

Relación del índice de sitio con los factores que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica

Una herramienta práctica para el manejo de plantaciones forestales.

Marcelino Montero M.
Luis Ugalde
Markku Kanninen

RESUMEN

Se estudiaron las variables de sitio, suelo e índice de sitio en relación con el crecimiento de *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata*, en diferentes regiones de Costa Rica. La precipitación media anual presentó una correlación positiva con el índice de sitio de *T. grandis* ($r = 0,55$), de acuerdo con los resultados la especie presenta buenos crecimientos a partir de los 1500 mm de precipitación media anual. El índice de sitio cuenta con una correlación positiva con la posición topográfica de 43% ($r = 0,43$), por lo que *T. grandis* tiende a crecer mejor en sitios planos y pendientes medias. No se recomienda establecer plantaciones en pendientes superiores, ya que tienen normalmente suelos poco profundos, muy lixiviados y propensos a la erosión. Los nutrientes foliares de *T. grandis*, como calcio y magnesio indican que a mayor contenido de estos elementos en las hojas, mayor es el índice de sitio. Un comportamiento contrario lo presenta el potasio. En el caso de este nutriente un 1% es suficiente para un buen crecimiento. La relación del índice de sitio de *B. quinata* con el calcio foliar es muy similar al de *T. grandis*. Los micronutrientes foliares de *B. quinata*, mostraron una correlación bastante alta, como el cobre foliar ($r = 0,89$), por lo que la especie crece bien con más de 10 mg/kg de este nutriente. El índice de sitio de *T. grandis* se correlacionó negativamente con el déficit hídrico ($r = -0,50$), y con la temperatura media anual ($r = -0,47$), y en forma positiva con la posición topográfica ($r = 0,43$). Todas estas variables presentan una correlación altamente significativa ($P < 0,01$).

Palabras claves: *Tectona grandis*; *Bombacopsis quinata*; índice de sitio; crecimiento; índice de crecimiento; Costa Rica.

SUMMARY

The relationship between site index and site factors known to influence *Tectona grandis* L.F. and *Bombacopsis quinata* growth in Costa Rica. Site index for *Tectona grandis* and *Bombacopsis quinata* was correlated to site and soil variables obtained from different regions of Costa Rica. Mean annual precipitation presented a positive correlation with site index for *T. grandis* ($r = 0.55$). Good growth rates for *T. grandis* was observed in sites with mean annual precipitation of 1500 mm or greater. Site index for *T. grandis* also presented a positive correlation with topographical position ($r = 0.43$) indicating that the species grows best in flat lands and on sites with mild slopes. Plantations of these species are not recommended on severe slopes, since these sites often possess shallow, degraded soils and are susceptible to erosion. Foliar analyses of *T. grandis* indicated that increased concentrations of calcium and magnesium are associated with higher site indices. With regards to potassium, a concentration of 1% was adequate for good growth. The positive relationship between site index for *B. quinata* and foliar calcium was similar to that of *T. grandis*. Foliar copper in *B. quinata* presented a strong correlation ($r = 0.89$) with site index. Good growth was observed where foliar copper reached or exceeded 10mg/kg. Site index for *T. grandis* was negatively correlated with average number of dry months (water deficits; $r = -0.50$) and with mean annual temperature ($r = -0.47$). These variables and topographical position were all highly statistically significant ($P < 0.01$) and form part of the mathematical model derived.

Key words: *Tectona grandis*; *Bombacopsis quinata*; site index; growth; growth index; Costa Rica.

La determinación de la calidad de sitio se ha estudiado mediante la evaluación del crecimiento actual de las plantaciones existentes, considerando factores edáficos (características nutricionales, tanto del suelo como del follaje), fisiográficos y climáticos. Estos estudios se han realizado en parcelas establecidas para analizar el crecimiento en plantaciones, con el apoyo de programas gubernamentales de incentivos forestales para la reforestación y de empresas privadas dedicadas a esta actividad en Costa Rica.

