

Reforestación para mitigar el cambio climático. Estudio en Costa Rica

ANN RUSSELL, JAMES RAICH, RICARDO BEDOYA, OSCAR VALVERDE y EUGENIO GOZNÁLEZ

Los bosques en general, y los tropicales en especial, almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa -troncos, hojas, flores, frutos y raíces-, y también en el suelo. Igualmente poseen altos niveles de productividad (Dixon *et al.* 1994, Field *et al.* 1998). El proceso de producción mediante el cual las plantas fijan el carbono de la atmósfera adquiere particular importancia en las plantaciones forestales debido a la alerta que ha suscitado el cambio climático. Se considera que la reforestación puede ser un mecanismo importante para el secuestro de carbono presente en la atmósfera. Sin embargo, los datos sobre la cantidad capturada por las diversas especies, especialmente en el trópico, son notablemente escasos.

A partir de 1988 iniciamos una investigación en la Estación Biológica La Selva, en Sarapiquí, donde se plantaron especies de árboles bajo un diseño conocido como bloques completos aleatorios, con especies nativas como *Hieronyma alchorneoides* (pilón), *Pentaclethra macroloba* (gavilán), *Virola koschnyi* (fruta dorada o bogabaní), *Vochysia guatemalensis* (palo de chanco) y la conífera exótica *Pinus patula* (pino). Este ensayo partió en igualdad de condiciones en cuanto al uso anterior de la tierra, el clima y las características del suelo. Transcurridos entre 15 y 17 años, evaluamos tres aspectos relacionados con los efectos de estas especies sobre la dinámica del carbono (Russell *et al.* 2010). Primeramente, se determinó el impacto que cada especie tiene sobre las propiedades y los procesos del ecosistema, en segundo lugar, los rasgos que explican estas diferencias y, por último, las consecuencias para el desarrollo del bosque y el secuestro de carbono.

El marco conceptual de la investigación que desarrollamos se fundamenta en la identificación de los

efectos de las cinco especies de árboles sobre el balance de carbono en el bosque, partiendo de la premisa de que las especies pueden diferir en lo que respecta a: (1) el total de productividad primaria neta, es decir, la energía química capturada y almacenada una vez que las plantas usan cierta cantidad de energía para la respiración y el mantenimiento de tejidos; (2) la compartimentación de la producción de componentes aéreos -hojas, ramas, troncos y frutos- y subterráneos -raíces-, y, finalmente, (3) la tasa de mortalidad de los tejidos vegetales. Todos estos rasgos unidos influyen sobre la cantidad, la ubicación, los componentes de la biomasa de los árboles y el crecimiento de especies en el sotobosque, es decir, la parte situada por debajo del dosel vegetal que forman las copas de los árboles plantados. Estos rasgos también influyen, junto con la composición química de los componentes de la planta, (4) la cantidad y la calidad de los residuos que provienen de la descomposición de fuentes orgánicas, denominados detritus, que se generan en la superficie y bajo el suelo, los cuales a su vez influyen sobre los insumos dirigidos hacia el reservorio del carbono orgánico del suelo; además de (5) los rendimientos mediante la respiración edáfica, que también incluye el CO₂ procedente de las raíces vivas. De este modo, los rasgos de cada especie de árbol pueden cambiar la trayectoria del desarrollo del ecosistema hacia bosques distintos en cuanto a su funcionalidad y su estructura, que a su vez afectará de manera diferente los sistemas biótico, atmosférico e hidrológico dentro de los cuales existen.

Con respecto al secuestro de carbono y su efecto en las especies, los resultados de la investigación determinan que la tasa de secuestro de carbono es positiva en estos árboles de 16 años de edad, lo que indica que las plantaciones no han alcanzado aún su potencial completo para acumular carbono. Todavía no conocemos cuál podría ser este potencial pero nuestros datos sugieren que la biomasa del bosque maduro no representa el límite superior.

La especie *Vochysia* destaca sobre las demás por almacenar una considerable cantidad de carbono en la biomasa aérea correspondiente a cerca de 100 mg/ha (1 megagramo equivale a 1.000 kilogramos). Esto representa entre 30 y 40% más que las otras especies evaluadas, y más de un 20% de las estimacio-

Ann Russell (arusell@iastate.edu) y James Raich, biólogos especialistas en ecología de ecosistemas, son profesores en la Universidad Estatal de Iowa. Ricardo Bedoya, ingeniero forestal y gestor en biodiversidad, es coordinador del proyecto de investigación del que se desprende el presente documento, en la Estación Biológica La Selva, de la OET. Oscar Valverde, biólogo y ecólogo, es estudiante de doctorado de la Universidad de Kent State, en Estados Unidos. Eugenio González, ingeniero forestal especialista en restauración de ecosistemas, es director del Centro Soltis para la Investigación y la Educación, de la Universidad de Texas A&M, en San Isidro de Peñas Blancas, Costa Rica. En caso de querer la versión en inglés de este documento en pdf dirigirse a la autora principal.

nes realizadas para el bosque maduro adyacente (Clark y Clark 2000). Además, casi duplica la biomasa de plantaciones de *Pentaclethra* y *Virola*. Aunque la mayor proporción de carbono se almacena en la madera, al sumar el carbono retenido por las raíces gruesas y finas y el dosel, *Vochysia* almacena en total cerca de 120 mg/ha.

ciones fue de 5,2 mg/ha/año, promediada sobre los últimos 16 años y a través de las especies. El secuestro de carbono en la biomasa -aérea y subterránea- durante todo el estudio difiere entre las especies, con tasas que oscilan entre 4,1 y 7,4 mg/ha/año en *Virola* y *Vochysia*, respectivamente.

