



Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México

RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA*, JAVIER JIMÉNEZ PÉREZ**, ÓSCAR A. AGUIRRE CALDERÓN**,
EDUARDO J. TREVIÑO GARZA**

Una de las manifestaciones del cambio climático es el calentamiento global, producido por el incremento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como de efecto invernadero, entre los que destacan: el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el ozono (O_3), el bióxido de azufre (SO_2) y los clorofluorocarbonos (CFC). Se estima que el CO_2 es el responsable del 71.5% del efecto invernadero.^{1,6} Los otros gases con concentraciones menores producen el mismo efecto. El uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo son considerados, a nivel mundial, como las dos principales fuentes netas de CO_2 en la atmósfera, relacionadas con el cambio climático global.⁷

Los bosques son los almacenes más importantes del mundo, y son responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración.⁸ Aproximadamente el 90% de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica.^{9,10}

El CO_2 atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la foto-

síntesis. Este CO_2 participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). Al crecer, éste incrementa su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento (que en conjunto conforman la copa) así como su altura y el grosor de su tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, lo que da lugar a que las copas de los árboles compitan por esta energía y, a su vez, los troncos, al ir aumentando su diámetro y altura, alcancen un tamaño aprovechable en términos comerciales, pudiéndose extraer productos elaborados como muebles y tablas para casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan aportando CO_2 al suelo y a la atmósfera. Durante el tiempo en que el CO_2 se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol (y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera), se considera almacenado.¹¹

En la última década México ha mantenido una política de desarrollo nacional que consiste en una

*Alumno del doctorado en ciencias en manejo de recursos naturales en la Facultad de Ciencias Forestales-UANL. rodris71@yahoo.com

**Profesor-investigador, Facultad de Ciencias Forestales-UANL.

decidida acción para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero; ha promovido diversas medidas para contribuir no sólo a mejorar la eficiencia de su economía, sino también a impulsar un desarrollo sustentable.¹² Así, en México, uno de los países con mayor biodiversidad, para proteger esta riqueza se incrementó la superficie del territorio nacional ocupada por áreas naturales protegidas (ANP) y por unidades de manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre (UMA). La superficie que constituye las ANP's pasó de 13.4 millones de hectáreas en 1994, a 17 millones de hectáreas para 2000. Por su parte, la superficie ocupada por las UMA's pasó de 2.0 a 14.1 millones de hectáreas durante el período 1995-2000.¹²

En el estado de Tamaulipas se encuentran diez de los once sistemas ecológicos principales, y 25 de los 39 tipos de vegetación reconocidos para el país.¹³ Entre los principales tipos de vegetación en el estado se tienen: bosque tropical perennifolio, bosque tropical caducifolio, bosque espinoso, matorral xerófilo, pastizal, bosque de encinos, bosque de coníferas, bosque mesófilo de montaña -también conocido como bosque de niebla- (figura 1), vegetación acuática y subacuática, vegetación alpina y subalpina, palmar y vegetación halófila.¹⁴

El bosque mesófilo de montaña cubre menos del 1% del territorio nacional.¹⁵ Esta clase de formación vegetal se encuentra en una zona montañosa, lo que hace un difícil acceso a la misma. Asimismo, el relieve montañoso y la coincidencia de varios climas y tipos de vegetación en una extensión relativamente pequeña, así como la historia geológica y localización geográfica de la región, han producido un buen número de endemismos, tanto de plantas vasculares y briofitas como de vertebrados e invertebrados. Se forma un bosque mixto con cuatro substratos arbóreos, denso, abundante en lianas, epífitas y plantas no vasculares que prosperan gracias a la alta humedad relativa que prevalece todo el año.¹⁶

Se han planteado distintas opciones para la mitigación del cambio climático, como innovaciones tecnológicas en los procesos productivos, el uso de energías alternativas al combustible fósil, la posibilidad de enterrar el bióxido de carbono en las profundidades del océano o en cavernas, etc. No

obstante, hoy se consideran también los proyectos forestales por la razón fundamental, mediante la cual la energía solar activa el proceso de fotosíntesis y las plantas capturan el CO₂ de la atmósfera y lo fijan en sus células como carbono, liberando oxígeno. Como resultado de este proceso, las plantas se desarrollan y crecen; es así como aproximadamente el 50% de la biomasa es carbono.^{17,18}



Fig. 1. Vegetación característica del bosque de niebla en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas.