Esta información ha servido para el desarrollo de modelos de índice de sitio que permiten evidenciar las relaciones existentes entre este índice y los factores que determinan el crecimiento de diferentes especies.

Para este trabajo se establecieron y midieron parcelas adicionales para complementar la base de datos disponible en el sistema MIRA (Manejo de Información sobre el Recurso Arbóreo) (Ugalde 1988). Estas parcelas se establecieron en un rango variado de edades y condiciones diferentes a lo largo del país, para que permitieran relacionar y modelar las características edáficas y foliares, factores fisiográficos y climáticos con el crecimiento de las especies.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área donde se concentra el mayor número de parcelas de estas especies, se localiza en el Noroeste y Suroeste de Costa Rica, específicamente en las provincias de Guanacaste, San José y Puntarenas; en menor número en Limón (Figura 1).

Descripción de la base de datos

La base de datos está constituida por datos de parcelas permanentes y temporales, que se encuentran almacenados en el sistema MIRA (Ugalde 1988). De *Tectona grandis* (teca) se establecieron 142 parcelas con edades entre 2 y 45 años y 80 parcelas de *Bombacopsis quinata* (pochote), de 2 a 25 años.

Las parcelas evaluadas en cada sitio fueron establecidas utilizando la metodología del sistema MIRA



Figura 1. Localización de los sitios donde se establecieron las parcelas de estudio para *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en Costa Rica.

(Ugalde 1995), asegurando un número adecuado de parcelas en las condiciones del sitio. Su forma fue rectangular o cuadrada y su tamaño varió de acuerdo con el espaciamiento (desde 300 hasta 1000 m²).

En cada parcela se evaluaron variables dasométricas, fisiográficas, climáticas, edáficas y foliares.

Resultados

De los cinco grupos de variables que se incluyeron en el análisis de regresión, todas las del grupo de climáticas tuvieron relación con el índice de sitio (IS), seguido por las foliares con tres de ellas y una variable de las fisiográficas para *T. grandis*; para *B. quinata* solo cinco de las foliares presentaron relación con el IS (Cuadro 1).

Variables climáticas

Las parcelas de *T. grandis* evaluadas se encuentran distribuidas en un rango de 1 000 a 6 000 mm de precipitación media anual (pma), rango similar al indicado para la especie en condiciones naturales (Lamprecht 1990). El coeficiente de correlación (*r*) de la precipitación con el IS es de 0,55, coincidiendo con el estudio de Vásquez y Ugalde (1994) (*r* = 0,55).

La Figura 2 muestra la distribución de *T. grandis* con respecto a la pma y el IS. El IS va aumentando ligeramente conforme aumenta la pma. Aunque Vásquez y Ugalde (1994) indican que los mejores sitios para *T. grandis* están en áreas con pma mayores de 2 000 mm, la presente investigación sugiere que esto ocurre a partir de los 1 500 mm (ver línea punteada en Figura 2).

Cuadro 1. Variables más correlacionadas con el índice de sitio de *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en Costa Rica.

Variable	IS de <i>Tectona grandis</i> <i>r</i>	IS de <i>Bombacopsis quinata</i> <i>r</i>
Precipitación media anual	0,55	
Déficit hídrico	- 0,50	
Temperatura media anual	- 0,47	
Posición topográfica	0,43	
Calcio foliar	0,66	0,43
Potasio foliar	- 0,67	
Magnesio foliar	0,62	
Suma de base foliares		0,49
Cobre foliar		0,89
Manganeso foliar		0,57
Zinc foliar		0,45

IS: índice de sitio
r: coeficiente de correlación
 Nota: todas las correlaciones fueron altamente significativas estadísticamente (*P*<0,01).



Crecimiento de teca en una plantación de Costa Rica que registra un índice de sitio excelente.

Foto: Markku Kaminen.

El déficit hídrico (DEFHID) de *T. grandis*, expresado por el número de meses secos menores de 100 mm, mostró una relación negativa con el IS ($r = -0,50$). Un resultado similar fue reportado por Vásquez y Ugalde (1994) y Vallejos (1996).

