

Artículos invitados

Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica

William Fonseca G.¹, Federico E. Alice¹, Johan Montero¹, Henry Toruño¹, Humberto Leblanc²

RESUMEN

Se estudió la acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios (de 5, 8 y 18 años) y en plantaciones de *Vochysia guatemalensis* Donn. e *Hieronyma alchorneoides* Allemão en la zona atlántica de Costa Rica. Se instalaron parcelas de 500 m² en sitios con diferente edad para construir una pseudo-cronosecuencia en ambos tipos de ecosistemas forestales. Se cuantificó la biomasa aérea y de raíces, la necromasa y el carbono orgánico del suelo en todas las parcelas. Se determinó la fracción de carbono por componente. El mayor incremento en el almacenamiento de carbono se encontró en las plantaciones de *H. alchorneoides*, seguido de las de *V. guatemalensis* y, por último, en los bosques secundarios. La biomasa aérea, biomasa de raíces y la necromasa aumentaron con la edad en los bosques secundarios y plantaciones forestales. En cambio, la biomasa de la vegetación herbácea decreció con la edad en ambos tipos de ecosistemas forestales. La biomasa arriba del suelo contiene entre 11 y 17% del carbono total. El suelo fue el principal depósito de carbono, ya que almacenó el 76 a 86% del carbono total.

Palabras claves: biomasa abajo del suelo, biomasa arriba del suelo, carbono orgánico del suelo, especies nativas, necromasa, potreros, regeneración natural.

Biomass and carbon accumulation in secondary forests and forestry plantations as restoration tools in the Caribbean zone of Costa Rica

ABSTRACT

Biomass and carbon accumulation were studied in secondary forests (5, 8 and 18 years old) and forestry plantations of *Vochysia guatemalensis* Donn. and *Hieronyma alchorneoides* Allemão in the Caribbean zone of Costa Rica. Sampling plots, each of 500 m², were established in both forestry ecosystems. The above and belowground biomass, the necromass (litter and dead wood material) and the soil organic carbon were estimated in all plots. Carbon content in biomass was quantified by component. The highest increment in carbon storage was found in plantations of *H. alchorneoides*, followed by plantations of *V. guatemalensis* and, lastly, secondary forests. The above and belowground biomass and the necromass increased with age in the secondary forest and plantations. In contrast, herbaceous biomass decreased with age in both ecosystems. The aboveground biomass stored between 11 and 17% of total carbon. Soil was the main carbon pool, storing between 76 an 86% of total carbon.

Keywords: aboveground biomass, belowground biomass, grasslands, native species, natural regeneration, necromass, soil organic carbon.

INTRODUCCIÓN

El aumento en la temperatura atmosférica, indicador del calentamiento global causado por el incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero (varios compuestos de carbono) en la atmósfera, es una amenaza para la humanidad que interesa a todos en el ámbito científico, político, económico y ambiental. La firma del Protocolo de Kyoto en el 2005 estableció el marco legal para el comercio mundial de carbono,

abriéndose oportunidades para que los países en desarrollo obtengan financiamiento para proyectos de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y forestería (LULUCF, por sus siglas en inglés). La reforestación y aforestación, sea por medio de restauración activa (plantaciones) o pasiva (regeneración natural), son opciones válidas para los proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). Es necesario conocer la capacidad de los ecosistemas forestales y agroforestales para capturar

¹ Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correos electrónicos: wfonseca@una.ac.cr; falice@geotropico.com.com; johmontero@hotmail.com; htoruño@una.ac.cr.

² Universidad EARTH. Correo electrónico: hleblanc@earth.ac.cr.

carbono y así determinar la compensación económica que deben recibir los propietarios de la tierra por el servicio ambiental de captura de carbono atmosférico y mitigación del cambio climático prestado a la sociedad. El objetivo del presente artículo es cuantificar la fijación de carbono de plantaciones de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* y de bosques secundarios jóvenes en la región Caribe de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y muestreo

La investigación se realizó en la Universidad EARTH ("Escuela de Agricultura de la Región del Trópico Húmedo"; 10°10'N; 83°37'O) y en la Hacienda Las Delicias (10°14'N; 83°66'O), en la vertiente del Caribe de Costa Rica. La zona de vida es un bosque muy húmedo premontano con transición a basal (Bolaños y Watson 1993). La altitud del lugar varía entre 64 y 95 m, con una precipitación anual de 3464 mm, distribuidos uniformemente durante todo el año, y temperatura promedio de 25,1 °C. Los suelos son Typic Tropaquent asociados con Aeric Tropic Fluvaquent, de poco desarrollo, mal drenaje e inundables en depresiones (Gómez 1986). La topografía es regular, con pendientes inferiores al 5% y un nivel freático > 90 cm de profundidad. Se seleccionaron plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* y *Hieronyma alchorneoides* y bosques secundarios con un amplio rango de edades y localizados en condiciones de suelo, topografía y clima similares. Los bosques secundarios y las plantaciones forestales están localizados en sitios ocupados originalmente por potreros (los cuales se incluyen como testigos). Todos los sitios se midieron una vez.