Por ello, se planteó el objetivo de generar un modelo alométrico para estimar la biomasa aérea individual a partir de la variable DAP (1.3 m) en las especies dominantes del bosque de niebla, y posteriormente hacer la estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea del bosque de niebla en Tamaulipas.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en la reserva de la biosfera El Cielo, ésta se localiza al sur de Tamaulipas y comprende ambas vertientes en una porción de la Sierra Madre Oriental, en lo que se conoce como Sierra de Cucharas o de Guatemala; tiene una superficie de 144,530 hectáreas y comprende los municipios de Gómez Farías, Jaumave, Llera y Ocampo (figura 2). Está limitado por los paralelos 22° 55' 30" y 23° 25' 50" Norte y los meridianos 99° 05' 50" y 99° 26' 30" Oeste.¹⁹

El bosque de niebla forma una franja orientada de Sur a Norte, más ancha hacia la porción Sur, cerca de la población Alta Cima; alcanza su límite Norte en la región de Monte Carlo, donde se pre-



Fig. 2. Ubicación de la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México.

senta únicamente en el interior de cañadas, las cuales lo protegen de la insolación. Sus límites altitudinales se localizan entre 800 a 1500 msnm, y abarca un área de 10,000 hectáreas.^{16,20} Varios autores²¹⁻²⁴ han descrito la vegetación de la región como una mezcla de especies de afinidad tropical y templada, donde las especies de afinidad templada que dominan el dosel superior son *Liquidambar styraciflua* L, los encinos *Quercus sartorii* Liebm. y *Q. germana* Cham. et Schlecht., *Clethra pringlei* S. Wats., *Magnolia schiedeana* Schlecht., *Podocarpus reichei* Buch et Gray, y *Acer skutchii* Rehder.

Selección de los sitios en campo

El muestreo se realizó en los meses de octubre y noviembre de 2003, cuando la mayoría de la vegetación contaba con todo su follaje. En campo se utilizó el diseño de muestreo al azar, tomando en cuenta las siguientes características: a) sitio conservado, que no tuviera vegetación indicadora de perturbación; b) diversidad, con más de tres especies presentes; c) diferenciación diamétrica, con individuos de diferente diámetro, de preferencia uno adulto de diámetro grande y varios individuos de diferente diámetro cerca de él; d) especies características del tipo de vegetación, el sitio debe ser representativo del tipo de vegetación y de preferencia que no tenga pendiente pronunciada.²⁵

En campo se eligieron siete sitios de 1000 m² cada uno (20x50 m) tomando las siguientes mediciones en la vegetación para cada sitio: numeración

ascendente de los individuos, identificación por especie de los individuos, medición del diámetro a 1.3 m (DAP), medición de alturas de los individuos.²⁵

El sitio de muestreo se dividió en cuatro cuadrantes (10x25 m), midiendo en el cuadrante I todos los individuos presentes, los individuos menores de 5 cm de diámetro se consideran como regeneración.²⁵ En el resto de los cuadrantes se mide únicamente los individuos mayores a 5 cm de diámetro.

Funciones volumétrica y de biomasa

Con los datos obtenidos en campo se realizó la determinación volumétrica y de biomasa de las diversas especies encontradas, utilizando modelos matemáticos descritos anteriormente^{26,27} para especies de latifoliadas y para especies de coníferas que presentan la mejor estimación. Se procedió a separar los individuos de acuerdo a sus dimensiones por especie, obteniendo una mejor ubicación del volumen dentro del bosque de niebla. Los modelos matemáticos que presentaron mejor ajuste en los criterios de bondad (R² y valor de F) son:

a) Para determinación volumétrica en especies de latifoliadas

$$v = a_0 * (d)^{a1}$$

b) Para determinación volumétrica en especies de coníferas

$$v = b_0 + b_1 * d^2 + b_2 * h + b_3 * d^2 * h$$

En la mayoría de las especies presentes en el bosque de niebla no se encontraron valores de densidad de la madera; con el propósito de ser conservador en el valor de la densidad específica de la madera, se decidió utilizar un valor de densidad bajo^{28,29} (0.46 g/cm³) logrando que el volumen en metros cúbicos se transformara a valor de biomasa en kilogramos.

