

Indices de sitio en linderos maderables en Costa Rica y Panamá.

Rocío Alexandra Ortiz¹

RESUMEN

El estudio se realizó en siete linderos de *Acacia mangium* y *Tectona grandis*, localizados en fincas del Cantón de Talamanca en Costa Rica (San Rafael, Bordon, Hone Creek y Cocles) y en el Distrito de Changuinola en Panamá (Guabito 1, Guabito 2 y El Silencio), con el propósito de determinar la calidad de sitio. Se clasificó la calidad de los sitios, recurriendo al modelo de intercepto común para *Acacia mangium* y, al modelo de pendiente común para *Tectona grandis*.

En linderos de *Acacia mangium*, la calidad de los sitios se clasificó de acuerdo al índice de sitio encontrado a una edad base de cinco años: de calidad baja a Hone Creek, Bordon, Guabito 2 y El Silencio con 7.85 m, de calidad media a Guabito 1 con 8.79 m, de calidad alta a San Rafael con 9.05 m y de calidad muy alta a Cocles con 10.09 m. En linderos de *Tectona grandis*, la calidad de los sitios se clasificó respecto al índice de sitio determinado a una edad base de 10 años: de calidad baja a San Rafael, Hone Creek, Bordon y Guabito 2 con 16.26 m, de calidad media a Guabito 1 con 18 m, de calidad alta a Cocles con 19.51 m, y de calidad muy alta a El Silencio con 20.01 m. Se encontró que el índice de sitio influyó en el crecimiento y rendimiento de la altura, el diámetro, el volumen y el contenido de carbono; desde el año dos para *Acacia mangium* y desde el año cinco para *Tectona grandis*.

PALABRAS CLAVE: Calidad de sitio, edad base, índice de sitio.

¹ Ingeniera Agróforestal, Egresada, Universidad de Nariño. roalorpaz@hotmail.com

ABSTRACT

The study was made in seven edges of *Acacia mangium* and *Tectona grandis*, located in property of the Corner of Talamanca in Costa Rica (San Rafael, Bordon, Guabito 2, and El Silencio), in order to evaluate the quality of site. The quality of the sites was classified, resorting to the model of intercept common for *Acacia mangium* and, to the common slope model for *Tectona grandis*.

In edges of *Acacia mangium*, the quality of the sites was classified according to the index of site found to an age bases of five years: of low quality to Hone Creek, Bordon, Guabito 2 and El Silencio with 7.85 m, of average quality to Guabito 1 with 8.79 m, of high quality to San Rafael with 9.05 m and of very high quality to Cocles with 10.09 m. In edges of *Tectona grandis*, the quality of the sites was classified with respect to the index of site determined to an age bases of 10 years: of low quality to San Rafael, Hone Creek, Bordon and Guabito 2 with 16.26 m, of average quality to Guabito 1 with 18 m, of high quality to Cocles with 19.51m, and of very high quality to El Silence with 20.01 m. One was that the site index influenced in the growth and yield of the height, the diameter, the volume and carbon; from year two for *Acacia mangium* and from year five for *Tectona grandis*.

KEY WORDS: quality of site, age bases, index of site.

INTRODUCCION

El lindero es uno de los sistemas agroforestales, que consiste en la plantación y manejo de árboles en líneas en las fincas, los cuales que pueden crecer y almacenar carbono dependiendo en gran medida de la calidad del sitio en donde se encuentren. En este caso, la calidad de sitio hace referencia a la máxima cosecha de madera o biomasa que el lindero produce en un tiempo determinado.

La calidad de sitio se puede evaluar determinando el índice del sitio (Is), que se puede estimar con la altura de 100 árboles más altos por hectárea de plantación, o con la altura de un árbol por cada nueve metros lineales (en el caso de plantaciones en línea) a una edad en particular. Actualmente tener en cuenta la calidad del sitio, es determinante en los procesos de reforestación e implementación de sistemas agroforestales, para evitar fracasos técnicos y por consiguiente pérdidas económicas de una región.

El presente estudio se realizó con el objetivo de determinar la calidad de los sitios de *Acacia mangium* y *Tectona grandis* en linderos, para el cual se emplearon datos de alturas dominantes de 5 años de edad para el caso de *A. mangium* y de 10 años de edad para el caso de *T. grandis* registrados en la base de datos del proyecto “Árboles maderables en linderos”; ejecutado entre el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (CATIE/GTZ).

