

Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales en Honduras

D. M. Alberto¹ y J. A. Elvir^{2*}

¹ 5755 Nutting Hall room 263. Universidad de Maine. Orono. Maine. 04469-5755. USA

² Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Apdo. Postal 2. Siguatepeque Comayagua. Honduras

Resumen

La fijación de carbono puede constituir la base de un sistema de pago por servicios ambientales internacional. Para comenzar a establecer dichos mecanismos es necesario estimar la acumulación como el crecimiento de biomasa aérea y la fijación de carbono asociada. Éstas fueron estudiadas en 36.139,78 hectáreas de bosques naturales de *Pinus oocarpa* Schiede, árbol predominante en Honduras, en los Municipios de Cabañas, Santa Ana y Opatoro en el Departamento de La Paz. Se realizó un inventario forestal para conocer la distribución en diámetro a la altura del pecho de los árboles así como la densidad.

El 71% de la biomasa aérea se encontró en el fuste y 21% en las ramas. La gravedad específica de la madera y la corteza encontrada en esta investigación es de 0,55 gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) y 0,53 g/cm^3 , respectivamente. La ecuación alométrica que mejor se ajusta para la estimación de la biomasa aérea total fue la Logarítmica Combinada. Se estimó la acumulación de biomasa aérea en toneladas métricas por hectárea (Tm/ha), en el área total estudiada y el crecimiento anual.

Los análisis químicos de las muestras de la biomasa aérea de *Pinus oocarpa* mostraron que la fracción de carbono es del 51,8% con base en el peso seco. Se calculó la acumulación de carbono en *Pinus oocarpa* de los Municipios de cabañas Opatoro y Santa Ana en 913.925,50 Tm, con un secuestro anual de CO_2 de 105.989,86 Tm.

Palabras clave: cambio climático, captura de carbono, bienes y servicios ambientales.

Abstract

Carbon accumulation and fixation in aerial biomass of *Pinus oocarpa* in natural forests in Honduras

Carbon fixation could be the base of international payment for environmental services mechanisms. The accumulation and growth of aerial biomass as well as the carbon fixation associated to this growth has to be measured in order to establish these schemes. These were studied in 36,139.78 hectares of natural forests of *Pinus oocarpa* Schiede, the most frequent tree in Honduras, in Cabañas, Santa Ana y Opatoro in the Department of La Paz. A forest survey was done to collect the information on tree distribution in diameter at breast height as well as tree densities.

The 71% of the aerial biomass was found in the stems and 21% in branches. The specific gravity of wood and bark was 0.55 grams per cubic centimeter (g/cm^3) and 0.53 g/cm^3 , respectively. The allometric equation with the best fitness for the total aerial biomass estimation was the Combined Logarithmic Equation. The aerial biomass accumulation per hectare and in the total area was estimated as well as the annual biomass growth.

The chemical analysis of the aerial biomass samples of *Pinus oocarpa* showed that the carbon fraction was 51.8% dried weight basis. The carbon accumulation in *Pinus oocarpa* for the pine forest area of cabañas, Opatoro and Santa Ana was estimated in 913,925.50 metric tons, with an annual CO_2 sequestration of 105,989.86 metric tons.

Key words: climate change, carbon sequestration, environmental goods and services.

Introducción

Cada año en las áreas forestales se almacenan cantidades importantes de biomasa la que ayuda a redu-

cir los niveles de carbono en la atmósfera (Dixon *et al.*, 1994; Melillo *et al.*, 1993). El Dióxido de carbono en la atmósfera ha incrementado desde la revolución industrial, además las estimaciones indican que para el siglo XXI esta tendencia de incremento será mayor (Petit *et al.*, 1999; Crowley, 2000; UNEP, 2002).

* Autor para la correspondencia: alexit98@yahoo.com

Recibido: 08-06-06; Aceptado: 10-03-08.

El incremento de CO₂ en la atmósfera ha inducido eventos climáticos extremos (inundaciones, huracanes) causando pérdidas humanas y económicas en todo El Planeta (Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2001). La creciente preocupación ante los efectos del cambio climático global originó en 1994 la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y a la adopción del Protocolo de Kyoto (PK) en 1997. El PK obliga a los países desarrollados a reducir las emisiones de gases que producen efecto invernadero, pero también proporciona mecanismos flexibles tales como el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), a través de la captura de carbono y secuestro de CO₂ por la biomasa forestal. El sector forestal en América Central puede cumplir una función significativa en la mitigación de impactos del cambio climático. Es por eso que el manejo y protección de las áreas forestales, naturales y plantaciones y el cambio de uso de del suelo, pueden contribuir mediante la conservación de los bosques a la acumulación y fijación carbono atmosférico.

El secuestro de carbono en áreas forestales ha sido la visión de investigaciones en diferentes países. Montero y Kaninnen (2002) reportaron que en la zona sur de Costa Rica la acumulación de biomasa aérea y carbono en plantaciones manejadas de *Terminalia amazonia* a los 10 años fue de 97,03 Tm/ha y 45,30 Tm/ha, respectivamente.

En la zona central de Honduras, la acumulación de biomasa fue de 80,53 Tm/ha en bosques naturales de *Pinus oocarpa* (Ramos, 2000). La acumulación de carbono en biomasa aérea de bosques de pino en el Ejido «La Majada» en el Estado de Michoacán, México fue de 28,85 Tm/ha (Zamora, 2003). Mientras que en bosques de coníferas de Tancítaro en Michoacán, México, la acumulación y captura de carbono anual en biomasa aérea fue de 19,00 Tm/ha y 1,65 Tm/ha, respectivamente (Fragoso, 2003).

