
Contenido de carbono en la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de suelo, en el matorral espinoso tamaulipeco

J.I. Yerena-Yamallel*, J. Jiménez-Pérez, E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón y E. J. Treviño-Garza

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León Carretera Nacional Km. 145, C.P. 67700, Linares, Nuevo León, México

Carbon content in the aboveground biomass in different land use systems in the tamaulipan thornscrub.

Abstract

In the ecosystems of the state of Nuevo Leon, there is limited information about carbon sequestration, which is a reason to initiate works to establish the methodological basis for carbon capture measurement and the inventory, for certification purpose, as a future alternative from generation of economic resources for the habitants of the area. Estimated the carbon content in the aboveground biomass was estimated in different land use systems in a fraction of tamaulipan thornscrub. The study was conducted in the ecological reserve of the Forest Sciences Faculty, UANL, and in two contiguous areas, with secondary vegetation; study systems were primary scrub, traditional agriculture and clearcut. For the carbon content estimation four rectangular plots of 250 m² were established on each system, we measured the diameter ($d_{0.10}$) and height (h), biomass was calculated using allometric equations. The primary scrub has the highest carbon content with 11.70 MgC ha⁻¹ in the aboveground biomass, the value is drastically reduced in the recovered systems with 4.67 MgC ha⁻¹ in clearcut and 2.98 MgC ha⁻¹ in traditional agriculture. Tamaulipan thornscrub has great potential as carbon storage, presents a wide capacity of mitigation due to its important surface.

Key words: carbon content, tamaulipan thornscrub, land use systems, aboveground biomass.

Resumen

En los ecosistemas del estado de Nuevo León, existe escasa información sobre captura de carbono, por lo que es necesario iniciar trabajos tendientes a establecer las bases metodológicas para la medición del carbono capturado y la inventarización de esta variable, con fines de certificación, como una alternativa futura de generación de recursos económicos para los pobladores del área. Se estimó el contenido de carbono en la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de suelo en una fracción del matorral espinoso tamaulipeco. El estudio se realizó en la reserva ecológica del Matorral - Escuela de la Facultad de Ciencias Forestales UANL, y en dos áreas contiguas, con vegetación secundaria; los sistemas de estudio fueron matorral primario, agricultura tradicional y matarsa. Para la estimación del contenido de carbono se realizaron cuatro parcelas rectangulares de 250 m² en cada sistema, se midió el diámetro ($d_{0.10}$) y la altura total (h), la biomasa se calculó mediante ecuaciones alométricas. El matorral primario presentó el mayor contenido de carbono con 11.70 MgC ha⁻¹ en la biomasa aérea, el valor se reduce drásticamente en los sistemas recuperados con 4.67 MgC ha⁻¹ en matarsa y 2.98 MgC ha⁻¹ en agricultura tradicional. El matorral espinoso tamaulipeco tiene un gran potencial como almacenador de carbono, presenta una amplia capacidad de mitigación dada su importante superficie.

Palabras clave: contenido de carbono, matorral espinoso tamaulipeco, sistemas de usos de suelo, biomasa aérea.

*Autores de correspondencia
Email: yamallel@hotmail.com

Introducción

Los bosques desempeñan un papel primordial en el ciclo global del carbono, almacenando grandes cantidades de este elemento en la biomasa y el suelo, además de su intercambio con la atmósfera a través de los procesos de fotosíntesis y respiración (Brown, 1999).

La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze *et al.*, 2000).

Una estimación de la cantidad de carbono en un bosque requiere que inicialmente se estime el peso seco de la biomasa. El método destructivo en conjunto con el desarrollo de ecuaciones alométricas locales es el más preciso para estimar la biomasa aérea (Návar *et al.*, 2004).

La producción de biomasa esta correlacionada con algunas propiedades del ambiente positiva o negativamente y parece estar en función de un gradiente de productividad con diferentes niveles (Mittlebach *et al.*, 2001 y Clark *et al.*, 2001), en el matorral espinoso tamaulipeco está en función a un gradiente de productividad explicado por la geoforma: mayor producción de biomasa se encuentra en valles, seguido en lomeríos y por último en la meseta (Espinoza-Bretado y Návar, 2005).

Se pueden llevar a cabo estudios específicos para determinar las concentraciones de carbono en los diferentes componentes de la biomasa. En la ausencia de estudios específicos y basados en previas investigaciones, generalmente se estima que la concentración de carbono varía alrededor de 50 por ciento del peso seco de la biomasa (Husch, 2001). Después se estima la cantidad de carbono total.