METODOLOGIA

Localización del área de estudio. La clasificación de índice de sitio en los linderos de *Acacia mangium* y *Tectona grandis*, se efectuó en fincas del proyecto agroforestal “Árboles maderables en linderos” (CATIE-GTZ), de las cuales se seleccionaron siete: San Rafael, Cocles, Hone Creek, Bordon, Guabito 1, Guabito 2 y El Silencio. Las cuatro primeras pertenecientes al Cantón de Talamanca, Provincia Limón, al suroeste en Costa Rica y las tres siguientes al Distrito Changuinola, Provincia Bocas del Toro, al nor-este en Panamá.

Ubicación geográfica y condiciones climáticas. Los linderos de este estudio, se localizan entre los 9°38' y 9°71' de latitud Norte y 82°53' y 82°91' de longitud Oeste. Excepcionalmente al lindero de San Rafael, el cual se ubica en una cresta de montaña, los demás, se ubican en una planicie aluvial. Presentan altitud menor a 300 m, 2500 mm de precipitación anual, sin estación seca marcada y 1600 mm de evapotranspiración potencial. Su temperatura promedio anual es de 24 a 27 °C.

Cálculo de la altura dominante. Siguiendo el procedimiento optado por Valdivieso (1997), quien tomó un árbol por cada nueve metros lineales en los linderos, en este estudio, se tomó 15 árboles más altos a la edad base de cinco años de *A. mangium* y 19 árboles más altos a la edad base de 10 años de *T. grandis*, en 180 m que ocupan las tres repeticiones lineales.

Las alturas dominantes encontradas a la edad base de cinco años para *A. mangium* y de 10 años de edad para *T. grandis*, se exportaron de la hoja de cálculo Excel a Statgraphics 5.0 y con estas, se desarrolló una ecuación para estimar la altura dominante de cada especie, basada en la ecuación de Shumacher (I), citada por Huguell (1991):

$$\ln(Hd) = a + b/\text{edad}^k \quad (I),$$

en donde: Hd= altura dominante y a, b, k son coeficientes que se estimaron por regresión.

Estimación directa del Índice de sitio por el método de la curva guía. Para estimar el índice de sitio de *A. mangium*, a una edad base de cinco años, se utilizó el modelo de intercepto común de Shumacher (2) citado por Huguell (1991), dado a continuación:

$$\text{Ln (IS)} = a + [\text{Ln (Hd)} - a] * (\text{edad})^k / (\text{edad base})^k \quad (2),$$

en donde: IS = Índice de sitio (m), Hd = altura dominante (m), Ln = logaritmo natural, edad = edad del lindero (años); edad base = edad base para calcular el índice de sitio y, a y b = coeficientes que se estimaron por regresión en la ecuación (1).

Para estimar el índice de sitio de *T. grandis*, a una edad base de 10 años de edad se recurrió al siguiente modelo de pendiente común de Shumacher (3), citado por Huguell (1991):

$$\text{Ln (IS)} = \text{Ln (Hd)} + b (1/\text{Edad}^k - 1/\text{Edad base}^k) \quad (3),$$

en donde: IS = Índice de sitio (m), Hdom = altura dominante (m), Ln = logaritmo natural, edad = edad del lindero (años); edad base = edad base para calcular el índice de sitio y, a y b = coeficientes que se estimaron por regresión en la ecuación (1)

La altura dominante en los siete sitios, se reemplazó en (2) y en (3) para cada especie y, se obtuvo cuatro rangos de índices de sitio, que representan su calidad: bajo, que corresponde a sitios pobres, que son sitios por debajo del promedio, difícilmente rentables. Medio, son sitios buenos, alrededor del promedio. Esta clase de sitio tiene buenas posibilidades de ser rentable con un manejo apropiado. Alto, significa plantaciones con buen crecimiento y superior al promedio, sitios con buen potencial económico y muy alto, son sitios con crecimiento muy bueno y superan el promedio.

