
EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA COMO INDICADOR DEL IMPACTO DEL APROVECHAMIENTO DE MADERAS EN LA RESERVA FORESTAL IMATACA, VENEZUELA

EMILIO VILANOVA-TORRE, HIRMA RAMÍREZ-ANGULO
y ARMANDO TORRES-LEZAMA

RESUMEN

Los bosques tropicales están sometidos a numerosas y diversas presiones que amenazan su estabilidad a largo plazo, entre las cuales el cambio de uso de la tierra, el aprovechamiento forestal no sostenible y el cambio global son consideradas como las más importantes. A partir de información de parcelas permanentes establecidas en áreas intervenidas y no explotadas de la Reserva Forestal Imataca, sureste de Venezuela, se estimó el carbono almacenado en la vegetación para árboles con diámetro >10cm, en ambos ambientes, durante ocho años. Los resultados obtenidos indican que, a pesar de una baja extracción de menos del 10% de la biomasa comercial ($5,93\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), inmediatamente después de la intervención ocurre una reducción de ~50% en el carbono almacenado en el bosque, expresado en una diferencia

netamente de alrededor de $81,43\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$. Con una tasa anual de $0,55 \pm 0,61\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en las zonas explotadas se esperaría una recuperación de la biomasa original luego de ~150 años, evidenciando un importante daño a la vegetación remanente, lo que permite ubicar el impacto por debajo del umbral de cambio medio (UCM) e identificarlo como negativo. Mejoras en la planificación del aprovechamiento que impliquen la adopción de técnicas de impacto reducido y un programa de monitoreo del carbono podrían contribuir a reducir considerablemente la pérdida de carbono y facilitar una recuperación más rápida del ecosistema. Los resultados proveen bases para la formulación de nuevos lineamientos en el manejo forestal en el contexto del cambio global.



ueden los bosques tropicales ser manejados en forma sostenible? La teoría explica que sí. En la práctica, aunque se reconocen recientes esfuerzos por mejorar la ordenación forestal en muchos bosques tropicales, la realidad indica que este progreso dista de ser satisfactorio, puesto que del total de bosques tropicales destinados a la producción de madera ($350 \times 10^6\text{ha}$), solo ~7% se consideran manejadas en forma sostenible (ITTO, 2006). Incluso, los criterios e información usados en algunos casos ofrecen dudas que indicarían que esta superficie puede ser aún menor (Torres-Lezama *et al.*, 2008).

Venezuela cuenta con $\sim 16,34 \times 10^6\text{ha}$ de bosques que constitu-

yen la zona de producción forestal permanente (ZFPF), donde sólo un 9% se encuentra bajo planes de manejo y ordenación forestal (POMF) legalmente aprobados (ITTO, 2006). En esta superficie se incluye parte de la Reserva Forestal Imataca (RFI), la segunda reserva forestal más extensa en la Guayana venezolana. Sin embargo, por diversas razones, las condiciones actuales de manejo en esta zona han sido cuestionadas (Lozada, 2007; Torres-Lezama *et al.*, 2008).

En general, el manejo forestal en los trópicos y en Venezuela se basa en la extracción selectiva (ES) de árboles, que implica el aprovechamiento de muy pocos individuos de grandes dimen-

siones y de las especies de mayor valor comercial. El volumen extraído de madera fluctúa entre 2 y $40\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$, aunque algunas operaciones en la región amazónica reportan valores entre 30 y $60\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ de un número reducido de especies de valor comercial (Bámaca, 2002). En promedio, en Venezuela, unos $5 \times 10^4\text{m}^3\cdot\text{año}^{-1}$ de madera de bosques naturales manejados provienen casi exclusivamente de 20 especies (ITTO, 2006). No obstante, sólo en la RFI se han reportado unas 800 especies de árboles de porte medio a alto con posibilidades de uso (Berroterán, 2003), lo que expresa el carácter altamente selectivo del aprovechamiento forestal en el país, típico de muchas otras zonas tropicales.

PALABRAS CLAVE / Aprovechamiento Forestal / Cambio Climático / Manejo Forestal / Monitoreo / Servicios Ambientales /

Recibido: 20/03/2009. Modificado: 20/04/2010. Aceptado: 13/08/2010.

Emilio Vilanova-Torre. Ingeniero Forestal y Ms.Sc. en Manejo de Bosques, Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela. Profesor, ULA, Venezuela. Dirección: Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal (INDEFOR). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, ULA, Mérida, Venezuela. e-mail: vilanova@ula.ve

Hirma Ramírez-Angulo. Ingeniera Forestal, Ms.Sc. en Manejo de Bosques, y Ph.D. en Ecología, ULA, Venezuela. Profesora, INDEFOR-ULA, Venezuela.

Armando Torres-Lezama. Ingeniero Forestal y Ms.Sc. en Manejo de Bosques, ULA, Venezuela. Ph.D. en Ecología, University of California, Davis, EEUU. Profesor, INDEFOR-ULA, Venezuela.

Para el caso de la biomasa y el carbono, dependiendo del sistema empleado y la intensidad del aprovechamiento, la extracción de maderas puede significar la eliminación de 10-50% del carbono almacenado en la vegetación (Houghton, 2005), lo que según De Fries *et al.* (2005) permite calificar a la actividad forestal como una fuente de degradación importante pero no de remoción permanente del carbono almacenado en la vegetación. Algunas estimaciones reflejan que la extracción de maderas en la zona tropical contribuyó durante los 1990s a la emisión de unos $0,22 \times 10^{15}$ g. de carbono por año (Houghton, 2005; Blanc *et al.*, 2009). Del total de emisiones producidas por la deforestación y degradación (~20% de las emisiones mundiales), cerca de un 35% ha sido atribuido a la actividad de aprovechamiento selectivo (Griscom *et al.*, 2009). Sin embargo, existe una muy limitada cantidad de información, especialmente monitoreada por largos periodos de tiempo, que permitan mejorar la comprensión sobre el efecto que tiene el aprovechamiento de maderas sobre el ciclo del carbono en los bosques tropicales.

