

RELACIÓN ENTRE ÁREA BASAL ARBÓREA Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN UN BOSQUE TROPICAL SECUNDARIO DE 10 AÑOS DE EDAD

Florencia Montagnini¹

Eugenio González²

Freddy Sancho³

RESUMEN

El área basal arbórea y las propiedades químicas del suelo fueron medidas en tres sitios de bosque tropical secundario de 10 años de edad en las tierras bajas húmedas de la zona Atlántica de Costa Rica. El total del área basal arbórea varió entre 4.34 m²/ha en un sitio con extensa cubierta de pasto y con *Alchornea costaricensis* como el árbol más abundante, y 24.7 m²/ha en áreas más densamente pobladas de árboles, dominadas por *Pentaclethra macroloba*. Otras especies consideradas como árboles emergentes de los bosques de la región, tales como *Stryphnodendron microstachyum* y *Hyeronima alchorneoides*, también estuvieron presentes en los sitios con mayor área basal. El Ca intercambiable del suelo, el pH, y el P y el Cu extraíble fueron mayores en el sitio con menor área basal, mientras que la materia orgánica del suelo y el N total fueron mayores en los sitios con más árboles. Cuando submuestras del suelo bajo pasto y bajo árboles fueron comparadas, el N total del suelo resultó mayor en lugares poblados con árboles, y el P extraíble mayor en áreas cubiertas por pasto, sin diferencias estadísticamente significativas en otros parámetros. Hubieron correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre el área basal total y la materia orgánica del suelo, el N total, y la acidez intercambiable, con coeficientes de correlación entre 0.33 y 0.52, mientras que hubo una correlación significativa pero negativa entre área basal y P y K. Estos resultados son útiles para la comprensión del desarrollo futuro del bosque o para tomar decisiones sobre el manejo de tales áreas.

Palabras clave: bosque secundario, trópicos húmedos, materia orgánica del suelo, Costa Rica,

Pentaclethra macroloba, *Stryphnodendron microstachyum*.

ABSTRACT

Tree basal area and soil chemical properties were measured in three sites of 10-year-old tropical secondary forest in the Atlantic humid lowlands of Costa Rica. Total tree basal area ranged from 4.34 m²/ha in a site with extensive grass cover and with *Alchornea costaricensis* as the most abundant tree, to 24.7 m²/ha in more dense areas dominated by *Pentaclethra macroloba*. Other species which are considered emergent trees of the forests of the region such as *Stryphnodendron microstachyum* and *Hyeronima alchorneoides* were also present in the sites of highest basal area. Soil exchangeable Ca, pH, extractable P and Cu were higher in the site with lower basal area, while soil organic matter and total N were higher in the sites with more trees. When subsamples from under grass and under trees were compared, soil total N was higher under patches of trees, and soil extractable P was higher in areas covered with grass, with no statistically significant differences among the other parameters. There were positive and statistically significant correlations between total tree basal area, and soil organic matter, total N, and acidity, with correlation coefficients ranging from 0.33 to 0.52, while there was a significant but negative correlation between basal area and P and K. These findings are useful as a tool in assessing future forest development or management of such areas.

Key words: secondary forest, humid tropics, soil organic matter, Costa Rica, *Pentaclethra macroloba*, *Stryphnodendron microstachyum*

INTRODUCCIÓN

Simultáneamente con la actual deforestación y conversión mundial de los bosques tropicales, aproximadamente 5 millones de hectáreas de bosques secundarios son generados cada año (Lugo 1988). Aproximadamente el 60% del área de bosques secundarios en América Latina se origina de la conversión de bosques vírgenes, mientras que en

¹Universidad de Yale, Escuela Forestal y de Estudios del Medio Ambiente, 370 Prospect, New Haven, CT 06511, USA; ²Departamento de Ciencia Forestal, Universidad de Texas A&M, College Station, TX 77843-2135, USA; ³Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

Asia y Africa, un 72-76% proviene de la tala de bosques (Brown & Lugo 1990). La estructura, diversidad y funciones de los bosques secundarios son variables, dependiendo de la fertilidad del sitio, el uso previo de la tierra y la distancia a las fuentes de semillas (Nepstad et al. 1990; Finegan 1992). Los bosques secundarios pueden representar refugios para la fauna y flora nativa, y constituyen una manera de restaurar la productividad de tierras abandonadas (Wadsworth 1987). Se necesita más información sobre las relaciones entre los usos previos de la tierra y la diversidad y productividad de bosques secundarios, y su potencial de manejo en sitios degradados (Finegan 1992; del Amo & Ramos 1993).

Generalmente es aceptado que la productividad de bosques es limitada por la disponibilidad de nutrientes del suelo, aunque hasta ahora se ha encontrado poca correlación entre la composición química del suelo y la estatura del bosque natural (Proctor 1992). Sin embargo, la mayoría de los estudios relacionando la biomasa forestal y los nutrientes del suelo, se refieren a bosques tropicales maduros y no a la vegetación joven secundaria con tasas de crecimiento relativamente mayores. Cuando un bosque secundario reemplaza a un cultivo o pasto, la rápida tasa de producción de biomasa vegetal y las menores temperaturas del suelo bajo el dosel del bosque aumentan las contribuciones de materia orgánica al suelo. El tiempo necesario para la restauración de la materia orgánica del suelo después del abandono de la agricultura o el pastoreo depende de la velocidad con la que se establezca el barbecho del bosque secundario. Esta velocidad, a su vez, depende de la precipitación, las condiciones físicas y químicas del suelo, la topografía y la erosión. Típicamente, la mayoría de las áreas tropicales húmedas requieren períodos de barbecho de 5 a 15 años para que los suelos recuperen niveles de materia orgánica similares a los del bosque original (Van Wambeke 1992). Debido a que la recuperación de la materia orgánica del suelo depende del desarrollo de la vegetación en el sitio abandonado, la evaluación de la cobertura arbórea, tal como la medición del área basal, podría dar una indicación de las condiciones de los nutrientes del suelo en el área en un período dado en el desarrollo de la sucesión.