Después de obtener los valores de biomasa en todas las especies, se procedió a determinar los valores de carbono a nivel especie, conforme a su estatus de latifoliada o conífera, en las especies

arbóreas de latifoliadas se utilizó una constante de 0.531 y en las coníferas de 0.521 como factor de conversión de carbono.¹⁷

Resultados y discusión

Categorías diamétricas

Con la información colectada en campo se inició el proceso matemático de la misma, mostrando los individuos por categoría diamétrica, una tendencia a la heterogeneidad (figura 3). Tal definición en las categorías diamétricas los ubica dentro de los bosques de selección, donde la mayoría de los árboles se presentan en las primeras categorías y sólo algunos individuos ocurren de manera aislada en las categorías diamétricas mayores. Estas condiciones ubican al ecosistema (bosque de niebla) en una fase de alto dinamismo. Lo anterior coincide con la información proporcionada por otros autores³⁰ los cuales mencionan que hace más de veinte años hubo un aprovechamiento forestal dentro del bosque de niebla. Sin embargo, este ecosistema tiende a recuperarse al mostrar una alta diversidad que se debe principalmente a la combinación de la elevada humedad y las bajas temperaturas que prevalecen en la mayor parte del año.

Las especies arbóreas con mayor frecuencia en el bosque de niebla son *Podocarpus reichei*, con 147 individuos por hectárea; *Carpinus caroliniana*, *Liquidambar styraciflua* y *Quercus xalapensis* con 107 ind/

ha cada una; y las especies con menor frecuencia son: *Acer skutchii*, *Ceiba pentandra*, *Illicium floridanum*, *Magnolia tamaulipana*, *Melia azedarach* y *Senna guatemalensis*, con 1.4 individuos por hectárea. Es posible que algunas especies pudieran no estar presentes en los sitios de muestreo, o no se pudieron identificar, de acuerdo con la lista de especies que se reporta²⁰ para el bosque de niebla en la reserva de la biosfera El Cielo. En este ecosistema, las especies con alto potencial de crecimiento y desarrollo son *Carpinus caroliniana*, *Ternstroemia sylvatica* y *Ficus spp.*, debido al mayor número de individuos por hectárea en la categoría diamétrica de 5 cm con 64, 63 y 59, respectivamente. Sin embargo, se encontraron árboles superiores a los 40 cm de diámetro normal en las especies *Liquidambar styraciflua*, *Quercus xalapensis* y *Pinus montezumae*, con quince, ocho y siete árboles por hectárea, respectivamente, lo que representa una mayor cantidad de carbono fijado en los fustes, ramas, hojas y raíces; en cambio, los árboles con una tasa de mayor crecimiento se encuentran en el proceso de mayor fijación de carbono en sus componentes.³¹

El resultado del modelo no lineal probado para estimar volumen en árboles individuales de latifoliadas (Berkhout) resultó ser el mejor en razón a los criterios de bondad de ajuste (R^2 y valor de F); por ejemplo, se muestra la curva de ajuste para *Carpinus caroliniana* con un coeficiente de determinación de 0.99 (figura 4), este valor significa

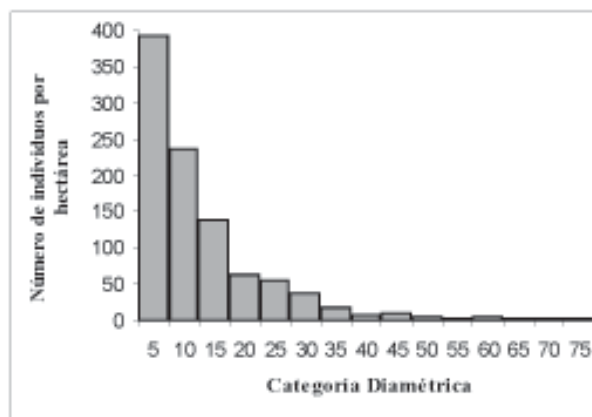


Fig. 3. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el bosque de niebla en Tamaulipas.

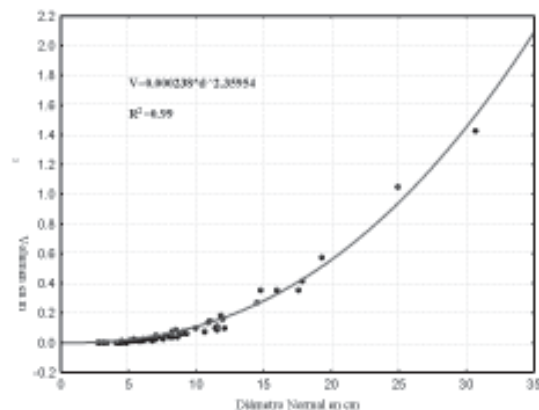


Fig. 4. Determinación de volumen para *Carpinus caroliniana* en un bosque de niebla en Tamaulipas.

la confiabilidad con la que un modelo puede general resultados adecuados y, además, este valor será más confiable a medida que se acerque a 1. En este trabajo se aplicó el modelo no lineal para cada una de las especies presentes en el bosque de niebla, obteniendo los coeficientes de determinación por arriba de $R^2=0.95$, excepto en *Podocarpus reichei* que tiene una $R^2=0.93$ (tabla I).