En el cerro del Tablón en el Municipio de Cabañas en el Departamento de La Paz, en Honduras se reportó que la acumulación de carbono y secuestro de CO₂ atmosférico anual en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* fue de 22,50 Tm/ha, y 1,75 Tm/ha respectivamente, con un crecimiento anual en biomasa de 0,92 Tm/ha (Alberto y Elvir, 2005).

El objetivo de este estudio fue determinar la acumulación y crecimiento de biomasa aérea y fijación de carbono anual en bosque naturales de *Pinus oocarpa* en los Municipios de Cabañas, Santa Ana, y

Opatoro. La determinación de este servicio ambiental es fundamental para iniciar el proceso de definición de un Pago por Servicio Ambiental que contribuya a la conservación de estas áreas boscosas y proporcione un beneficio económico a los propietarios de estas áreas.

Metodología

Descripción de sitio

El área boscosa donde se realizó este diagnóstico comprende los Municipios de Cabañas, Opatoro y Santa Ana, en la zona sur del Departamento de La Paz (Fig. 1). El área del bosque de pino de estos Municipios es de 36.139,78 hectáreas, de las cuales 12.659,65 ha pertenecen al bosque de pino denso y 23.480,13 ha al bosque de pino ralo. El bosque de pino de estos Municipios se ha desarrollado en una topografía con pendientes desde 0% hasta mayores de 60%, con elevaciones entre 460 y 2,180 msnm con una precipitación media anual de 1,804 mm y temperatura media anual de 20°C (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 2004).

Según Simmons (1969), los suelos de estos municipios han sido clasificados como suelos Cocona en Cabañas y como suelos Coyolar en Opatoro y en Santa Ana. El bosque es húmedo tropical, en su mayoría compuesto por coníferas, siendo *Pinus oocarpa* la especie más abundante.

Trabajo de campo

Se levantó un inventario forestal sistemático en el área de bosque de pino de Cabañas, Opatoro y Santa Ana en el 2005, para conocer la distribución diametral del bosque. En el inventario forestal se levantaron parcelas circulares de 500 m² y 1.000 m² en el Municipio de Cabañas, y de 500 m² en los Municipios de Opatoro y Santa Ana. En cada parcela se identificaron y midieron todos los árboles mayores o iguales a 10 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). En cada parcela se seleccionaron dos árboles tipos a los cuales se les midió el DAP, la altura total y la edad para ajustar las ecuaciones DAP-altura y DAP-edad. La cantidad y el tamaño de las parcelas levantadas estuvieron en función de la variabilidad de la densidad del bosque (árboles/parcela).



Figura 1. Ubicación geográfica de los Municipios de Cabañas, Opatoro y Santa Ana en el Departamento de La Paz.

Del inventario forestal de estos Municipios se obtuvo la información de distribución por clase diamétrica, edad, altura y árboles por hectárea; dicha información ha servido de base para calcular la biomasa total y el carbono acumulado por hectárea en esta zona. Además se realizó una verificación de campo en marzo de 2006, para comprobar las densidades, los DAP y las alturas del bosque de pino de la zona, también se realizó una comprobación de campo de la cobertura del bosque de pino de los tres Municipios.

Trabajo de oficina

El volumen de la biomasa y la fijación y el carbono del bosque de pino de la zona fueron calculados utilizando la información dasométrica obtenida en el inventario forestal. Así mismo se utilizó la ecuación alométrica Logarítmica Combinada para el cálculo de biomasa aérea, siendo esta la de mejor ajuste determinada por Alberto y Elvir (2005) ($\ln B = a + b \ln D^2 H$). Además se utilizó la fracción de carbono de 51,8% para la especie *Pinus oocarpa* determinada mediante análisis químicos por Alberto y Elvir (2005). La metodología seguida para el cálculo de la ecuación de biomasa aérea de esta especie y la fracción de carbono puede ser encontrada detalladamente en Alberto y Elvir (2005). Brevemente, para el cálculo de la ecuación de biomasa aérea se utilizaron 31 árboles en-

tre las clases diamétricas de 10 cm a 54 cm y alturas de 7 m a 24 m, los cuales fueron cortados para pesar al 100% sus componentes aéreos. Cuatro árboles fueron seleccionados al azar para obtener muestras de cada componente y determinar la fracción de carbono de la especie, mediante análisis químicos en el laboratorio analítico de Agricultura y Estación Experimental Forestal (MAFES) de la Universidad de Maine, Estados Unidos.

Resultados

Acumulación de biomasa aérea y carbono en *Pinus oocarpa* en el bosque denso de Cabañas

Los resultados obtenidos reflejan que la acumulación de biomasa aérea en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 1.688,2 kg/ha, para la clase diamétrica media (36 cm) fue de 1.520,0 kg/ha y para la clase diamétrica superior (60 cm) fue de 836,3 kg/ha. El total de biomasa aérea acumulado fue de 57.129,1 kg/ha o aproximadamente 57,13 Tm/ha (Tabla 1).

El carbono acumulado en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 874,5 kg/ha, para la clase diamétrica media (36 cm) fue de 787,3 kg/ha y para la clase diamétrica superior (60 cm) fue de 433,2 kg/ha. El total de carbono acumulado fue de 29.592,9 kg/ha o aproximadamente 29,59 Tm/ha (Tabla 1).