Aunque existen varios estudios destinados a la estimación del potencial de almacenamiento de carbono en algunos bosques venezolanos (Delaney *et al.*, 1997; Hernández, 2001) muy poco énfasis se ha hecho en el monitoreo del carbono para diferentes escenarios de uso de la tierra, incluyendo la extracción de maderas. La persistencia de los impactos ambientales y la degradación de bosques tropicales asociados al aprovechamiento forestal convencional, sumado a las expectativas que ofrece una potencial entrada de las iniciativas REDD (reducción de emisiones de deforestación y degradación de bosques) al finalizar el periodo de cumplimiento del protocolo de Kyoto (2008-2012), ofrecen una oportunidad para abordar la relación entre las actividades de aprovechamiento y sus efectos sobre el almacenamiento de carbono.



Figura 1. Ubicación relativa de la Reserva Forestal Imataca y del área de estudio. Elaborado a partir de GIS data de GFW (2002).

En este trabajo se evalúa el impacto que tiene el aprovechamiento selectivo de maderas bajo técnicas convencionales de alto impacto ambiental sobre la biomasa aérea y el almacenamiento de carbono en árboles con diámetro (D) >10cm en la RFI. Se discuten las principales consecuencias sobre la recuperación del carbono para determinar el nivel de impacto o umbral mínimo de cambio que puede ser considerado como aceptable para el aprovechamiento forestal. Finalmente, se hacen algunas recomendaciones orientadas a la introducción de mejoras en el proceso de planificación del manejo forestal, incluyendo nuevas aproximaciones en el contexto del cambio climático.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

La Reserva Forestal Imataca (RFI) se encuentra al pie del Escudo de Guayana, sureste de Venezuela, compartida por los estados Bolívar y Delta Amacuro. Fue creada mediante la resolución N° 47 del 6/01/1961, bajo el nombre de Reserva Forestal El Dorado. Según el Decreto 3110 (Gaceta, 2004), donde se establecen los lineamientos para un nuevo Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso (PORU), la RFI tiene una superficie de 3.749.941ha, delimitadas en 12 unidades de manejo forestal, y fue des-

tinada a la producción forestal permanente mediante Decreto Presidencial del 19/02/1981. Además, la RFI limita con otras áreas pertenecientes al sistema nacional de áreas protegidas o ABRAE (Áreas Bajo Régimen de Administración Especial) entre las cuales resaltan la Reserva de Biosfera del Delta del Orinoco, Lotes Boscosos San Pedro y Dorado-Tumeremo, y el Parque Nacional Canaima (Ochoa, 1997). En este trabajo se ha seleccionado la zona central de la RFI, correspondiente a la Unidad V (Figura 1), entregada en concesión a la empresa INTECMACA en 1987, hoy inactiva. Esta unidad cuenta con una superficie de 160.900ha, según contrato administrativo (INTECMACA, 1986) y su funcionamiento bajo un esquema policíclico con un turno de 40 años es similar a otros casos actuales en la Guayana venezolana.

El paisaje fisiográfico predominante es la penillanura de ligera a medianamente ondulada (abarcando ~80% del área) con pendientes máximas de 10% y una altitud promedio de 200msnm. Los suelos se han desarrollado a partir de sedimentos coluviales de espesor variable entre 50 y 150cm. La textura de los estratos superiores es francosa gruesa o francosa, y la de los horizontes subyacentes es francosa fina o arcillosa, lo que determina un rápido flujo del agua en la parte superior del perfil y un retardo a mediana profundidad. Aunque profundos, estos suelos muestran limitaciones para el desarrollo radical, por efecto de la deficiente aireación a partir de 1m de profundidad. Químicamente son muy pobres, muy ácidos, de bajo porcentaje de saturación de bases y baja capacidad de intercambio catiónico. Los órdenes predominantes en esta posición fisiográfica corresponden a Oxíc Plinthic Haplustults (Franco, 1987; Serrano, 2002).

La precipitación anual promedio calculada para 14 años es de 1631mm, presentando los mayores valores entre mayo y julio, mientras que los menores aportes hídricos corresponden al periodo de enero-marzo. La temperatura media anual es de 25°C con una humedad relativa de 75-87% (Ochoa, 1998). Según la clasificación bioclimá-

tica de Holdridge (Ewel *et al.*, 1968) el área corresponde a bosque húmedo tropical. El bosque es alto, denso y con un patrón estructural de tipo pluriestratificado, con alturas de dosel que varían entre 30 y 40m (algunos árboles emergentes alcanzan 50m) y coberturas que superan el 50%. Las especies arbóreas más abundantes son *Pentaclethra maculosa* (Willd.) Kuntze; *Alexa imperatricis* (R.H. Schomb.) Baill.; *Eschweilera subglandulosa* (Steud. ex O. Berg) Miers; *E. decolorans* Sandwith; *Protium neglectum* Swart; *Licania densiflora* Kleinhoonte; y *Carapa guianensis* Aubl. (Ochoa, 1998; Serrano, 2002; Berroterán, 2003).