Dentro del bosque de niebla se encontraron especies que no pudieron ser identificadas en campo, pero se agruparon como una sola especie dentro de las latifoliadas. Los resultados del modelo no lineal muestran que la especie de *Liquidambar styraciflua* aportó el mayor volumen con $62 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, mientras que las cuatro especies del género *Quercus* aportaron $54 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, lo que suma más del 49.8% del volumen total entre estos dos géneros. En los estados de Hidalgo³² y Veracruz³³ los bosques de niebla poseen menos de $195 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en los fustes del estrato arbóreo; volumen inferior al encontrado en este estudio. Sin embargo, en los bosques de niebla, en México, por las condiciones fisiográficas y climáticas que prevalecen todo el año, no están bajo manejo, sustentando la vegetación por más tiempo, excepto cuando se presente un disturbio natural (incendio forestal, caída de árboles por viento, huracanes, etc.).³⁴ Adicionalmente, este tipo de ecosistema presta servicios ambientales de excepcional magnitud, al ubicarse en laderas montañosas expuestas a las precipitaciones altas proveen un aporte de agua muy importante a la hidrología local y regional.

Tabla I. Coeficiente de determinación (R^2) y valor de F para estimar volumen en algunas especies del bosque de niebla.

Especie	N	R^2	F
<i>Carpinus caroliniana</i>	75	0.99	2426.6
<i>Carya ovata</i>	20	0.98	401.2
<i>Clethra pringleii</i>	12	0.97	139.6
<i>Liquidambar styraciflua</i>	74	0.96	836.2
<i>Nectandra sanguinea</i>	20	0.95	175.3
<i>Podocarpus reichei</i>	103	0.93	700.5
<i>Quercus sartorio</i>	11	0.96	87.7
<i>Quercus xalapensis</i>	77	0.98	1740.0
Otras sp.	143	0.95	1416.6

Después de la determinación del volumen se procedió a calcular la biomasa correspondiente para cada especie, se aplicó el modelo no lineal, obteniendo un coeficiente de determinación por especie, superior al 0.95, excepto para *Ficus spp* y *Podocarpus reichei*, con 0.92 y 0.93; respectivamente. El modelo estimó más de 28.5 toneladas por hectárea de biomasa en los árboles de *Liquidambar styraciflua*, seguidos de *Pinus montezumae* y *Quercus xalapensis* con más de 18.4 toneladas por hectárea de biomasa. Además, se encontró que la vegetación del bosque de niebla contiene un gran número de árboles en las categorías diamétricas de 5 y 10 cm, como el *Podocarpus reichei*, *Carpinus caroliniana* y *Temstroemia sylvatica* (tabla II), la biomasa de estas tres especies suma casi 13.5 toneladas por hectárea. Otros bosques maduros contienen mayor cantidad de biomasa aérea por hectárea, como el caso del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Distrito Federal.³¹ Sin embargo, es importante resaltar que en los fustes del arbolado del bosque de niebla en Tamaulipas se almacenan más de 1 071 490.1 toneladas de biomasa.

El modelo matemático no lineal (Berkhout) aplicado a las especies del bosque de niebla arrojó los parámetros de la ordenada al origen y la pendiente de la línea de regresión, diferentes estadísticamente ($p<0.01$) para la estimación de biomasa por especie, encontrándose una diferencia entre los extremos de la ordenada al origen de 0.304413 y en la pendiente de la línea de regresión de 1.32925. Desde un punto de vista estadístico el modelo desarrollado en este trabajo sólo es aplicable estrictamente a las especies consideradas, no incluyendo la biomasa de los otros componentes aéreos (ramas, follaje etc.). Una ventaja de este tipo de ecuaciones alométricas es que teniendo el diámetro normal de los árboles, se puede sustituir en el modelo de la forma $B = a_0 * (d)^{a_1}$ para estimar la biomasa de manera confiable y rápida (tabla III); donde B es la biomasa en kg, d es el diámetro en cm y a_0 , a_1 son los parámetros estimados por el modelo.³⁵

El mismo método para estimar biomasa fue utilizado³⁶ con el volumen de la madera en diferentes tipos de bosque en EE.UU., incluyendo poblaciones naturales y reforestaciones. Brown³⁷ se basó en el volumen del fuste para estimar la

Tabla II. Número de individuos, volumen y biomasa por hectárea en algunas categorías diamétricas por especie dentro del bosque de niebla en Tamaulipas.