Tabla 1. Acumulación de la biomasa aérea total y carbono por hectárea por clase diamétrica en *Pinus oocarpa* en el bosque denso de Cabañas

Clase diamétrica (cm)	Altura (m)	Edad (año)	Árboles (ha)	Biomasa aérea total acumulada (kg/ha)	Carbono acumulado (kg/ha)
10	9	12	44,1	1.688,2	874,5
12	10	14	39,8	2.213,7	1.146,7
14	11	16	36,7	2.816,7	1.459,1
16	12	18	33,0	3.359,6	1.740,3
18	12	20	27,8	3.649,4	1.890,4
20	13	22	23,5	3.872,7	2.006,1
22	14	24	23,3	4.729,6	2.449,9
24	15	26	15,9	3.905,6	2.023,1
26	15	28	12,8	3.757,9	1.946,6
28	16	30	13,4	4.651,5	2.409,5
30	17	32	8,5	3.427,9	1.775,6
32	18	34	4,1	1.935,6	1.002,7
34	18	36	3,1	1.666,9	863,4
36	19	38	2,5	1.520,0	787,3
38	20	41	2,9	2.008,1	1.040,2
40	20	43	2,1	1.614,8	836,5
42	21	45	0,4	361,6	187,3
44	22	47	0,2	201,5	104,4
46	23	49	0,8	894,0	463,1
48	23	51	1,0	1.234,5	639,5
50	24	53	1,0	1.358,7	703,8
52	25	55	0,6	894,0	463,1
54	26	57	1,0	1.628,8	843,7
56	26	59	1,2	2.130,0	1.103,4
58	27	61	0,4	771,6	399,7
60	28	63	0,4	836,3	433,2
Total			301	57.129,1	29.592,9

En las 4.122,84 ha de bosque de pino denso del Municipio de Cabañas se han acumulado 235.537,85 Tm de biomasa aérea equivalente a 57,13 Tm/ha, en las cuales se ha acumulado 121.994,84 Tm de carbono equivalente a 29,59 Tm/ha.

Fijación de carbono y secuestro de CO₂ por año en la biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en el bosque denso de Cabañas

Los resultados muestran que la fijación de carbono por año en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 75,3 kg/ha, para la clase diamétrica media (36 cm) fue de 20,5 kg/ha y para la clase diamétrica superior (60 cm) fue de 6,9 kg/ha. El total de carbono fijado por año fue de 1.135,5 kg/ha o aproximadamente 1,14 Tm/ha (Tabla 2).

El secuestro de CO₂ por año en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 276,2 kg/ha, para la clase dia-

métrica media (36 cm) fue de 75,1 kg/ha y para la clase diamétrica superior (60 cm) fue de 25,1 kg/ha. El total de CO₂ secuestrado por año fue de 4.167,1 kg/ha o 4,17 Tm/ha (Tabla 2). En las 4.122,84 ha de bosque de pino denso del Municipio de Cabañas se han acumulado 9.029,02 Tm/año de biomasa aérea, el crecimiento anual de la biomasa aérea fue de 2,19 Tm/ha.

El IMA de carbono acumulado fue de 4.700 Tm/año, equivalente a 1,14 Tm/ha anuales. El secuestro de CO₂ fue de 17.192,24 Tm/año, equivalente a 4,17 Tm/ha anuales.

Forma de cálculo:

1. Acumulación anual de biomasa aérea en el área total de estudio:

$$2,19 \text{ Tm/ha} * 4.122,84 \text{ ha} = 9.029,02 \text{ Tm/año}$$

2. IMA de carbono acumulado en el área total de estudio:

$$4.122,84 \text{ ha} * 1,14 \text{ (FC)} = 4.700,04 \text{ Tm}$$

Tabla 2. Fijación anual de carbono y secuestro de CO₂ en la biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en el bosque denso de Cabañas

Clase diamétrica (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Árboles (ha)	Biomasa aérea total acumulada (kg/ha)	Crecimiento anual de biomasa aérea (kg/ha)	Fijación anual de carbono (kg/ha)	Secuestro anual de CO ₂ (kg/ha)
10	9	12	44,1	1.688,2	145,3	75,3	276,2
12	10	14	39,8	2.213,7	161,8	83,8	307,5
14	11	16	36,7	2.816,7	178,9	92,6	340,0
16	12	18	33,0	3.359,6	188,6	97,7	358,6
18	12	20	27,8	3.649,4	183,6	95,1	349,0
20	13	22	23,5	3.872,7	176,5	91,4	335,6
22	14	24	23,3	4.729,6	197,0	102,1	374,6
24	15	26	15,9	3.905,6	149,8	77,6	284,8
26	15	28	12,8	3.757,9	133,6	69,2	253,9
28	16	30	13,4	4.651,5	154,0	79,8	292,8
30	17	32	8,5	3.427,9	106,3	55,0	202,0
32	18	34	4,1	1.935,6	56,4	29,2	107,2
34	18	36	3,1	1.666,9	45,8	23,7	87,1
36	19	38	2,5	1.520,0	39,5	20,5	75,1
38	20	41	2,9	2.008,1	49,6	25,7	94,2
40	20	43	2,1	1.614,8	37,9	19,6	72,1
42	21	45	0,4	361,6	8,1	4,2	15,4
44	22	47	0,2	201,5	4,3	2,2	8,2
46	23	49	0,8	894,0	18,3	9,5	34,8
48	23	51	1,0	1.234,5	24,3	12,6	46,2
50	24	53	1,0	1.358,7	25,7	13,3	48,8
52	25	55	0,6	894,0	16,3	8,4	30,9
54	26	57	1,0	1.628,8	28,6	14,8	54,3
56	26	59	1,2	2.130,0	36,0	18,7	68,5
58	27	61	0,4	771,6	12,6	6,5	24,0
60	28	63	0,4	836,3	13,2	6,9	25,1
Total			301	57.129,1	2.192,0	1.135,5	4.167,1

3. Secuestro anual de CO₂ en el área total de estudio:

$$4,17 \text{ Tm/ha} * 4.122,84 \text{ ha} = 17.192,24 \text{ Tm/año}$$

Acumulación de biomasa aérea y carbono en *Pinus oocarpa* en el bosque ralo de Cabañas

Los resultados obtenidos indican que la acumulación de biomasa aérea en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 498,00 kg/ha, para la clase diamétrica media (34 cm) fue de 1.882,10 kg/ha y para la clase diamétrica superior (58 cm) fue de 297,0 kg/ha. El total de biomasa aérea acumulado fue de 25.140,20 kg/ha o aproximadamente 25,14 Tm/ha (Tabla 3).