Desde 1990 hemos conducido estudios sobre alternativas para la rehabilitación de bosques y suelos en la Estación Biológica La Selva de la Organización para Estudios Tropicales (OET) en la zona Atlántica de tierras bajas húmedas en Costa Rica. Como parte de un estudio sobre el uso de árboles nativos para la rehabilitación de

bosques y suelos en pastos abandonados, en 1991-92 un sitio de aproximadamente 10 ha fue escogido para plantaciones experimentales futuras en el Anexo La Guaria de La Selva (Montagnini 1992; Montagnini et al. 1993). Antes de limpiar el área para las plantaciones, la vegetación existente fue inventoriada para evaluar las condiciones del bosque secundario, y el suelo fue muestreado como parte de la caracterización del sitio. En este manuscrito reportamos la relación entre el área basal arbórea y los macronutrientes del suelo para la nueva vegetación secundaria, 10 años después del abandono del pastoreo intensivo, y sin ninguna otra intervención humana. Los resultados deberían ser útiles en la caracterización de bosques secundarios en situaciones ecológicas similares, para ayudar en la evaluación del desarrollo futuro del bosque o en el manejo de tales áreas.

Sitio Experimental

El sitio experimental está localizado en la porción norte del Anexo La Guaria, Estación Biológica La Selva de la OET (10°26'N, 86°59'O, altitud media 50 metros, temperatura media anual 24°C, precipitación anual 4000 mm, con máxima en julio y mínima en marzo) (Reportes climatológicos de la Estación Biológica La Selva). El Anexo La Guaria, de 120 ha, fue comprado por OET en 1981 para servir de zona de amortiguamiento para la reserva forestal y para conducir estudios experimentales sobre suelos y plantaciones arbóreas. El área donde se realizó este estudio fue talado a principios de los años 50 para la extracción de maderas comerciales (*Cedrela*, *Cordia*, *Hyeronima*, *Hymenolobium*, *Lecythis*, *Zanthoxylum*, fueron los géneros principales escogidos para la extracción). Después de la extracción de madera, el área fue despejada y se cultivó arroz por dos o tres años, pero esta actividad altamente mecanizada fue abandonada por razones financieras. Los campos de arroz fueron levemente quemados y sembrados con pasto: *Cynodom nlenfuensis* (Pasto estrella, una especie nativa), y las exóticas *Pennisetum maximum* (pasto de Guinea), *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria* spp. y *Melinis minutiflora* (calinguero, San Juan) fueron los pastos principales usados para el ganado de carne y de leche. La cría de ganado duró aproximadamente 20 años, hasta que la hacienda fue vendida a la OET (Pierce 1992). Este patrón de uso de la tierra era típico en la región en ese entonces: el corte selectivo dirigido a las maderas más valiosas, seguido por la tala rasa para un período breve (2-3 años) de agricultura intensiva, cría de ganado, y abandono del pastoreo a causa de una producción deficiente y bajos precios de la carne (Montagnini 1994).

Al momento de realizarse el presente estudio, el sitio experimental tenía áreas de pasto así como áreas con helechos y pasto, y porciones de bosque secundario. No se llevó a cabo ningún tipo de manejo u otra intervención en el sitio después del abandono del pastoreo. El área experimental se encuentra en un terreno plano y uniforme. Los suelos son Fluventic Dystropepts derivados de aluviones volcánicos; son profundos, bien drenados, libres de piedras, con contenido de materia orgánica baja o media (2.5-4.5%), textura moderadamente pesada, y generalmente ácidos (pH in H_2O <5.0) e infértiles (Sancho & Mata 1987).

MÉTODOS

a- *Inventario de la vegetación*

Un inventario de la vegetación fue llevado a cabo en los tres sitios escogidos para plantaciones experimentales futuras. Cada sitio de plantación era 96 m x 256 m (24,576m²) subdividido en cuatro bloques, y con seis parcelas de 32 m x 32 m cada una. Para el muestreo de la vegetación y el suelo, cada una de las 24 parcelas marcadas para cada plantación fue usada como una unidad de muestra. Todos los árboles y arbustos en cada parcela fueron identificados y contados, y el diámetro a la altura del pecho (dap) fue medido en todos los troncos mayores de 2 cm dap. Aunque se tienen los datos para cada parcela y bloque, por brevedad sólo se presentan el número total de individuos y el área basal por especie en m²/ha en cada uno de los tres sitios experimentales.

b- *Fertilidad del suelo*

Las muestras compuestas fueron tomadas en cada una de las seis parcelas en cada bloque de cada sitio. Las muestras fueron tomadas con un barreno tipo holandés a 0-15, 15-30 y 30-60 cm de profundidad. Los suelos fueron muestreados durante la estación lluviosa de 1991. Los promedios de los resultados de las seis parcelas en cada bloque fueron calculados para obtener promedios por bloque para cada factor de suelo analizado. Seguidamente, los datos de los cuatro bloques de cada sitio fueron usados para comparar los tres sitios en un análisis de la variancia, usando Intervalos de Confianza para pruebas de promedios ($p < 0.05$).

El Sitio 1 tenía una gran proporción cubierta con varias especies de pastos y helechos, así como también partes de bosque secundario, mayormente con *Pentaclethra maculosa*. Los datos correspondientes a las áreas de pasto y bosque del Sitio 1 fueron tratados independientemente en un análisis de variancia para una comparación de los parámetros de la fertilidad del suelo entre los dos tipos de vegetación.