La determinación adecuada de la biomasa de un bosque es un elemento de gran importancia, debido a que esta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown, 1997; Schelegel, 2001).

En los ecosistemas del estado de Nuevo León, existe escasa información sobre captura de carbono (Návar, 2008), por lo que es necesario iniciar trabajos tendientes a establecer las bases metodológicas para la medición del carbono capturado y la inventarización de esta variable, con fines de certificación, como una alternativa futura de generación de recursos económicos para los pobladores del área. En este sentido, el Matorral Espinoso Tamaulipeco cubre grandes extensiones en el estado, motivo por el cual se llevó a cabo el presente estudio. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue: evaluar el contenido de carbono en la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de suelo en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la reserva ecológica del Matorral-Escuela de la Facultad de Ciencias Forestales UANL, y en dos áreas contiguas, con vegetación secundaria y condiciones similares (clima, suelo, altitud, pendiente). Éstas se encuentran en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco de la Planicie Costera del Golfo en el municipio de Linares, Nuevo León, México (Figura 1).

Los sistemas de estudio fueron:

Matorral primario

No se ha realizado aprovechamiento de especies en esta área, cuenta con gran variedad y se observan especies muertas y caídas de forma natural. Desde hace 26 años es reserva natural de la Facultad de Ciencias Forestales, la cual tiene como objetivo la enseñanza e investigación.

Agricultura tradicional

Área desmontada con maquinaria para la práctica agrícola, cultivo de maíz y sorgo de temporal, durante un periodo aproximado de 5 años. Este sitio tiene 24 años de no tener aprovechamiento, de esta forma se presentó una regeneración natural de especies arbóreas y arbustivas.

Matarasa

Superficie desmontada hace 27 años con fines de investigación utilizando la técnica del cadeneo.

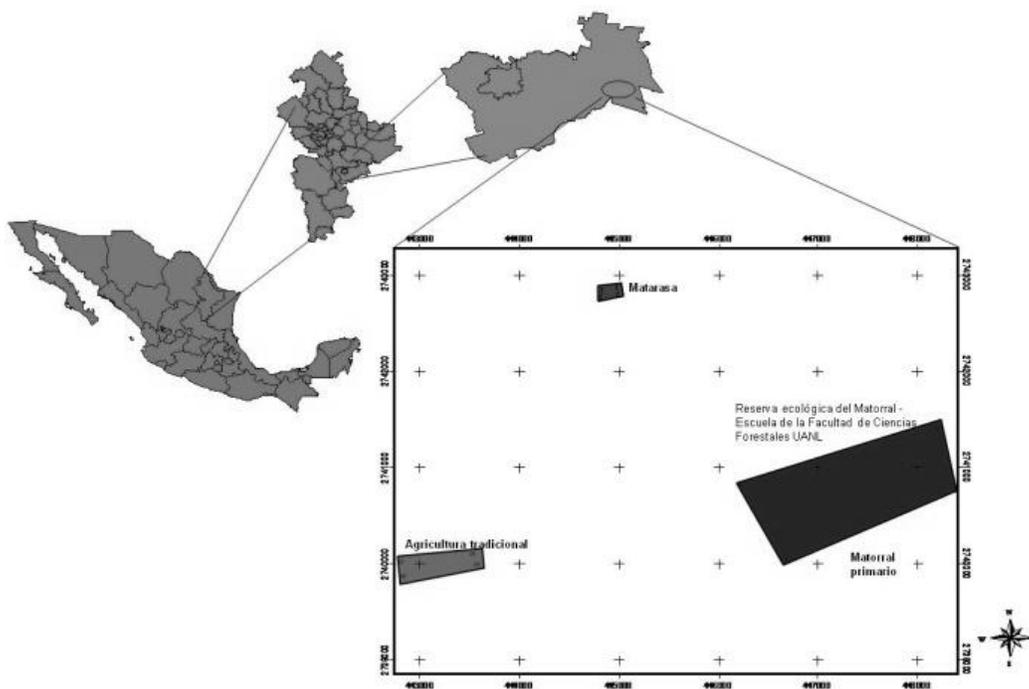


Figura 1. Ubicación de los sistemas en Linares, Nuevo León, México.