El carbono acumulado en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 258,00 kg/ha, para la clase diamétrica media (34 cm) fue de 974,9 kg/ha y para la clase diamétrica superior (58 cm) fue de 153,80 kg/ha. El total de carbono acumulado fue de 13.022,60 kg/ha o

aproximadamente 13,02 Tm/ha (Tabla 3). En las 5.320,32 ha de bosque de pino ralo del Municipio de Cabañas se han acumulado 133.752,84 Tm de biomasa aérea equivalente a 25,14 Tm/ha y 69.270,57 Tm de carbono equivalente a 13,02 Tm/ha.

Fijación de carbono y secuestro de CO₂ por año en la biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en el bosque ralo de Cabañas

Los resultados obtenidos muestran que la fijación de carbono por año en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 22,2 kg/ha, para la clase diamétrica media (34 cm) fue de 26,8 kg/ha y para la clase diamétrica superior (58 cm) fue de 2,5 kg/ha. El total de carbono fijado por año fue de 473,5 kg/ha o aproximadamente 0,47 Tm/ha (Tabla 4).

El secuestro de CO₂ por año en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 81,50 kg/ha, para la clase dia-

Tabla 3. Acumulación de la biomasa aérea total y carbono por hectárea por clase diamétrica en *Pinus oocarpa* en el bosque ralo de Cabañas

Clase diamétrica (cm)	Altura (m)	Edad (año)	Árboles (ha)	Biomasa aérea total acumulada (kg/ha)	Carbono acumulado (kg/ha)
10	9	12	13,0	498,0	258,0
12	10	14	10,6	591,6	306,4
14	11	16	13,2	1.011,1	523,8
16	12	18	10,6	1.083,0	561,0
18	12	20	10,8	1.415,1	733,0
20	13	22	8,7	1.438,4	745,1
22	14	24	6,2	1.256,6	650,9
24	15	26	5,4	1.327,6	687,7
26	15	28	6,7	1.959,8	1.015,2
28	16	30	7,0	2.424,0	1.255,6
30	17	32	5,7	2.317,1	1.200,2
32	18	34	3,8	1.788,2	926,3
34	18	36	3,5	1.882,1	974,9
36	19	38	1,6	975,1	505,1
38	20	41	1,4	993,8	514,8
40	20	43	1,4	1.118,8	579,5
42	21	45	0,6	556,8	288,4
44	22	47	0,6	620,4	321,4
46	23	49	0,6	688,2	356,5
48	23	51	0,0	0,0	0,0
50	24	53	0,2	209,2	108,4
52	25	55	0,5	688,2	356,5
54	26	57	0,0	0,0	0,0
56	26	59	0,0	0,0	0,0
58	27	61	0,2	297,0	153,8
Total			112,4	25.140,2	13.022,6

métrica media (34 cm) fue de 98,3 kg/ha y para la clase diamétrica superior (58 cm) fue de 9,20 kg/ha. El total de CO₂ secuestrado por año fue de 1.737,70 kg/ha o 1,74 Tm/ha (Cuadro 4). En las 5.320,32 ha del bosque de pino ralo del Municipio de Cabañas se han acumulado 4.841,49 Tm/año o de biomasa aérea, el crecimiento anual de la biomasa aérea fue de 0,91 Tm/ha. El IMA de carbono fue de 2.500,55 Tm/año, equivalente a 0,47 Tm/ha anuales. El secuestro de CO₂ fue de 9.257,36 Tm/año, equivalente a 1,74 Tm/ha anuales.

Acumulación de biomasa aérea y carbono en *Pinus oocarpa* en el bosque denso y ralo de Opatoro

Los resultados obtenidos manifiestan que la acumulación de biomasa aérea en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 1.023,60 kg/ha, para la clase dia-

métrica media (46 cm) fue de 3.097,00 kg/ha y para la clase diamétrica superior (80 cm) fue de 4.197,60 kg/ha. El total de biomasa aérea acumulado fue de 112.092,70 kg/ha o aproximadamente 112,09 Tm/ha (Tabla 5).

El carbono acumulado en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 530,20 kg/ha, para la clase diamétrica media (46 cm) fue de 1.604,20 kg/ha y para la clase diamétrica superior (80 cm) fue de 2.174,30 kg/ha. El total de carbono acumulado fue de 58.064,00 kg/ha o aproximadamente 58,06 Tm/ha (Tabla 5). En las 5.780,14 ha de bosque de pino denso del Municipio de Opatoro se han acumulado 647.895,89 Tm de biomasa aérea equivalente a 112,09 Tm/ha y 335.594,93 Tm de carbono equivalente a 58,06 Tm/ha.

En las 8.197,54 ha de bosque de pino ralo del Municipio de Opatoro se han acumulado 206.086,16 Tm de biomasa aérea equivalente a 25,14 Tm/ha y 106.731,97 Tm de carbono equivalente a 13,02 Tm/ha.