Fuente de información

Como parte del programa de investigación, la empresa INTECMACA estableció, en forma aleatoria, un conjunto de parcelas en sitios representativos de las diferentes fisiografías existentes en el área (valle, ladera y tope de ladera) con base en la información aportada por el inventario forestal de rutina (Hurtado, 1988). Los datos corresponden a dos grupos de unidades de muestreo: cuatro parcelas de 0,5ha (100x50m) ubicadas en áreas sin intervención, y cuatro parcelas de 2ha (500x40m) en áreas aprovechadas. Se cuenta con información referente al inventario pre-aprovechamiento y mediciones sucesivas post-intervención para el periodo 1986-1994 para todos los árboles vivos con D>10cm. En dicho monitoreo se evaluaron características generales de la masa tales como diámetro, altura total y de fuste (sólo en la primera medición), calidad de fuste y posición sociológica, ingresos y mortalidad. Para la superficie total de aprovechamiento (2000ha) se construyeron ~20km de vías principales y ~13km de vías secundarias. Información más detallada de las características del bosque al inicio del inventario se presenta en la Tabla I.

A grandes rasgos, las directrices generales de la extracción son los diámetros mínimos de corta (DMC) para cada especie a ser aprovechada y las cuotas de explotación (corta permisible) por hectárea. Para el caso de la Unidad V, se esta-

TABLA I
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MASA FORESTAL EN LA UNIDAD V DE LA RESERVA FORESTAL IMATACA (INICIO DEL PERIODO: 1986)*

Condición del bosque	Área basal (m ² ·ha ⁻¹)	Volumen (m ³ ·ha ⁻¹)	Densidad (árboles/ha)
Bosque no explotado (BNEXP)	32,99 ±2,59	310,76 ±48,64	505 ±108,08
Bosque explotado (BEXP)	18,84 ±7,15	159,21 ±63,72	386,5 ±127,33

* Promedio ±desviación estándar.

bleció un turno de 40 años y un DMC de 40cm para todas las especies. Desde el inicio formal de las actividades de manejo forestal y hasta 1994, un promedio anual de 5,36 árboles/ha fue aprovechado, equivalente a 11,50m³·ha⁻¹ (INTECMACA, 1986). Sin embargo, de acuerdo a Ochoa (1998) sólo 6,03m³·ha⁻¹ fueron debidamente autorizados con un grado de incumplimiento de casi dos veces en términos de volumen de madera.

Estimación de biomasa aérea y carbono almacenado

La metodología fundamental utilizada se basa en modelos de regresión construidos para varias zonas tropicales específicas y, en algunos casos, de carácter pantropical y de amplio uso en la literatura referente al tema. Baker *et al.* (2004) propusieron una ecuación para la cuenca amazónica, la cual es utilizada en este trabajo y se detalla como

$$Y = \rho/580 (\text{EXP}(2,42 (\ln D) - 2,0)) \quad (1)$$

donde Y: biomasa del árbol en toneladas (t o Mg= 1x10⁶g), ρ: densidad de la madera (g·cm⁻³ o kg·m⁻³), y D: diámetro del árbol (cm).

La información acerca de la densidad de la madera fue tomada de Chave *et al.* (2006). En los casos de las especies con densidades desconocidas se utilizó un promedio ponderado de las densidades conocidas, tal y como recomienda Brown (1997). En este tra-

TABLA II
ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA PARA BOSQUES NO INTERVENIDOS Y EXPLOTADOS EN LA UNIDAD V DE LA RESERVA FORESTAL IMATACA PARA EL PERIODO 1986-1994

Año	Bosques no explotados (Mg·ha ⁻¹)*	Bosques explotados (Mg·ha ⁻¹)*	Diferencia total (Mg·ha ⁻¹)
1986	311,70 ±69,13	148,83 ±55,96	162,86
1988	325,50 ±68,30	141,01 ±51,79	184,48
1990	313,46 ±71,50	146,52 ±53,19	166,93
1992	317,51 ±68,11	155,06 ±47,39	162,45
1994	296,94 ±23,91	157,61 ±47,70	139,32

* Promedio ±desviación estándar.

bajo se utilizó un valor de 0,5 como factor de conversión de biomasa aérea a carbono, el cual es comúnmente usado (Brown *et al.*, 2005). Se hizo también una estimación de la tasa anual de acumulación de biomasa y carbono (Ta)

con base en la información de cada periodo.

Asimismo, se agregan los cálculos de tasas de mortalidad según Primack *et al.* (1985) para poder entender el comportamiento temporal del carbono y las consecuencias del aprovechamiento en términos de la recuperación de la biomasa luego de la intervención, empleando la ecuación

$$T_m = 1 - (N_0/N_1)^{1/t} \quad (2)$$

donde T_m: tasa de mortalidad, N₀: número de individuos al inicio del periodo (1986), N₁: número de individuos al final del periodo (1994), y t: periodo de tiempo (años).

Finalmente, para analizar de forma precisa los efectos que tienen las actividades de aprovechamiento forestal convencional sobre el almacenamiento de carbono en los bosques de la Unidad V de RFI se usó la metodología propuesta por WWF (2004) conformando tres niveles o umbrales de cambio, construidos con base en el valor medio de la biomasa aérea menos una (umbral de cambio bajo; UCB), dos (umbral de cambio medio; UCM) o tres (umbral de cambio alto; UCA) veces la desviación estándar.

