



AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA **CALIDAD DE SITIO** EN BOSQUES SECUNDARIOS TROPICALES

Bernal Herrera, José J. Campos

RESUMEN

Este trabajo representa un primer esfuerzo en el estudio de la calidad de sitio en bosques secundarios tropicales, dado que la mayoría de este tipo de estudios han sido desarrollados en plantaciones forestales. El estudio se realizó en la Finca "El Cerro", área experimental del CATIE, ubicada en Florencia de San Carlos, Costa Rica. El bosque está dominado por *Vochysia ferruginea* y *Cordia alliodora*, las especies de interés en este estudio. Se instalaron en el campo un total de 36 parcelas de 400 m² cada una. Se midió el dap, la clase de iluminación y la forma de copa, tanto a las especies comerciales como a las especies no comerciales. Además, a las especies comerciales se les midió la altura total. En cada parcela se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0-12 cm y 12-30 cm). Como variable indicadora de la productividad del sitio se utilizó la altura dominante (el promedio de los 100 árboles más altos por ha), la cual presentó una variación muy baja dentro de parcelas tanto para *V. ferruginea*, como para *C. alliodora*. Además, la altura dominante de *V. ferruginea* presentó fuertes correlaciones con otras variables dasométricas (dap, área basal y altura total) y fuertes correlaciones con variables ambientales (porcentaje de arcilla y de materia orgánica, concentraciones de fósforo, hierro, cobre y manganeso). Lo anterior permitió generar dos modelos de regresión múltiple, a partir de variables edáficas, para la predicción de la productividad de *V. ferruginea*.

SUMMARY

Research advances on site quality in tropical secondary forests

The main objective of this study was to evaluate the effect of site in the productivity of a 28 year old, 32,5 ha secondary forest, at CATIE experimental site "El Cerro, located in Florencia de San Carlos, Costa Rica. A total of 36 temporary 400 square meters (20 m x 20 m) plots were installed, from which soil samples from two different depths (0-12 cm and 12-30 cm) were taken. In the forest, information was gathered on diameter at breast height (dbh), crown form and light class for each tree larger than 10 cm. Total height was additionally measured for commercial species. The dominant height (the average of the 100 tallest trees per ha) of *V. ferruginea* (not that of *C. alliodora*) was significantly correlated with the diameter at breast height, with its own total height, with the basal area of all species found in the plots and with its own basal area. The edaphic variables between 0 and 12 cm of depth which were correlated with the dominant height of *V. ferruginea* were phosphorus, iron, copper, manganese, clay percentage and the percentage of organic matter. Two multiple regression models were produced using the former edaphic variables to predict the productivity of *V. ferruginea*.

Palabras clave: bosque tropical; bosque secundario; altura; calidad de sitio; *Cordia alliodora*; suelos forestales; manejo forestal; *Vochysia ferruginea*; Costa Rica.

En Costa Rica el relicto existente de bosque primario de producción, intervenido y no intervenido, oscila entre 190 000 y 220 000 hectáreas, mientras que el área correspondiente a la vegetación secundaria se estima en al menos 400 000 hectáreas. En los bosques secundarios tropicales del país pueden encontrarse especies heliófitas de vida larga cuya madera es posible comercializar en el mercado ya que presenta características apropiadas para un ámbito de productos finales, aunque actualmente algunas no se comercialicen (Finegan 1996). Sólo en la Región Huetar Norte de Costa Rica existen por lo menos 15 000 ha de bosque secundario, con un volumen utilizable de 590 mil metros cúbicos, para árboles con diámetro a la altura del pecho superior a 30 cm (COSEFORMA 1994).

Indudablemente lo anterior representa un potencial productivo importante, que mediante un manejo adecuado podría suplir de productos del bosque y cumplir, al menos parcialmente, con algunas de las funciones ecológicas del bosque primario, tales como protección de nacientes de agua, mantenimiento de la biodiversidad, protección contra la erosión y mantenimiento de la fertilidad natural de los suelos, entre otros.