Estimación de la biomasa y del carbono

La biomasa y el carbono almacenado en la biomasa de árboles, hierbas, necromasa, raíces y en la materia orgánica del suelo se estimaron con la metodología propuesta por MacDiken (1997), con algunas modificaciones. Se empleó un sistema de parcelas anidadas de diferente tamaño, donde se midieron cinco componentes de la biomasa: (i) parte aérea de árboles y arbustos; (ii) parte aérea de hierbas, árboles y arbustos pequeños; (iii) materia muerta sobre el suelo o necromasa; (iv) raíces; y (v) materia orgánica del suelo. A continuación se describen los procedimientos empleados para medir cada componente.

Biomasa aérea de componentes leñosos

En cada plantación forestal y en los bosques secundarios de 5, 8 y 18 años, en una parcela rectangular de 500 m²,

se midió el dap de todos los árboles y arbustos con dap ≥ 2,5 cm, y la altura total de los árboles dominantes (el 10% de los árboles más altos por parcela). Se utilizaron cinco clases diamétricas (bosques secundarios de 5, 8 y 18 años, respectivamente) de 5 cm de intervalo y se muestreó un árbol de dap promedio por clase diamétrica. Se estimó la biomasa de fustes, ramas y hojas de la especie con mayor Índice de Valor de Importancia (Krebs 1985). Los árboles de dap promedio por clase seleccionados fueron cortados y separados en componentes (fuste, ramas y hojas), pesados en fresco y recolectadas muestras de 300 g por componente para estimar su contenido de materia seca (MS) en horno (75 °C por 72 h).

Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña

La vegetación herbácea y leñosa pequeña (gramíneas, bejucos, helechos, plantas pequeñas y arbustos o regeneración de árboles con dap < 2,5 cm) se midió en una subparcela de 1 × 1 m en cada esquina de la parcela de 500 m². En cada subparcela se cortó al nivel del suelo todo el material vegetal, se pesó en el campo y se tomaron muestras para estimar la MS.

Necromasa

La necromasa se dividió en fina (< 2 cm) y gruesa (≥ 2 cm) (Scott et ál. 1992, Saldarriaga 1994, Moran et ál. 2000). La biomasa de la necromasa fina fue estimada en cuatro subparcelas de 0,5 × 0,5 m y la necromasa gruesa en una subparcela de 5 × 5 m, ambas ubicadas al azar en la parcela de 500 m². La necromasa fina y gruesa en cada parcela se recogió del suelo, se pesó en campo y se tomó una muestra para estimar la MS.

Raíces, densidad aparente y materia orgánica del suelo

Se utilizó la metodología propuesta por Sierra et ál. (2001). El sistema radicular se dividió en raíces gruesas (diámetro ≥ 5 mm) y finas (diámetro < 5 mm). Las raíces gruesas fueron estimadas mediante la excavación y extracción del sistema radicular de los árboles promedio seleccionados. Las raíces gruesas fueron lavadas en el campo, pesadas luego de secar al aire y muestreadas para determinar la MS. Las raíces finas se estimaron en cuatro puntos al azar dentro de la parcela de 500 m²; de estos mismos sitios se tomó un cilindro de suelo para determinar su densidad aparente y el contenido de materia orgánica del suelo. En cada sitio se excavó un bloque de 20 × 20 × 30 cm, se lavó con agua sobre un tamiz de 250 μm y se secaron al horno y pesaron las raíces.

Se determinó el porcentaje de carbono orgánico del suelo mediante el método de Pregl y Dumas (Bremner