Resultados y Discusión

En la Tabla II se muestran los resultados obtenidos para la estimación de biomasa aérea del bosque en las áreas no intervenidas y explotadas de la Unidad V de RFI. En el caso de los rodales no perturbados la biomasa aérea promedio almacenada presente en la primera medición coincide con los obtenidos en varios estudios en bosques neotropicales de tierras bajas (Houghton, 2005; Malhi *et al.*, 2006). En la RFI, Delaney *et al.* (1997), utilizando una ecuación basada en el diámetro descrita en Brown (1997) estimaron, para la

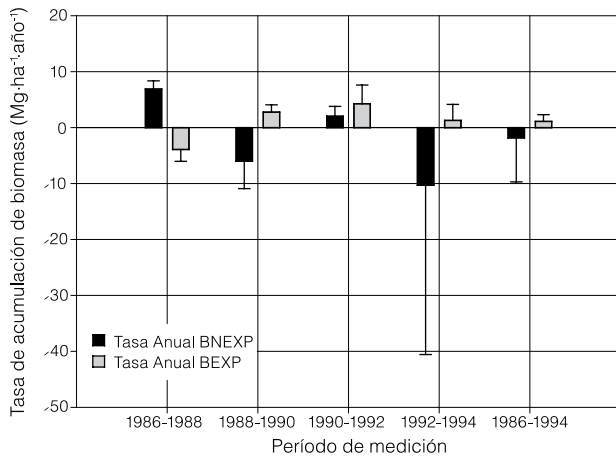


Figura 2. Variación periódica de la tasa de acumulación de biomasa aérea en bosques aprovechados (BEXP) y no intervenidos (BNEXP) de la Unidad V en la Reserva Forestal Imataca.

zona norte y sur de la reserva, un promedio de $375 \text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($187,50 \text{MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Un importante declive en la biomasa aérea de árboles se muestra al final del periodo de monitoreo cuando la biomasa desciende de $317,519$ hasta $296,938 \text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Es en ese periodo cuando ocurre la caída de un solo individuo de la especie *Aspidosperma excelsum* Benth de grandes dimensiones ($D = 170 \text{cm}$), lo que puede explicar parcialmente esta disminución. Por ejemplo, Clark y Clark (1996) indican que en los bosques tropicales húmedos, un solo árbol con $D = 150 \text{cm}$ puede llegar a acumular una biomasa aérea equivalente a aproximadamente 607 árboles de 10cm de diámetro, influyendo en el comportamiento negativo de la tasa anual de acumulación. No obstante, recientemente, para dos sitios de la RFI al norte (Río Grande) y sur (El Dorado), con base en información de ocho parcelas permanentes monito-

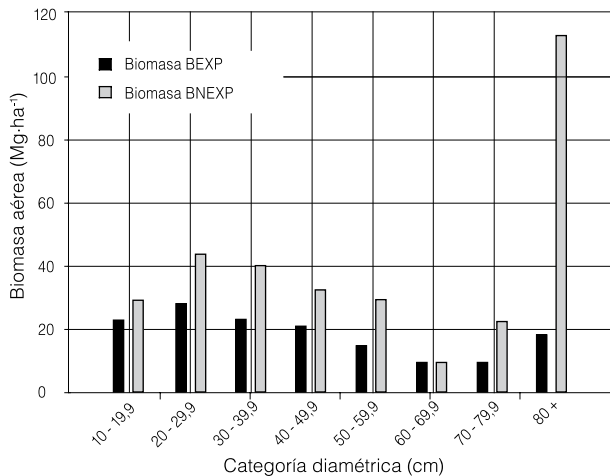


Figura 3. Distribución de la biomasa aérea por categorías de tamaño en bosques explotados (BEXP) y no explotados (BNEXP) de la Unidad V en la Reserva Forestal Imataca para 1986.

readas por más de 30 años (1971-2009) se estimó una biomasa aérea promedio de $338,259 \pm 21,89 \text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ y $373,96 \pm 14,94 \text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, con una tasa de acumulación promedio para ambas zonas equivalente a $0,107 \pm 0,24 \text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ (Álvarez, 2009).

Los resultados indican que luego del aprovechamiento ocurre una disminución en el carbono almacenado de casi un 50% con relación al valor de referencia de los bosques no intervenidos, para la biomasa aérea de los árboles vivos con $D > 10 \text{cm}$. La extracción de apenas dos árboles/hectárea concentrada en un grupo de 25 especies comerciales, de las cuales un alto porcentaje (~55%) correspondió a *Erismia uncinatum* Warm. ("Mureillo"), provocó una considerable disminución del carbono almacenado ($81,43 \text{MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$). Esta reducción es aún más notoria si se toma en cuenta que el volumen considerado como comercial, según el inventario forestal de rutina para la zona, indica un potencial para árboles con $D > 40 \text{cm}$ equivalente a $68,39 \text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ y la extracción de madera comercial fue de apenas $5,93 \text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Las estimaciones para la biomasa aérea al inicio y al final del periodo considerado (1986-1994), permiten calcular una tasa anual de acumulación de biomasa en el bosque explotado de $1,098 \pm 1,219 \text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Este valor refleja una intensidad e impactos diferenciados entre las cuatro parcelas. El total de las unidades de muestreo presentaron, dos años posteriores al aprovechamiento, tasas negativas de acumulación. Sin embargo, al final del periodo sólo la parcela 3, que resultó más afectada luego del aprovechamiento, presentó un valor negativo de esta tasa. En términos globales, para el periodo considerado la tasa global de acumulación de biomasa permite afirmar que existe clara evidencia de una recuperación de la biomasa aérea en el ecosistema (Figura 2).

Estos valores se acercan a los reportados en Brown *et al.* (2005) para áreas aprovechadas en forma selectiva ($1,3 \text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ para un periodo de 4 años) y a los de Chambers *et al.* (2004) que muestran para un periodo de 13 años una tasa anual equivalente a $1,75 \text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. En este trabajo, la dinámica del carbono almacenado en los bosques aprovechados selectivamente se caracteriza por un comportamiento variable con tasas de acumulación negativas durante los dos años después del aprovechamiento.