Tabla 4. Fijación anual de carbono y secuestro de CO₂ en la biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en el bosque de pino ralo de Cabañas

Clase diamétrica (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Árboles (ha)	Biomasa aérea total acumulada (kg/ha)	Crecimiento anual de biomasa aérea (kg/ha)	Fijación anual de carbono (kg/ha)	Secuestro anual de CO ₂ (kg/ha)
10	9	12	13,0	498,0	42,9	22,2	81,5
12	10	14	10,6	591,6	43,2	22,4	82,2
14	11	16	13,2	1.011,1	64,2	33,3	122,1
16	12	18	10,6	1.083,0	60,8	31,5	115,6
18	12	20	10,8	1.415,1	71,2	36,9	135,3
20	13	22	8,7	1.438,4	65,6	34,0	124,6
22	14	24	6,2	1.256,6	52,4	27,1	99,5
24	15	26	5,4	1.327,6	50,9	26,4	96,8
26	15	28	6,7	1.959,8	69,7	36,1	132,4
28	16	30	7,0	2.424,0	80,3	41,6	152,6
30	17	32	5,7	2.317,1	71,8	37,2	136,5
32	18	34	3,8	1.788,2	52,1	27,0	99,0
34	18	36	3,5	1.882,1	51,7	26,8	98,3
36	19	38	1,6	975,1	25,4	13,1	48,2
38	20	41	1,4	993,8	24,5	12,7	46,6
40	20	43	1,4	1.118,8	26,3	13,6	50,0
42	21	45	0,6	556,8	12,5	6,5	23,7
44	22	47	0,6	620,4	13,3	6,9	25,3
46	23	49	0,6	688,2	14,1	7,3	26,8
48	23	51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	24	53	0,2	209,2	4,0	2,0	7,5
52	25	55	0,5	688,2	12,5	6,5	23,8
54	26	57	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
56	26	59	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
58	27	61	0,2	297,0	4,9	2,5	9,2
Total			112,4	25.140,2	914,1	473,5	1.737,7

Fijación de carbono y secuestro de CO₂ por año en la biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en el bosque denso y ralo de Opatoro

Los resultados obtenidos indican que la fijación de carbono por año en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 45,6 kg/ha, para la clase diamétrica media (46 cm) fue de 32,9 kg/ha y para la clase diamétrica superior (80 cm) fue de 25,9 kg/ha. El total de carbono fijado por año fue de 1.496,1 kg/ha o aproximadamente 1,49 Tm/ha (Tabla 6). El secuestro de CO₂ por año en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 167,50 kg/ha, para la clase diamétrica media (46 cm) fue de 120,70 kg/ha y para la clase diamétrica superior (80 cm) fue de 95,20 kg/ha. El total de CO₂ secuestrado por año fue de 5.490,20 kg/ha o 5,5 Tm/ha (Tabla 6).

En las 5.780,14 ha del bosque de pino denso del Municipio de Opatoro se han acumulado 16.646,80 Tm/año de biomasa aérea, el crecimiento anual de la

biomasa aérea fue de 2,88 Tm/ha. El IMA de carbono acumulado fue de 8.670,21 Tm/año, equivalente a 1,50 Tm/ha anuales. El secuestro de CO₂ fue de 31.732,97 Tm/año, equivalente a 5,49 Tm/ha anuales.

En las 8.197,54 ha del bosque de pino ralo del Municipio de Opatoro se han acumulado 7.459,76 Tm/año de biomasa aérea, el crecimiento anual de la biomasa aérea fue de 0,91 Tm/ha. El IMA de carbono acumulado fue de 3.852,94 Tm/año, equivalente a 0,47 Tm/ha anuales. El secuestro de CO₂ fue de 14.263,72 Tm/año, equivalente a 1,74 Tm/ha anuales.

Acumulación de biomasa aérea y carbono en *Pinus oocarpa* en el bosque denso y ralo de Santa Ana

Los resultados obtenidos reflejan que la acumulación de biomasa aérea en la clase diamétrica inferior

Tabla 5. Acumulación de la biomasa aérea total y carbono por hectárea por clase diamétrica en *Pinus oocarpa* en el bosque denso de Opatoro

Clase diamétrica (cm)	Altura (m)	Edad (año)	Árboles (ha)	Biomasa aérea total acumulada (kg/ha)	Carbono acumulado (kg/ha)
10	9	12	26,8	1.023,6	530,2
12	10	14	28,8	1.603,8	830,8
14	11	16	18,7	1.435,3	743,5
16	12	18	22,1	2.248,4	1.164,6
18	12	20	17,4	2.281,6	1.181,9
20	13	22	11,2	1.840,2	953,2
22	14	24	9,1	1.845,4	955,9
24	15	26	10,9	2.683,7	1.390,1
26	15	28	10,4	3.054,2	1.582,1
28	16	30	10,1	3.515,8	1.821,2
30	17	32	9,6	3.896,9	2.018,6
32	18	34	8,6	4.023,4	2.084,1
34	18	36	12,2	6.579,4	3.408,1
36	19	38	7,5	4.627,4	2.397,0
38	20	41	7,8	5.420,9	2.808,0
40	20	43	6,5	5.085,5	2.634,3
42	21	45	5,2	4.555,5	2.359,8
44	22	47	5,5	5.329,9	2.760,9
46	23	49	2,9	3.097,0	1.604,2
48	23	51	3,9	4.665,5	2.416,7
50	24	53	5,7	7.530,8	3.901,0
52	25	55	3,6	5.255,7	2.722,5
54	26	57	2,9	4.514,0	2.338,3
56	26	59	2,1	3.577,7	1.853,3
58	27	61	1,0	1.944,0	1.007,0
60	28	63	2,9	5.794,1	3.001,3
62	29	65	1,0	2.277,9	1.179,9
64	29	67	1,0	2.457,0	1.272,7
66	30	69	0,3	661,1	342,4
68	31	71	0,3	710,0	367,8
70	32	74	0,3	761,1	394,2
72	32	76	0,3	814,3	421,8
74	33	78	0,3	869,7	450,5
76	34	80	0,3	927,3	480,4
78	34	82	0,3	987,2	511,4
80	35	84	1,0	4.197,6	2.174,3
Total			258,2	112.092,7	58.064,0

