14)\*.

	Ho	Den	SIAI	Bas	pH <sub>2</sub> O	pHKCl	P	Al	Ca	Mg	K	Cu	Fe	CICE	RMgK	RMgCaK	RCaK
Ho	1,0000 0,0000																
Den	0,5504 0,0414	1,0000 0,0000															
SIAI	-0,8343 0,0002	-0,5472 0,0429	1,0000 0,0000														
Bas	0,7446 0,0022	0,4484 0,1078	-0,6932 0,0060	1,0000 0,0000													
pH <sub>2</sub> O	0,5377 0,0474	0,5152 0,0594	-0,6619 0,0099	0,5519 0,0407	1,0000 0,0000												
pHKCl	0,6274 0,0163	0,3715 0,1910	-0,8295 0,0002	0,4630 0,0955	0,7982 0,0006	1,0000 0,0000											
P	-0,2609 0,3677	-0,2326 0,4235	-0,1049 0,7213	-0,0633 0,8299	0,0699 0,8123	0,2531 0,3825	1,0000 0,0000										
Al	-0,6786 0,0076	-0,4492 0,1071	0,8978 0,0001	-0,3624 0,2029	-0,6314 0,0154	-0,8534 0,0001	0,1053 0,7202	1,0000 0,0000									
Ca	0,7710 0,0012	0,5294 0,0516	-0,7432 0,0023	0,9753 0,0001	0,5743 0,0317	0,5076 0,0639	-0,0967 0,7424	-0,4301 0,1248	1,0000 0,0000								
Mg	0,6908 0,0062	0,2785 0,3350	-0,5162 0,0588	0,9329 0,0001	0,4399 0,1155	0,2827 0,3274	-0,1066 0,7167	-0,1675 0,5671	0,8542 0,0001	1,0000 0,0000							
K	0,2870 0,3198	0,2831 0,3267	-0,5197 0,0568	0,6321 0,0153	0,4066 0,1490	0,4763 0,0851	0,2490 0,3906	-0,3845 0,1747	0,5636 0,0358	0,4606 0,0974	1,0000 0,0000						
Cu	-0,0875 0,7662	-0,0794 0,7874	0,2153 0,4599	-0,2549 0,3791	0,2892 0,3160	0,0242 0,9345	-0,1730 0,5542	0,0862 0,7695	-0,3469 0,2244	-0,0786 0,7894	-0,1896 0,5162	1,0000 0,0000					
Fe	0,0872 0,7669	0,4429 0,1127	-0,3838 0,1755	0,1068 0,7164	0,3508 0,2188	0,1803 0,5373	-0,4821 0,0808	-0,3591 0,2074	0,1512 0,6060	-0,0079 0,9786	0,1709 0,5591	0,1409 0,6308	1,0000 0,0000				
CICE	-0,2403 0,4079	-0,1876 0,5208	0,4898 0,0754	0,2480 0,3927	-0,3134 0,2752	-0,5999 0,0233	0,0670 0,8199	0,8130 0,0004	0,1609 0,5827	0,4098 0,1456	-0,0024 0,9936	-0,0678 0,8180	-0,3072 0,2854	1,0000 0,0000			
RMgK	0,1166 0,6914	-0,0171 0,9537	0,1655 0,5718	0,0456 0,8771	0,0593 0,8404	0,2777 0,3364	0,4126 0,1426	0,2276 0,4339	0,0426 0,8850	0,2729 0,3452	0,6239 0,0171	0,2409 0,4067	0,0070 0,9810	0,2650 0,3599	1,0000 0,0000		
RMgCaK	0,1885 0,5187	0,1175 0,6892	0,0652 0,6248	0,0703 0,8114	0,0923 0,7536	-0,2074 0,4767	-0,4575 0,1000	0,1252 0,6669	0,1231 0,6750	0,2237 0,4420	-0,6473 0,0123	0,1005 0,7324	0,0690 0,8148	0,1725 0,5554	0,9655 0,0101	1,0000 0,0000	
RCaK	0,2341 0,4205	0,2135 0,4637	-0,0133 0,9640	0,0856 0,7710	0,1130 0,7004	-0,1451 0,6206	-0,4706 0,0894	0,0424 0,8857	0,1781 0,5424	-0,1766 0,5460	0,6355 0,0146	0,0097 0,9737	0,1125 0,7018	0,0950 0,7466	0,8958 0,0001	0,9806 0,0001	1,0000 0,0000

\* Véase la descripción de las variables del Cuadro 3.