Para alcanzar la biomasa original, al ritmo estimado en el bosque explotado, debe transcurrir un tiempo de ~150 años. Similarmente, en operaciones convencionales de aprovechamiento forestal en la Guayana Francesa, Blanc *et al.* (2009) predicen una recuperación de la biomasa posterior a los 100 años. Cuando se compara con la tasa de acumulación para los bosques no intervenidos en Imataca, una prueba de comparación de medias (t-Student) indicó que sí existen diferencias significativas entre estos valores ($t = 0,618$; $p = 0,581$; $\alpha = 99\%$). Sin embargo, periodos cortos de monitoreo suelen limitar la formulación de conclusiones más sólidas, por lo que un periodo mayor podría contribuir a mejorar estas estimaciones. A la escala temporal evaluada, la tasa de acumulación de los bosques aprovechados en la Unidad V de la RFI es considerablemente baja, teniendo repercusiones en la recuperación a largo plazo del carbono. Sin embargo, en muchas ocasiones, dependiendo de la intensidad de la extracción, ocurre un aumento en las tasas de crecimiento y en el reclutamiento, que pueden influir en el proceso de almacenamiento de carbono y llegar a sobrepasar, en un periodo mayor a los 10 años las emisiones producidas por la necromasa de árboles afectados por el aprovechamiento (Blanc *et al.*, 2009).

En el periodo considerado se encontró que, en el bosque aprovechado selectivamente, especies como *Chaetocarpus schomburgkianus*, *Pterocarpus officinalis* y *Cecropia angulata* representan las de mayor acumulación de biomasa y/o carbono, alcanzando 17-25% del global para el bosque aprovechado. Por otro lado, en el bosque no aprovechado un número mayor de especies se reparten la acumulación de biomasa aérea, entre ellas *Aspidosperma album*, *Pterocarpus officinalis*, *Pentaclethra macroloba*, *Protium decandrum* y la especie comercial más importante, *E. uncinatum*, las cuales comprenden 15-30% de la biomasa aé-

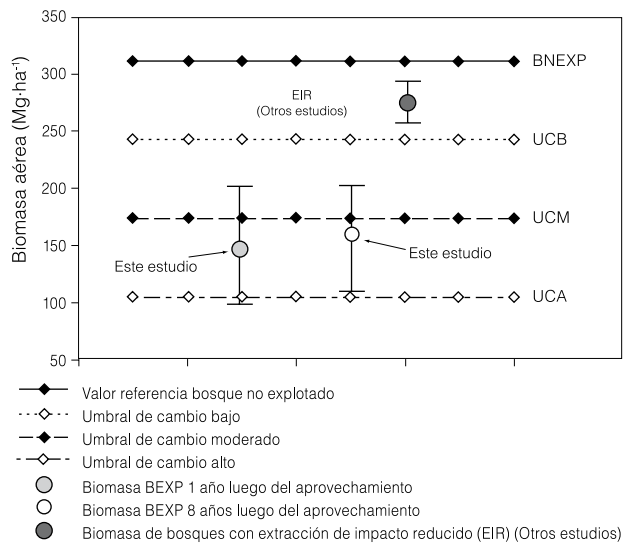


Figura 4. Análisis de los umbrales de cambio en biomasa aérea y carbono almacenado para bosques no perturbados y explotados selectivamente en el trópico.

rea total del bosque no intervenido.

Este impacto está también asociado en forma directa a efectos de mortalidad de árboles no comerciales, daños a árboles de futura cosecha y reducción de la diversidad de especies. Por ejemplo, Ochoa (1998) reportó para el caso de la Unidad V un valor promedio de 10,9 (0-27) árboles afectados directamente por la extracción de cada árbol comercial. Asimismo, en el caso de este estudio se estimó una tasa anual promedio de mortalidad equivalente a un 2,96% para todo el periodo. Esto llega a duplicar los índices naturales en bosques no perturbados (1,06%) indicando la severidad del impacto ambiental. Por ejemplo, Blanc *et al.* (2009) mencionan una tasa anual de mortalidad promedio de 2,47% para periodos entre 6 y 8 años posterior a las actividades de aprovechamiento de maderas en siete sitios en el neotrópico. El aprovechamiento de individuos con $D > 40$ cm de muy pocas especies y el impacto asociado de esta actividad sobre la vegetación remanente provocó, además de una reducción de la densidad de árboles desde ~500 hasta ~380 árboles/ha, el que la disminución global de la biomasa observada de casi un 50% esté igualmente expresada en todas las categorías de tamaño, siendo siempre menor la del bosque explotado que la del no intervenido (Figura 3).

¿Cuál es el impacto mínimo aceptable?

Tomando los valores de biomasa aérea para bosques no perturbados obtenidos como referencia en este trabajo ($311,70 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) se han de-

terminado los umbrales de cambio en $104,31$; $173,44$ y $242,57 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ para UCA, UCM y UCB, respectivamente. También, se han utilizado como referencia los resultados obtenidos en casos de aprovechamiento forestal planificado (extracción de impacto reducido; EIR) en bosques tropicales con características similares a los de la RFI, documentados en Feldpausch *et al.* (2005) y Blanc *et al.* (2009). De esta manera es posible ubicar el impacto analizado en este trabajo en un marco global y entender las implicaciones de las discusiones planteadas (Figura 4).

El impacto del aprovechamiento forestal selectivo en la Unidad V de la RFI sobre el almacenamiento de carbono (estimado aquí a través de la biomasa aérea de árboles con $D > 10$ cm) se puede calificar como negativo, ya que se encuentra, en primer lugar, muy por debajo de los resultados obtenidos mediante EIR en otras zonas tropicales ($278 \pm 10,65 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) y, en segundo lugar, el periodo de recuperación de la biomasa es muy prolongado para poder alcanzar con rapidez el umbral de cambio moderado. Como se mencionó, ocho años después del aprovechamiento el total de biomasa almacenada en los árboles con $D > 10$ cm es aun muy baja considerando los valores pre-afrovechamiento, lo que implica un periodo sumamente largo de recuperación total, de casi 150 años.