El 88% de parcelas de *T. grandis* con los mejores IS se encontraron en sitios que tenían de tres a seis meses periodos secos y un 3% de la población con IS altos se localizaron en sitios sin déficit hídrico (Figura 3). Hizo falta un mayor número de parcelas en estas condiciones para determinar mejor el crecimiento de esta especie en zonas climáticas de bosque tropical húmedo y muy húmedo.

La temperatura media anual de *T. grandis* presentó una relación inversamente proporcional al IS, con un $r = -0,47$; la tendencia y los valores obtenidos para esta variable se en-

cuentran entre los rangos citados en la literatura para la especie. Los mejores crecimientos se obtuvieron entre los 26 y 27 °C de temperatura media anual; sin embargo, se observó una alta variabilidad para esta relación a pesar del rango tan estrecho en los que están los sitios. Por esto se debe complementar el estudio con más observaciones en sitios de diferentes condiciones climáticas (Figura 4).

Variables fisiográficas

La posición topográfica presentó una correlación de 0,43 con el IS de *T. grandis*, la especie prefiere pendientes medias, e inferiores y fondos planos. De la totalidad de las parcelas un 45% ubicadas en sitios con fondo plano presentan mayor IS, un 21% en la pendiente inferior, un 24% en la pendiente media y un 10% se ubica en la cima (Figura 5).

Variables foliares

El contenido de calcio en las hojas de *T. grandis* tuvo una relación con el IS de $r = 0,66$ lo que corrobora lo encontrado por Vallejos (1996), a pesar de su bajo número de muestras y sitios analizados. Este valor al igual que el de potasio ($-0,67$) son los más altos con respecto a las otras variables para esta especie. *B. quinata* muestra una relación más débil ($r = 0,43$) con respecto a *T. grandis*.

Los resultados del análisis foliar de *T. grandis* indican que a más contenido de calcio en las hojas mayor es el índice de sitio (Figura 6). Se esperaba que esta misma relación se presentara con el calcio del suelo pero no sucedió (Montero 1999).

B. quinata no mostró una tendencia clara en su relación con el IS ($r = 0,43$), por tanto el crecimiento es comparable tanto a niveles bajos como altos de contenido de calcio foliar.

El contenido de potasio foliar en *T. grandis* presentó una relación inversamente proporcional al IS, con una correlación de $r = -0,67$. Los mejores crecimientos se obtuvieron entre 0,5 y 1% de potasio foliar (Figura 7).

El magnesio foliar en *T. grandis* tuvo una relación positiva con el IS, con un coeficiente de correlación de 0,62 (Figura 8).

El único grupo de variables relacionadas con el índice de sitio de *B. quinata* fueron las foliares (Ca, Ca+Mg+K, Cu, Mn y Zn). Vallejos (1996) señala al magnesio y al potasio como elementos que se relacionaron con el IS.

La suma de las bases (Ca+Mg+K) para *B. quinata* presentó un coeficiente de correlación (r) con el IS de 0,49. El comportamiento no es claro para definir la tendencia de las observaciones con el IS, ya que el IS no aumentó se mantuvo constante mientras creció la suma de bases.

El contenido de cobre foliar (Cu) para *B. quinata*, presentó una relación con el IS bastante alta ($r = 0,89$) es una de las variables con mayor peso a diferencia de las demás, para esta especie, este elemento no se consideró en estudios anteriores a igual que el manganeso (Mn) y el zinc (Zn). La Figura 9 muestra una tendencia creciente para las dos variables, por lo

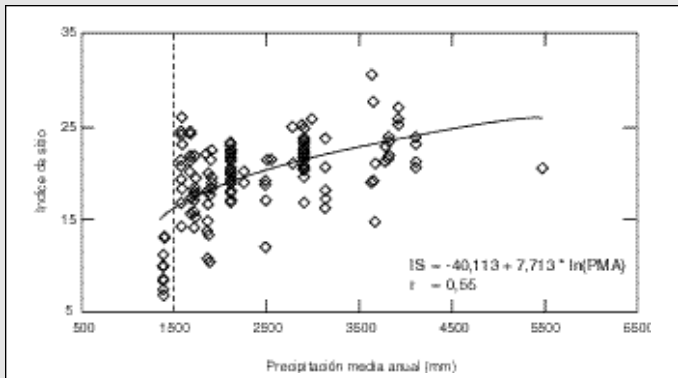


Figura 2. Relación entre la precipitación media anual con el índice de sitio de *Tectona grandis*.