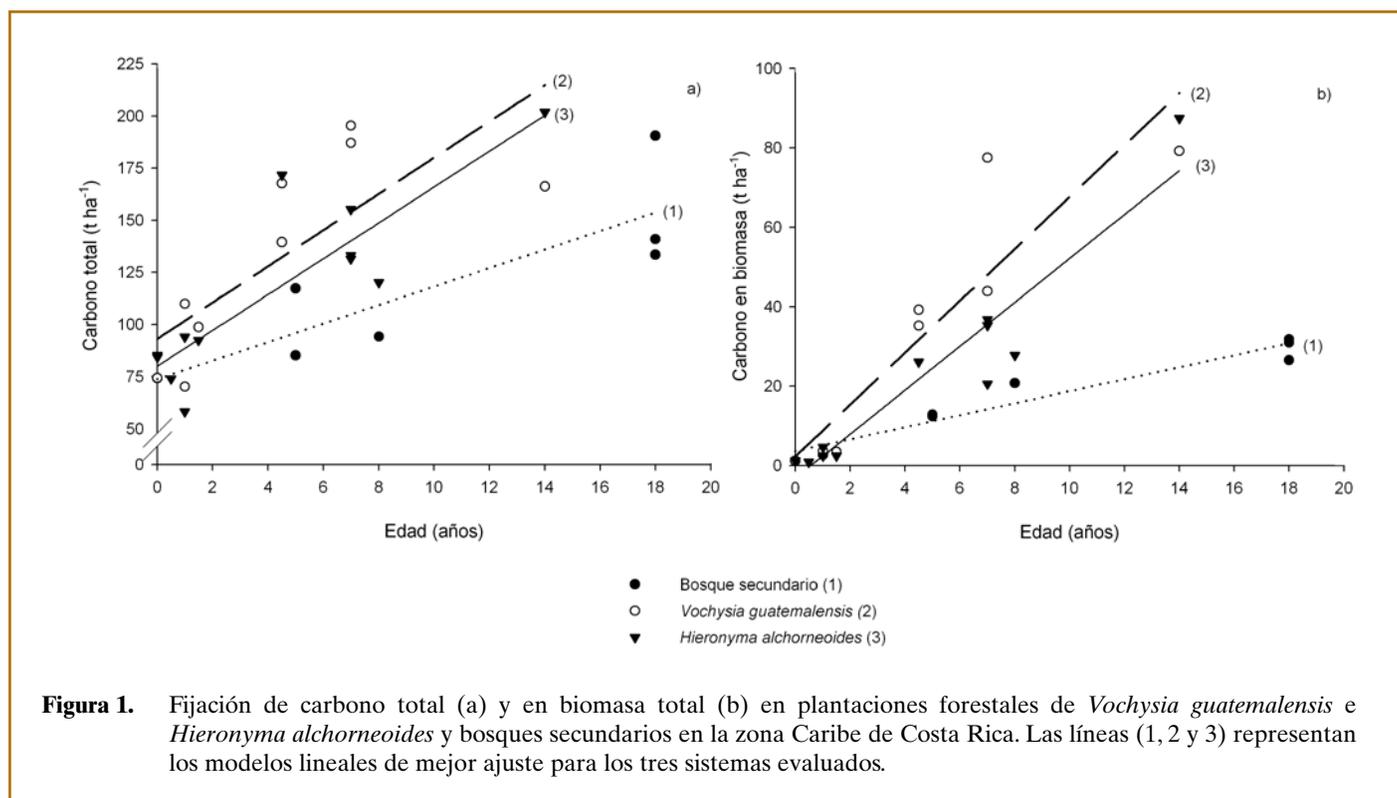


Figura 1. Fijación de carbono total (a) y en biomasa total (b) en plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. Las líneas (1, 2 y 3) representan los modelos lineales de mejor ajuste para los tres sistemas evaluados.

y Mulvaney 1982) en un autoanalizador (Perkin-Elmer serie II, CHN/S 2400, Norway Co.). Se determinó la densidad aparente del suelo en los primeros 30 cm del perfil mediante el método del cilindro (MacDicken 1997). El porcentaje de carbono orgánico del suelo se multiplicó por la densidad aparente del suelo para estimar el carbono almacenado por hectárea en los primeros 30 cm del suelo bajo plantaciones forestales y bosques secundarios.

Análisis químico de tejidos y suelos

Las muestras de tejido vegetal (fuste, ramas, follaje, vegetación herbácea, hojarasca, necromasa y raíces) se secaron a 60 °C durante tres días y se molieron a 240 μm . Las muestras de suelo se secaron a una temperatura de 55 °C durante tres días y se molieron a 240 μm . El contenido de carbono se determinó con el mismo método con que se estimó el carbono en la materia orgánica del suelo, descrito arriba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fijación de carbono total (suelo + biomasa) y en la biomasa

Las tasas promedio de fijación de carbono total y solo en la biomasa total fue mayor en las plantaciones forestales de *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides* que en los bosques secundarios (BS). La fijación de carbono total fue de

8,7; 8,6 y 4,4 t C ha⁻¹ año⁻¹ y la de carbono en la biomasa fue 6,5; 5,5 y 1,5 t C ha⁻¹ año⁻¹ para *V. guatemalensis*, *H. alchorneoides* y BS, respectivamente (Figura 1).