La biomasa aérea como indicador del impacto del aprovechamiento

Muchos indicadores utilizados para medir los efectos de las prácticas de aprovechamiento forestal facilitan información importante sobre la condición del bosque en las áreas manejadas a partir de dos formas. En primer lugar, ofrecen el estado del bosque en un momento dado en el tiempo para analizar cómo el manejo puede afectar algún aspecto del ecosistema, y en segundo lugar, si se cuenta con información colectada a largo plazo, es posible evaluar los cambios en diferentes periodos y comparar la cantidad del cambio observado (WWF, 2004).

Los efectos del aprovechamiento selectivo de maderas en el trópico han sido cuantificados tradicio-

nalmente a través de variables de estructura del rodal (área basal, volumen y apertura del dosel, entre otras) y en algunas ocasiones se han utilizado especies indicadoras de perturbación (presencia o ausencia de especies de aves, insectos o mamíferos). En este sentido, desde el reconocimiento de la relevancia de los bosques tropicales para el mantenimiento del ciclo del carbono global, las actividades causantes de degradación en estos ecosistemas, como el aprovechamiento de maderas, han recibido creciente atención (Griscom *et al.*, 2009).

En años recientes, como consecuencia de las políticas adoptadas en materia de manejo de bosques y las dificultades técnicas del aprovechamiento forestal, los bosques naturales venezolanos parecen ir disminuyendo su importancia como fuentes para suministrar madera para el mercado nacional, y se prevé que esta tendencia continúe en los próximos años (Carrero *et al.*, 2008). No obstante, una importante proporción de estos ecosistemas localizados en la Guayana venezolana aún permanecen como zonas de producción y requieren la aplicación de nuevas formas de manejo que incluyan la evaluación de aspectos tradicionalmente no considerados por los planes de ordenación y manejo forestal. En este trabajo se ha tratado de señalar cómo el aprovechamiento selectivo de maderas en los bosques tropicales de Venezuela tiene importantes efectos negativos sobre la biomasa aérea arbórea y para el almacenamiento de carbono. Los elementos presentados pueden funcionar para la inclusión de, además de la biomasa aérea analizada, el tratamiento de todas las reservas de carbono como potencial indicador en las evaluaciones del impacto ambiental de las operaciones de aprovechamiento selectivo de maderas.

El manejo de bosques en Venezuela se caracteriza, casi en su totalidad, por limitados elementos de planificación de actividades orientadas a la reducción del impacto ambiental. En este sentido, la extracción de impacto reducido (EIR) ha sido aplicada en varias zonas tropicales permitiendo una considerable disminución en los niveles de afectación de suelos, fauna, recursos hídricos y ha mejorado los rendimientos del aprovechamiento y las condiciones para futuras cosechas de madera. No obstante, debido a los elevados costos de planificación inicial (comparados con la extracción convencional) y a factores de índole política principalmente, tales como la falta de claridad en la te-

nencia de la tierra y seguridad del manejo a largo plazo, en muchas zonas tropicales ha habido resistencia a su aplicación (Putz *et al.*, 2000).

Los resultados de este trabajo muestran una drástica reducción de la capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa aérea producto de las actividades de aprovechamiento y el daño a la vegetación remanente. Además, se ha duplicado la mortalidad natural de árboles luego del aprovechamiento forestal, provocando una reducción de ~50% en la cantidad de carbono almacenado en la vegetación y una muy lenta recuperación a largo plazo. Sin embargo, la escala temporal usada (8 años), el tamaño de la muestra (10ha) y la falta de información detallada sobre algunos aspectos relevantes del aprovechamiento, son aspectos que deben ser tomados en cuenta para fortalecer el estudio de las relaciones entre el aprovechamiento de maderas y el almacenamiento de carbono.

Aunque el concepto de deforestación evitada (estrategias de reducción de emisiones de deforestación y degradación; REDD) como alternativa a los llamados mecanismos de desarrollo limpio (MDL), creados a partir de la implementación del Protocolo de Kyoto en los países con economías en transición y en desarrollo aún no ha sido implementado de manera formal, aquella puede ser considerada para el futuro como una estrategia viable para la mitigación del cambio climático, donde el aprovechamiento forestal debe ser incluido. Mayor información puede encontrarse en Pinard y Putz (1996), Putz *et al.* (2008) y Griscom *et al.* (2009).

Conclusiones y Comentarios Finales

Se ha tratado de mostrar en detalle cómo, a pesar de que la extracción forestal se caracteriza en términos generales por el aprovechamiento de un reducido número de árboles y bajos volúmenes, la alta selectividad y la aplicación de técnicas convencionales con alto impacto ambiental inducen severos cambios estructurales y de composición en estos ecosistemas con altos grados de diversidad de especies y dinámicas sumamente complejas.

Recientemente se ha puesto especial interés en el papel del manejo forestal en los trópicos como alternativa sostenible de uso de la tierra, debido a la reducida proporción de áreas protegidas y a la alarmante tasa de pérdida de bosques, especialmente en el neotrópico. Así, la promoción de nuevos enfoques dentro del manejo fo-

restal ha sido evaluada en varios estudios como vía, por ejemplo, para la conservación de la diversidad biológica fuera de áreas estrictamente protegidas, para la conformación de un esquema de aprovechamiento de productos forestales no maderables y para la conservación de bosques tropicales siguiendo los esquemas de pagos por servicios ambientales (PSA).

