

Contenido de carbono en un sistema agroforestal pastorilsilvícola del matorral espinoso tamaulipeco

JAIME SÁNCHEZ*, GISELA MURO*, JOEL FLORES*, ENRIQUE JURADO**, JORGE SAENZ-MATA*

En las últimas décadas, el deterioro de los recursos naturales en el mundo evidencia los efectos del crecimiento poblacional. La presión por incrementar las áreas de producción agrícola y pecuaria ha provocado aumentos en la tasa de deforestación, alto uso de agroquímicos, erosión de los suelos, deterioro de las cuencas y fuentes de agua y emisión de gases asociados al calentamiento global.¹ El cambio climático es uno de los principales fenómenos ambientales que enfrenta la sociedad a nivel global,² este problema se ha incrementado por el aumento de las emisiones de CO₂, metano y óxido nítrico. En la actualidad, entre las causas que han contribuido al incremento de CO₂ en la atmósfera figuran el uso de combustibles fósiles (80-85%),³ la producción de cemento (3.1%) y el cambio de uso del suelo (30.2%).²

México se ubica entre los 20 países con más emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con cerca de 2% de las emisiones a nivel mundial.^{2,4} La contribución de las emisiones de GEI, en 2010, por categoría en términos de CO_{2eq}, fue la siguiente: energía, 67.3% (503,817.6 Gg); agricultura, 12.3% (92,184.4 Gg); procesos industriales, 8.2% (61,226.9 Gg); uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, 6.3% (46,892.4 Gg); y desechos, 5.9% (44,130.8 Gg).⁵

Debido a lo anterior, es necesario reducir la emisión de los GEI mediante alternativas de energía, y a través de la creación o mejoramiento de ecosistemas naturales o de los sistemas de producción, para que incrementen su capacidad de funcionamiento como sumideros de carbono. En México, las mejores opciones para la captación de carbono son el manejo de los ecosistemas naturales y de las áreas naturales protegidas. Asimismo, el sector forestal conserva y almacena las emisiones de carbono, al preservar las áreas naturales protegidas; fomenta el manejo sostenible de los bosques, reduce los incendios, reforesta áreas degradadas; restaura áreas urbanas, al establecer plantaciones comerciales y energéticas (producción de leña y generación de electricidad) e implementa sistemas agroforestales (SAF).

Los SAF pueden ser una buena alternativa de manejo para la conservación, secuestro y almacenamiento del carbono; estos sistemas consisten básicamente en la incorporación de árboles a un sistema de producción, mediante diseños agroforestales. Así como los bosques, los sistemas agroforestales también podrían almacenar cantidades significativas de carbono;³ ya que, en algunos casos, los sumideros de carbono en sistemas agroforestales son similares a aquellos encontrados en bosques secundarios o áreas con vegetación madura. Se estima que el contenido de carbono aéreo de los SAF varía del 10 a 70 ton/ha, y el flujo anual de carbono varía entre 1y10 ton/ha/año.⁶ Una proyección a nivel mundial de 1995 a 2050 indica que la implementación de la silvicultura y la agroforestería pueden capturar 38 billones de toneladas de carbono, lo que equivale a 11-15% del total de las emisiones fósiles emitidas en el mismo periodo.⁷ Sin embargo, existe poca investigación del potencial de secuestro de carbono en los SAF, en comparación con otros usos forestales (bosques y plantaciones), lo que significa que estos sistemas pueden contener considerablemente sumideros de carbono no contabilizado en inventarios.^{3,6}

En el noreste de México se han realizado pocos estudios de carbono,^{8,9} por lo que es necesario generar información sobre las reservas de este elemento en los ecosistemas terrestres, la cual describa las modificaciones de los flujos derivadas de los cambios de uso de suelo y proponga estrategias dirigidas a la mitigación del calentamiento global por medio del manejo apropiado de los ecosistemas y actividades agropecuarias y a la generación de recursos económicos futuros. Por ello, el presente estudio se realizó en tres áreas con distinto uso de suelo dentro del matorral espinoso tamaulipeco, con el objetivo de evaluar el contenido de carbono en la biomasa aérea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El presente trabajo corresponde a una investigación observacional de tipo transversal, y se llevó a cabo en tres áreas del

* Universidad Autónoma de Nuevo León, FCF. Contacto: dalila_mhz@hotmail.com

matorral espinoso tamaulipeco (MET) en el municipio de Linares, Nuevo León (noreste de México), las cuales son las siguientes: referencia (vegetación madura), SAF pastorilsilvícola y pospecuaria, con 30 años de regeneración (figura 1). Las tres áreas presentan condiciones similares de clima, suelo, altitud y pendiente.