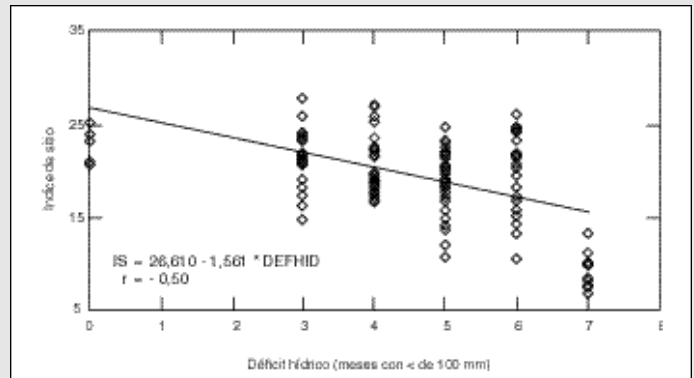


Figura 3. Relación entre el déficit hídrico con el índice de sitio de *Tectona grandis*.

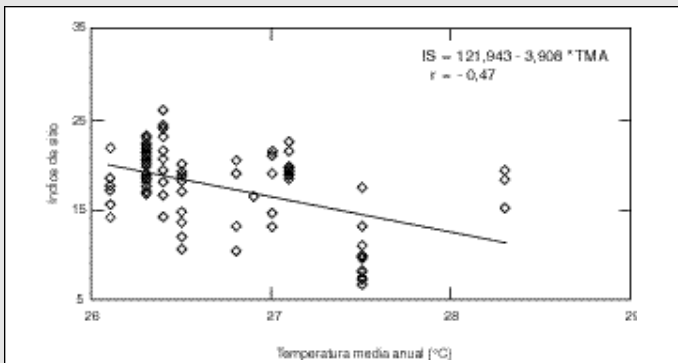


Figura 4. Relación entre la temperatura media anual con el índice de sitio de *Tectona grandis*.

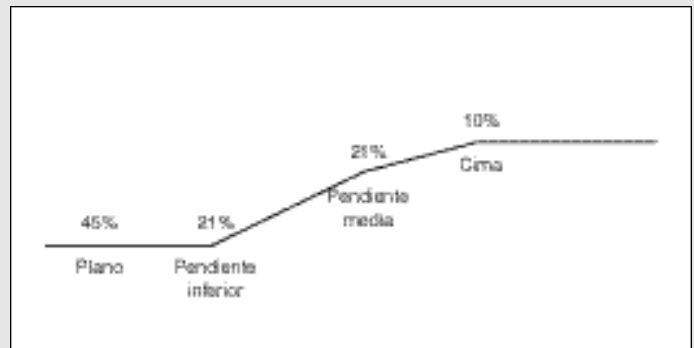


Figura 5. Porcentaje de parcelas de *Tectona grandis* con mayor IS de acuerdo con la posición topográfica del terreno.

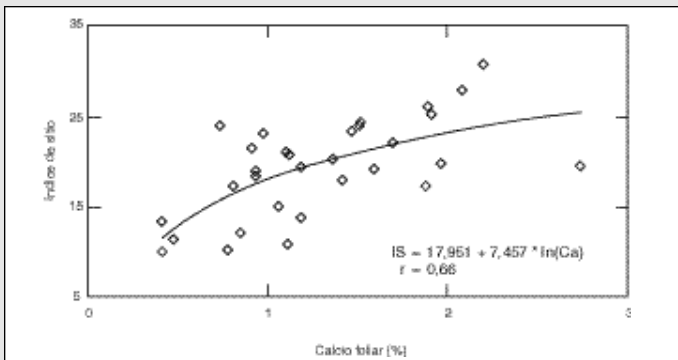


Figura 6. Relación entre el calcio foliar con el índice de sitio de *Tectona grandis*.