Estas evidencias se enmarcan dentro del conjunto de recomendaciones que han sido postuladas a objeto de modificar las formas y métodos tradicionales sobre el manejo de los bosques en Venezuela, donde la EIR debe ser un aspecto ineludible, junto con la adopción de enfoques que permitan diversificar esta actividad y así aumentar su rentabilidad frente a otros usos de la tierra con mayor impacto ambiental y mayor rentabilidad a corto plazo.

REFERENCIAS

Álvarez A (2009) *Estimación del Carbono Almacenado en Dos Ecosistemas Boscosos de Venezuela: Implicaciones para su Conservación y Recomendaciones de Políticas*. Tesis. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 95 pp.

Baker T, Phillips O, Malhi Y, Almeida S, Arroyo L, Di Fiore A, Edwin T, Higuchi N, Killeen T, Laurance S, Laurance W, Lewis S, Monteagudo A, Nelly D, Núñez-Vargas P, Pitman N, Silva J, Vásquez-Martínez R (2004) Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond* 359: 353-365.

Bámaca E (2002) *Dinámica del Carbono en los Residuos Forestales Producidos durante el Aprovechamiento y el Aserrío en la Reserva de Biosfera "Maya", Petén, Guatemala*. Tesis. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 89 pp.

Berrotarán JL (Ed.) (2003) *Reserva Forestal Imataca: Ecología y Bases Técnicas para el Ordenamiento Territorial*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 208 pp.

Blanc L, Echard M, Hérault B, Marcon E, Chave J, Baraloto C (2009) Dynamics of aboveground carbon stocks in a selectively logged tropical forest. *Ecol. Applic.* 19: 1397-1404.

Brown S (1997) *Estimating Biomass Change of Tropical Forests: A Primer*. Forestry Paper N° 134. FAO. Roma, Italia. 70 pp.

Brown S, Pearson T, Moore N, Parveen A, Ambagis S, Shoch D (2005) Impact of selective logging on the carbon stocks of tropical forests: Republic of Congo as a case study. Winrock International Report. USAID. Arlington, VA, EEUU. 21 pp.

Carrero O, Andrade V, Orlandoni G, Cubbage F (2008) Predicción del consumo aparente per capita de madera rolliza en Venezuela mediante el uso de modelos Arima. *Rev. Forest. Venez.* 52: 227-237.

Clark D, Clark D (1996) Abundance, growth and mortality of very large trees in a neotropical lowland rain forest. *Forest Ecol. Manag.* 80: 235-244.

Chambers J, Higuchi N, Teixeira L, dos Santos J, Laurance C, Trumbore S (2004) Response of tree biomass and wood litter to disturbance in a Central Amazon forest. *Oecologia* 141: 596-614.

Chave J, Muller-Landau H, Baker T, Easdale T, Steege H, Webb C (2006) Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecol. Applic.* 16: 2356-2367.

De Fries R, Asner G, Achard F, Justice C, Laporte N, Price K, Small C, Townshend J (2005) Monitoring tropical deforestation for emerging carbon markets. En Moutinho P, Schwartzman S (Eds.) *Tropical Deforestation and Climate Change*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Environmental Defense. Washington, DC, EEUU. pp. 35-46.

Delaney M, Brown S, Lugo A, Torres-Lezama A, Bello-Quintero N (1997) The distribution of organic carbon in major components of forests located in five life zones of Venezuela. *J. Trop. Ecol.* 13: 697-708.

Ewel JJ, Madriz A, Tossi A (1968) *Zonas de Vida de Venezuela. Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico*. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas, Venezuela. 270 pp.

Feldpausch T, Jirka S, Passos C, Jasper F, Riha S (2005) When big trees fall: Damage and carbon export by reduced impact logging in southern Amazonia. *Forest Ecol. Manag.* 219: 199-215.

Franco W (1987) *Los Suelos del Sector Sur de la Unidad V de la Reserva Forestal Imataca*. Informe Técnico. Industria Técnica de Maderas C.A. Caracas, Venezuela. 54 pp.

Gaceta (2004) *Decreto 3110. Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Reserva Forestal Imataca, Estados Bolívar y Delta Amacuro*. Gaceta Oficial de Venezuela (RB) N° 38.028 del 07/09/2004. República Bolivariana de Venezuela. Caracas, Venezuela.

GFW (2002) Global Forest Watch. Canada. <http://ims.missouri.edu/gfwmetadataexplorer>

Griscom B, Ganz D, Virgilio N, Price F, Hayward J, Cortez R, Dodge G, Hurd J, Lowenstein FL, Stanley B (2009) *The Hidden Frontier of Forest Degradation: A Review of the Science, Policy and Practice of Reducing Degradation Emissions*. The Nature Conservancy. Arlington, VA, EEUU. 76 pp.

Hernández L (2001) Densidad de biomasa aérea en bosques extensos del Neotrópico húmedo. Caso de la Cuenca del Río Cauca, Venezuela. *Rev. Forest. Iberoam.* 1: 24-34.

Houghton RA (2005) Aboveground biomass and global carbon balance. *Global Change Biol.* 11: 945-958.

Hurtado A (1988) *Evaluación de los Proyectos de Investigación de la Unidad V de la Reserva Forestal Imataca*. Escuela de Capacitación Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 54 pp.