Desde entonces no se ha realizado ninguna actividad agrosilvopecuaria.

Para la estimación del contenido de carbono se realizaron cuatro parcelas rectangulares de 250 m² en cada sistema, dado que es la superficie mínima de muestreo para la obtención de información representativa de diversidad de especies en el Matorral Espinoso Tamaulipeco y el presente trabajo se realizó de forma paralela a estos estudios (Alanís *et al.*, 2008; Jiménez *et al.*, 2009). Se midieron los individuos arbóreos y arbustivos con un diámetro (d_{0.10}) mayor a un centímetro y se efectuaron mediciones dasométricas de altura total (h) y diámetro (d_{0.10}). Las ecuaciones de biomasa que se aplicaron fueron tomadas de Nívar *et al.* (2004) y Nívar (2009):

Para especies del matorral:

$$\text{Tab} = (0.026884 + 0.001191\text{Db}^2\text{H} + 0.044529\text{Db} - 0.01516\text{H}) + (1.025041 + 0.023663\text{Db}^2\text{H} - 0.17071\text{H} - 0.09615\text{LN}(\text{H})) + (-0.43154 + 0.011037\text{Db}^2\text{H} + 0.113602\text{Db} + 0.307809*\text{LN}(\text{Db}))$$

Para yucas:

$$\text{Tab} = \exp(0.360 + 1.218*\text{LN}(\text{H}) + 0.325)$$

Donde: Tab= biomasa total aérea (kg), Db= diámetro basal (cm), H= altura total (m).

Para la determinación de la concentración de carbono por sistema, se colectaron muestras de las especies de la siguiente manera, tallo: se seleccionaron las muestras de madera de la sección radial a 0.10 m; ramas: a partir de 1 cm de diámetro en los cuatro puntos cardinales de la copa; ramillas: menores de 1 cm de diámetro en los cuatro puntos cardinales de la copa; hojas: se obtuvieron muestras en los cuatro puntos cardinales de la copa.

Colectadas las muestras en campo se procedió a pesar en el laboratorio y posteriormente se colocaron en la estufa de secado a 105 °C de temperatura hasta obtener un peso constante. Cada muestra se trituroó en un molino pulverizador. La concentración de carbono se determinó con un equipo analítico denominado Solids TOC Analyzer; éste determina la concentración de carbono en muestras sólidas mediante combustión completa, a una temperatura de 900 °C, los gases

producto de la combustión son medidos a través de un detector de infrarrojo no dispersivo que contabiliza las moléculas de carbono contenidas en estos gases.

Se realizó un análisis de varianza ANDEVA (con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$) factorial para determinar si existen efectos significativos entre los componentes de las especies en los diferentes sistemas, donde se determinaron dos factores: el sistema, con tres niveles (matorral primario, agricultura tradicional y matarasa) y los componentes de la biomasa aérea de las especies, con cuatro niveles (hojas, ramas, ramillas y tallo), de tal manera que hubo 12 interacciones (3×4). Cuando resultó significancia en la prueba, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Número de individuos y biomasa aérea

En el matorral primario se encontró el mayor número de individuos y biomasa por hectárea por clase diamétrica y total, el sistema agricultura tradicional obtuvo valores mayores que el matarasa en la mayoría de las clases diamétricas a excepción de 1-5 (Tabla 1).

El valor de biomasa en el matorral primario (25 Mg ha^{-1}) evaluado es mayor al determinado por Nívar (2008) de 12.93 Mg ha^{-1} para el matorral espinoso tamaulipeco, de igual modo a los valores encontrados por Búrquez *et al.* (2010) de 13.03 y 6.99 Mg ha^{-1} para el matorral espinoso y matorral de desierto respectivamente, asimismo Búrquez y Martínez-Yrizar (2011) señalan para el matorral de desierto 6.67 y 23.78 Mg ha^{-1} y para el matorral espinoso 10.57 Mg ha^{-1} ; Nívar *et al.* (2002), Nívar *et al.* (2004) y Nívar (2008) citan valores mayores para el matorral espinoso tamaulipeco, de 36.75 , 44.40 y 48.40 Mg ha^{-1} respectivamente, a su vez Búrquez *et al.* (2010) para el matorral de

desierto en Sonora, de 29.24 Mg ha^{-1} .