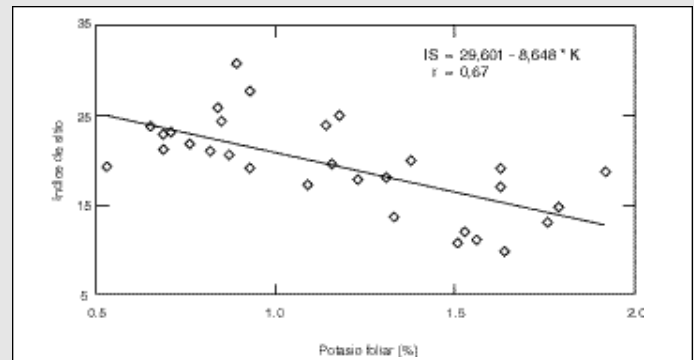


Figura 7. Relación entre el potasio foliar con el índice de sitio de *Tectona grandis*.

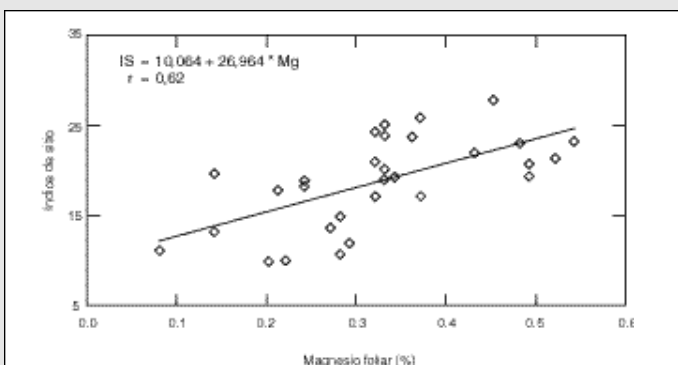


Figura 8. Relación entre el magnesio foliar con el índice de sitio de *Tectona grandis*.

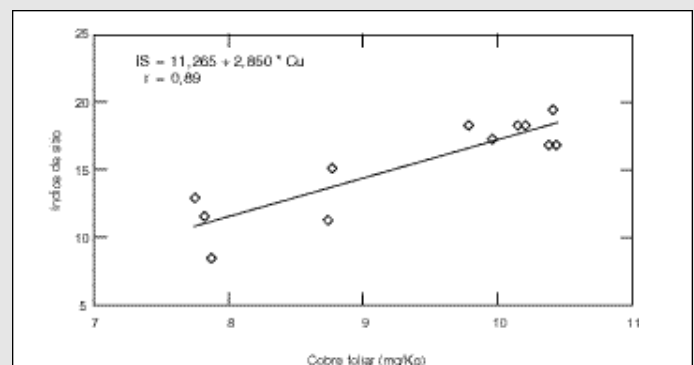


Figura 9. Relación entre el cobre foliar con el índice de sitio de *Bombacopsis quinata*.

que, a medida que aumenta el contenido de cobre en las hojas, mayor es el índice de sitio.

Las Figuras 10 y 11 se refieren a los elementos manganeso y zinc, respectivamente, y su relación con el IS de *B. quinata*: el primero con un $r = 0,57$ y el segundo con un $r = 0,45$. Como puede observarse, estos elementos muestran una tendencia a aumentar con respecto al índice de sitio.