Bosques secundarios

Los bosques secundarios almacenaron un total de 154,9 t C ha⁻¹ a los 18 años de edad (Cuadro 1). La biomasa total de los bosques secundarios pasó de 28,9 t ha⁻¹ a los 5 años a 67,9 t ha⁻¹ a los 18 años (Cuadro 1), lo cual representa una tasa de fijación promedio de 3,0 t C ha⁻¹ año⁻¹. Hughes et ál. (1999) encontraron una biomasa promedio de 272,1 t ha⁻¹ a los 16 años de edad. Corrales (1998) encontró 162,1 t ha⁻¹ de biomasa en bosques secundarios de 15 años y 324,1 t ha⁻¹ en bosques primarios en climas húmedos y muy húmedos de Costa Rica.

El suelo almacenó el 86% del carbono total del sistema (Cuadro 1), pasando de 73,0 t C ha⁻¹ en la línea base (pastura) a 125,3 t C ha⁻¹ a los 18 años (Cuadro 1). Cifuentes et ál. (s.f.) encontraron existencias de carbono orgánico del suelo de 93,5 t C ha⁻¹, con valores similares entre bosques primarios y secundarios. Feldpausch et ál. (2004) encontraron una tasa de acumulación de carbono en el suelo de 42 a 84 t C ha⁻¹ hasta 45 cm de profundidad en boques secundarios de 12 a 14 años. Valero (2004) indica que la acumulación de carbono en la biomasa es más rápida que en el suelo, pero en el suelo la estabilidad es mayor.

Cuadro 1. Biomasa y carbono almacenado por sitio y componente en bosques secundarios, Guácimo, Limón, Costa Rica (2006)

Variable	Sitios							
	EARTH- línea base ^a	Delicias- línea base ^a	EARTH- A38-P1	EARTH- A38-P2	Las Delicias P1	Las Delicias P2	EARTH- Las Ingas	EARTH- Los Brown
Edad (años)			5	5	8	18	18	18
Dap promedio (cm)			4,9	5,0	9,7	9,0	10,7	10,2
Área basal (m ² ha ⁻¹)			7,9	7,4	9,2	20,8	18,1	16,7
Biomasa (t ha ⁻¹)								
Vegetación herbácea	2,6	2,6	3,1	2,7	6,1	1,8	2,8	2,1
Necromasa gruesa			0,0	1,2	3,8	7,4	0,5	0,0
Necromasa fina			2,1	6,2	3,3	4,4	6,8	8,7
Fustes			12,9	10,1	15,6	35,3	32,0	22,3
Ramas			3,4	2,9	4,0	10,5	10,5	9,2
Hojas			1,4	0,7	2,7	2,5	1,6	4,1
Raíces gruesas			5,1	4,3	8,6	7,3	8,1	8,2
Raíces finas			1,6	0,016	0,003	1,8	6,6	3,1
Biomasa total	2,6	2,6	29,6	28,1	44,1	71,2	68,9	63,8
Carbono (t ha ⁻¹)								
Vegetación herbácea	1,2	1,1	1,3	1,1	2,6	0,7	1,1	0,9
Necromasa gruesa			0,0	0,5	2,1	3,9	0,2	0,0
Necromasa fina			0,8	2,6	1,4	1,9	2,5	4,1
Fustes			5,5	4,6	7,2	14,9	15,2	10,0
Ramas			1,6	1,4	2,0	5,08	5,0	4,3
Hojas			0,7	0,3	1,2	1,1	0,8	1,9
Raíces gruesas			2,3	1,9	4,2	3,5	3,5	3,9
Raíces finas			0,6	0,006	0,0015	0,7	2,6	1,2
Biomasa total	1,2	1,1	12,8	12,4	20,7	31,8	30,9	26,5
Carbono del suelo	73,0	73,0	72,3	104,8	73,5	101,6	159,6	114,6
Carbono total	74,2	74,1	85,1	117,2	94,2	133,4	190,5	140,9

^a Potreros de pasto natural.

Los fustes de los bosques secundarios contuvieron el 7% del carbono total y el 41% del carbono almacenado en la biomasa (9,6 t ha⁻¹). La vegetación herbácea, la necromasa fina y gruesa, las ramas, hojas y raíces fueron los componentes que almacenaron la menor cantidad de carbono, variando de 0,85 t C ha⁻¹ en raíces finas a 3,2 t C ha⁻¹ en ramas y raíces gruesas (< 2,8% del carbono total por cada uno (Cuadro 1). La biomasa aérea y la necromasa almacenaron el 14% del carbono total del sistema (18,4 t C ha⁻¹). Brown y Lugo (1982) reportan entre 2,6 y 3,8 t C ha⁻¹ de necromasa en bosques primarios y mientras que Delaney et ál. (1997) encontraron entre 2,4 y 5,2 t C ha⁻¹. Tanner (1980) reportó de 3,8 a 6,0 t C ha⁻¹ de necromasa en bosques de Jamaica; Raich (1983) encontró 0,7 t C ha⁻¹ de necromasa en un bosque secundario en Costa Rica; Schroeder y Winjum (1995) encontraron que la hojarasca representa apenas 5-6% del C total en bosques naturales en Brasil y Delaney et ál. (1997) reportan entre 2,2 y 7,8% en Venezuela.