El análisis químico fue realizado en el

Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, siguiendo métodos estándar actualmente utilizados por laboratorios de suelos en el país. El pH fue medido en una mezcla 1:2.5 de suelo:agua deionizada. El Ca y Mg fueron extraídos con una solución 1N KCl, mientras que el P, K y los micronutrientes fueron extraídos con un solución Olsen modificada (Díaz-Romeu & Hunter 1978). Los cationes fueron medidos usando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica. El P fue medido colorimétricamente después de reacción con ácido $(NH_4)_2MoO_4$ y $SnCl_2$, usando un espectrofotómetro. La materia orgánica fue medida por la técnica de Walkley-Black (Allison 1975) y el N total fue medido usando una técnica semi-Micro-Kjeldahl (Bremner & Mulvaney 1982). El análisis de la variancia y las pruebas de Intervalos de Confianza fueron llevados a cabo para comparar los promedios de cada parámetro y la profundidad de suelo ($n=4$) entre sitios.

Un análisis de regresión simple fue usado para correlacionar el área basal total con cada parámetro del suelo, usando los datos de suelos de las parcelas individuales y el área basal de todas las parcelas de los tres sitios. Los parámetros de suelo utilizados en este análisis incluyeron materia orgánica, el N total, P, Ca, Mg, y K extraíbles, la acidez intercambiable y el pH. Los micronutrientes Cu, Fe, Mn y Zn fueron excluidos porque no se esperaba que mostraran correlaciones significativas con la cubierta vegetativa. Para las correlaciones, los valores de pH fueron transformados a concentraciones de iones de H^+ . Ambas regresiones, lineal y exponencial, fueron calculadas. El análisis fue hecho usando los datos originales y las transformaciones logarítmicas. Los datos de la profundidad de suelo de 0-15 cm fueron usadas porque las diferencias más significativas en los parámetros de suelo entre sitios fueron encontradas a esa profundidad del suelo.

RESULTADOS

a- *Vegetación original*

El Sitio 1 tenía menos árboles que los Sitios 2 y 3 (Tablas 1, 2, 3). El total del área basal fue 4.34, 16.4 y 24.7 m²/ha, y el número de individuos arbóreos totalizó 22, 149 y 139/ha en los Sitios 1, 2 y 3, respectivamente. Los pastos eran una mezcla de especies nativas, que generalmente crecen en bosques despejados, y algunas especies introducidas, las cuales habían sido sembradas para mejorar la calidad del pasto nativo (Pierce 1992). Entre las especies nativas estaban *Cynodon* spp. (pasto estrella) y *Paspalum fasciculatum* (gamalote); el gamalote no es preferido por el ganado. Entre los pastos exóticos, estaban *Brachiaria* spp., *Melinis minutiflora* (calingüero,

San Juan), y *Panicum maximum* (pasto Guinea). También en manchones y mezclados con los pastos, habían dos especies de helechos: *Nephrolepis viscerata* (Polypodiaceae) (helecho serrucho o Boston), e *Hylepis repens*. Aunque menos abundante, las mismas mezclas de hierbas y helechos estuvieron presentes en las áreas despejadas de los Sitios 2 y 3.

En el Sitio 1, *Alchornea costaricensis* (fosforillo) fue el árbol más abundante con 52.8% del total del área basal y 37.0% de los individuos (Tabla 1). La mayoría de los individuos eran de estatura baja (<15 m), con doseles redondos y copas abiertas. *Pentaclethra macroloba* siguió con 32.9% del total del área basal y 31.7% del número de individuos.

En contraste, en los Sitios 2 y 3 *P. macroloba* fue más prevalente, con la mayor proporción del área basal y número de individuos, y *A. costaricensis* mucho menos abundante, con <2% del total del área basal (Tablas 2 y 3). En el Sitio 2, entre los más abundantes estaba también *Ficus* spp. (Tabla 2). Sin embargo, otras especies consideradas como emergentes o árboles de dosel del bosque natural (i.e. *Hyeronima alchorneoides*) también estuvieron presentes con valores >2% del total del área basal (Tabla 2). Otras especies maderables fueron menos abundantes, cada una con <2% del total del área basal: *Cedrela odorata*, *Dipteryx panamensis* y *Zanthoxylum panamensis* (Tabla 2). La presencia de especies como *Bactris gasipaes* (pejibaye), *Psidium guajava* (guava) y *Elaeis guianensis* (palma de aceite) (Tabla 2) evidenció la ocupación humana relativamente reciente en el área. En particular, *Gliricidia sepium*, aunque en proporciones bajas (3.3% del área basal y 4.9% del total del número de individuos medidos), es frecuentemente usado en cercas vivas en la región.

El Sitio 3 tuvo la mayor área basal, pero menor número de individuos que el Sitio 2 (Tabla 3). La composición de especies era similar a la del Sitio 2, con otras especies emergentes en los bosques de la región, tales como *Stryphnodendron microstachyum* y *Dipteryx panamensis*. Sólo cuatro árboles de tamaño comercial fueron extraídos en el momento de la limpieza del sitio para el establecimiento de las plantaciones experimentales: un *Cordia alliodora* del Sitio 1, un *Cedrela odorata* del Sitio 2, y un *Cedrela odorata* y un *Carapa guianensis* del Sitio 3.

b- Fertilidad del suelo

El Ca intercambiable del suelo y el pH fueron más altos en el Sitio 1 que en los Sitios 2 y 3 en las profundidades examinadas, mientras que la materia orgánica fue mayor en los Sitios 2 y 3 ($p < 0.05\%$). El P y Cu extraíble fueron mayores

en el Sitio 1 que en los Sitios 2 y 3 a 0-15 y 15-30 cm de profundidad (Tabla 4). No hubo diferencias estadísticamente significativas en el Mg, K, acidez, Fe y Mn intercambiable. El Zn fue mayor en el Sitio 3 a 30-60 cm de profundidad solamente. Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$), el N total tendió a ser mayor en los Sitios 2 y 3 que en el Sitio 1.