INTECMACA (1986) *Análisis de Costos y Rendimientos en el Aprovechamiento del*

- Bosque Natural: Parcela de Investigación No. 1.* Informe. Industria Técnica de Maderas C.A. Caracas, Venezuela. 60 pp.
- ITTO (2006) *Status of Tropical Forest Management 2005*. ITTO Technical Series N° 24. International Tropical Timber Organization. Yokohama, Japón. 305 pp.
- Lozada J (2007) Situación actual y perspectivas del manejo de recursos forestales en Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 51: 195-218.
- Malhi Y, Wood D, Baker T, Wright J, Phillips O, Cochrane T, Meir P, Chave J, Almeida S, Arroyo L, Higuchi N, Killeen T, Laurance S, Laurance W, Lewis S, Monteagudo A, Neill D, Núñez-Vargas P, Pitman N, Quesada C, Salomão R, Macedo-Silva N, Torres-Lezama A, Terborgh J, Vásquez-Martínez R, Vinceti B (2006) The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biol.* 12: 1107-1138.
- Ochoa J (1997) *El Aprovechamiento Forestal en la Guayana Venezolana: Evaluación Ecológica e Implicaciones para la Conservación de los Mamíferos de la Región*. Tesis. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 141 pp.
- Ochoa J (1998) Análisis preliminar de los efectos del aprovechamiento de maderas sobre la composición y estructura de bosques en la Guayana Venezolana. *Interciencia* 23: 197-207.
- Pinard MA, Putz FE (1996) Retaining forest biomass by reducing logging damage. *Biotropica* 28: 278-295.
- Primack RB, Ashton P, Chai P, Lee H (1985) Growth rates and population structure of Moraceae trees in Sarawak, East Malaysia. *Ecology* 66: 577-588.
- Putz F, Dykstra D, Heinrich R (2000) Why poor logging practices persist in the tropics. *Cons. Biol.* 14: 951-956.
- Putz F, Zuidema P, Pinard M, Boot R, Sayer J, Sheil D, Elias P, Vanclay J (2008) Improved Tropical Forest Management for Carbon Retention. *PLoS Biol* 6: 1368-1369
- Serrano J (2002) *Dinámica del Bosque Natural en Tres Sectores de la Reserva Forestal Imataca (BHT), Estado Bolívar*. Tesis. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 54 pp.
- Torres-Lezama A, Ramírez-Angulo H, Vilanova E, Barros R (2008) Forest resources in Venezuela: Current status and prospects for sustainable management. *Bois Forêt Trop.* 295: 21-33.
- WWF (2004) *Monitoreo Ecológico del Manejo Forestal en el Trópico Húmedo: Una Guía para Operadores Forestales y Certificadores con Énfasis en Bosques de Alto Valor para la Conservación*. World Wide Fund for Nature Centroamérica. San José, Costa Rica. 124 pp.

CARBON STORAGE IN THE ABOVEGROUND BIOMASS AS INDICATOR OF LOGGING IMPACT IN THE IMATACA FOREST RESERVE, VENEZUELA

Emilio Vilanova-Torre, Hirma Ramírez-Angulo and Armando Torres-Lezama

SUMMARY

Tropical forests are threatened by several and diverse forms of human activity that can severely compromise their long term stability. Land use changes, unsustainable logging and global change are probably the most relevant. Using information from permanent plots periodically monitored in logged and unlogged areas in the Imataca Forest Reserve, Southeastern Venezuela, aboveground carbon storage for both forest conditions was estimated for an eight year period. Although selective logging only concentrates on ~10% of total aboveground biomass ($5.93\text{-m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), one year after logging operations the exploited forests had ~50% less carbon than unlogged areas, which is expressed in a net difference of $81.43\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$ between both areas, suggesting a considerable impact on the remnant forest. Ad-

ditionally, with an annual rate of $0.55 \pm 0.61\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ in logged areas, a total recovery of original carbon stocks is expected after ~150 years. Results also indicate that in terms of impact, carbon stocks after logging are under a medium change threshold (MCT), indicating a negative effect. Through the improvement of forest operations, in particular the adoption of reduced impact logging (RIL) techniques and an adequate carbon monitoring program, among others, carbon loss due to logging could be considerably reduced and a faster ecosystem recovery and CO_2 absorption allowed. The results obtained may serve as a basis for a new strategy that can contribute to promote a sustainable forest management in Venezuelan tropical forests in the context of global change.

O ARMAZENAMENTO DE CARBONO NA BIOMASSA AÉREA COMO INDICADOR DO IMPACTO DO APROVEITAMENTO DE MADEIRAS NA RESERVA FLORESTAL IMATACA, VENEZUELA

Emilio Vilanova-Torre, Hirma Ramírez-Angulo e Armando Torres-Lezama

RESUMO

Os bosques tropicais estão submetidos a numerosas e diversas pressões que ameaçam sua estabilidade a longo prazo, entre as quais a mudança de uso da terra, o aproveitamento florestal não sustentável e a mudança global são consideradas como as mais importantes. A partir de informação de lotes permanentes estabelecidos em áreas com intervenção e não exploradas da Reserva Florestal Imataca, sudeste de Venezuela, se estimou o carbono armazenado na vegetação para árvores com diâmetro $>10\text{cm}$, em ambos os ambientes, durante oito anos. Os resultados obtidos indicam que, apesar de uma baixa extração de menos de 10% da biomassa comercial ($5,93\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), imediatamente após a intervenção ocorre uma redução de ~50% do carbono armazenado no bosque, ex-

pressado em uma diferença neta por volta de $81,43\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}$. Com uma taxa anual de $0,55 \pm 0,61\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ nas áreas exploradas seria esperada uma recuperação da biomassa original após ~150 anos, evidenciando um importante dano à vegetação remanescente, o que permite localizar o impacto sob o umbral de mudança média (UMM) e identificá-lo como negativo. Melhoras na planificação do aproveitamento que impliquem a adoção de técnicas de impacto reduzido e um programa de monitoramento do carbono poderiam contribuir a reduzir consideravelmente a perda de carbono e facilitar uma recuperação mais rápida do ecossistema. Os resultados provêm bases para a formulação de novos lineamentos no manejo florestal no contexto da mudança global.