Especie		Categoría diamétrica					
		5	10	15	20	25	30
<i>Carpinus caroliniana</i>	Ind ^a	64.3	31.4	4.3	4.3	1.4	1.4
	Vol ^b	0.7	1.7	0.6	1.2	0.7	1.0
	Bio ^c	0.3	0.8	0.3	0.6	0.3	0.5
<i>Nectandra sanguinea</i>	Ind ^a	7.1	7.1	5.7	2.9	2.9	-
	Vol ^b	0.1	0.4	0.8	0.8	1.4	-
	Bio ^c	0.1	0.2	0.4	0.4	0.6	-
<i>Podocarpus reichei</i>	Ind ^a	38.6	45.7	35.7	14.3	8.6	4.3
	Vol ^b	0.4	2.5	5.1	4.0	4.1	3.1
	Bio ^c	0.2	1.2	2.3	1.8	1.9	1.4
<i>Quercus rysophylla</i>	Ind ^a	11.4	1.4	2.9	1.4	-	1.4
	Vol ^b	0.1	0.1	0.4	0.4	-	1.0
	Bio ^c	0.1	0.1	0.2	0.2	-	0.5
<i>Clethra pringleii</i>	Ind ^a	2.9	7.1	4.3	2.9	-	-
	Vol ^b	0.0	0.4	0.6	0.8	-	-
	Bio ^c	0.0	0.2	0.3	0.4	-	-
<i>Ternstroemia sylvatica</i>	Ind ^a	62.7	27.1	7.1	-	-	1.4
	Vol ^b	0.7	1.5	1.0	-	-	1.0
	Bio ^c	0.3	0.7	0.5	-	-	0.5

^aIndividuos por hectárea; ^bVolumen en metros cúbicos por hectárea; ^cBiomasa en toneladas por hectárea

Nota: se muestran resultados de seis de las 21 especies.

biomasa en bosques tropicales, ambas metodologías no incluyeron la biomasa de otros componentes aéreos; además, utilizaron un factor asociado a la densidad de la madera para convertir el volumen en biomasa.

En el bosque mesófilo de montaña de la sierra norte de Oaxaca³⁵ se generaron ecuaciones alométricas considerando todos los componentes aéreos de las especies para estimar biomasa; estas ecuaciones difieren en el parámetro estimado de la

Tabla III. Parámetros de la ordenada al origen (a_0) y la pendiente de la línea de regresión (A_1) para estimar biomasa en algunas especies del bosque de niebla en Tamaulipas.

Especie	Parámetros	
	a_0	A_1
<i>Carpinus caroliniana</i>	0.109343	2.35954
<i>Carya ovata</i>	0.061554	2.53157
<i>Clethra pringleii</i>	0.067833	2.50972
<i>Ficus spp</i>	0.027059	2.86357
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0.180272	2.27177
<i>Nectandra sanguinea</i>	0.004038	3.35693
<i>Podocarpus reichei</i>	0.132107	2.2217
<i>Quercus rysophylla</i>	0.266424	2.02768
<i>Quercus sartorii</i>	0.221123	2.20188
<i>Quercus xalapensis</i>	0.308451	2.1323
<i>Ternstroemia Sylvatica</i>	0.035689	2.70679
Otras spp.	0.060778	2.56487

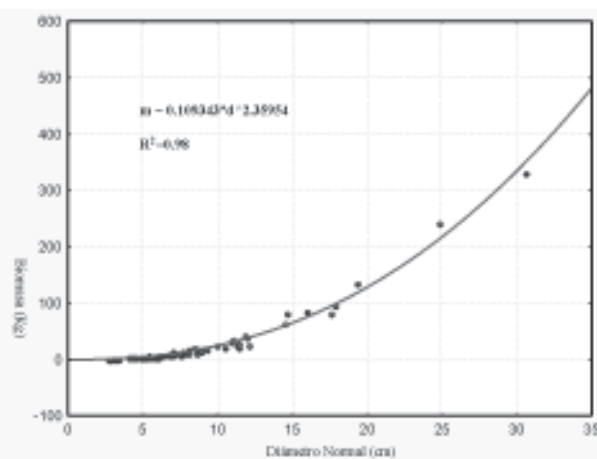


Fig. 4. Determinación de biomasa en *Carpinus caroliniana* en el bosque de niebla en Tamaulipas.

ordenada al origen, en cambio, los valores de la pendiente de la línea de regresión son casi similares, comparadas con las obtenidas en este trabajo. Sin embargo, en otro estudio³⁸ con cinco especies tropicales utilizaron la misma ecuación de regresión obteniendo una R^2 mayor del 0.97.