De acuerdo con el panorama presentado, se vuelve imperativa la búsqueda de nuevas herramientas que apoyen el manejo forestal sostenible de los bosques secundarios, de tal forma que ayuden tanto a satisfacer la demanda de productos del bosque, así como a cumplir con la conservación del ambiente. Una de estas herramientas es la determinación de la calidad de sitio, donde actualmente para bosques secundarios tropicales, no se cuenta con estudios dirigidos en este sentido.

En este artículo se pretende mostrar los avances, posibilidades e importancia de las investigaciones relacionadas con la calidad de sitio en bosques secundarios de edades avanzadas mediante un estudio de caso en Costa Rica.



En los bosques secundarios se pueden encontrar especies heliófitas cuya madera es comercializable. Se estima que esta área abarca al menos 400 000 hectáreas del territorio costarricense. (Foto: B. Herrera).

La calidad de sitio, se define como la capacidad de las tierras para producir determinado tipo de vegetación dados ciertos factores bióticos y abióticos, y su estimación es uno de los pasos fundamentales para propiciar un manejo forestal sostenible. El estudio de la calidad de sitio y su clasificación, permitirá en un futuro, proyectar con mayor precisión el crecimiento y rendimiento del rodal, así como señalar los factores que determinan el rendimiento, planificar y ejecutar otros trabajos de investigación (por ejemplo, ensayos de regímenes de raleo) y programar y ejecutar trabajos de mantenimiento del rodal (Clutter *et. al.* 1983). Además, tales estudios sirven como herramienta

para la planificación del uso de estos bosques y otras acciones relacionadas con la política forestal nacional.

Los estudios para la determinación de la calidad de sitio se han concentrado en plantaciones forestales, tanto en zonas templadas como en el trópico. Uno de los enfoques más utilizados para los propósitos de clasificación es el que trata de estimar la productividad de una determinada especie (normalmente representada por el índice de sitio) a partir de variables ambientales (Carmean 1975).

Tal y como lo señalan estudios realizados en plantaciones forestales puras, tanto a nivel regional (Campos 1989), como local (Vásquez y Ugalde 1994), la altura dominante es un buen parámetro indicador del potencial productivo de un sitio determinado, y está integrada al concepto de índice de sitio mundialmente utilizado en este tipo de ecosistemas (Hägglund 1981). En contraposición, el diámetro y la altura promedio no se consideran buenos indicadores de la calidad de sitio, principalmente por ser más sensibles a cambios en la densidad del rodal, que la altura dominante (Curtis y Reukema 1970).

En bosques naturales tropicales primarios se han generado algunas experiencias en la determinación de la calidad de sitio.

En este sentido destacan las investigaciones realizadas en Queensland (Australia) en bosques dominados por *Callitris* sp. (Vanclay y Henry 1988). En América Central, se han desarrollado experiencias en rodales del género *Pinus* principalmente en Honduras y Guatemala (Stiff *et. al.* 1991, Revolorio 1996), mientras que en Costa Rica, se desarrolló una investigación piloto en las zonas de vida bosque húmedo premontano y bosque tropical muy húmedo, transición a premontano según la clasificación de Holdridge (Gutiérrez y Mize 1993). En lo que se refiere a bosques secundarios, las investigaciones relacionadas con calidad de sitio son hasta la fecha prácticamente inexistentes.



Metodología

Area de estudio

El estudio se llevó a cabo en Florencia de San Carlos, Costa Rica, en un bosque secundario de 32,5 ha de extensión, con una edad de 28 años después del abandono. Este sitio pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo tropical. La precipitación media anual oscila entre los 3 300 y 4 500 mm, mientras que la temperatura media anual se encuentra entre los 23°C y 28°C. La topografía del sitio varía de ondulada a fuertemente ondulada, con pendientes entre 15 y 60 por ciento. Los suelos son profundos (> 1 m), de texturas francas a franco-arcillosas, de buen drenaje interno, con un pH menor a 5,5, con bajos contenidos de potasio y fósforo y altos contenidos de manganeso, hierro y cobre, (Vásquez 1994). En el área estudiada se pueden encontrar por lo menos 42 especies arbóreas de las cuales las especies de interés para la presente investigación, *Vochysia ferruginea* Mart. y *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken., son las que ocurren con mayor frecuencia y dominan, a la vez, en área basal (Cuadro 1). Las poblaciones de estas dos especies dominantes se encuentran en el bosque espacialmente diferenciadas, lo cual puede atribuirse en parte a una gradiente edáfica, donde *V. ferruginea* se desarrolla en los sitios relativamente más ácidos, mientras que *C. alliodora* se desarrolla en sitios con un menor grado de acidez (Herrera y Finegan 1997).