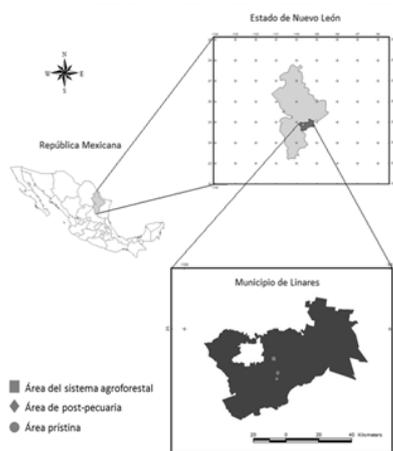


Fig. 1. Ubicación de las áreas de estudio.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS EVALUADAS

El área de referencia es una comunidad vegetal con individuos maduros, sobremaduros y muertos en pie del matorral espinoso tamaulipeco. Se ubica en el Matorral-Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en las coordenadas 24° 46' y 56.7" de latitud, y 99° 31' 34.3" de longitud. Esta área está destinada como una reserva ecológica y experimental, y se encuentra delimitada por un cerco perimetral desde hace tres décadas. El índice de diversidad de Shannon-Weaver es de 1.94.

El sistema agroforestal pastorilsilvícola se ubica en el Ejido Zapata (Linares, N.L.), dentro de las coordenadas 24° 54' latitud norte, y 99° 35' longitud oeste. En esta área se eliminaron los individuos de porte bajo de forma manual, dejando únicamente los árboles de diámetros y alturas mayores, con el objetivo de crear espacios abiertos para el desplazamiento del ganado, y en la parte alta árboles bien conformados para generar un microambiente mediante la sombra y alimento para el ganado vacuno.

El área pospecuaria (huizachal) se ubica en las coordenadas 25° 09', y 24° 33' de latitud norte, y 99° 54' y 99° 07' de longitud oeste. En los setenta fue desmontada con maquinaria agrícola para sembrar zacate buffel (*Pennisetum ciliare*), y se utilizó para el pastoreo de ganado vacuno. Doce años des-

pues (en 1982) el área fue abandonada, y en 2012 la vegetación arbórea fue evaluada.¹⁰

Análisis de la vegetación

Para la estimación del contenido de carbono, en cada área se establecieron aleatoriamente cuatro sitios de muestreo cuadrangulares de 1600 m² (40 x 40 m), debido a su facilidad de delimitación y medición en vegetación densa, con respecto a la forma circular.^{11,12} En los sitios de muestreo, se realizó un censo de todos los individuos arbóreos con diámetro basal ($d_{0.10}$) mayor a cinco centímetros, a los cuales se les efectuaron mediciones del diámetro basal y altura total.

Análisis de la información

El contenido de carbono se obtuvo de la relación de la biomasa aérea por la concentración de carbono de las especies arbóreas y arbustivas.

$$\text{Contenido de carbono} = B * CC$$

donde B = biomasa aérea (peso seco de los árboles o arbustos, kg), CC = concentración de carbono (%).

Para el cálculo de la biomasa aérea se aplicaron las siguientes ecuaciones alométricas:^{13,14} ecuación para especies del matorral (no existen ecuaciones para cada una de las especies registradas, por lo cual se optó por una para grupo de especies):

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

Ecuación 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).

La concentración de carbono, considerada para la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco, fue de 45.4%.⁹

El diseño experimental empleado para el análisis de los resultados fue completamente al azar. Se realizó la prueba de Levene para verificar si los datos muestran homogeneidad de varianzas; posteriormente, un análisis de varianzas de un solo

factor (ANOVA) (con un intervalo de confianza de 95%) para determinar si se presentan diferencias significativas entre las áreas. El análisis de los datos se realizó mediante el programa estadístico Statistica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el matorral de referencia se registraron 21 especies, éste presentó el mayor número de individuos y biomasa aérea por hectárea en las primeras tres categorías diamétricas. En el sistema agroforestal se encuentra el valor más alto de biomasa en las categorías diamétricas mayores (20 a > 30); de la misma manera para el número de individuos, a excepción de la clase diamétrica 25-30; esta área tiene la mayor productividad, aun cuando cuenta con el menor número de individuos por hectárea, con 17 especies (tabla I).