En el Sitio 1, el N total en el suelo fue mayor en áreas bajo árboles, y el P extraíble del suelo fue mayor en las áreas cubiertas con pasto y/o helechos a 0-15 cm de profundidad (Tabla 5). No hubieron diferencias estadísticamente significativas en cationes, pH, materia orgánica, Cu, Fe, Mn y Zn entre los suelos bajo pasto y/o helechos y árboles a ninguna de las profundidades estudiadas.

El análisis de regresión de parámetros para el total del área basal arbóreo y la fertilidad del suelo para los tres sitios demostró que había correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre el total del área basal arbóreo y la materia orgánica del suelo, el N total, y la acidez, con coeficientes de correlación entre 0.33 y 0.52 (Tabla 6). Estos resultados fueron obtenidos calculando regresiones lineares, usando valores no-transformados de los parámetros utilizados: los coeficientes de correlación disminuyeron cuando las regresiones exponenciales o las transformaciones logarítmicas de los datos fueron usados para el análisis. Hubo una relación negativa, pero estadísticamente significativa entre el área basal y el P y K extraíble. No hubieron correlaciones estadísticamente significativas entre el área basal y el Ca, Mg o las concentraciones de iones de H^+ del suelo (Tabla 6).

DISCUSIÓN

Desarrollo futuro del bosque en sitios de crecimiento secundario

Esta discusión está basada en los resultados del muestreo de árboles maduros, ya que no se tomó información sobre las clases de tamaño menores (plantones y árboles jóvenes) que determinan el potencial de regeneración futura de un sitio. Los Sitios 2 y 3, con mayor área basal, mayor número de árboles, y mayor materia orgánica y N en el suelo, aparentemente ofrecían más alternativas que el Sitio 1 con respecto al desarrollo futuro de los árboles, ya sea natural o manejado. La especie más abundante, *Pentaclethra macroloba*, es dominante en el bosque natural de La Selva, y es comúnmente encontrada tanto en bosques primarios como en secundarios en la región Atlántica de Costa Rica (Hartshorn 1983; Peralta et al. 1987; Finegan & Sabogal 1988). Esta especie también fue la más abundante en un bosque talado en

regeneración de 5 años cerca de La Selva (González & Chaves 1993). La mayoría de los árboles de *P. maculosa* en los Sitios 2 y 3 eran muy delgados, encontrándose en alta densidad alrededor de árboles adultos padres que no habían sido talados durante el corte selectivo del bosque. El número mayor de árboles encontrado en los Sitios 2 y 3 en comparación con el Sitio 1 es probablemente el resultado de la proximidad de una quebrada relativamente profunda. De acuerdo con mapas aéreos de 1981, justo cuando la OET compró La Guaria (archivos de La Selva), el Sitio 1 estaba cubierto con pasto y árboles esparcidos, mientras que el Sitio 2 tenía una cerca de árboles, muchos de los cuales podrían haber sobrevivido o servido como fuentes de semillas después del abandono del pastoreo. En general, los Sitios 2 y 3 tenían una alta abundancia de arbustos y árboles de corta vida e intolerantes a la sombra (especies pioneras, como por ejemplo, *Apeiba* spp., *Cecropia* spp., *Hampea* spp., *Miconia* spp.), lo cual es característico en las etapas tempranas de la sucesión vegetal de bosques neotropicales (Budowski 1965; Denslow 1980; Swaine & Whitmore 1988). La intervención silvicultural para facilitar a los individuos preferidos en esta fase de la sucesión no es recomendable, porque los tratamientos podrían revertir el proceso de sucesión al incrementar el nivel de luz que favorece al crecimiento del pasto (Finegan 1992). En esta temprana etapa, las alternativas para ayudar el proceso de regeneración podría incluir técnicas de regeneración artificial, es decir, enriquecimiento con plántones arbóreos de especies nativas, ya sea en líneas o en áreas de claros del bosque secundario (Weaver 1987; Ramos & del Amo 1992).

En contraste, el Sitio 1 con su distancia relativamente mayor a fuentes de semillas, su cubierta de pasto y helechos extensa, el bajo número de especies arbóreas y la menor área basal demostró menos potencial para el desarrollo rápido del bosque secundario. En este tipo de situación, para ayudar a los procesos de rehabilitación de bosques y suelos, una alternativa potencial involucra la reforestación con especies arbóreas nativas, de crecimiento rápido, adaptadas a la alta luminosidad y a suelos relativamente infértiles. Los árboles de crecimiento rápido con alta capacidad para el reciclaje de nutrientes pueden mejorar la fertilidad del suelo en muchas regiones húmedas tropicales (Sánchez et al. 1985; Lugo 1988; Montagnini & Sancho 1990a, b). Aparte del rol potencial en la restauración de la productividad del sitio, las plantaciones arbóreas pueden acelerar el proceso de regeneración en ciertos sitios; por ejemplo, los árboles pueden servir como hábitat para aves y estimular la regeneración natural de

las especies locales (Parrotta 1992).

Correlación entre las propiedades químicas del suelo y el área basal arbórea

El rango de valores de los parámetros del suelo para los tres sitios de este estudio fue comparable a los encontrados en otro sitio en el Anexo La Guaria de La Selva con un patrón del uso de la tierra similar (Montagnini & Sancho 1990a, b), excepto que el pH tendía a ser más bajo en este estudio (4.1-5.2) que en el otro sitio (5.3-5.5) a profundidades del suelo de 0-15 cm. Además, las diferencias en los parámetros del suelo entre las áreas de pasto y árboles del Sitio 1 (Tabla 5) fueron comparables a los hallados en las áreas de pasto abandonado y bosque en regeneración del otro sitio en La Guaria (Montagnini & Sancho 1990a, b). En otra comparación de suelos bajo bosques y pastos en el mismo sitio (Asbjornsen & Montagnini 1994), el pH fue menor bajo árboles que bajo pasto o helecho, pero no hubo diferencias significativas entre tipos de vegetación en los otros parámetros estudiados.