Cuadro 1. Promedio del número de árboles, diámetro a la altura del pecho (dap), área basal y altura total para el conjunto de árboles con dap \geq a 10 cm, en 36 parcelas estudiadas. Florencia de San Carlos, Costa Rica.

Especie	Número de árboles (N/ha)	Dap (cm)	Area basal (m ² /ha)	Altura total (m)
<i>Vochysia ferruginea</i>	209	24,0	10,3	19,3
<i>Cordia alliodora</i>	111	20,4	4,0	19,5
Las demás especies	168	18,9	7,0	19,5 ¹
Total	488	21,4 ²	21,3	-

Estudios de campo y análisis de la información

Se instalaron en el campo un total de 36 parcelas temporales de 400 m² (20 m x 20 m). Para las especies comerciales, se midió el diámetro a la altura del pecho (dap), la altura total, la forma de copa y la clase de iluminación, según la metodología de Dawkins (1958; citado por Alder y Synnot 1992) de todos los árboles con dap \geq a 10 cm. En los individuos de especies no comerciales se midieron

estas mismas variables, con excepción de la altura total. Se tomaron muestras de suelo a dos profundidades, 0-12 cm y 12-30 cm, en 27 de las 36 parcelas, donde se consideró que las otras nueve parcelas duplicaron las condiciones de suelo representadas en las parcelas donde si se tomaron muestras. En el laboratorio se determinaron: el pH; la acidez, las concentraciones de calcio, mag-



Las mediciones realizadas demostraron que *Vochysia ferruginea* presenta una altura dominante en el bosque de la Finca El Cerro, zona experimental del CATIE, en San Carlos, Costa Rica. (Foto: B. Herrera).

nesio, potasio, fósforo, cobre, hierro, manganeso y zinc, además de azufre, boro, porcentaje de materia orgánica y textura del suelo. Además, se levantó información sobre el grado de pendiente y la posición de la parcela en la pendiente (parte alta, media o baja). En las mismas unidades de muestreo para *V. ferruginea* y *C. alliodora* se estimó la altura dominante (definida como el promedio de los 100 árboles más altos por hectárea, por ejemplo cuatro árboles en 400 m²) y la altura media, la cual



se estimó también para el total de especies comerciales. El área basal se calculó para las especies comerciales y no comerciales, y para el total de la parcela. Se ajustaron dos modelos de regresión múltiple para la predicción de la productividad de *V. ferruginea* a partir de variables edáficas de los primeros 12 cm de profundidad de suelo.

Resultados y discusión

La altura dominante como indicador de la capacidad productiva del sitio

Con base en los resultados obtenidos, las características que permiten considerar la altura dominante en bosques secundarios como un indicador de la capacidad productiva de un determinado sitio son las siguientes:

a) Baja variabilidad dentro de parcelas y alta entre parcelas

Para que la altura dominante sea considerada un buen indicador del potencial productivo del sitio, es necesario minimizar la variación dentro de la parcela y maximizar la variación entre parcelas. Para las dos especies de interés, *V. ferruginea* y *C. alliodora*, el promedio por parcela en altura dominante fue prácticamente el mismo (22,4 m); sin embargo, el ámbito de variación fue mucho más alto para *V. ferruginea* (15,7 - 29,0 m) que el encontrado para *C. alliodora* (20,7 - 24,0 m). Lo anterior hace pensar en la posibilidad de que los sitios donde se encontró esta última especie fueran relativamente más homogéneos en términos de los factores de sitio (Cuadro 2) y no se puede descartar la posibilidad de variaciones en la edad de los árboles del rodal. La homogeneidad en el promedio de los cuatro árboles que componen la altura dominante, sugiere condiciones de crecimiento relativamente uniformes dentro de la parcela.