Inventario de carbono

Una vez determinados los valores de biomasa por categoría diamétrica en todas las especies, se procedió a determinar los valores de carbono a nivel especie (tabla IV), conforme a su estatus de latifoliada o conífera.

La cantidad de carbono presente en el componente aéreo en el bosque de niebla está dado por árboles, arbustos, hierbas y hojarasca, en este caso se estimó sólo el carbono almacenado en los fustes de los árboles, obteniendo $56.7 \text{ Mg C ha}^{-1}$. En otro estudio se reportan, para el componente arbóreo, valores de $93.2 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para la región Mazateca y $30.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para la región Cuicateca, las dos dentro del bosque mesófilo de montaña en la sierra norte de Oaxaca.³⁵ Sin embargo, es substancial el aporte que hace el bosque de niebla en Tamaulipas al mantener secuestrado en los fustes de los árboles 567 116.6 Mg C . Adicionalmente las condiciones geográficas donde se encuentra el bosque de niebla, su orografía y cercanía con el Golfo de México, conforman una barrera natural para los

Tabla IV. Valores de carbono total por especie encontrado en el bosque de niebla dentro de la reserva de la biosfera "El Cielo".

Especie	Biomasa Total (Mg) ^a	Carbono hect/Área (kg)	Carbono Total (Mg) ^a
<i>Acer skutchii</i>	44654.8	2371.2	23711.7
<i>Carpinus caroliniana</i>	27209.2	1444.8	14448.1
<i>Carya ovata</i>	10354.1	549.8	5498.0
<i>Ceiba pentandra</i>	931.7	49.5	494.7
<i>Cercis canadensis</i>	11591.5	615.5	6155.1
<i>Clethra pringleii</i>	8397.8	445.9	4459.2
<i>Ficus spp.</i>	3575.2	189.8	1898.4
<i>Illicium floridanum</i>	427.7	22.7	227.1
<i>L. styraciflua</i>	285308.9	15149.9	151499.0
<i>M. tamaulipana</i>	1836.8	97.5	975.4
<i>Melia azedarach</i>	357.9	19.0	190.1
<i>Nectandra sanguinea</i>	22637.3	1202.0	12020.4
Otras sp	113817.5	6043.7	60437.1
<i>Pinus montezumae</i>	184464.9	9610.6	96106.2
<i>Podocarpus reichei</i>	88000.0	4672.8	46728.0
<i>Quercus germana</i>	19551.8	1038.2	10382.0
<i>Quercus rysophylla</i>	9397.5	499.0	4990.1
<i>Quercus sartorio</i>	31864.0	1692.0	16919.8
<i>Quercus xalapensis</i>	187732.8	9968.6	99686.1
<i>Senna guatemalensis</i>	69.7	3.7	37.0
<i>T. sylvatica</i>	19308.9	1025.3	10253.0
Total	1071490	56711.7	567116.6

^a Un megagramo equivale a una tonelada.

vientos húmedos del Este y Suroeste; de esta manera se descargan aquí grandes cantidades de humedad en forma de lluvia o de niebla, con temperaturas bajas, permitiendo que los árboles, ramas, hojas, etc., caídos al suelo permanezcan sin descomponerse conservando el carbono secuestrado por muchos años.²⁰

Conclusiones

El modelo alométrico propuesto para estimar biomasa en los fustes del bosque de niebla en Tamaulipas se ajustó con valores altos del coeficiente de determinación ($R^2 > 0.95$), este valor indica la confianza con la que podemos estimar biomasa para cada especie arbórea dentro del bosque de niebla, utilizando sólo la variable diámetro normal (DAP). Además se estimó, para el bosque de niebla, la cantidad de 567,116.6 Mg C orgánico almacenado sólo en los fustes de los árboles; este ecosistema se convierte, adicionalmente, en un almacenamiento de carbono durable al incrementar la masa maderable por medio del crecimiento de los árboles hasta llegar a su madurez.