El valor de la biomasa para el matorral de referencia es mayor al reportado por Nívar *et al.*⁸, con 12.93 ton/ha; y menor que el de otros autores,^{8,9,13,15,16} con un valor promedio para el matorral espinoso tamaulipeco de 38.54±10.29 ton/ha. Asimismo, en Argentina, Manrique *et al.*¹⁷ obtuvieron valores de 31.93 ton/ha para un ecosistema de arbustos; 104.79 ton/ha, en un bosque caducifolio xerofilo, y 147.49 para un bosque subtropical de montaña. A la producción de biomasa la afecta la edad de los individuos,^{7,18} ya que aquéllos de diámetros mayores poseen una mayor acumulación de carbono, a diferencia de aquéllos con dimensiones menores. Esto se comprueba en la tabla I, en la que se observa que en el sistema agroforestal se localiza un menor número de individuos con diámetros mayores, y es el área con más productividad de biomasa.

El sistema agroforestal presenta un valor de carbono almacenado de 11.9±5.03 ton/ha (figura II), en otros SAF se reportan cifras mayores a los de este estudio, entre éstos figura el de Roncal *et al.*,⁷ quienes señalan valores de 59.3 ton/ha en acahual natural; 42 ton/ha en vegetación secundaria y 16.9 ton/ha en Taungya. Estos aumentos de carbono almacenado se deben a la biomasa arbórea, ya que las especies arbóreas presentes en estos sistemas pertenecen a un clima húmedo, lo que da como resultado que durante el crecimiento de las especies ocurra un incremento en diámetro mayor en menor tiempo; esto implica mayor captura de carbono en la etapa juvenil. Además, cuentan con una amplia riqueza y diversidad de especies arbóreas.¹⁹ Callo-Concha *et al.*,¹⁸ para cinco sistemas agroforestales, obtuvieron valores de 61.8 ton/ha cítricos+pelibuey, 41.8 ton/ha cítricos+café+plátano, 39.2 ton/ha cítricos+café, 37.2 ton/ha cítricos+cobertura y 30 ton/ha en cítricos+plátano; Callo-Concha *et al.*²⁰ evaluaron seis ti-

Tabla I. Número de individuos y biomasa aérea de acuerdo a clases diamétricas.

Clase diamétrica	Huizachal		Referencia		Sistema agroforestal	
	Ind/ha	Ton/ha	Ind/ha	Ton/ha	Ind/ha	Ton/ha
5-10	223	3.2	918	11.2	71	1.5
10-15	113	4.5	170	6.7	57	3
15 - 20	23	2	36	2.8	18	2
20 - 25	15	2.5	1	0.2	18	3.9
25 - 30	10	2.3	1	0.2	8	3
> 30	8	4.3	2	0.06	20	13
Total	392	18.8	1128	21.2	192	26.4

pos de uso de suelo en tres ecozonas del Amazonas, y obtuvieron valores de 196.1 ton/ha en bosque primario, 77.4 ton/ha en huerto casero, 67.9 ton/ha en bosque secundario, 45.4 ton/ha café+sombra y 30.4 ton/ha en silvopastura. Ortiz *et al.*,²¹ para un sistema de 25 años de cacao con laurel, reportan valores de 43-62ton / ha, con individuos de 28 a 48 cm de diámetro.

El contenido de carbono en la biomasa aérea en el matorral de referencia 9.52±1.53 ton/ha es menor al reportado por Yerena *et al.*⁹ y Nívar *et al.*⁸, con 11.7 y 11.3 ton/ha, respectivamente, en áreas con condiciones similares. Yerena *et al.*⁹ también evaluaron, dentro del matorral espinoso tamaulipeco, otros sistemas en recuperación: matarrasa con 4.67 ton/ha, y agricultura tradicional, 2.98 ton/ha, con 27 y 24 años de descanso, respectivamente; estos valores son menores a los reportados en este estudio para el área pospecuaria con 8.47±3.01 ton/ha.

La prueba de Levene de homogeneidad de varianza resultó P=0.21, con lo cual se asume la igualdad de varianzas. De acuerdo al análisis de varianza, las tres áreas presentan simi-

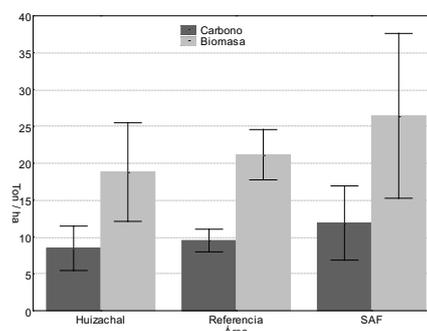


Fig. 2. El carbono almacenado y la biomasa aérea de las áreas evaluadas mostraron diferencias no significativas ($P > 0.05$). La barra vertical indica el intervalo de confianza de 95%.

litud estadística en el carbono almacenado ($P > 0.05$). Esta similitud se debe a que la vegetación arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco es altamente resiliente.^{22,23} Así, el área regenerada pospecuaria la conforman doce especies, y los árboles y arbustos al tener espacio crecieron vertical y horizontalmente con copas anchas y ramificadas.^{10,11,24} El área con sistema agroforestal alberga árboles y arbustivos bien conformados (ya que fueron los que seleccionaron), los cuales, después del aclareo, presentaron mayor crecimiento al disminuir la competencia.