Cuadro 2. Altura dominante de *V. ferruginea* y *C. alliodora* en las 36 parcelas estudiadas. Florencia de San Carlos, Costa Rica. (Tomado y adaptado de Herrera *et. al.* in press).

Especie	N	Altura dominante promedio por parcelas y variación entre parcelas			Variación de la altura dominante dentro de parcelas (CV)	
		Mínimo (m)	Promedio (m)	Máximo (m)	Mínimo (%)	Máximo (%)
<i>Vochysia ferruginea</i>	24	15,7	22,4	29,0	3,2	18,8
<i>Cordia alliodora</i>	13	20,7	22,4	24,0	5,5	19,3

CV = coeficiente de variación

b) Condiciones de iluminación de los árboles dominantes

En el caso analizado el 92% de las copas de los árboles más altos de *V. ferruginea* (que conforman la altura dominante) se encontraron bien iluminados (luz vertical plena y lateral más vertical plena), mientras que el 87% presentaron una forma de copa buena (perfecta más buena). Por otra parte, el 89% de los individuos más altos de *C. alliodora* se encontraron bien iluminados y el 92% presentaron una copa completa (Figura 1). En el caso de *V. ferruginea*, los árboles dominantes que presentaron iluminación vertical parcial y oblicua están distribuidos en cinco de las 24 parcelas donde la especie domina. En el caso de *C. alliodora* sólo en una de las parcelas, dos de los cuatro individuos que representan la altura dominante no tienen buena iluminación. Tres parcelas poseen al menos un individuo con mala iluminación.

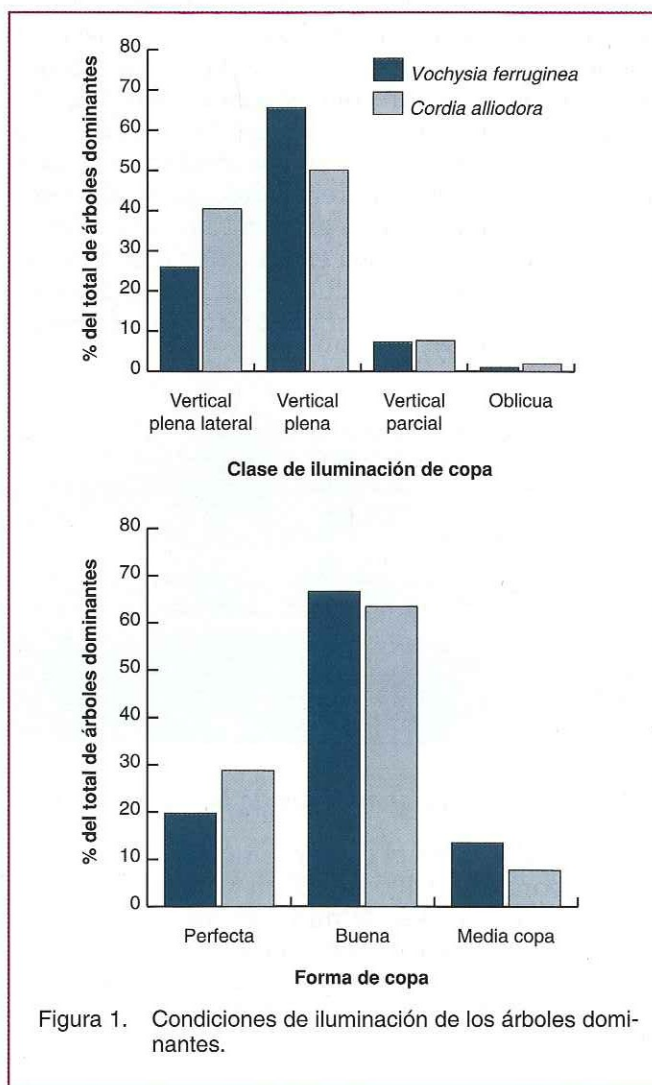


Figura 1. Condiciones de iluminación de los árboles dominantes.