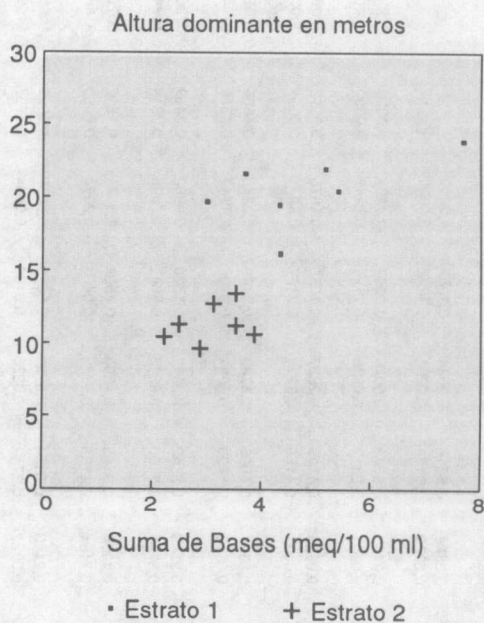
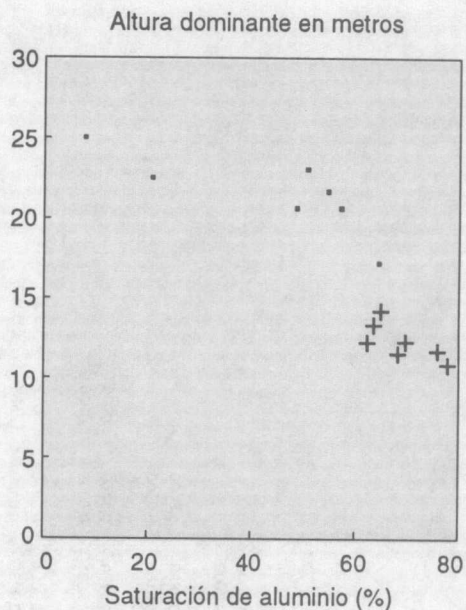


FIGURA 1.  
Relación entre  
altura dominante  
de melina con  
saturación de  
aluminio y suma  
de bases  
intercambiable.  
Finca Aparejos  
Zona Norte,  
Costa Rica.

aparente del suelo (Den), lo cual implica que a mayor densidad (o compactación) del suelo mayor crecimiento de la especie. Esto es contrario a lo esperado, ya que comúnmente se anticipa menor crecimiento de las plantas a mayor densidad del suelo. Por tanto, es importante señalar que la densidad aparente del suelo está correlacionada significativamente con la saturación del aluminio (StAl), pH en agua (pH<sub>2</sub>O) y calcio

(Ca). Por lo tanto es factible que la correlación de 'Ho' con 'Den' sea también fortuita y se deba indirectamente a los efectos químicos del suelo.

## CONCLUSIONES

Hay diferencias significativas en el crecimiento de *Gmelina arborea* entre estratos de igual edad, en las fincas forestales San Clemente y Aparejos de la Zona Norte de Costa Rica.

El estudio a nivel exploratorio reveló que las diferencias de crecimiento están significativamente asociadas (Alfa = 0,05) a la variación de las propiedades químicas del suelo en la Finca Los Aparejos. En contraste, excepto por pH en KCl, ninguna variable independiente mostró estar asociada con las variaciones del crecimiento de la *Gmelina* en la finca forestal San Clemente. En esta finca la asociación de Ho con pH en KCl se consideró como fortuita ya que su interpretación no tiene fundamento desde el punto de vista de fertilidad de suelos y del comportamiento de la especie en relación con el problema de la acidez del suelo.