El Sitio 1, con la menor área basal (Tablas 1, 2 y 3) también tenía menos materia orgánica que los Sitios 2 y 3 (Tabla 4). En los Sitios 2 y 3, la dominancia por *Pentaclethra maculosa*, un árbol leguminoso fijador de nitrógeno (Nichols & Rodríguez 1990), puede que contribuya, aunque sea parcialmente, a una mayor materia orgánica y a la tendencia a mayor N encontrado en estos sitios. El Sitio 1 tenía más P que los Sitios 2 y 3. Esta tendencia es similar a la encontrada por Montagnini & Sancho (1990a,b): menos P bajo árboles que bajo pastos. La alta demanda por P por árboles leguminosos (*Pentaclethra maculosa*) para la fijación de nitrógeno podría explicar el bajo nivel de P extraíble del suelo.

Los resultados del análisis de regresión demostraron correlaciones estadísticamente significativas entre el área basal arbórea y la materia orgánica del suelo, el N total, la acidez intercambiable y el P extraíble. Aunque los coeficientes de correlación fueron relativamente bajos (0.3-0.5), dado que las cantidades de nutrientes en el suelo en un sitio particular son el resultado de muchos factores interactivos (tales como el clima, el material parental, la topografía, la vegetación), es llamativo que hasta un 30-50% de un efecto en particular pueda ser atribuido a un factor individual, la vegetación (área basal). Se reconoce que las correlaciones no demuestran relaciones de causa y efecto; es decir que una mayor área basal puede ser encontrada en suelos más ricos porque la mayor fertilidad del suelo probablemente favoreció el crecimiento arbóreo, o, de manera contraria, que las condiciones mejoradas del suelo pueden

ser encontradas en áreas de mayor cubierta arbórea a causa de los efectos beneficiosos de los árboles sobre los suelos. El patrón de distribución espacial de árboles encontrado aquí aparenta estar muy relacionado con la proximidad de otros árboles que fueron dejados en pie al momento del corte del sitio y que aparentemente sirvieron como fuentes de semillas, como explicamos anteriormente. Probablemente una imagen más clara de los efectos de los árboles en regeneración sobre los factores del suelo puede ser obtenida en una situación donde un corte o limpieza completa (tala rasa) es seguido por la regeneración natural arbórea. En tales situaciones, las medidas de área basal arbórea podrían ser una herramienta útil para la evaluación de las alternativas de desarrollo del bosque.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue llevado a cabo en el marco de un proyecto de Investigaciones Ecológicas de la Fundación A. W. Mellon (USA) de la Universidad de Yale, Escuela Forestal y Estudios del Medio Ambiente. Por su colaboración, queremos agradecer a G. Vega, Estación Biológica La Selva; al personal del Laboratorio de Suelos, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica; y a B. Auer (Universidad de Yale, Escuela Forestal y Estudios del Medio Ambiente) por el análisis de datos.

BIBLIOGRAFIA

- * Allison, L.E. 1975. Organic carbon. In: Black, C.A. (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 2*, pp. 1367-1378. Amer. Soc. Agron., Inc., Madison, Wisconsin.
- * Amo, R. S. del & Ramos, P.J. 1993. Use and management of secondary vegetation in a humid-tropical area. *Agrofor. Sys.* 21: 27-42.
- Asbjornsen, H. & Montagnini, F. 1994. Vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculum potential affects the growth of *Stryphnodendron excelsum* seedlings in a Costa Rican humid tropical lowland. *Mycorrhiza*. In press.
- * Bremner, J.M. & Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-total. In: Page, A.L., Miller, R.H. & Keeney, R.R. (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd. ed.*, pp. 595-624. Amer. Soc. Agron., Inc., Madison, Wisconsin.
- * Brown, S. & Lugo, A.E. 1990. Tropical secondary forests. *J. Trop. Ecol.* 6:1-32.
- * Budowski, G. 1965. Distribution of tropical American trees in the light of successional processes. *Turrialba* 15: 40-42.
- * Denslow, J. S. 1980. Gap partitioning among tropical forest trees. *Biotrop.* 12 (Suppl): 47-55.
- * Díaz-Romeu, R. & Hunter, A. 1978. *Método para el muestro de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernaderos*, pp. 9-11 and 15-27. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- * Finegan, B. 1992. The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. *For. Ecol. Manage.* 47: 295-321.
- * Finegan, B. & Sabogal, C. 1988. El desarrollo de sistemas de producción sostenible en bosques tropicales húmedos de bajura: un estudio de caso en Costa Rica. *El Chasqui* (Costa Rica) 17:3-24.
- * González, E. & Chaves, E. 1993. Estructura y composición de un bosque húmedo tropical explotado en la región norte de Costa Rica. *Yvyraretá* (Argentina) 5:
- * Hartshorn, G. S. 1983. Plants. In: D. Janzen (ed.) *Costa Rican Natural History*. pp. 158-183. Univ. of Chicago Press. Chicago.
- * Lugo, A.E. 1988. The future of the forest. Ecosystem rehabilitation in the tropics. *Environ.* 30(7):17-20 and 41-45.
- * Montagnini, F. & Sancho, F. 1990a. Influencia de seis especies de árboles nativos sobre la fertilidad del suelo en una plantación experimental en la llanura del Atlántico de Costa Rica. *Yvyraretá* (Argentina) 1(1):29-49.
- * Montagnini, F. & Sancho, F. 1990b. Impacts of native trees on tropical soils: a study in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Ambio* 19(8): 386-390.
- * Montagnini, F. 1992. Mixed-tree plantations with native trees: land-use systems for economic returns and soil restoration. Experiments in Costa Rica and Argentina. *Agrofor. Today* 4(3):4-6.
- * Montagnini, F. 1994. Agricultural systems in the La Selva Region. In: McDade, L.A., Bawa, K., Hespeneide, H.A. & Hartshorn, G.S. (eds.) *La Selva: Ecology and Natural History of a Neotropical Rainforest*, pp. 307-316. University of Chicago Press, Chicago.
- * Montagnini, F., Sancho, F., González, E. & Moulart, A. 1993. El uso de especies maderables nativas en plantaciones mixtas para la reforestación de terrenos degradados: resultados preliminares de experiencias en la llanura del Atlántico de Costa Rica. *VII Jornadas Técnicas: Ecosistemas Forestales Nativos: Uso, Manejo y Conservación*. 10-12 Nov. 1993. pp. 190-210. Univ. Nac. Misiones, Fac. Cs. Forestales. Eldorado, Misiones, Argentina.
- * Nepstad, D., Uhl, C. & Serrao, E.A. 1990. Surmounting barriers to forest regeneration in abandoned, highly degraded pastures: A case study from Paragominas, Pará, Brazil. In: Anderson,