Estos resultados corresponden en forma aproxi-



Pentaclethra macroloba (gavilán)

Flora digital La Selva

Una gran proporción del carbono orgánico almacenado en las plantaciones se encuentra en el suelo. Bajo las de *Vochysia* hay cerca de 190 mg/ha hasta una profundidad de un metro. Estas cifras son cerca de 40 mg/ha mayores al carbono orgánico contenido en especies como *Pinus* y *Pentaclethra*; sin embargo, son comparables a la cantidad encontrada bajo el bosque adyacente de las plantaciones (Russell *et al.* 2007). A pesar de que los índices acumulados de carbono orgánico del suelo en la superficie del suelo (profundidad de 0–15 cm) eran parecidos entre las especies, el índice promedio entre éstas fue positivo. En promedio, las plantaciones acumularon una cantidad de carbono equivalente a 0,18 ($\pm 0,04$) mg/ha/año durante 16 años.

La tasa de secuestro de carbono en estas planta-

mada a la media anual per cápita del uso de combustibles fósiles en Estados Unidos, cuyo promedio fue de 5,3 mg de carbono durante el período de este estudio, entre 1988 y 2005 (Marland *et al.* 2008). Por supuesto, esta tasa de producción de CO₂ varía a través del tiempo, pero provee una perspectiva sobre la capacidad de estas plantaciones para mitigar las emisiones de CO₂.

Experimentamos con plantaciones de árboles de determinadas especies como modelos con el fin de identificar los mecanismos mediante los cuales cada especie puede influenciar el ciclo de carbono. Se compararon varios rasgos de las especies plantadas, incluyendo sus efectos en el sotobosque, para evaluar los medios de influencia de cada especie en un ambiente determinado.

No identificamos efectos importantes de especies en relación con el total de la productividad o con la acumulación de carbono orgánico en el suelo hasta un metro de profundidad. A los 16 años, la falta de diferencias entre las especies en estos rasgos sugirió un fuerte control abiótico en este sitio. En otras palabras, en este ambiente donde las condiciones de crecimiento son muy favorables para muchos organismos, todas las plantaciones tenían altos índices del ciclo del carbono. Por ejemplo, la tasa de productividad aérea fue 11,7 mg/ha/año, y la cantidad de carbono orgánico del suelo (0–100 cm) fue de 173 mg C/ha (los promedios entre todas las especies).

Por otra parte, entre solo cinco especies de árboles se identificaron diferencias significativas en la compartimentación de la productividad y en las tasas de mortalidad del tejido vegetal y la biomasa entre los componentes aéreos y subterráneos. También encontramos diferencias en relación con la química del detrito y en el ciclo de carbono subterráneo, incluyendo la respiración edáfica y heterotrófica, además de en la productividad subterránea. Por ejemplo, en las parcelas de *Vochysia*, tanto la biomasa aérea correspondiente a 99 mg/ha como la biomasa subterránea de 20 mg/ha constituyeron 1,8 veces el carbono presente en *Virola* ($P = 0,02$ y $0,03$, respectivamente). Las diferencias en la biomasa de las especies plantadas no fueron compensadas por la vegetación del sotobosque. La productividad subterránea en *Hieronyma* fue de 4,6 mg/ha/año, 2,4 veces la de *Pinus* ($P = 0,01$). Además, la compartimentación de la productividad en los componentes subterráneos era más del doble en *Hieronyma*, en comparación con *Pinus* ($P = 0,03$). Finalmente, las tasas de la producción y de la muerte de hojas en el dosel de *Hieronyma* fue 42% más rápida que la de *Virola* ($P = 0,01$). Las diferencias más significativas en estos rasgos indican algún grado de control biológico.

Durante los últimos 17 años, aproximadamente una hectárea de estas plantaciones ha estado capturando por año el CO₂ producido por un ciudadano estadounidense promedio. Debido a la extensa área de tierras cultivables abandonadas en el trópico húmedo y a su gran potencial para el crecimiento de árboles, la actividad de reforestación podría convertirse en un im-

portante componente dentro del enfoque multifacético con respecto a la mitigación de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera.

Según nuestros datos, las disparidades presentes en el ciclo de carbono entre las plantaciones se pueden atribuir en primer lugar a las diferencias entre las especies plantadas, especialmente en relación con sus índices de crecimiento, su eficiencia en el uso del carbono y la química de sus tejidos. La inclusión de estos atributos bióticos puede ser necesaria para reforzar los modelos de investigación del ciclo del carbono de tal manera que abarquen los distintos tipos de bosques que cubren el bioma selva tropical húmedo.

Referencias bibliográficas

- Clark, D. B. y D. A. Clark. "Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest", en *Forest Ecology and Management* 137, 2000.
- Dixon, R. K. *et al.* "Carbon pools and flux of global forest ecosystems", en *Science* 263, 1994.
- Field, C. B. *et al.* "Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components", en *Science* 281, 1998.
- Marland, G. *et al.* 2008. "Global, regional, and national CO₂ emissions", en *Trends: a compendium of data on global change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.
- Russell, A. E. *et al.* "Tree species effect on soil properties in experimental plantations in tropical moist forest", en *Soil Science Society of America* 71, 2007.
- Russell, A. E. *et al.* "Impacts of individual tree species on carbon dynamics in a moist tropical forest environment", en *Ecological Applications* 20, 2010.



Virola koschnyi (fruta dorada)