El hecho de encontrar individuos dominantes con cierto grado de supresión dentro de las parcelas podría subestimar el verdadero potencial productivo del sitio, ya que en el caso de no estar bajo tales condiciones se esperaría un crecimiento mayor en altura y especialmente de su área basal. No obstante, al tratarse de pocos individuos los que presentan dicha condición, se espera que tal subestimación no afecte en forma significativa los resultados.

c) Asociación de la altura dominante con otras variables dasométricas

El hecho de que la altura dominante, en el caso de *V. ferruginea*, está bien correlacionada con la productividad del sitio (área basal y altura total) (Cuadro 3) indica que la primera es un buen indicador del potencial productivo del sitio. Debe recordarse que la medida ideal del potencial productivo de un sitio determinado, es el volumen por unidad de área y de tiempo (Clutter *et. al.* 1983), el cual está fuertemente relacionado con el área basal y la altura total de los árboles.

La altura dominante de *V. ferruginea* mostró un coeficiente de correlación de 79% con el área basal de todas las especies (Cuadro 3), lo que sugiere que esta altura es un posible indicador no sólo de la productividad de esta especie sino de todas las especies. Por lo tanto, para el bosque en estudio, la altura dominante de *V. ferruginea* parece ser un buen indicador de la ocupación del sitio (G/ha) y por ende de la productividad del sitio (Vol/ha).

Para *C. alliodora*, tal y como lo muestra el Cuadro 3, no se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre la altura dominante y las variables dasométricas estimadas. Esta baja correlación puede atribuirse posiblemente a que solamente se realizaron 13 observaciones, al tamaño del área donde dominó esta especie, a la homogeneidad encontrada en la altura dominante entre parcelas dominadas por esta especie (Cuadro 1) y a la posibilidad de un rango de baja variación en la edad de los árboles.

Efecto del sitio en la productividad de *V. ferruginea* y *C. alliodora*

Asociación de la altura dominante con variables ambientales

Tanto los porcentajes de arcilla y de materia orgánica, como las concentraciones de fósforo y hierro, se asocian negativamente al crecimiento de *V.*

ferruginea, mientras que en los sitios donde se presentaron los mayores contenidos de cobre correspondieron con aquellos donde la altura dominante fue mayor (Cuadro 4).

En el caso de *C. alliodora* no se encontraron correlaciones significativas entre la altura dominante y las variables ambientales, por las mismas razones ya expuestas (bajo número de observaciones, homogeneidad en la altura dominante y la edad). Por lo tanto, los resultados que se presentan a continuación son solamente para la especie *V. ferruginea*.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación (%) entre la altura dominante de *V. ferruginea* y *C. alliodora* y el diámetro a la altura del pecho (dap), la altura total y área basal de las especies y del total de especies encontradas. Florencia de San Carlos, Costa Rica. (Tomado y adaptado de Herrera *et. al.* in press).

Coeficiente de correlación (%) de la altura dominante		
	<i>Vochysia ferruginea</i>	<i>Cordia alliodora</i>
Dap	57,7 (0,0032)*	41,7 (0,1563)
h _{tot}	87,3 (0,0001)	39,8 (0,1654)
G/ha todas las especies	78,9 (0,0001)	1,2 (0,4210)
G/ha de la misma especie	51,1 (0,0041)	44,6 (0,1262)
*Probabilidad estadística		

Cuadro 4. Coeficiente de correlación (%) entre la altura dominante (promedio por parcela) y variables del suelo para sitios donde domina *V. ferruginea*. Florencia, San Carlos, Costa Rica. (Tomado de Herrera *et. al.* in press).