La producción de biomasa incrementa con el gradiente geomórfico (partes más áridas: menor producción, partes más húmedas: mayor producción), este incremento en la biomasa se explica por varias fuentes de variación, dentro de las cuales destacan las siguientes: la humedad disponible es mayor en derramadero intermitente durante la estación de lluvias y tiempo después de la estación lluviosa; a medida que el paisaje cambia hacia sitios alejados de los arroyos, la cantidad de agua disponible para la evapotranspiración disminuye (Espinoza-Bretado y Nívar, 2005). En estos sitios sólo existe la precipitación anual y en algunas especies escorrentía fustal (Nívar y Bryan, 1990; Nívar, 1993).

Concentración de carbono

Con el análisis de varianza se determinó que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) entre la concentración de carbono de los componentes de los sistemas (Tabla 2). Los componentes tallo, ramas y ramillas de los tres sistemas no presentaron diferencia significativa entre sí ($P \leq 0.05$), con valores que van de 45.01 a 46.38% ; las hojas de los sitios matarasa y matorral primario, presentaron valores superiores a los demás componentes de los diferentes sistemas, el rango fue de 48.51 a 49.20% ($P \leq 0.05$); la media general para los sistemas resultó: matorral primario 46.81% , agricultura tradicional 45.69% y matarasa 46.62% .

La concentración de carbono de la biomasa aérea por sistema, resultó en todos los casos inferior al valor de 50% sugerido por defecto por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre los Cambios Climáticos (IPCC, 1996). La concentración de carbono promedio en tallo, ramas y ramillas de los sistemas de este estudio, fueron más bajos que los determinados por

Tabla 1. Número de individuos y biomasa aérea por clase diamétrica

Clase diamétrica	Matorral primario		Matarasa		Agricultura tradicional	
	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Ind ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹
1 - 5	14,140	14.67	5,933	8.12	2,080	3.65
5 - 10	710	5.17	253	1.64	260	1.76
10 - 15	100	2.20	13	0.26	20	0.40
> 15	50	2.96	-	-	10	0.71
Total	15,000	25	8,479	10.02	2,370	6.52

Francis (2000), para otras especies en Puerto Rico, con valores de 52.07% (promedio de tallo, ramas y ramillas); a su vez son mayores a los reportados por Gayoso y Guerra (2005) en Chile de 44.38% (tallo), 43.17% (promedio para ramas y ramillas).

Contenido de carbono

El sistema permanente y con mayor crecimiento presenta el valor más alto de acumulación de carbono. El matorral primario contiene 11.70

MgC ha⁻¹ en la biomasa aérea, el valor se reduce drásticamente en los sistemas recuperados con 4.67 MgC ha⁻¹ en matarasa y 2.98 MgC ha⁻¹ en agricultura tradicional. Recuperar el estado inicial del matorral primario tomará muchos años, tal como se puede apreciar con el sistema de matarasa de 27 años que alcanza solo un 40% de lo que se tenía en reservas del matorral primario (Figura 2). El contenido de carbono en la biomasa aérea en el sistema de matorral primario evaluado, resultó

Tabla 2. Concentración de carbono de los componentes por sistema

Componente	Sistema	Media±SD*	Agrupación Tukey ¹
Ramillas	Agricultura tradicional	45.01±0.46	a
Ramas	Agricultura tradicional	45.19±0.70	a b
Tallo	Matarasa	45.58±0.66	a b
Ramillas	Matarasa	45.82±0.64	a b
Tallo	Agricultura tradicional	45.84±0.51	a b
Ramas	Matarasa	45.89±0.64	a b
Ramas	Matorral primario	46.11±0.47	a b
Ramillas	Matorral primario	46.25±0.84	a b
Tallo	Matorral primario	46.38±0.81	a b
Hojas	Agricultura tradicional	46.72±1.33	b
Hojas	Matorral primario	48.51±0.74	c
Hojas	Matarasa	49.20±0.65	c

¹Letras iguales son estadísticamente similares ($P \leq 0.05$)