La biomasa en los árboles, arbustos y necromasa aumentó con la edad de la sucesión, no así la biomasa de la vegetación herbácea que rápidamente se estabilizó y aun decreció con la edad del bosque o plantación foerstal (Cuadro 1). La necromasa gruesa se incrementó de 0,6 t ha⁻¹ a los 5 años a 2,6 t ha⁻¹ a los 18 años; mientras que la necromasa fina se redujo de 3,1 a 6,6 t ha⁻¹ y la vegetación herbácea disminuyó de 2,9 a 2,2 t ha⁻¹ en el mismo período. La necromasa fina se incrementó debido posiblemente a incrementos en la densidad de las plantas y a la mortalidad de plantas pioneras de vida corta, como las hierbas de la familia Piperaceae. El crecimiento de la vegetación causa el cierre del dosel, disminuyendo la radiación al estrato bajo y eliminando la vegetación herbácea. Herrera et ál. (2001) encontraron resultados similares en Colombia, con un incremento exponencial de la necromasa y una disminución exponencial negativa en la vegetación herbácea y leñosa pequeña conforme avanza la edad. La biomasa abajo

Cuadro 2. Biomasa y carbono almacenado por sitio y componente en plantaciones de *Vochysia guatemalensis*, Guácimo, Limón, Costa Rica (2006)

Variable	Sitios									
	EARTH línea base ^a	Delicias línea base ^a	EARTH Tiro al blanco P1	EARTH Tiro al blanco P2	EARTH Puente- hamaca	Las Delicias P1	Las Delicias P2	EARTH el Cruce P1	EARTH el Cruce P2	EARTH la Bomba
Edad (años)			1	1	1,5	4,5	4,5	7	7	14
dap promedio (cm)			2,7	0,0	2,9	23,3	20,3	28,7	30	30,7
Área basal (m ² ha ⁻¹)			0,4	0,0	0,5	26,6	19,2	28,9	21,4	36,8
Biomasa (t ha ⁻¹)										
Vegetación herbácea	2,6	2,6	2,3	7,7	5,0	0,9	2,0	0,4	0,5	9,3
Necromasa gruesa			0,0	0,0	0,0	3,1	2,8	6,4	17,3	7,5
Necromasa fina			0,0	0,0	0,0	9,4	3,6	5,0	7,6	7,1
Fustes			0,6	0,1	1,0	45,8	35,0	82,8	41,0	106,2
Ramas			0,6	0,1	0,2	10,7	6,8	23,7	9,7	8,3
Hojas			1,0	0,16	0,5	4,9	5,5	12,7	3,8	2,2
Raíces gruesas			0,28	0,06	0,11	12,2	15,0	39,5	18,1	27,0
Raíces finas			1,8	0,56	1,3	2,1	0,7	3,9	2,9	2,6
Biomasa total	2,6	2,6	6,5	8,7	8,1	89,1	71,4	174,4	100,9	170,2
Carbono (t ha ⁻¹)										
Vegetación herbácea	1,2	1,2	0,9	3,2	2,0	0,4	0,9	0,2	0,2	3,8
Necromasa gruesa			0,0	0,0	0,0	1,4	1,3	3,1	8,1	3,4
Necromasa fina			0,0	0,0	0,0	3,4	1,3	1,8	2,6	2,7
Fustes			0,3	0,04	0,5	20,9	19,2	35,7	17,1	51,7
Ramas			0,24	0,03	0,1	4,8	2,9	10,3	5,0	3,6
Hojas			0,4	0,09	0,2	1,9	2,4	5,4	1,7	0,9
Raíces gruesas			0,12	0,025	0,05	5,6	6,9	19,6	7,8	12,1
Raíces finas			0,7	0,21	0,5	0,8	0,26	1,4	1,4	1,0
Biomasa total	1,2	1,2	2,7	3,6	3,4	39,2	35,2	77,5	43,9	79,2
Carbono del suelo	73,0	73,0	107,2	66,5	95,3	100,2	132,4	117,9	143,1	87,0
Carbono total	74,2	74,2	109,9	70,1	98,7	139,4	167,6	195,4	187,0	166,1

^a Potreros (pasto natural).

del suelo (raíces) representó el 18% de la biomasa total (9,1 t ha⁻¹) y se incrementó con la edad de la sucesión, pasando de los 5,5 a 11,7 t ha⁻¹ entre los 5 y 18 años, respectivamente (Cuadro 1). Resultados similares han sido encontrados por otros autores (Hertel et ál. 2003, Jiménez y Arias 2004).