Variable del suelo	r (%)
% Arcilla ₀₋₁₂	-61,3 (0,0015)*
P ₀₋₁₂	-59,1 (0,0024)
Fe ₀₋₁₂	-58,3 (0,0028)
% Materia org. ₀₋₁₂	-47,2 (0,0199)
Cu ₀₋₁₂	46,7 (0,0213)
*Probabilidad estadística	

Modelos para la predicción de la productividad del sitio

Para el ajuste del modelo 1 se utilizó como definición de altura dominante el promedio de los cuatro árboles más altos por parcela (0,04 ha). En el modelo 2 se utilizó como altura dominante el promedio de los dos árboles más altos con iluminación vertical plena y lateral y/o vertical plena, por parcela (Figura 1). Este último con el fin de asegurar que la altura dominante de la parcela está conformada sólo por árboles bien iluminados.



Modelo 1 $H_{dom} = 55,93 - 1,25 P_{0-12} + 0,038 Mn_{0-12} - 2,02 MO_{0-12} - 0,299 Ar_{0-12}$
 $R^2 = 79,5\%$, R^2 ajustado = $75,1\%$, desviación estándar = $1,8$ m

Modelo 2 $H_{dom} = \ln(4,6035 + 0,0021 Mn_{0-12} - 0,0967 MO_{0-12} - 0,0156 Ar_{0-12})$
 $R^2 = 74,4\%$, R^2 ajustado = $69,3\%$, desviación estándar = $1,2$ m

donde:

- H dom = altura dominante (m)
- P = concentración de fósforo (mg/L)
- Mn = concentración de manganeso (mg/L)
- MO = porcentaje de materia orgánica
- Ar = porcentaje de arcilla

Estos modelos presentan las mismas variables independientes, a excepción de la concentración de fósforo que no aparece en el modelo 2. No obstante, se considera que el modelo 2 presenta un mayor valor predictivo de la productividad del sitio, ya que solamente considera individuos bien iluminados, es más simple que el modelo 1 (al presentar un menor número de variables de predicción) y su desviación estándar en la predicción de la altura dominante es menor.

Además el hecho de poder explicar cerca de un 75% de la variación en la altura dominante de *V. ferruginea* debe de considerarse satisfactorio. Estudios llevados a cabo en bosques coetáneos de los Estados Unidos de América y en el trópico americano han logrado explicar entre un 65 y un 90% de la variación en la productividad del sitio, representada por el índice de sitio (Carmean 1975).

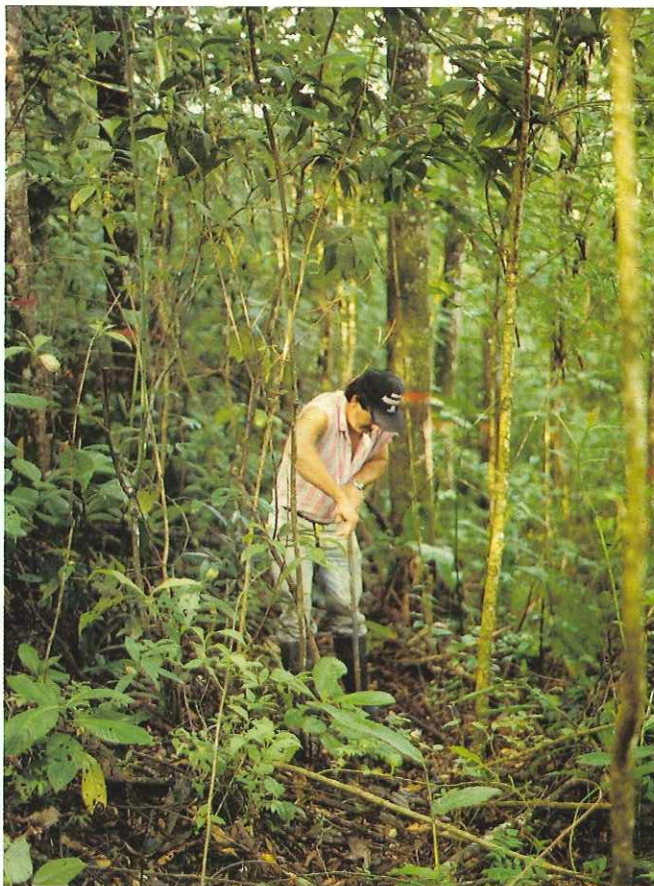
En general, la información brindada por los modelos indica que *V. ferruginea* es una especie adaptada a suelos ácidos e infértiles, lo cual coincide con los resultados de otras investigaciones. De hecho, concentraciones mayores de fósforo y mayores porcentajes de arcilla y de materia orgánica en el suelo perjudicaron el crecimiento de la