Resumen

Con la finalidad de conocer la cantidad de carbono almacenado en el bosque de niebla, se levantaron sitios de muestreo al azar (1000 m²), en lugares que no hubiera plantas indicadoras de perturbación y que presentaran diversidad de especies arbóreas con diferentes categorías diamétricas. Para determinar la biomasa se aplicó un modelo de la forma $b = a_0 * (Dn)^{a_1}$, donde b es el peso seco de la biomasa (kg), Dn es el diámetro normal (1.3 m) en centímetros y a_0 , a_1 son los parámetros a estimar. Dicho modelo tuvo el mejor ajuste en las especies arbóreas del bosque de niebla ($R^2 = 0.95$). Posteriormente se estimó el carbono almacenado en los fustes de los árboles obteniendo una cantidad de 567,116.6 Mg C presente en el bosque de niebla dentro de la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas.

Palabras clave: CO₂, Bosque de niebla, Cambio climático, Reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas.

Abstract

With the purpose of knowing the quantity of the stored carbon in the cloud forest, random sampling sites were used (1000 m²) in places with no presence of disturbance plants indicators and with arboreal species with diversity of diametrical categories. In order to determine the biomass the model fitted $b = a_0 * (Dn)^{a_1}$ where b is the biomass (kg) dry weight, Dn is the normal diameter (1.3 m) in centimeters and a_0 , a_1 are the parameters to consider. This model had the best adjustment in arboreal species of the cloud forest ($R^2 = 0.95$). Later, the estimated stored carbon in the aerial part of the trees was 567,116.6 Mg C, found in the cloud forest of the biosphere reserve of El Cielo, Tamaulipas.

Keywords: CO₂, Cloud forest, Climatic change, Biosphere reserve El Cielo, Tamaulipas

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero del Fon-

do de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica Conacyt-Gobierno del Estado de Tamaulipas. Proyecto "Capacidad de captura de carbono en ecosistemas mixtos en el estado de Tamaulipas" (TAMPS-2002-CO1-3336) y al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (Paicyt-UANL).

Referencias

- Houghton R. A. and C. M. Woodwell. 1989. Global climate change. *Scientific American*. 260(4): 36-40.
- Schneider S. H. 1989. The greenhouse effect: Science and Policy. *Science*. 243(10): 271-281.
- Goudie A. 1990. The human impact on the natural environment. Basil Blackwell Ltd. 3ra ed. Oxford. U.K. 388 p.
- Lashof D. A. and D. R. Ahuja. 1990. Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. *Nature*. 344(5): 529-531.
- Dixon R. K., S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler and J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*. 263(5144): 185-190.
- Masera O. 1995. Carbon mitigation scenarios for Mexican forest: Methodological considerations and results. *Interciencia*. 20(6): 388-395.
- Mintzer I. M. 1992. Confronting climate change. Risk implications and responses. University Press, Cambridge.
- Tipper R. 1998. Update on carbon offsets. *Tropical Forest Update*. 8(1): 2-5.
- Leith H. and R. Whithacker. 1975. Primary productivity of the biosphere. *Ecological Studies*. No. 14. New York.
- Raev, I.; U. Asan y O. Grozev. 1996. Acumulación de CO₂ en la parte aérea de la biomasa de los bosques de Turquía y Bulgaria en las últimas décadas. XII Congreso Mundial Forestal, Natalia, Turquía. Pp. 123-130.
- Ordóñez A. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. *Desarrollo Gráfico Editorial*. México. D. F. 72 p.
- SEMARNAT, 2001. México II Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE). México D. F. 374 p.
- Flores O. y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México. Vertebrados y vegetación y uso de suelo. CONABIO y UNAM. México.
- Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2003. Diagnostico Ecológico del Estado de Tamaulipas. SEDUE. En www.tamaulipas.gob.mx/sedue/des_sustentable/recur_naturales/diagnostico/informaciongeneral.htm
- Flores M. G.; J. L. Jiménez; X. S. Madrigal; F. R. Moncayo y F. Takaki. 1971. Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México. D. F.
- Puig H. y R. Bracho. 1987. El bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas. Instituto de Ecología. México, D. F. 186 p.
- Koch P. 1989. Estimates by Species Group and Region in the USA of: I Below-Ground Root Weight as a Percentage of Oven dry Complete-Tree Weight; and II Carbon Content of Tree Portions. Unpublished Consulting Report. 23 p.
- Husch Bertram. 2001. Estimación del contenido de carbono de los bosques In: Simposio Internacional, Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Octubre, 2001. Valdivia, Chile.
- Suzán H. y C. Fragoso. 1989. Investigación y conservación en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *BIOTAM*, Vol. 1 N° 3. pp. 48-53.
- Arriaga L. 2005. Disturbio y regeneración naturales del bosque mesófilo In: Historia natural de la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Sánchez-Ramos G., P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (eds.). Universidad Autónoma de Tamaulipas. Pp. 130-146.
- Hernández E., C. Howard, W. B. Fox y A. J. Sharp. 1951. A unique vegetational area in Tamaulipas. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 78: 458-463.