Los árboles, como todas las plantas, mediante la fotosíntesis, absorben el CO_2 , fijan el carbono en biomasa (es decir, crecen) y liberan oxígeno. Así prestan un servicio ambiental global al planeta con respecto a los llamados gases con efecto invernadero (el CO_2 que tiene el efecto más importante, además CH_4 y SO_2), el potencial de almacenamiento de carbono aunado a la reducción de emisiones de CO_2 a causa de la deforestación y degradación de los sistemas evaluados son clave importante para su implementación y conservación.

CONCLUSIONES

Esta investigación pone de manifiesto que las áreas con sistema agroforestal pastorilsilvícola, regeneradas después de actividad pecuaria, poseen un gran potencial como reservorios de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso tamaulipeco, a su vez ayudan a mitigar la producción de gases a efecto invernadero producidos por la ganadería. Esta información es de gran relevancia para los gestores de recursos naturales, ya que se demostró que áreas agroforestales actualmente productivas, o regeneradas después de ganadería, intensiva constituyen una alternativa viable para el almacenamiento de carbono en este ecosistema. Se recomienda generar más investigaciones que evalúen otros servicios tanto ambientales como socioeconómicos de sistemas agroforestales.

RESUMEN

Se determinó el contenido de carbono en la biomasa área de

Tabla II. Especies registradas en las áreas.

Nombre Científico	Nombre común	Huizachal	Referencia	Sistema agroforestal
<i>Acacia wrightii</i> Benth.	Uña de gato			x
<i>Bernardia myricaefolia</i> (Sheele) Wats.	Oreja de Ratón		x	
<i>Bumelia celastrina</i> H.B.K.	Coma			x
<i>Castela texana</i> (Torr. & A.Gray) Rose	Chaparro amargoso	x	x	
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	x	x	x
<i>Cercidium macrum</i> I.M. Johnst.	Palo verde		x	x
<i>Condalia hoockeri</i> M.C. Johnst.	Brasil		x	x
<i>Cordia boissieri</i> A. D.C.	Anacahuíta	x	x	x
<i>Dyospiros texana</i> Scheele.	Chapote blanco	x	x	x
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Britton et Rose	Ébano		x	x
<i>Ehretia anacua</i> (Teran & Berl) I.M. Johnst.	Anacua			x
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele.	Vara dulce		x	x
<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Panalero		x	
<i>Havardia pallens</i> (Benth) Britt & Rose	Tenaza		x	x
<i>Helietta parvifolia</i> (Gray) Benth.	Barreta		x	x
<i>Koerberlinia spinosa</i> Zucc.	Corona de cristo	x		
<i>Leucophyllum texanum</i> (Berl.) I.M. Johnst.	Cenizo		x	
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama	x		
<i>Parkinsonia texana</i> S. Watson	Palo verde	x		
<i>Porlieria angustifolia</i> (Engelm.) A. Gray	Guayacán		x	x
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston	Mezquite	x	x	x
<i>Randia rhagocarpa</i> Standl.	Randia		x	
<i>Sideroxilum celastrinum</i> (Kunth) Pennington	Coma	x	x	
<i>Vachellia amentacea</i> (D.C.) Wight & Arn.	Gavia	x	x	x
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	x	x	x
<i>Yucca filifera</i> Chab.	Yuca		x	
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	x	x	x

tres áreas del matorral espinoso tamaulipeco: un área de referencia, sistema agroforestal pastoril-silvícola y un huizachal con 30 años de regeneración. Para la estimación del contenido de carbono, se realizaron cuatro sitios de 1600 m² en cada área, donde se evaluaron todos individuos con diámetro basal ($d_{0.10}$) mayor a cinco centímetros. Para estimar la biomasa se utilizaron ecuaciones alométricas. El sistema agroforestal presentó el mayor contenido de carbono con 11.9 ton/ha, seguido por el matorral de referencia y el huizachal, con 9.52 y 8.47 ton/ha, respectivamente.