*SD = Desviación estándar de la muestra

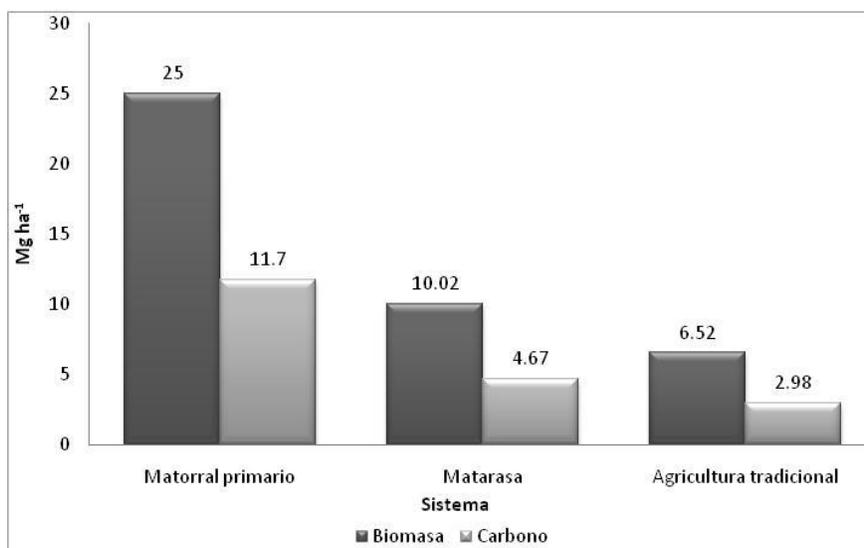


Figura 2. Biomasa aérea y contenido de carbono en los sistemas evaluados.

similar al reportado por Nívar (2008) de 11.35 MgC ha⁻¹ para el mismo tipo de vegetación, he inferior a valores determinados por otros autores: Callo-Concha *et al.* (2002), para seis sistemas de uso de la tierra en tres ecozonas emblemáticas de la amazonía Peruana, obtuvieron valores de: 196.1 MgC ha⁻¹ en Bosque primario, 77.4 MgC ha⁻¹ huerto casero, 67.9 MgC ha⁻¹ bosque secundario, 45.4 MgC ha⁻¹ café+sombra, 30.4 MgC ha⁻¹ silvopastura y para el estrato arbustivo-herbáceo citan valores menores a los de este estudio: 0.75 MgC ha⁻¹ Bosque primario, 0.54 MgC ha⁻¹ huerto casero, 0.78 MgC ha⁻¹ bosque secundario, 0.63 café+sombra, 0.91 MgC ha⁻¹ silvopastura y 1.28 MgC ha⁻¹ pastura; Lapeyre *et al.* (2004), en diferentes usos de tierra en San Martín, Peru, determinaron valores de: 485.3 MgC ha⁻¹ para bosque primario, 234.3 MgC ha⁻¹ bosque secundario 50 años, 62.1 MgC ha⁻¹ bosque secundario 20 años, 19.3 MgC ha⁻¹ agroforestal café-guaba, 47.2 MgC ha⁻¹ cacao, así mismo valores menores: 1.7 MgC ha⁻¹ en cultivo de arroz, 4.4 MgC ha⁻¹ cultivo de maíz, 2.3 MgC ha⁻¹ pastos manejados; Callo-Concha *et al.* (2004) señalan para sistemas agroforestales valores de 30 MgC ha⁻¹ en cítricos+plátano, 41.8 MgC ha⁻¹ cítricos + café+ plátano, 39.2 MgC ha⁻¹ cítricos+café, 37.2 MgC ha⁻¹ cítricos+cobertura y 61.8 MgC ha⁻¹ cítricos+pelibuey; Pacheco *et al.* (2007) reportan 17.9 MgC ha⁻¹ en la biomasa aérea de una plantación de seis años de *Pinus greggii* en Cuaunepantla, Acaxochitlán, Hidalgo, México; Ibrahim *et al.* (2007) en distintos usos de la tierra en Esparza, Costa Rica y Matiguas, Nicaragua, refieren valores de: 90.78 MgC ha⁻¹ para bosque secundario, 92.42 MgC ha⁻¹ plantación forestal de teca, 23.01 MgC ha⁻¹ bosque secundario, 17.92 MgC ha⁻¹ vegetación secundaria joven, a su vez valores menores: 1.63 MgC ha⁻¹ en pastura mejorada con baja densidad de árboles, 7.09 MgC ha⁻¹ pastura natural con alta densidad de árboles, 6.01 MgC ha⁻¹ banco forrajero de gramínea, 9 MgC ha⁻¹ pastura mejorada alta densidad de árboles, 11.9 MgC ha⁻¹ pastura natural baja densidad de árboles y 4.83 MgC ha⁻¹ pastura degradada; Rodríguez *et al.* (2009) señalan para un bosque de pino-encino 82.91 MgC ha⁻¹ y en renovos un valor menor de 0.4 MgC ha⁻¹, en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México.