La edad base de cinco años para *A. mangium* y de 10 años de edad para *T. grandis*, se fijó de acuerdo a los rangos de edad utilizados en los estudios reportados. En literatura, Oliva (1990), reporta un modelo de intercepto común para *A. mangium* (4) y Huguell (1991), un modelo de pendiente común para *T. grandis* (5):

$$\text{Ln (IS)} = 5.8369 + [\text{Ln (Hdom)} - 5.8369] * (\text{edad} / \text{edad base})^{0,30} \quad (4)$$

$$\text{Ln (IS)} = \text{Ln (Hd)} + 1.8253 (1/\text{edad}^{0,5162} - 1/\text{edad base}^{0,5162}) \quad (5)$$

Índice de sitio a una edad base de cinco años para *Acacia mangium* y, de diez años de edad para *Tectona grandis*. Se estimó directamente el índice de sitio por medio del método de la curva guía, explicado en la metodología. Con los datos de las alturas dominantes, los cuales se ajustaron muy bien a la ecuación de Shumacher citada por Huguell (1991), se obtuvo la curva guía para cada especie:

$$\text{Ln}(\text{Hd}) = a + b/\text{edad}^k \quad (\text{ecuación de Shumacher})$$

En *A. mangium*,

$$a = -1.24431, b = 2.95559 \text{ y } k = -0.165218$$

$$\text{Ln}(\text{Hd}) = -1,24431 + 2,95559/\text{edad}^{-0,165218} \quad (\text{curva guía para } A. \text{ mangium})$$

En *Tectona grandis*,

$$a = 0,0835346, b = 2.08401 \text{ y } k = -0,167359$$

$$\text{Ln}(\text{Hd}) = 0,0835346 + 2,08401/\text{edad}^{-0,167359} \quad (\text{curva guía para } T. \text{ grandis})$$

Reemplazando los coeficientes a , b y k en el modelo de intercepto común seleccionado para *A. mangium* y el modelo de pendiente común seleccionado para *T. grandis*, se obtuvieron las ecuaciones (9) y (10), respectivamente.

$$\text{Ln}(\text{IS}) = a + (\text{Ln}(\text{Hd}) - a) * (\text{edad}/\text{edad base})^k \quad (\text{modelo de intercepto común})$$

$$\text{Ln}(\text{IS}) = -1,24431 + (\text{Ln}(\text{Hd}) + 1,24431) * (17/5)^{-0,165218} \quad (9)$$

$$\text{Ln}(\text{IS}) = \text{Ln}(\text{Hd}) + b(1/\text{edad base } k) - (1/\text{edad } k) \quad (\text{modelo de pendiente común})$$

$$\text{Ln}(\text{IS}) = \text{Ln}(\text{Hd}) + 2.08401(1/10^{-0,167359}) - (1/17^{-0,167359}) \quad (10)$$

Al reemplazar las alturas dominantes por especie y por sitio en las ecuaciones (9) y (10), se encontraron los índices de sitio para cada especie, que se pueden observar en la Tabla I.

*Tabla I. Índices de sitio estimados para *A. mangium* y *T. grandis*, a una edad base de cinco y 10 años respectivamente.*

Acacia	H. Creek	Bordon	Guabito	El Silencio	Guabito I	S. Rafael	Cocles
	7,92	7,88	7,92	7,68	8,79	9,05	10,07
Teca	S. Rafael	Guabito	H. Creek	Bordon	Guabito I	Cocles	El Silencio
	16,14	16,12	16,26	16,52	18,00	19,51	20,01

En la Tabla 1, se puede observar que para *A. mangium*, a la edad de cinco años, se forman cuatro grupos de linderos bien diferenciados, que corresponden a cuatro sitios. El primer grupo, que registra las más bajas alturas lo conforma: Hone Creek, Bordon, Guabito 2 y El Silencio. El segundo grupo lo forma Guabito 1. El tercer y cuarto grupo lo conforman San Rafael y Cocles respectivamente. Para *Tectona grandis*, a la edad de 10 años, se diferencian cuatro grupos de linderos: San Rafael, Guabito 2, Hone Creek y Bordon forman el primero. Guabito 1, Cocles y Silencio forman el segundo, tercero y cuarto grupo respectivamente. Con base en esta observación, se promediaron los índices de sitio de los linderos que conforman cada grupo, determinando cuatro calidades de sitio para *A. mangium* (Tabla 2) y cuatro calidades de sitio para *Tectona grandis* (Tabla 3). El valor de la altura dominante para cada calidad de sitio, se obtuvo de promediar los valores de la altura dominante, bien diferenciada entre grupos.

Tabla 2. Calidad de sitio para los linderos de *A. mangium*.