Plantaciones forestales

Las plantaciones de *H. alchorneoides* fijaron más carbono total que las *V. guatemalensis*; las primeras pasaron de 75,4 a 202,0 t C ha⁻¹ entre 1 y 14 años de edad, mientras que en las segundas el carbono se incrementó de 90,0 a 166,2 t C ha⁻¹ en el mismo período (Cuadros 2 y 3). Al igual que en bosques secundarios, el suelo fue el principal almacén de carbono, ya que almacenó el 84% y el 76% del carbono total en plantaciones de *H. alchorneoides* y *V. guatemalensis*, respectivamente. El

carbono orgánico del suelo se incrementó con la edad, pasando de 80 t C ha⁻¹ hasta 130,5 t C ha⁻¹ a los 7 años de edad en plantaciones de *V. guatemalensis* y de 77,1 t C ha⁻¹ a 109,1 t C ha⁻¹ en plantaciones de 7 años de edad de *H. alchorneoides*. Gutiérrez y Lopera (2001) encontraron que el suelo (incluyendo raíces) en plantaciones de *Pinus patula* albergó 53,5% del carbono total (139,5 t C ha⁻¹) hasta una profundidad de 25 cm.

La biomasa de fustes en plantaciones de *V. guatemalensis* almacenó el 10,7% (18,2 t C ha⁻¹) del carbono total, mientras que toda la biomasa arriba del suelo almacenó el 17,1% del total (28,3 t C ha⁻¹). La biomasa de la vegetación herbácea decreció con la edad, variando de 5,0 t ha⁻¹ a edades iniciales a 0,4 t ha⁻¹ a los 7 años (Cuadro 2). Al igual que en bosques secundarios, incrementos en la densidad y tamaño de la vegetación arbórea causaron

Cuadro 3. Biomasa y carbono almacenado por sitio y componente en plantaciones de *Hyeronyma alchorneoides*, Guácimo, Limón, Costa Rica (2006)

Variable	Sitios											
	EARTH línea base ^a	Delicias línea base ^a	EARTH Vivero	EARTH Tiro al blanco P1	EARTH Tiro al blanco P2	EARTH Puente hamaca	Las Delicias	EARTH el Cruce	EARTH Papelerá	EARTH Pozo Azul	EARTH Cruce Reserva	EARTH la Bomba
Edad (años)			0,5	1	1	1,5	4,5	7	7	7	8	14
dap promedio (cm)			0,0	2,3	2,6	2,	10,7	16,6	17,4	12,6	15,6	22,9
Área basal (m ² ha ⁻¹)			0,0	0,3	0,4	0,5	6,4	8,3	10,6	5,3	7,4	21,6
Biomasa (t ha ⁻¹)												
Vegetación herbácea	2,6	2,6	1,7	1,5	2,8	3,7	0,6	2,8	2,2	7,0	3,9	0,2
Necromasa gruesa			0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	3,9	8,8	1,1	1,6	2,7
Necromasa fina			0,0	6,0	0,0	0,0	12,5	7,7	4,9	5,4	5,6	10,6
Fustes			0,07	0,4	0,6	0,3	16,3	34,5	36,9	14,3	19,1	116,3
Ramas			0,0	0,04	0,3	0,05	4,3	5,5	6,1	7,2	16,7	14,4
Hojas			0,06	0,2	0,5	0,3	4,3	3,2	3,9	2,7	3,1	4,5
Raíces gruesas			0,04	0,09	0,6	0,15	11,2	10,6	11,5	4,0	5,5	19,5
Raíces finas			0,2	2,4	0,2	1,1	4,0	2,9	2,5	3,5	2,4	7,5
Biomasa total	2,6	2,6	2,1	10,6	5,0	5,6	58,8	71,1	76,8	45,2	57,9	175,7
Carbono (t ha ⁻¹)												
Vegetación herbácea	1,2	1,2	0,7	0,8	1,3	1,6	0,3	1,1	1,0	3,0	1,6	0,1
Necromasa gruesa			0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	1,8	1,5	0,5	0,7	1,3
Necromasa fina			0,0	2,5	0,0	0,0	5,3	3,3	2,2	2,8	2,3	5,0
Fustes			0,03	0,2	0,27	0,16	7,9	16,9	16,6	6,1	10,8	59,7
Ramas			0,0	0,02	0,13	0,02	2,0	2,6	3,5	2,9	6,8	6,6
Hojas			0,03	0,08	0,26	0,14	1,8	1,5	2,0	1,5	2,0	2,3
Raíces gruesas			0,02	0,04	0,3	0,07	4,6	6,9	6,3	2,0	2,6	9,5
Raíces finas			0,09	0,93	0,09	0,42	1,6	1,16	1,2	1,7	1,0	3,0
Biomasa total	1,2	1,2	0,9	4,6	2,4	2,4	26,1	35,3	36,8	20,5	27,8	87,5
Carbono del suelo	84,0	83,2	73,0	89,5	55,8	90,0	145,6	96,2	118,5	112,6	92,4	114,5
Carbono total	85,2	84,4	73,9	94,1	58,2	92,4	171,7	131,5	155,3	133,1	120,2	201,8