A.B. (ed.) *Alternatives to deforestation: steps towards sustainable utilization of the Amazon rain forest*, pp. 215-229. Columbia Univ. Press. New York.

* Nichols, D. & Rodríguez, E. 1990. Costa Rican nitrogen fixing trees with possibilities for greater use. *Nitr. Fix. Tree Res. Rep.* 8:30-31.

* Parrotta, J. A. 1992. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agric., Ecos. and Environ.* 41:115-133.

* Peralta, R., Hartshorn, G.S., Lieberman, D. & Lieberman, M. 1987. Reseña de estudios a largo plazo sobre composición florística y dinámica del bosque tropical en La Selva, Costa Rica. In: Clark, D.A., Dirzo, R. & Fetcher, N. (eds.) *Ecología y ecofisiología de plantas en los bosques mesoamericanos*. Rev. Biol. Trop. 35 (Suppl. 1): 23-40.

* Pierce, S.M. 1992. *La Selva Biological Station history: Colonization/land use/ deforestation of Sarapiquí, Costa Rica*. M.S. Thesis. Colorado State Univ., Ft. Collins, 321 pp.

* Proctor, J. 1992. Soils and mineral nutrients: what do we know, and what do we need to know, for wise rain forest management? In: Miller, F.R. & Adam K.L. (eds.) *Wise management of tropical forests*, pp. 27-35. Oxford Forestry Institute, Univ. of Oxford, Oxford.

* Ramos, J.M. & del Amo, S. 1992. Enrichment planting in a tropical secondary forest in Veracruz, Mexico. *For. Ecol. and Manage.* 54: 289-304.

* Sánchez, P.A., Palm, C.A., Davey, C.B., Szott, L.T. & Russell, E.C. 1985. Tree crops as soil improvers in the humid tropics? In: Cannell, M.G.R. & Jackson, J.E. (eds.) *Attributes of trees as crop plants*, pp. 327-350. Inst. of Terr. Ecol., Nat. Environ. Res. Council, Abbots Ripton, Huntingdon, England.

* Sancho, F. & Mata, R. 1987. *Estudio detallado de suelos. Estación Biológica La Selva. Organización para Estudios Tropicales, San José, Costa Rica*. 162 pp.

* Swaine, M.D. & Whitmore, T.C. 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio* 75: 81-86.

* Wadsworth, F.H. 1987. A time for secondary forestry in tropical America. In: Figueroa, J.C., Wadsworth, F.H. & Branham, S. (eds.) *Management of the forests of tropical America: Prospects and technologies*, pp. 189-197. Inst. of Trop. For., USDA Forest Service, San Juan, Puerto Rico.

* Van Wambeke, A. 1992. Vegetation, soil organic matter, and crops. In: Van Wambeke, A. (ed.) *Soils of the tropics. Properties and appraisal*. pp. 69-95. McGraw-Hill. New York.

* Weaver, P. L. 1987. Enrichment planting in tropical America. In: Figueroa, J.C., Wadsworth, F.H. & Branham, S. (eds.) *Management of the forests of tropical America: Prospects and technologies*, pp. 259-278. Inst. of Trop. For., USDA Forest Service, San Juan, Puerto Rico. ■

Tabla 1. Inventario de vegetación en un bosque secundario de 10 años en La Selva, Costa Rica: Sitio 1, Mayo 1991.

Especies arbóreas	Area Basal		Número de individuos	
	m ² /ha	Relativa(%)	Totales/ha	Relativa(%)
<u>>2% del área basal total:</u>				
<i>Alchornea costaricensis</i>	2.28	52.84	8.14	36.90
<i>Cecropia obtusifolia</i>	0.21	4.75	0.41	1.85
<i>Nectandra membranacea</i>	0.16	3.65	0.82	3.69
<i>Pentaclethra macroloba</i>	1.43	32.99	7.00	31.71
<u>≤2% del área basal total:</u>				
<i>Apeiba membranacea</i>	0.01	0.29	0.41	1.85
<i>Cordia bicolor</i>	0.05	1.16	0.41	1.85
<i>Dipteryx panamensis</i>	0.01	0.29	0.41	1.85
<i>Gliricidia sepium</i>	0.04	0.81	0.82	3.69
<i>Hampea appendiculata</i>	0.01	0.17	0.41	1.85
<i>Psidium guajava</i>	0.04	0.98	2.04	9.24
<i>Pterocarpus spp.</i>	0.04	0.81	0.41	1.85
<i>Vitex cooperi</i>	0.06	1.33	0.82	3.69
Totales	4.34	100.00	22.1	100.00

Tabla 2. Inventario de vegetación en un bosque secundario de 10 años en la La Selva, Costa Rica: Sitio 2, Julio 1991.