especie. Sin embargo, las alturas dominantes mayores se asociaron con sitios donde las concentraciones de manganeso resultaron elevadas, lo cual indica, respaldado por análisis de concentraciones foliares realizados en los mismos sitios de estudio (Herrera y Finegan 1997), la capacidad de *V. ferruginea* de tolerar altas concentraciones de aluminio y manganeso en el suelo. No obstante, se requerirá de investigación adicional para determinar si

los factores señalados causan un verdadero efecto sobre el crecimiento de *V. ferruginea*.

Para la interpretación de los modelos que se presentan debe considerarse que existen otras fuentes de variación que afectan la productividad de los árboles en un bosque secundario y que no se contemplan en los modelos, ya sea porque son variables muy difíciles de medir o porque su efecto está fuera del alcance del que construye los modelos matemáticos. Dentro de tales fuentes de variación se consideran el efecto del uso anterior del sitio, la disponibilidad y cercanía de las fuentes de semillas, otras variables ambientales no cuantificadas en el estudio, la variabilidad genética, la edad del bosque, el error estadístico y el error humano en las

mediciones (Campos 1989; Herrera 1996). Por lo tanto, es de esperar que un buen modelo predictivo no pueda estimar toda la variación en la productividad del bosque. Por último, no está de más aclarar que estos modelos son aplicables únicamente a las condiciones del sitio de estudio o en sitios con condiciones ambientales similares.



Para averiguar las condiciones en que crecen las especies estudiadas, se realizó un muestreo de suelos para determinar el pH, los contenidos de fósforo y manganeso y la profundidad de los mismos, entre otros datos. (Foto: B. Herrera).



Conclusiones

- La altura dominante, estimada como el promedio de los cuatro árboles más altos por parcela de 400 m², presentó para las especies analizadas, una variación baja dentro de parcelas, una fuerte asociación con otras variables del rodal y con variables ambientales, las cuales son características deseables para que esta se pueda considerar como un indicador potencial de la capacidad productiva del sitio.
- Para el caso de bosques secundarios en la tercera fase de la sucesión, el concepto de altura dominante debe incluir el promedio de los 100 individuos más altos por hectárea; bien iluminados y con copas bien formadas, con el fin de asegurar que expresen el potencial productivo del sitio.
- Si se utilizan solamente individuos con clases de iluminación vertical plena y lateral y vertical plena, se corre el riesgo de no encontrar un número suficiente de individuos con tales características, según la definición de altura dominante empleada en este trabajo. Sin embargo, se considera que sigue siendo preferible reducir el número de observaciones, a incluir individuos que, por su iluminación o forma de copa, no representen adecuadamente el potencial productivo del sitio.
- La variación en altura dominante de *V. ferruginea* fue posible explicarla cerca de un 79%, a partir de cuatro variables edáficas: los porcentajes de materia orgánica y de arcilla, junto con las concentraciones de fósforo y manganeso. Tales resultados son aplicables exclusivamente al sitio de estudio u otro sitio con condiciones ambientales muy similares.

- Según los resultados presentados, se deduce que dada la importancia de desarrollar metodologías que permitan la clasificación de sitios con fines de manejo, es necesario continuar y ampliar este tipo de estudios a un mayor ámbito de sitios, con el fin de comprobar y aumentar el conocimiento generado hasta la fecha.

Agradecimientos

Agradecemos a B. Finegan, A. Alvarado y W. Vásquez por sus valiosos aportes durante la ejecución de esta investigación. A M. Camacho, G. Galloway y L. Ugalde por la revisión del documento. A Vicente Herra por su colaboración en el trabajo de campo. El financiamiento de la investigación fue aportado por la Agencia Internacional para el Desarrollo de los EEUU y la Cooperación Suiza al Desarrollo (COSUDE) por medio de la Escuela de Posgrado del CATIE.