Palabras clave: Contenido de carbono, Matorral espinoso tamaulipeco, Sistema agroforestal, Biomasa aérea.

ABSTRACT

We determined the carbon content in the aboveground biomass of three areas of tamaulipan thornscrub, which includes: an area of reference, an agroforestry system, and huizachal with 30 years of regeneration. For the carbon content estimation, four sites of 1600 m² were established on each area, which evaluated all individuals with basal diameter ($d_{0.10}$) greater than five centimeters. Biomass was calculated using allometric equations. The agroforestry system had the highest carbon content with 11.9 ton/ha, followed by the reference scrub and huizachal with 9.52 and 8.47 ton/ha respectively.

Keywords: Carbon content, Tamaulipan thornscrub, Agroforestry system, Aboveground biomass.

REFERENCIAS

- Kanninen M. Secuestro de carbono en bosques, su papel en el ciclo global. Agroforestería para la producción animal en América Latina. FAO. 2003. Consultado el 24 de julio del 2013. <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s09.htm>
- Benjamín J. y O. Maser. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y bosques. 2001. 11: 3-12.
- Andrade H. y M. Ibrahim. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? Agroforestería en las Américas. 2003. 8: 109-116.
- Semarnat. Atmósfera. 2006. Consultado el 24 de julio del 2011. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/06_atmosfera/cap6.html
- Semarnat. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. 2013. Consultado el 22 de enero del 2015. http://www.inecc.gob.mx/descargas/climatico/inf_inegei_public_2010.pdf
- Botero J. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. Agroforestería para la producción animal en América Latina. FAO. 2003. Consultado el 25 de julio del 2013. <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s07.htm>
- Roncal S., L. Soto, J. Castellanos, N. Ramírez y B. de Jong. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. Interciencia. 2008. 7: 200-206.
- Návar J. Carbon fluxes resulting from land-use changes in the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. Carbon Balance and Management. 2008. 3: 6. Consultado el 26 de mayo del 2013. <http://www.cbmjournals.com/content/3/1/6>
- Yerena I., J. Jiménez, O. Aguirre y E. Treviño. Concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso tamaulipeco. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 2011. 17: 283-291.
- Pequeño M., E. Alanís, J. Jiménez, M. González, I. Yerena, G. Cuéllar y A. Mora. Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Ciencia UAT. 2012. 6: 42-47.
- Jiménez J., E. Alanís, O. Aguirre, M. Pando y M. González. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. Madera y Bosques. 2009. 15: 5-20.
- Alanís E., J. Jiménez, O. Aguirre, E. Treviño, E. Jurado y M. González. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. CiENCIAUANL. 2008. 11: 56-62.
- Návar J., E. Méndez, J. Graciano, V. Dale y B. Parresol. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. Journal of Arid Environments. 2004. 59: 657-674.
- Návar J. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. Annals of Forest Science. 2009. 66: 208-216.
- Návar J., E. Méndez y V. Dale. Estimating stand biomass in the tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. Annals of Forest Science. 2002. 59: 813-821.
- Espinoza R. y J. Návar. Producción de biomasa, diversidad y ecología de especies en un gradiente de productividad en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 2005. 7: 25-31.
- Manrique S., J. Franco, V. Núñez y L. Seghezzo. Estimación de densidad de biomasa aérea en ecosistemas naturales de la Provincia de Salta. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2009. 9: 37-45.
- Callo-Concha D., I. Rajagopal y L. Krishnamurthy. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales en Veracruz. CiENCIAUANL. 2004. 7: 60-65.
- Rodríguez R., J. Jiménez, O. Aguirre y E. Treviño. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. CiENCIAUANL. 2006. 11: 179-188.
- Callo-Concha D., L. Krishnamurthy y J. Alegre. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. Revista Chapingo: Ciencias Forestales y Medio Ambiente. 2002. 8: 101-106.
- Ortiz A., L. Riascos y E. Somarriba. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). Agroforestería en las Américas. 2008. 4: 26-29.
- Alanís, E., J. Jiménez, M.A. González, J.I. Yerena, L.G. Cuéllar y A. Mora-Olivo. Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. Phytan International Journal of Experimental Botany. 2013. 82: 221-228.
- Jiménez, J., E. Alanís, M.A. González, O.A. Aguirre, E.J. Treviño y P.A. Canizales. Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico. The Southwestern Naturalist. 2013. 58: 299-304.
- Alanís E., J. Jiménez, D. Espinoza, E. Jurado, O. Aguirre y M. González. Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el Parque Ecológico Chipinque. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 2008. 14: 113-118.

Recibido: 15/08/2013
Aceptado: 21/01/2015