Especies arbóreas	Area Basal		Número de individuos	
	m ² /ha	Relativa(%)	Totales/ha	Relativa(%)
<u>>2% del área basal total:</u>				
<i>Cordia alliodora</i>	0.65	3.94	12.21	8.19
<i>Ficus spp.</i>	0.96	5.83	4.07	2.73
<i>Guarea spp.</i>	0.33	2.00	0.41	0.28
<i>Gliricidia sepium</i>	0.55	3.34	7.32	4.91
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	0.46	2.79	0.41	0.28
<i>Nectandra membranacea</i>	0.50	3.03	7.33	4.92
<i>Pentaclethra macroloba</i>	9.43	58.29	65.10	43.70
<u><2% del área basal total:</u>				
<i>Alchornea costaricensis</i>	0.11	0.67	2.85	1.91
<i>Andira inermis</i>	0.05	0.30	0.82	0.55
<i>Apeiba membranacea</i>	0.42	2.55	2.44	1.64
<i>Bactris gasipaes</i>	0.05	0.34	2.04	1.37
<i>Brosimum alicastrum</i>	0.02	0.09	0.82	0.56
<i>Casearea arborea</i>	0.05	0.30	0.82	0.55
<i>Cassia fruticosa</i>	0.03	0.18	1.22	0.82
<i>Cecropia obtusifolia</i>	0.07	0.42	3.26	2.19
<i>Cedrela odorata</i>	0.36	2.19	2.85	1.91
<i>Clusia spp.</i>	0.13	0.79	1.22	0.82
<i>Cordia bicolor</i>	0.02	0.12	0.41	0.28
<i>Dendropanax arboreus</i>	0.15	0.91	0.41	0.28
<i>Dipteryx panamensis</i>	0.23	1.39	0.82	0.55
<i>Genipa americana</i>	0.03	0.18	0.41	0.28
<i>Hampea appendiculata</i>	0.02	0.12	0.41	0.28
<i>Inga spp.</i>	0.01	0.06	0.41	0.28
<i>Laetia procera</i>	0.09	0.55	0.41	0.28
<i>Luehea semannii</i>	0.16	0.97	1.63	1.09
<i>Miconia affinis</i>	0.14	0.85	5.70	3.82
<i>Neea psychotroides</i>	0.02	0.12	0.41	0.28
<i>Piper spp.</i>	0.01	0.06	0.41	0.28
<i>Pithecellobium macrademium</i>	0.03	0.18	0.41	0.28
<i>Protium glabrum</i>	0.01	0.06	0.41	0.28
<i>Psidium guajava</i>	0.08	0.49	3.66	2.46
<i>Pterocarpus spp.</i>	0.17	1.03	2.44	1.64
<i>Rollinia microsepala</i>	0.16	0.97	1.22	0.82
<i>Simarouba amara</i>	0.19	1.15	2.44	1.64
<i>Socratea durissima</i>	0.01	0.06	0.41	0.28
<i>Tabebuia guayacan</i>	0.09	0.59	0.41	0.28
<i>Trema spp.</i>	0.02	0.12	0.82	0.55
<i>Especie desconocida 1</i>	0.16	0.97	0.82	0.55
<i>Especie desconocida 2</i>	0.01	0.06	0.41	0.28
<i>Virola sebifera</i>	0.02	0.12	0.25	0.28
<i>Vismia panamensis</i>	0.31	1.90	6.92	4.64
<i>Vitex cooperi</i>	0.09	0.55	1.22	0.82
<i>Zanthoxylum panamensis</i>	0.07	0.42	0.82	0.55
Totales	16.45	100.00	149.03	100.00

Tabla 3. Inventario de vegetación en un bosque secundario de 10 años en La Selva, Costa Rica: Sitio 3, Julio 1991.

Especies arbóreas	Área Basal		Número de individuos	
	m ² /ha	Relativa (%)	Totales/ha	Relativa(%)
>2% del área basal total:				
<i>Andira inermis</i>	0.54	2.17	3.26	2.25
<i>Casearia arborea</i>	1.90	7.69	4.07	2.82
<i>Ficus spp.</i>	0.90	3.62	2.44	1.69
<i>Miconia affinis</i>	0.66	2.65	9.77	6.76
<i>Nectandra membranacea</i>	0.98	3.95	8.14	5.64
<i>Pentaclethra macroloba</i>	12.93	52.29	48.42	33.53
<i>Pithecellobium macrademium</i>	0.65	2.63	0.82	0.56
<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	0.88	3.56	0.41	0.28
<2% del área basal total:				
<i>Alchornea costaricensis</i>	0.48	1.95	2.79	1.93
<i>Apeiba membranacea</i>	0.32	1.27	5.29	3.66
<i>Bactris gasipaes</i>	0.30	1.22	0.41	0.28
<i>Cassia fruticosa</i>	0.01	0.03	0.41	0.28
<i>Cecropia obtusifolia</i>	0.09	0.36	2.04	1.41
<i>Cedrela odorata</i>	0.18	0.74	0.41	0.28
<i>Clusia spp.</i>	0.10	0.41	2.44	1.69
<i>Cordia alliodora</i>	0.42	1.69	7.33	5.07
<i>Cupania spp.</i>	0.33	1.33	2.44	1.69
<i>Dendropanax arboreus</i>	0.33	1.31	0.41	0.28
<i>Dipteryx panamensis</i>	0.01	0.05	1.63	1.13
<i>Elaeis guianensis</i>	0.08	0.32	0.41	0.28
<i>Genipa americana</i>	0.01	0.05	0.41	0.28
<i>Gliricidia sepium</i>	0.02	0.06	0.41	0.28
<i>Guatteria invicta (diospiroides)</i>	0.08	0.31	0.41	0.28
<i>Guarea spp.</i>	0.13	0.51	0.41	0.28
<i>Hampea appendiculata</i>	0.02	0.06	0.41	0.28
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	0.49	1.97	0.41	0.28
<i>Hura crepitans</i>	0.02	0.08	0.82	0.56
<i>Hymenolobium mesoamericana</i>	0.10	0.40	0.41	0.28
<i>Inga spp.</i>	0.27	1.07	0.82	0.56
<i>Laetia procera</i>	0.09	0.34	1.63	0.13
<i>Lonchocarpus spp.</i>	0.19	0.77	0.82	0.56
<i>Luehea semanii</i>	0.16	0.63	8.14	5.64
<i>Neea psychotroides</i>	0.04	0.14	1.22	0.84
<i>Pachira aquatica</i>	0.04	0.17	0.41	0.28
<i>Protium glabrum</i>	0.01	0.05	0.41	0.28
<i>Psidium guajava</i>	0.31	1.26	6.51	4.51
<i>Pterocarpus spp.</i>	0.15	0.62	3.26	2.26
<i>Rollinia microsepala</i>	0.05	0.18	2.04	1.41
<i>Simarouba amara</i>	0.21	0.84	3.26	2.26
<i>Spondias radlkoferi</i>	0.06	0.22	1.22	0.85
<i>Especie desconocida 1 (Ficus)</i>	0.07	0.29	0.82	0.56
<i>Especie desconocida 2 (Solanaceae)</i>	0.01	0.04	0.41	0.28
<i>Especie desc. 3 (arborescent fern)</i>	0.01	0.01	0.41	0.28
<i>Virola sebifera</i>	0.01	0.05	0.41	0.28
<i>Vismia panamensis</i>	0.07	0.26	4.48	3.10
<i>Vitex cooperi</i>	0.03	0.10	0.82	0.56
Totales	24.73	100.00	138.82	100.00