Variables seleccionadas para predecir el IS de *Tectona grandis*

El siguiente modelo presenta las variables climáticas y fisiográficas seleccionadas para predecir el índice de sitio de *Tectona grandis* en Costa Rica:

$$IS = 109,416 - 1,709 * (DEFHID) + 1,095 * (PTOP) - 3,211 * (TMA)$$

$$r = 0,68 \quad r^2 = 0,46 \quad r^2_{ajust.} = 0,44$$

donde:

IS: índice de sitio (m);

DEFHID: número de meses secos menores a 100 mm al año

PTOP: posición topográfica de la parcela; (1 = cima, 2 = pendiente media, 3 = pendiente inferior y 4 = fondo plano);

TMA: temperatura media anual en °C.

Se presentaron dificultades en la derivación de modelos matemáticos que describen la relación entre el crecimiento de teca y pochote y factores de sitio. Existen sitios relativamente buenos pero se observan crecimientos pobres. Este fenómeno puede ser por diversos factores: muchos de los sitios han sido sobrepastoreados, y por eso poseen características físicas poco favorables; en otros hubo una mala preparación del sitio o se usó material genético de pobre calidad; muchas plantaciones tuvieron un mantenimiento (limpias) deficiente, así como un inadecuado manejo posterior de podas y raleos.

Estos factores, que influyen negativamente en el desarrollo de los árboles, dificultan la determinación de variables de sitio que afectan el crecimiento de ambas especies o cualquier otra. El mensaje es claro: es importante combinar la cuidadosa selección del sitio con buenas prácticas de plantación y un manejo posterior adecuado.

Por tanto, este modelo es una herramienta preliminar que puede ser utilizada para obtener una estimación del crecimiento de *T. grandis*.



Foto: Marcelino Montero.

En el caso de *B. quinata* no se encontró ninguna variable que presentara un alto grado de correlación con el índice de sitio para aquellos lugares donde se pretenda plantar esa especie por primera vez, por esa razón no se pudo generar un modelo para esta especie.

Conclusiones y recomendaciones

1. La precipitación media anual presentó una correlación positiva con el índice de sitio de *T. grandis* de 0,55. La especie requiere como mínimo 1500 mm de precipitación media anual para crecer bien.
2. El coeficiente de correlación de la posición topográfica con el índice de sitio fue de 0,43. *T. grandis* prefiere desde los sitios planos hasta pendientes medias, y no se recomienda establecer plantaciones en pendientes superiores porque presentan normalmente suelos poco profundos, muy lixiviados y propensos a la erosión.
3. El índice de sitio de *T. grandis* se correlacionó positivamente con el contenido de calcio y magnesio y negativa-

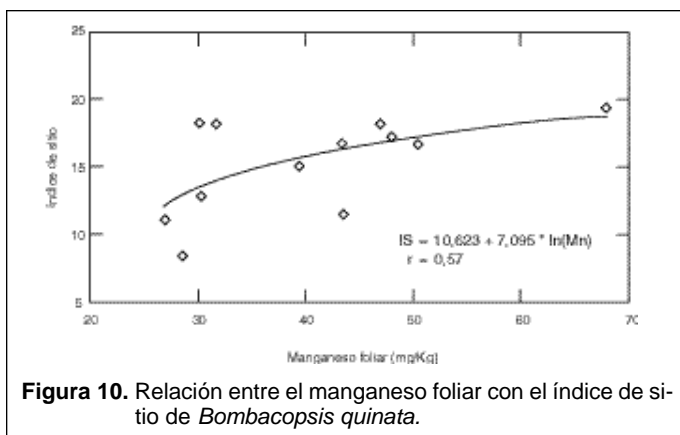


Figura 10. Relación entre el manganeso foliar con el índice de sitio de *Bombacopsis quinata*.