Calidad	Is	Hd pro	CV (%)	Ubicación
Baja	7,85	15,20	15	Hone Creek, Bordon, Guabito 2, El Silencio
Media	8,79	16,30	18	Guabito 1
Alta	9,05	19,10	13	San Rafael
Muy alta	10,09	20,00	8	Cocles

Hd pro = altura dominante promedio (m), Is = índice de sitio (m), CV= coeficiente de variación.

Los linderos de Hone Creek, Bordon, Guabito 2 y El Silencio representan el 57.13% del total de los linderos evaluados y se clasificaron como sitios de calidad baja, con un Is igual a 7.85 m. El 14.29% de los linderos evaluados lo representa Guabito 1 y se clasificó sitio de calidad media, con un Is igual 8.79 m. San Rafael, constituyó el 14.29% de los linderos evaluados y se clasificó sitio de calidad alta, con un Is igual a 9.05 m. Finalmente el restante (14.29%) de los linderos evaluados lo constituyó Cocles y se clasificó sitio de calidad muy alta con un Is igual a 10.09 m. Oliva (1990), reporta valores de Is para *A. mangium*: altos, medios y bajos de 12 m, 9 m y 6 m respectivamente, a una edad base de cuatro años para América central en una densidad de plantación de 2500 árboles ha⁻¹. Estos valores son similares a los encontrados en este estudio a una edad base de cinco años, en una densidad de 400 árboles km⁻¹.

La variabilidad relativa de las alturas dominantes, representada por los coeficientes de variación (CV), aunque fue mayor en los sitios de calidad baja y media y, menor en los sitios de calidad alta y muy alta, demuestran la confiabilidad de los datos al ser menor a 18%.

El modelo de intercepto común, permitió describir la familia de curvas polimórficas de *IS*. El modelo de la curva guía fijó el valor de *a* en -1.24431 (intercepto de la regresión), y el valor de *b* fue variable (pendiente de la regresión). Como puede verse en la Figura 1, entre curvas polimórficas, la distancia no es proporcional con diferentes edades, tal como lo plantea Hughell.

Figura 1. Modelo de la curva guía y curvas polimórficas de índice de sitio de 7.85 m, 8.79 m, 9.05 m y 10.09 m, a una edad base de 5 años de edad para *Acacia mangium*, en linderos de Costa Rica y Panamá; con base en el modelo de intercepto común.

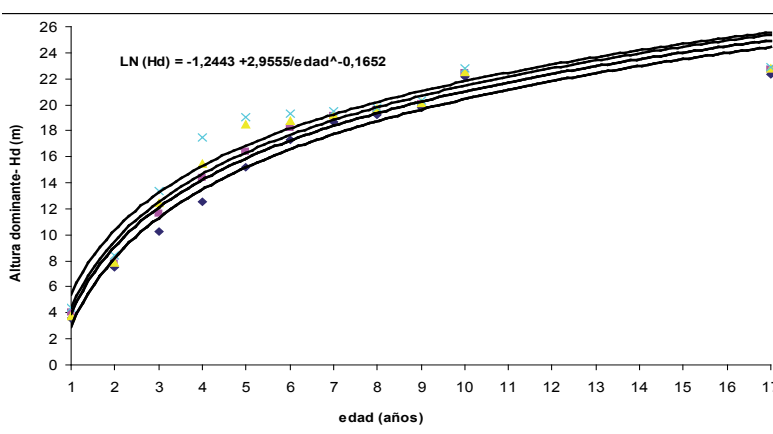


Tabla 3. Calidad de sitio para los linderos de *T. grandis*.

Calidad	Is	Hd p	CV (%)	Ubicación
Baja	16,26	21,62	5	San Rafael, H. Creek, Bordon, Guabito 2
Media	18,00	23,90	4	Guabito I
Alta	19,51	25,90	3	Cocles
Muy alta	20,01	26,60	4	El Silencio

Hd p = altura dominante promedio (m), **Is** = índice de sitio (m), **CV** = coeficiente de variación.

San Rafael, Hone Creek, Bordon y Guabito 2, representaron el 57.13% del total de los linderos evaluados y se clasificaron sitios de calidad baja, con un *Is* de 16.26 m. El 14.29% de los linderos evaluados lo representó Guabito I y con un *Is* de 18.00 m, se clasificó sitio de calidad media.