Tabla 4. Características químicas de los suelos en los Sitios 1, 2 y 3: Ca, Mg, K, acidez intercambiable, pH, materia orgánica (MO), N total, P extraíble y micronutrientes.

Sitio	Prof. (cm)	Ca (cmol+.1-1)	Mg (cmol+.1-1)	K	Acidez	pH	MO	N (%)	P	Cu (mg.kg-1)	Fe	Mn	Zn
1	0-15	1.29a	0.36a	0.16a	1.14b	4.9a	5.21b	0.23b	8.9a	39.0a	1749a	47.8a	3.80a
	15-30	1.12a	0.30a	0.13a	1.14a	5.0a	3.36b	0.16a	7.6a	38.7a	1260a	41.3a	2.76a
	30-60	1.12a	0.17a	0.09a	1.01a	5.0a	2.69b	0.12a	6.0a	32.5a	585a	35.0a	2.70b
2	0-15	0.81b	0.47a	0.18a	1.40ab	4.5b	5.66ab	0.26ab	5.9b	33.5b	1382a	89.9a	3.70a
	15-30	0.66b	0.27a	0.13a	1.27a	4.6b	3.20b	0.17a	5.8b	31.6b	936a	67.9a	2.24a
	30-60	0.59b	0.21a	0.11a	1.12a	4.7b	2.15b	0.10a	4.8a	33.6a	461a	55.7a	2.55b
3	0-15	1.03ab	0.47a	0.15a	1.19a	4.4b	6.30a	0.28a	3.3c	32.5b	1504a	88.2a	2.92a
	15-30	0.87ab	0.27a	0.11a	1.70a	4.4b	4.35a	0.17a	2.7b	30.7b	1004a	65a	2.24a
	30-60	0.89ab	0.23a	0.09a	1.44a	4.5b	3.58a	0.13a	2.1b	30.1a	597a	55a	5.08a

Las diferencias entre promedios son estadísticamente significativas cuando son seguidas por letras diferentes ($P < 0.05$).

Tabla 5 Características químicas de los suelos bajo áreas arboladas y de pasto en el Sitio 1: Ca, Mg, K, acidez intercambiable, capacidad de intercambio catiónico, efectiva (CICE), pH, materia orgánica (MO), N total, P extraíble y micronutrientes en los suelos muestreados en Mayo 1991.

Tipo de Veget.	Prof. (cm)	Ca (cmol+.1-1)	Mg (cmol+.1-1)	K	Acidez	CICE	pH	MO (%)	N	P	Cu (mg . kg ⁻¹)	Fe	Mn	Zn
Arboles														
	0-15	1.35a	0.35a	0.14a	1.22a	3.06a	4.8a	5.58a	0.278a	5.87b	38.0a	1688.7a	55.5a	3.20a
	15-30	1.12a	0.27a	0.10a	1.02a	2.52a	4.9a	3.81a	0.183a	4.10a	39.0a	1120.0a	43.2	2.10a
	30-60	1.05a	0.12a	0.07a	0.85a	2.10a	5.0a	2.51a	0.158a	2.55b	36.5a	529.7a	41.7a	2.10a
Pasto														
	0-15	1.20a	0.35a	0.16a	1.00a	2.71a	4.9a	4.50a	0.218b	10.27a	38.7a	1773.0a	49.0a	3.95a
	15-30	1.12a	0.27a	0.14a	1.05a	2.59a	5.0a	3.18a	0.163a	8.00a	37.2a	1275.7a	46.7a	2.85a
	30-60	1.15a	0.17a	0.10a	0.92a	2.37a	5.4a	2.21a	0.098a	6.67a	31.0a	579.2a	38.2a	2.77a

Las diferencias entre promedios son estadísticamente significativas cuando son seguidas por letras diferentes ($P < 0.05$).

Tabla 6. Análisis de correlación entre área basal arbórea y propiedades del suelo superficial, n=56.

Propiedad del suelo	Coefficiente de correlación	R ²	P<
Materia orgánica	0.52	0.27	0.00004
N	0.32	0.10	0.015
P	-0.33	0.11	0.013
Ca	-0.18	0.03	0.179
Mg	-0.033	0.001	0.809
K	-0.32	0.10	0.017
Acidez	0.45	0.20	0.0005
Iones H+	-0.002	0.0	0.986