El problema de la acidez en la finca los Aparejos es muy notable con una variación entre 7 y 75% de saturación de aluminio. Con esta amplia variación de saturación de aluminio y concentración de bases es anticipable encontrar una variación significativa del crecimiento de la especie. En contraste, la Finca San Clemente presenta muy poca variación de acidez y concentración de bases, lo cual dificulta detectar las posibles asociaciones de las variables químicas del suelo con la variación del crecimiento de la *Gmelina*. Debe indicarse que este estudio no incluyó aspectos de la microbiología, micronutrientes, forma del terreno, nitrógeno del suelo y contenido de materia orgánica, los cuales podrían





eventualmente explicar la variación del crecimiento de *Gmelina* en esta finca. También es importante, señalar que el muestreo de densidad aparente del suelo podría no ser el más apropiado para este tipo de estudios y por consiguiente es factible que existan problemas de compactación de suelos en la Finca San Clemente, que no se pudieron detectar a través de este estudio.

Se ha partido de los supuestos de que las parcelas permanentes evaluadas en cada finca son de la misma edad, plantadas con el mismo material genético y tratamiento silvicultural. Así mismo se ha considerado que el historial del uso de la tierra ha sido similar en cada parcela. Estos supuestos han dado lugar a este estudio y por tanto las conclusiones aquí indicadas dependen de la validez de éstos. No obstante, una consulta con los administradores y técnicos de estas fincas permiten establecer un grado aceptable de confiabilidad en la validez de estos supuestos para un estudio de este nivel.

Finalmente se concluye que la hipótesis central del estudio, cual es, "la variación del crecimiento de la *Gmelina* está asociada a las variaciones de la concentración de macronutrientes del suelo", fue aceptada para la finca Aparejos mientras que para la finca San Clemente fue rechazada. Los aportes de este estudio más los de Obando (1989), permiten en definitiva señalar que la variación en crecimiento de la especie *Gmelina arborea* en Costa Rica está altamente asociada al efecto de la acidez del suelo y concentración de bases.

#### RECOMENDACIONES

A nivel exploratorio se ha concluido que la alta saturación de aluminio y la baja concentración de bases están significativamente asociadas con el bajo crecimiento de la *Gmelina* en la Finca

Aparejos. Por lo tanto se recomienda diseñar un experimento de campo con el objetivo de evaluar el efecto del encalado en el crecimiento de *Gmelina arborea*.

En el caso de finca San Clemente se recomienda profundizar el nivel de los estudios a efecto de evaluar otros posibles factores ambientales tales como compactación de suelos, nitrógeno, materia orgánica del suelo, forma del terreno, micronutrientes y actividad microbiana.

En lo sucesivo es recomendable que las empresas reforestadoras mantengan registros técnicos completos que incluyan el historial del uso de la tierra, el registro del material genético plantado y los tratamientos silviculturales aplicados en cada unidad de manejo. Esto con el fin de facilitar la evaluación de los factores ambientales en el crecimiento de las especies.

#### RECONOCIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento a la Empresa Los Nacientes Forestales por su cooperación en este estudio, especialmente a su Gerente Técnico el Ing. For. Marco Pereira.

#### LITERATURA CITADA

- Alder, D. 1980. **Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol. 2. Predicción del rendimiento.** FAO. Montes, Roma. 80 p.
- Bertsch, F. 1987. **Manual para interpretar la fertilidad de suelo de Costa Rica.** Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 78 p.
- Camacho, D. 1991. **Algunos factores ambientales relacionados con el crecimiento de *Gmelina arborea* Roxb. en la Zona Norte de Costa Rica.** Informe de Práctica de Especialidad. Departamento de Ing. Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 54 p.

- Centro Científico Tropical. 1980. **Manual para la determinación de capacidad de uso de la tierra.** San José, Costa Rica. 47 p.
- Murillo, O.; Valerio, J. 1991. **Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) Especie de Uso Múltiple en América Central.** CATIE. Colección de Guías Silviculturales No. 10. Turrialba, Costa Rica. 69 p.
- Núñez, J. 1985. **Fundamentos de edafología.** Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 184 p.
- Obando, G. 1989. **Construcción de modelos matemáticos de clasificación de sitios para la especie *Gmelina arborea* Roxb., aplicables a la Zona Pacífico Sur de Costa Rica.** Informe de Práctica de Especialidad. Departamento de Ing. Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 118 p.
- Rojas, F. 1981. **Especies forestales más utilizadas en los proyectos de reforestación en Costa Rica.** Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 131 p.
- SAS Institute Inc. 1988. **SAS/STAT User's Guide, Release 6.03.** Edition. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina. 1028 p.