^a Potreros (pasto natural).

una reducción en la biomasa herbácea (Cuadro 2). Este comportamiento se observó también en *H. alchorneoides* (Cuadro 3). La vegetación herbácea, hojas y ramas de *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides* contienen entre 1,1 y 2,3% del carbono total. La biomasa de raíces finas se incrementó con la edad, pero su aporte al carbono total fue muy bajo (0,5 y 0,8% del carbono total para *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides*, respectivamente; Cuadros 2 y 3).

Los incrementos en biomasa y carbono en *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides* han sido poco estudiados. Stanley y Montagnini (1999) reportan existencias de biomasa de 35,9 y 27,3 t ha⁻¹ en plantaciones de *H. alchorneoides* a los 3,5 años y de *V. guatemalensis* a los 3 años, respectivamente. Shepherd y Montagnini (2001) registraron una biomasa de 102,2 y 48,1 t ha⁻¹ en plantaciones de *V. guatemalensis* de 5 años y de *H. alchorneoides* de 6

años, respectivamente. Gutiérrez y Lopera (2001) encontraron que la hojarasca y la vegetación herbácea de plantaciones de *P. patula* almacenan entre 0,5 a 1,7% y entre 0 y 3,2% del carbono total, respectivamente. Gamarra (2001) encontró un 4% del carbono total en la hojarasca de *Eucalyptus* en Perú.

En *V. guatemalensis*, la necromasa gruesa y fina se incrementó con la edad de la plantación; los mayores valores se encontraron inmediatamente después de labores silviculturales (Cuadro 2). La necromasa gruesa aumentó de 0 t ha⁻¹ en plantaciones recién establecidas a 7,5 t ha⁻¹ a los 14 años de edad; mientras que la necromasa fina se incrementó de 0 a 7,1 t ha⁻¹ durante el mismo período. Además, se encontraron valores muy diferentes a una misma edad, tal como en las Delicias P1 y P2 y en la EARTH el Cruce P1 y P2 (Cuadro 2). Estas diferencias se deben a densidades arbóreas contrastantes, las cuales



Bosque secundario de 18 años (foto: Rolando Cerda)

determinan fuertemente la deposición de necromasa, ya que *V. guatemalensis* presenta una excelente autopoda. La necromasa y la hojarasca también se incrementaron con la edad en plantaciones de *H. alchorneoides*. El efecto de labores silviculturales, tales como los raleos en el sitio Papelera y podas en las Delicias, incrementaron significativamente la necromasa gruesa (8,8 y 5,6 t C ha⁻¹; Cuadro 3).

CONCLUSIONES

La biomasa y el carbono almacenado en los bosques secundarios y plantaciones de *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides* aumentaron con la edad en todos los componentes, excepto en la biomasa herbácea. Los bosques secundarios almacenaron un total de 154,9 t C ha⁻¹ a los 18 años de edad, mientras que las plantaciones forestales de *V. guatemalensis* y de *H. alchorneoides* alcanzaron 166,2 y 202,0 t C ha⁻¹ a los 14 años de edad, respectivamente. La mayor tasa de fijación de carbono se encontró en las plantaciones de *V. guatemalensis*, seguida muy de cerca por las de *H. alchorneoides* y, por último, en los bosques secundarios. El suelo almacenó entre 76 y 86% del carbono total. La vegetación herbá-