(10 cm) fue de 1.288,80 kg/ha, para la clase diamétrica media (38 cm) fue de 5.126,00 kg/ha y para la clase diamétrica superior (66 cm) fue de 2.679,1 kg/ha. El total de biomasa aérea acumulado fue de 105.490,50 kg/ha o aproximadamente 105,49 Tm/ha (Tabla 7). El carbono acumulado en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 667,6 kg/ha, para la clase diamétrica media (38 cm) fue de 2.655,30 kg/ha y para la clase diamétrica superior (66 cm) fue de 1.387,80 kg/ha. El total de carbono acumulado fue de

54.644,10 kg/ha o aproximadamente 54,64 Tm/ha (Tabla 7).

En las 2.756,67 ha de bosque de pino denso del Municipio de Santa Ana se han acumulado 290.801,12 Tm de biomasa aérea equivalente a 105,49 Tm/ha y 150.624,45 Tm de carbono equivalente a 54,64 Tm/ha. En las 9.962,27 ha de bosque de pino ralo del Municipio de Santa Ana se han acumulado 250.451,47 Tm de biomasa aérea equivalente a 25,14 Tm/ha y 129.708,76 Tm de carbono equivalente a 13,02 Tm/ha.

Tabla 6. Fijación anual de carbono y secuestro de CO₂ en la biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en el bosque denso de Opatoro

Clase diamétrica (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Árboles (ha)	Biomasa aérea total acumulada (kg/ha)	Crecimiento anual de biomasa aérea (kg/ha)	Fijación anual de carbono (kg/ha)	Secuestro anual de CO ₂ (kg/ha)
10	9	12	26,8	1.023,6	88,1	45,6	167,5
12	10	14	28,8	1.603,8	117,2	60,7	222,8
14	11	16	18,7	1.435,3	91,1	47,2	173,3
16	12	18	22,1	2.248,4	126,2	65,4	240,0
18	12	20	17,4	2.281,6	114,8	59,5	218,2
20	13	22	11,2	1.840,2	83,9	43,4	159,4
22	14	24	9,1	1.845,4	76,9	39,8	146,2
24	15	26	10,9	2.683,7	102,9	53,3	195,7
26	15	28	10,4	3.054,2	108,6	56,2	206,4
28	16	30	10,1	3.515,8	116,4	60,3	221,3
30	17	32	9,6	3.896,9	120,8	62,6	229,6
32	18	34	8,6	4.023,4	117,2	60,7	222,8
34	18	36	12,2	6.579,4	180,8	93,7	343,7
36	19	38	7,5	4.627,4	120,3	62,3	228,8
38	20	41	7,8	5.420,9	133,8	69,3	254,4
40	20	43	6,5	5.085,5	119,4	61,9	227,1
42	21	45	5,2	4.555,5	102,0	52,9	194,0
44	22	47	5,5	5.329,9	114,1	59,1	216,9
46	23	49	2,9	3.097,0	63,5	32,9	120,7
48	23	51	3,9	4.665,5	91,8	47,5	174,5
50	24	53	5,7	7.530,8	142,4	73,7	270,6
52	25	55	3,6	5.255,7	95,6	49,5	181,8
54	26	57	2,9	4.514,0	79,2	41,0	150,5
56	26	59	2,1	3.577,7	60,5	31,4	115,1
58	27	61	1,0	1.944,0	31,8	16,5	60,4
60	28	63	2,9	5.794,1	91,6	47,5	174,2
62	29	65	1,0	2.277,9	34,9	18,1	66,3
64	29	67	1,0	2.457,0	36,5	18,9	69,4
66	30	69	0,3	661,1	9,5	4,9	18,1
68	31	71	0,3	710,0	9,9	5,1	18,9
70	32	74	0,3	761,1	10,3	5,4	19,7
72	32	76	0,3	814,3	10,8	5,6	20,5
74	33	78	0,3	869,7	11,2	5,8	21,3
76	34	80	0,3	927,3	11,6	6,0	22,1
78	34	82	0,3	987,2	12,1	6,3	22,9
80	35	84	1,0	4.197,6	50,1	25,9	95,2
Total			258,2	112.092,7	2.888,0	1.496,0	5.490,2

Fijación de carbono y secuestro de CO₂ por año en la biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en el bosque denso y ralo de Santa Ana

Los resultados obtenidos muestran que la fijación de carbono por año en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 57,50 kg/ha, para la clase diamétrica media (38 cm) fue de 65,5 kg/ha y para la clase diamétrica superior (66 cm) fue de 20,00 kg/ha. El total de carbono fijado por año fue de 1.603,20 kg/ha o aproximadamente 1,60 Tm/ha (Tabla 8). El secuestro de

CO₂ por año en la clase diamétrica inferior (10 cm) fue de 210,80 kg/ha, para la clase diamétrica media (38 cm) fue de 240,50 kg/ha y para la clase diamétrica superior (66 cm) fue de 73,40 kg/ha. El total de CO₂ secuestrado por año fue de 5.883,80 kg/ha o 5,88 Tm/ha (Tabla 8).