Conclusiones

En los sistemas evaluados el matorral primario resultó con el contenido de carbono en la biomasa aérea más alto. El nivel de carbono en el sistema matorral presentó mayor cantidad (siendo un matorral menos intervenido) que el sistema agricultura tradicional.

El matorral espinoso tamaulipeco tiene un gran potencial como almacenador de carbono, presenta una amplia capacidad de mitigación dada su importante superficie, pero también se muestra como un ecosistema de riesgo a conversión a otros usos y por tanto con un alto potencial de transformarse en fuentes de emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por el apoyo para desarrollar el estudio.

Bibliografía

- Alanís, E., Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño, E., Jurado, E. y González, M. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 11: 56-62.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer. *Fao Forestry Paper 134*, Roma.
- Brown, S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. *Winrock International for the World Bank*, Arlington, Virginia.
- Burquez, A. y Martínez-Yrizar, A. 2011. Accuracy and bias on the estimation of above-ground biomass in the woody vegetation of the Sonoran Desert. *Botany*, 89: 625-633.
- Burquez, A., Martínez-Yrizar, A., Nuñez, S., Quintero, T. y Aparicio, A. 2010. Aboveground biomass in three Sonoran Desert communities: variability within and among sites using replicated plot harvesting. *Journal of Arid Environments*, 74: 1240-1247.
- Callo-Concha, D., Krishnamurthy, L. y Alegre, J. 2002. Secuestro de Carbono por Sistemas Agroforestales Amazónicos. *Revista Chapingo: Ciencias Forestales y Medio Ambiente*, 8: 101-106.
- Callo-Concha, D., Rajagopal, I. y Krishnamurthy, L. 2004. Secuestro de Carbono por Sistemas Agroforestales en Veracruz. *Ciencia UANL*, 7: 60-65.
- Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D., Chambers, J., Thomlinson, J.R. and Ni, J. 2001. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications*, 11: 356-370.
- Espinoza-Bretado, R. y Nívar, J. 2005. Producción de biomasa, diversidad y ecología de especies en un gradiente de productividad en el matorral espinoso tamaulipeco del Nordeste de México. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11: 25-31.

- Francis, J. 2000. Estimating Biomass and Carbon Content of Saplings in Puerto Rican Secondary Forests. *Caribbean Journal of Science*, 36: 346-350.
- Gayoso, J. y Guerra, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque*, 26: 33-38.
- Husch, B. 2001. Estimación del contenido de carbono de los bosques. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 9 p.
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, J. y Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 45: 27-36.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>).
- Jiménez, J., Alanís, E., Aguirre, O., Pando, M. y González, M. 2009. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques*, 15: 5-20.
- Lapeyre, T., Alegre, J. y Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de Carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3: 35-44.
- Mittelbach, G.G., Steiner, C.F., Scheiner, S.M., Gross, K.L., Reynolds, H.R., Waide, R.B., Willig, M.R., Dodson, S.I. and Gough, L. 2001. What is the observed relationship between species richness and productivity?. *Ecology*, 82: 2381-2396.
- Návar, J. and Bryan, R. 1990. Interception loss and rainfall redistribution by three semi-arid growing shrubs in northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*, 115: 51-63.
- Návar, J. 1993. The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*, 145: 175-190.
- Návar, J., Mendez, E. and Dale, V. 2002. Estimating stand biomass in the tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Annals of Forest Science*, 59: 813-821. Doi: 10.1051/forest:2002079
- Návar, J., Mendez, E., Graciano, J., Dale, V. and Parresol, B. 2004. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 59: 657-674.
- Návar, J. 2008. Carbon fluxes resulting from land-use changes in the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Carbon Balance and Management*, 3: 6 Doi 10.1186/1750-0680-3-6.
- Návar, J. 2009. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. *Annals of Forest Science*, 66: 208-216.
- Pacheco, C., Aldrete, A., Gomez, A., Fierros, A., Centina-Alcala, V. y Vaquera, H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de un plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38: 251-254.
- Rodríguez, R., Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño, E., y Razo, R. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*, 5: 317-327.
- Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa en bosques de tipo forestal siempreverde. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 13 p.
- Schulze, E., Wirth, Ch. and Heimann, M. 2000. Managing Forest after Kyoto. *Science*, 289: 2058-2059.