22. Sharp J. A. 1953. Notes on the flora of México world distribution of the woody dicotyledonous families and the origin of the modern vegetation. *Journal of Ecology*. 41: 374-380.
23. Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México D. F.
24. Lonard R. I. and R. G. Ross. 1979. A vegetational analysis of a tropical cloud forest in Tamaulipas, México. *Texas Journal of Science*. 41: 143-150.
25. Schlegel B., J. Gayoso y J. Guerra. 2000. Manual de procedimientos para muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. 24 p.
26. Maser O. 2001. Carbon sequestration dynamics in forestry projects: The CO₂FIX V.2 Model approach. In: *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile. 13 p.
27. Torres, J. y Guevara, A. 2002: El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta ecológica*. 40-58 pp.
28. Carmona C. R. J., F. Espinoza y S. C. Bull. 1997-1998. Influencia de la densidad de la madera en la encolabilidad de *Pinus radiata* D. DON. *Revista Ciencias Forestales*. Universidad de Chile. Chile. Vol. 12-13 No.1-2.
29. Jovanovski A., H. Poblete, M. Torres y A. Fernández, 1998. Caracterización preliminar tecnológica de *Pinus ponderosa* (Dougl) creciendo en Chile. *Bosque* 19(2):71-76.
30. Corral R. J.; O. A. Aguirre C.; J. Jiménez P. y J. J. Nívar Ch. 2001. Muestreo de diversidad y observaciones ecológicas del estado arbóreo del bosque mesófilo de montaña "El Cielo", Tamaulipas.
31. Valenzuela Hermosillo, T. 2001. Estimación de secuestro de carbono en bosques naturales de Oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Distrito Federal. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. De México. 127 p.
32. Razo Z. R. 2006. Comunicación personal. Prestador de Servicios Técnicos en la zona de Zacualtipan, Hidalgo.
33. Reynoso P. A. 2006. Comunicación personal. Prestador de Servicios Técnicos en la zona de Huayacocotla, Ver.
34. Sánchez-Ramos G., P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (eds.) 2005. *Historia natural de la reserva de la biosfera "El Cielo", Tamaulipas, México*. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Impreso en Hong Kong. 732 p.
35. Acosta M. M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 99 p.
36. Hoover C. M., R. A. Birdsey, L. S. Heath and S. L. Stout. 2000. How to estimate carbon sequestration on small forest tracts. *J. Forestry*. 98 (9): 13-19.
37. Brown S. and A. E. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223(4642):1290-1293.
38. Geron C. D. and G. A. Ruark 1988. Comparison of constant and variable allometric ratios for predicting foliar biomass of various tree genera. *Canadian Journal of Forest Research* 18(10):1298-1304.

Recepción: 11 de octubre de 2005

Aceptación: 2 de marzo de 2006



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN Secretaría de Extensión y Cultura

NOVEDADES EDITORIALES



(81) 83 29 41 11

SUSCRIPCIÓN

1 año (4 números)

- Monterrey	\$240.00
- México	\$260.00
- EUA y Canadá	\$400.00
- Resto del mundo	\$580.00

* Pesos mexicanos

CIENCIAUANL

SUSCRIPCIÓN

1. Depositar el costo de la suscripción anual correspondiente en el banco:
BANORTE sucursal Gran Plaza, a nombre de la Universidad Autónoma de Nuevo León en la cuenta 051 35 847-3.

2. Enviar junto a esta forma de suscripción una fotocopia de la ficha de depósito a:

Revista CIENCIA UANL
Biblioteca Magna Universitaria
«Raúl Rangel Frías», 5o. Piso.
Av. Alfonso Reyes 4000 Nte.
C.P. 64440, Monterrey, N.L., México
Tel. (5281) 83294236
O por fax al (5281) 83294090 ext. 6623

ORDEN DE SUSCRIPCIÓN

NOMBRE: _____

DIRECCIÓN: _____

CIUDAD: _____ ESTADO: _____

CÓDIGO POSTAL: _____ PAÍS: _____

TELÉFONO: _____ FAX: _____

E-mail: _____ FIRMA: _____