cea y la necromasa almacenaron muy poco carbono; la biomasa de los fustes almacenó entre 7,0 y 10,7% del carbono total.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Carlos Sandí y a los señores Delio Zamora, Carlos Mata y Minor Cubillo y a todos funcionarios de la Universidad EARTH, a Reforest the Tropics, Inc. y a la Hacienda Las Delicias, por su apoyo incondicional en la realización de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bolaños, RA; Watson, VC. 1993. Mapa ecológico de Costa Rica según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de Holdridge. San José, CR, Centro Científico Tropical.
- Bremner, JM; Mulvaney, C. 1982. Carbon, inorganic nitrogen. In Page, A; Miller, R; Keeney, D. eds. Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. 2 ed. Madison, US, American Society of Agronomy. p. 552, 673-682.
- Brown, S; Lugo, A. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. *Biotrópica* 14:164-187.
- Brown, S; Schroeder, P; Kern, J. 1999. Spatial distribution of biomass in forest of the eastern USA. *Forest Ecology and Management* 123:81-90.
- Cifuentes, M; Jobse, J; Watson, V; Kauffman, B. (s.f.). Determinación del carbono total en suelos de diferentes tipos de uso suelo de la tierra a lo largo de una gradiente climática en Costa Rica. San José, Costa Rica. 12 p.
- Corrales, L. 1998. Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado (masa aérea) en el Corredor Biológico Mesoamericano de Costa Rica. PROARCA/CAPAS/CCAD/USAID.15 p
- De Jong, B; Tipper, R; Montoya, G. 2000. An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forest: evidence from southern México. *Ecological Economics* 33: 313-327.
- Delaney, M; Brown, S; Lugo, E; Torres, A; Bello, N. 1997. The distribution for organic carbon in major components of forest located in five life zones of Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 13: 697-708.
- FAO. 2003. Costa Rica frente al cambio climático. Serie centroamericana de bosques y cambio climático. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, San José (Costa Rica). San José, CR, FAO. 60 p.
- Feldpausch, TR; Rondon, MA; Fernandes, EC; Riha, SJ; Wandelli, E. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecological Applications* 14(4):164-176.
- Gamarra, J. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, en Junin, Perú. Valdivia, Chile. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono en Ecosistemas Forestales (octubre 2001). 21 p.
- Gómez, LD. 1986. Vegetación de Costa Rica: Vegetación y Clima de Costa Rica. San José, CR, UNED. v. 1, 385 p.
- Gutiérrez, VH; Lopera, J. 2001. Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales. Valdivia, Chile. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales (octubre 2001). 17 p.
- Herrera, MA; del Valle, J; Alonso, S. 2001. Biomasa de la vegetación arbórea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. Valdivia, Chile. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales (octubre 2001). 19 p.

- Hertel, D; Lueschner, C; Hölscher. 2003. Size and structure of fine root system in old-growth and secondary tropical montane forests (Costa Rica). *Biotropica* 35(2):143-153.
- Hughes, RF; Kauffman, JB; Jaramillo, VJ. 1999. Biomass, carbon and nutrient dynamics of secondary forest in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80(6):1882-1907.
- Jiménez, C; Arias, D. 2004. Distribución de biomasa y densidad de raíces finas en una gradiente sucesional de bosques en la zona norte de Costa Rica. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 23 p.
- Krebs, JC. 1985. *Ecología: Estudio de distribución y abundancia*. 2 ed. México, Ed. Harla. 753 p.
- MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects (en línea). Forest carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI). Disponible en <http://www.winrock.org/REEP/PUBSS.html>.
- Moran, JA, Barker, MG; Moran, AJ; Becker, P; Ross, SM. 2000. A comparison of the soil water, nutrient status, and litterfall characteristics of tropical heath and mixed-dipterocarp forest sites in Brunei. *Biotropica* 32:2-13.
- Raich, J. 1983. Effects of forest conversion of the carbon budget of a tropical soil. *Biotropica* 15(3):177-184.
- Saldarriaga, JG. 1994. Recuperación de la selva de tierra firme en el alto río Negro Amazonia Colombiana-Venezolana. *Estudios de la Amazonia Colombiana V. Bogotá, CO, Tropenbos*. p. 201.
- Scott, DA; Proctor, J, Thomason, J. 1992. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Romaira, Brazil. II. Litter and nutrient cycling. *The Journal of Ecology* 80:705-717.
- Schroeder, P; Winjum, J. 1995. Assessing Brazil's carbon budget: I biotic carbon pools. *Forest Ecology and Management* 75: 77-86.
- Shepherd, D; Montagnini, F. 2001. Above ground carbon sequestration potential in mixed and pure tree plantations in the humid tropics. *Journal of Tropical Forest Science* 13(3):450-459.
- Sierra, C; del Valle, J; Orrego, S. 2001. Ecuaciones de biomasa de raíces y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales y maduros tropicales en Colombia. Valdivia, Chile. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de Octubre del 2001. 16 p.
- Stanley, W; Montagnini, F. 1999. Biomass and nutrient accumulation in pure and mixed plantations of indigenous tree species grown on poor soils in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 113:91-103.
- Tanner, E. 1980. Studies on the biomass and productivity in a series of montane rain forest of Jamaica. *Journal of Ecology* 68: 573-588.
- Valero, E. 2004. El ciclo del carbono en el sector forestal: Los bosques como sumideros de carbono: una necesidad para cumplir en el protocolo de Kyoto. Madrid, ES, Universidad del Vigo. 11 p.