Bernal Herrera Fernández
 Proyecto Cooperativo de Investigación (CATIE/CIA)
 Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA)
 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
 Código Postal 2060
 San José, Costa Rica
 Tel: 224-3712 Fax: (506) 234-1627
 E-mail: bernalh@cariari.ucr.ac.cr

José J. Campos Arce
 Proyecto PROSIBONA
 CATIE 7170, Turrialba
 Costa Rica
 Tel: (506) 556-0401
 E-mail: jcampos@catie.ac.cr

Nota de la Editora: El presente trabajo es un resumen del artículo titulado: Sites effects on the productive capacity of *Vochysia ferruginea* in Costa Rican secondary rain forest de Herrera, B.; Campos, J.; Finegan, B.; Alvarado, A., el cual se encuentra en preparación para ser enviado a una publicación internacional.

Literatura citada

- ALDER, D.; SYNNOT, T.J. 1992. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. CR. Oxford Forestry Institute. Tropical Forestry Papers No. 25. 124 p.
- CAMPOS ARCE, J.J. 1989. Environmental effects on the productivity of *Eucalyptus camaldulensis*, *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia sepium* in Central America. Thesis Ph. D. Oxford, G. B., University. 156 p.
- CARMEAN, W. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Advances in Agronomy* (EE.UU.) 27:209-269.
- COSEFORMA. 1994. Inventario forestal de la Región Huefar Norte. Resumen de resultados. GTZ/DGF. Ciudad Quesada, C.R. 27 p.
- CLUTTER, J.; FORTSON, J.; PIENAAR, L.; BRISTER, H.; BAYLEY, R. 1983. Timber management: a quantitative approach. N.Y., EE.UU., Wiley. 333 p.
- CURTIS, R.O.; REUKEMA, D.L. 1970. Crown development and site estimates in a douglas-fir plantation spacing test. *Forest Science* (EE.UU.) 16(3):287-300.
- FINEGAN, B. 1996. Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *Trends in Ecology and Evolution* (EE.UU.) 11(3):119-124.
- GUTIERREZ, E.E.; MIZE, C.W. 1993. A quantitative model for relating species and tropical forest sites: a synecological study. *Revista de Biología Tropical* (C.R.) 41(1): 7-21.
- HÄGGLUND, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts* (G.B.) 42 (1):515-527.
- HERRERA, B.; FINEGAN, B. 1997. Substrate conditions, foliar nutrients and the distributions of two canopy tree species in a Costa Rican secondary rain forest. *Plant and Soil* (en prensa).
- HERRERA FERNANDEZ, B. 1996. Evaluación del efecto del sitio en la productividad de las poblaciones de dos especies dominantes en un bosque tropical en la tercera etapa de la sucesión secundaria en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 152 p.
- REVOLORIO, A. 1996. Evaluación de la calidad de sitio para *Pinus oocarpa* Schiede, en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Sierra de la Minas, Guatemala. Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 141 p.
- STIFF, C., DECHERT, T., PEREZ, N., VALDEZ, M. 1991. Manual de implementación para la clasificación de la calidad de sitio y productividad en los bosques de pino de las tierras altas del centro de Honduras. Tegucigalpa, Hond., ESNACIFOR-COHDEFOR/USAID 434 p.
- VANCLAY, J.; HENRY, N.B. 1988. Assessing site productivity of indigenous cypress pine forest in southern Queensland. *Commonwealth Forestry Review* (GB) 67(1):53-64.
- VASQUEZ, A. 1994. Estudio detallado de suelos y determinación de la capacidad de uso de la tierra finca "El Cerro", Florencia de San Carlos (Alajuela, Costa Rica). Informe de Consultoría. San José, C.R., s.n. 37 p.
- VASQUEZ, W.; UGALDE, L. 1994. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea*, en Guanacaste, Costa Rica. Informe final. Turrialba, C.R. Convenio de Cooperación IDA/FAO - CATIE. 43 p.