En las 2.756,67 ha del bosque de pino denso del Municipio de Santa Ana se han acumulado 8.545,68 Tm/año de biomasa aérea, el crecimiento anual de la biomasa aérea fue de 3,10 Tm/ha. El IMA de carbono acumulado en el bosque ralo fue de 4.410,67 Tm en la

Tabla 7. Acumulación de la biomasa aérea total y carbono por hectárea por clase diamétrica en *Pinus oocarpa* en el bosque denso de Santa Ana

Clase diamétrica (cm)	Altura (m)	Edad (año)	Árboles (ha)	Biomasa aérea total acumulada (kg/ha)	Carbono acumulado (kg/ha)
10	9	12	33,7	1.288,8	667,6
12	10	14	28,4	1.581,0	819,0
14	11	16	30,5	2.342,8	1.213,6
16	12	18	35,8	3.644,7	1.888,0
18	12	20	24,2	3.174,2	1.644,2
20	13	22	22,1	3.642,1	1.886,6
22	14	24	23,2	4.701,0	2.435,1
24	15	26	15,8	3.884,3	2.012,0
26	15	28	7,4	2.166,1	1.122,0
28	16	30	13,7	4.749,4	2.460,2
30	17	32	14,7	5.975,6	3.095,4
32	18	34	6,3	2.964,6	1.535,7
34	18	36	7,4	3.971,2	2.057,1
36	19	38	12,6	7.759,9	4.019,6
38	20	41	7,4	5.126,0	2.655,3
40	20	43	8,4	6.595,1	3.416,2
42	21	45	5,3	4.615,5	2.390,8
44	22	47	2,1	2.057,2	1.065,6
46	23	49	1,1	1.141,0	591,0
48	23	51	3,2	3.781,5	1.958,8
50	24	53	2,1	2.774,5	1.437,2
52	25	55	3,2	4.564,2	2.364,2
54	26	57	2,1	3.326,1	1.722,9
56	26	59	3,2	5.437,2	2.816,5
58	27	61	0,0	0,0	0,0
60	28	63	1,1	2.134,7	1.105,8
62	29	65	3,2	6.923,6	3.586,4
64	29	67	1,1	2.489,3	1.289,5
66	30	69	1,1	2.679,1	1.387,8
Total			320,4	105.490,5	54.644,1

biomasa aérea, equivalente a 1,60 Tm/ha anuales. El secuestro de CO₂ fue de 16.209,22 Tm/año, equivalente a 5,88 Tm/ha anuales. En las 9.962,27 ha del bosque de pino ralo del Municipio de Santa Ana se han acumulado 9.065,76 Tm/año de biomasa aérea, el crecimiento anual de la biomasa aérea fue de 0,91 Tm/ha. El IMA de carbono acumulado en el bosque ralo fue de 4.682,27 Tm en la biomasa aérea, equivalente a 0,47 Tm/ha anuales. El secuestro de CO₂ fue de 17.334,35 Tm/año, equivalente a 1,74 Tm/ha anuales.

Discusión

Las plantas distribuyen sus recursos alimenticios en todos sus componentes logrando extender su produc-

tividad y reproducción mientras logran un equilibrio entre componentes (Harper y Ogden, 1970; Grime, 1979; Tilman, 1988).

La biomasa de un árbol se puede dividir en biomasa aérea y biomasa subterránea. Se estima que aproximadamente el 75% de la biomasa de un árbol se encuentra en la biomasa aérea (Abrahamson y Caswell, 1982; Agren y Ingestad, 1987; Gower *et al.*, 1993). El 25% restante de biomasa se halla en las raíces, las investigaciones en este componente han sido menos estudiadas debido a la dificultad de una medición confiable. Por esa razón, los estudios sobre acumulación de biomasa generalmente se hacen considerando únicamente la biomasa aérea de las especies.

Con el incremento en la cobertura forestal se aumenta la acumulación de biomasa y consecuentemen-

Tabla 8. Fijación anual de carbono y secuestro de CO₂ en la biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en el bosque denso de Santa Ana

Clase diamétrica (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Árboles (ha)	Biomasa aérea total acumulada (kg/ha)	Crecimiento anual de biomasa aérea (kg/ha)	Fijación anual de carbono (kg/ha)	Secuestro anual de CO ₂ (kg/ha)
10	9	12	33,7	1.288,8	110,9	57,5	210,8
12	10	14	28,4	1.581,0	115,5	59,8	219,6
14	11	16	30,5	2.342,8	148,8	77,1	282,8
16	12	18	35,8	3.644,7	204,6	106,0	389,0
18	12	20	24,2	3.174,2	159,7	82,7	303,6
20	13	22	22,1	3.642,1	166,0	86,0	315,6
22	14	24	23,2	4.701,0	195,8	101,4	372,3
24	15	26	15,8	3.884,3	149,0	77,2	283,3
26	15	28	7,4	2.166,1	77,0	39,9	146,4
28	16	30	13,7	4.749,4	157,3	81,5	299,0
30	17	32	14,7	5.975,6	185,2	96,0	352,1
32	18	34	6,3	2.964,6	86,4	44,7	164,2
34	18	36	7,4	3.971,2	109,1	56,5	207,5
36	19	38	12,6	7.759,9	201,8	104,5	383,6
38	20	41	7,4	5.126,0	126,5	65,5	240,5
40	20	43	8,4	6.595,1	154,9	80,2	294,4
42	21	45	5,3	4.615,5	103,4	53,6	196,5
44	22	47	2,1	2.057,2	44,0	22,8	83,7
46	23	49	1,1	1.141,0	23,4	12,1	44,5
48	23	51	3,2	3.781,5	74,4	38,5	141,4
50	24	53	2,1	2.774,5	52,4	27,2	99,7
52	25	55	3,2	4.564,2	83,0	43,0	157,9
54	26	57	2,1	3.326,1	58,3	30,2	110,9
56	26	59	3,2	5.437,2	92,0	47,7	174,9
58	27	61	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
60	28	63	1,1	2.134,7	33,8	17,5	64,2
62	29	65	3,2	6.923,6	106,1	54,9	201,6
64	29	67	1,1	2.489,3	37,0	19,1	70,3
66	30	69	1,1	2.679,1	38,6	20,0	73,4
Total			320,0	105.490,5	3.095,0	1.603,2	5.883,8