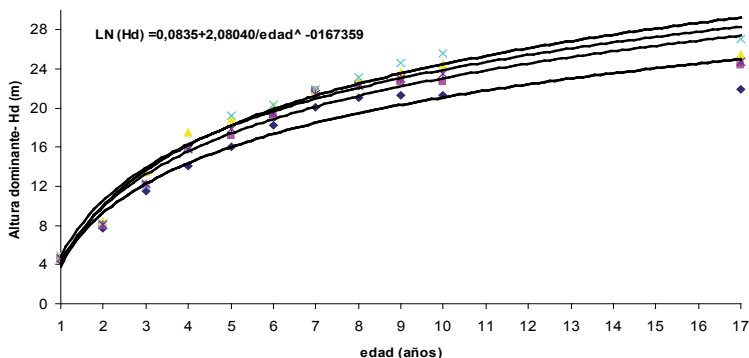
Cocles, representó el 14.29% de los linderos evaluados y con un I_s de 19.51 m, se clasificó como un sitio de calidad alta; El Silencio representó el 14.29% de los linderos evaluados, y con un I_s de 20.01 m, se clasificó sitio de calidad muy alta.

Somarriba (1999), reportó índices de sitio de 17 m, 19 m y 20 m, para calidad baja, media y alta respectivamente. Estos valores encontrados a una edad base de cinco años, son similares a los obtenidos en los mismos linderos de este estudio, a una edad base de diez años de edad.

Vaidez (2004), reportó cuatro índices de sitio a una edad base de diez años para plantaciones de *T. grandis* en Guatemala: 11.38 m en sitios de baja productividad, 17.19 m en sitios de productividad media, 18.40 m en sitios de productividad alta y 26.43 m en sitios de excelente productividad. Sus valores, sobrepasan los cuatro valores de I_s encontrados en este estudio. Los bajos coeficientes de variación ($CV \leq 5$), demuestran que la altura dominante de los árboles presenta baja dispersión y su promedio representa muy bien a cada linderó.

En *T. grandis*, el modelo de pendiente común, permitió describir la familia de curvas anamórficas de índice de sitio (Figura 2), el modelo de la curva guía mantuvo constante el valor de b en 2,08401 (pendiente de la regresión) y, el valor de a (intercepto de la regresión) fue variable. El término de curvas anamórficas se refiere a que la distancia entre las curvas es proporcional con las diferentes edades.

Figura 2. Curvas anamórficas de índice de sitio de 16.26 m, 18.0 m, 19.51 m y 20.01 m, a una edad base de 10 años para *Tectona grandis*, en linderos de Costa Rica y Panamá; con base en el modelo de pendiente común.



CONCLUSIONES

En *Acacia mangium*, los linderos de Hone Creek, Bordon, Guabito 2 y El Silencio, se clasificaron sitios de calidad baja. Guabito 1 se clasificó sitio de calidad media, San Rafael sitio de calidad alta y Cocles sitio de calidad muy alta.

En *Tectona grandis*, San Rafael, Hone Creek, Bordon y Guabito 2 se clasificaron sitios de calidad baja. Guabito 1 se clasificó sitio de calidad media, Cocles sitio de calidad alta y El Silencio sitio de calidad muy alta.

Los bajos coeficientes de variación ($CV \leq 5$), demostraron que la altura dominante de los árboles presenta baja dispersión y el valor promedio representa muy bien a cada lindero de origen,

BIBLIOGRAFIA

HUGHELL, D. Lineamientos para el desarrollo de modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de árboles de uso múltiple. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. Turrialba, Costa Rica, 1991. 131 p.

OLIVA, E. Comportamiento en Plantación de Mangium (*Acacia mangium Willd*) y Aripín (*Caesalpinia velutina* (B Y R) Standl) en America Central. Trabajo de grado (Magister Scientiae). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 1990. 117 p.

SOMARRIBA, E. et al. Linderos de *Tectona grandis* L.F. en el trópico húmedo de Costa Rica y Panamá. En: Revista Forestal Centroamericana (CATIE). Oct-Dic 1999. (no.28), p. 15-21.

VAIDES, E. Características de sitio que determinan el crecimiento y la productividad de teca (*Tectona grandis* L. F), en plantaciones forestales de diferentes regiones en Guatemala. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 2004, 81p.

VALDIVIESO, T. Crecimiento de laurel (*Cordia alliodora* [Ruíz y Pavón] Oken) como componente maderable de sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá. Trabajo de grado (Magister Scientiae), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 1997. 70 p.