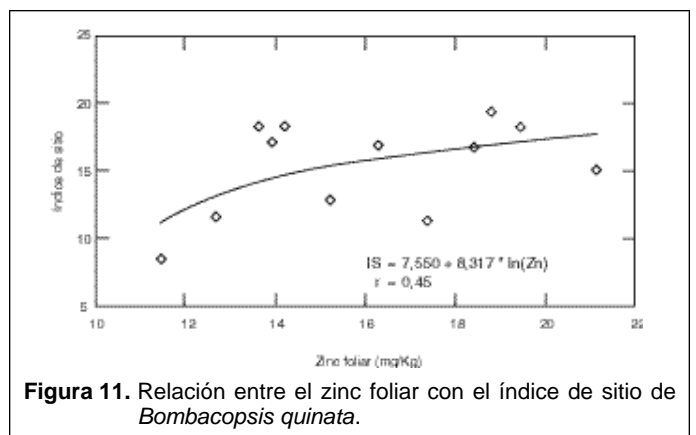


Figura 11. Relación entre el zinc foliar con el índice de sitio de *Bombacopsis quinata*.



Foto: Marcelino Montero.

Se ha calculado que una hoja de teca puede alcanzar hasta 1 m² en área foliar si crece en un sitio bueno.

- mente con el potasio (un 1% de potasio es adecuado para un buen crecimiento).
4. La relación del índice de sitio de *B. quinata* con el cobre foliar presentó una correlación bastante alta ($r = 0,89$), lo que indica que *B. quinata* requiere de cantidades mayores a 10 mg/kg para su crecimiento.
 5. Para el desarrollo del modelo se utilizaron las variables más correlacionadas con el índice de sitio de *T. grandis*, que fueron: el déficit hídrico ($r = - 0,50$), la temperatura media anual ($r = - 0,47$), con las variables climáticas en forma negativa, caso contrario sucedió con la posición topográfica ($r = 0,43$).
 6. Para el caso de *B. quinata* no se encontró ninguna variable que presentara un alto grado de correlación con el índice de sitio; por eso, para esta especie no fue

- posible construir un modelo que estimara el índice de sitio para lugares donde se va plantar por primer vez.
7. El modelo preliminar propuesto para *T. grandis* es una herramienta preliminar que brinda una estimación del posible crecimiento que podría tener un sitio.
 8. El hecho de que no se obtuvieran mejores correlaciones; puede deberse a que las variables del suelo cambian a veces en micrositos, aún dentro de una misma plantación. Las variables de sitio y suelo al analizarlas en conjunto puede ser que la influencia de ellas sea diferente y difícil de interpretar. Por ejemplo, la influencia de la interacción de diferentes altitudes y precipitaciones con diferentes calidades de suelos y la variación en los cuidados y el manejo de las plantaciones de la misma especie.

9. Se recomienda continuar ampliando el muestreo con mayor número de parcelas de crecimiento y cuantificación de biomasa en diferentes condiciones de sitio y suelo, con el fin de ratificar o desechar algunas de las tendencias observadas y para comprobar la utilidad del modelo desarrollado. 🌳

Marcelino Montero
Proyecto Dinámica de Plantaciones,
Universidad de Helsinki/CATIE.
Correo electrónico: mmontero@catie.ac.cr

Luis Ugalde
Profesor - Investigador, Silvicultura de
Plantaciones, CATIE.
Correo electrónico: lugalde@catie.ac.cr

Markku Kanninen
Director
Programa de Investigación, CATIE.
Correo electrónico: kanninen@catie.ac.cr

Literatura citada

Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Trad. por Antonio Carrillo. Eschborn, Alemania, GTZ. 335 p.

Montero, M.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. Sc. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 111p.

Ugalde A., L.A. 1995. Establecimiento y medición de parcelas de crecimiento en investigación y programas de reforestación con la metodología del sistema MIRA. Turrialba, CR, CATIE. 17 p. Material docente de la asignatura Silvicultura de plantaciones Forestales.

Ugalde A., L.A. 1988. Sistema MIRA. Turrialba, CR, CATIE. s.p.

Vallejos, B.O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. F., *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 147 p.

Vásquez, C.W; Ugalde, A.L. 1994. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe final, Convenio de Cooperación Proyecto Forestal Chorotega (IDFAFO), Proyecto Madeña-3. Turrialba, CR, CATIE. 132 p.

Agradecimiento: Los autores agradecen a Glenn Galloway por sus valiosos aportes a esta investigación.