te la acumulación de carbono. Por lo tanto, el potencial para fijar carbono a través del manejo forestal es significativo. Los países en desarrollo, como Honduras, tienen un gran potencial de ayudar a estabilizar los niveles atmosféricos de CO₂ incrementando su cobertura forestal bajo manejo y reforestando áreas forestales.

Este diagnóstico demostró que la acumulación de carbono en *Pinus oocarpa* de los Municipios de Cabañas Opatoro y Santa Ana fue de 913.925,50 Tm. El bosque en promedio tenía una edad de 31,5 años por lo que el secuestro anual de CO₂ fue de 105.989,86 Tm.

Con esta información se recomienda elaborar un plan de gestión ambiental para la venta de servicios ambientales a través de la oficina de cambio climático de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), en coordinación con el Consejo Consulti-

vo Agroforestal (CONCA) y demás autoridades del PB-NDL-03 y las autoridades municipales de Cabañas, Santa Ana y Opatoro. La información técnica debe ser la base para iniciar el proceso del pago por servicio ambiental que asegure la conservación de esta área.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. Bruce Wiersma y al laboratorio analítico de Agricultura y Estación Experimental Forestal (MAFES) de la Universidad de Maine, Estados Unidos, por realizar los análisis químicos. Se reconoce al Programa Binacional de Desarrollo Forestal Honduras-El Salvador, y a la Escuela Nacional de Ciencias Forestales por su apoyo económico para la ejecución de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- ABRAHAMSON W., CASWELL H., 1982. On the comparative allocation of biomass, energy, and nutrients in plants. *Ecology* 63, 982-991.
- AGREN G., INGESTADT T., 1987. Root/shoot ratios as a balance between nitrogen productivity and photosynthesis. *Plant Cell Environ* 10, 579-586.
- ALBERTO D., ELVIR J.A., 2005. Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales de Cabañas, La Paz. *Tatascan* 17(2), 1-12.
- CROWLEY T., 2000. Causes of climate change over the past 1000 years. *Science* 289, 270-277.
- DIXON R., BROWN S., HOUGHTON R., SOLOMON M., TREXLER C., WISNIEWSKI J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263, 185-190.
- FRAGOSO P., 2003. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio «Cerro Grande» municipio de Tancítaro Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 66 pp.
- HARPER J., OGDEN J., 1970. The reproductive strategy of higherplants: 1. The concept of strategy with special reference to *Senecio vulgaris*. *J Ecol* 58, 681-698.
- GOWER S., REICH B., SON Y., 1993. Canopy dynamics and aboveground production for five tree species with different leaf longevities. *Tree Physiol* 12(4), 327-45.
- GRIME J., 1979. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. John Wiley & Sons, New York. 222 pp.
- MELILLO J., MCGUIRE D., KICKLIGHTER W., MOORE III, B. VOROSMARTY, C., SCHLOSS L., 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature* 363, 234-240.
- MONTERO M., KANINNEN M., 2002. Biomasa y carbono en plantaciones de *Terminalia Amazonia* en la zona sur de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 39-40, 50-55.
- PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2001. Cambio Climático 2001: Mitigación. Resumen del Grupo de Trabajo III del IPCC. [En línea]. Disponible en www.greenfacts.org/es/cambioclimatico/images/ipcc_wg1/figspm_2s.htm (Consulta: 14 abril 2005).
- PETIT J., JOUZEL J., RAYNAUD D., BARKOV N., BARNOLA I., BASILE M., BENDERS J., CHAPPELLAZ D., DELAYGUE G., DELMOTTE M., KOTHYAKOV M., LEGRAND M., LIPENKOW V., LORIOUS C., PEPIN L., RITZ C., SALTZMAN E., STIEVENARD M., 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, 429-436.
- RAMOS S., 2000. Determinación de la cantidad y composición química de la biomasa aérea y subterránea del *Pinus oocarpa*. Tesis Ing. Escuela Nacional de Ciencias Forestales-ESNACIFOR, Siguatepeque, Honduras. 57 pp.
- SECRETARÍA DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE, 2004. Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH). Balance Hídrico de Honduras. 506 pp.
- SIMMONS C., 1969. Informe al Gobierno de Honduras sobre los suelos de Honduras. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Roma. 88 pp.
- TILMAN D., 1988. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. *Monographs in Population Biology* 26. Princeton University Press, Princeton, NJ. 360 pp.
- UNEP, 2002. *Global environment Outlook 3*. Published for the United Nations Environment Programme by Earthscan Publications Ltd, London, UK. 33 pp.
- ZAMORA J., 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del Ejido «La Majada» Municipio de Peribán de Ramos, Michoacán, México. 59 pp.