



DINÁMICA DE LA CAPTURA DE CARBONO EN PASTIZALES ABANDONADOS DEL NORESTE DE MÉXICO

[DYNAMICS OF CARBON SEQUESTRATION IN ABANDONED GRASSLANDS OF NORTHEASTERN MEXICO]

José Israel Yerena Yamallel^{1*}, Javier Jiménez Pérez¹, Eduardo Alanís Rodríguez¹, Oscar Alberto Aguirre Calderón¹, Marco Aurelio González Tagle¹, Eduardo Javier Treviño Garza¹

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera Nacional km 145, CP 67700, Linares, Nuevo León, México.

Email: yamallel@hotmail.com

*Corresponding autor

RESUMEN

Las actividades pecuarias debido al mal manejo de la capacidad de carga, sufren de baja productividad en sus pastizales, por lo cual son abandonadas dando pie a la aparición de especies consideradas como invasoras y no deseables para los productores, sin saber las cualidades de estas como mitigadoras del cambio climático. El objetivo del presente trabajo fue estimar el contenido de carbono en el matorral espinoso tamaulipeco y en tres pastizales abandonados con un tiempo de abandono de 10, 20 y 30 años. Para la estimación del contenido de carbono se utilizó un diseño de muestreo sistemático, en cada área se realizaron cuatro sitios de muestreo cuadrangulares de 1,600 m². El matorral primario es el sistema que resulto con el valor mayor de contenido de carbono con 14.25 Mg ha⁻¹, seguidos por los pastizales de 30, 20 y 10 años con 8.03, 7.33 y 4.13 Mg ha⁻¹ respectivamente. Se concluye que recuperar el estado inicial del matorral primario tomará muchos años, tal como se puede apreciar con el sistema pastizal de 30 años que alcanza solo un 56% de lo que se tenía en reservas del matorral primario.

Palabras clave: contenido de carbono; pastizales abandonados; matorral espinoso tamaulipeco

INTRODUCCIÓN

El cambio climático que se experimenta en la actualidad es un fenómeno provocado total o parcialmente por el aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente CO₂ emitido por actividades humanas. Una gran cantidad de estudios científicos indican que el cambio climático ya está teniendo efectos sobre la biosfera (González *et al.*, 2003).

SUMMARY

Livestock activities due to the improper handling of the load capacity, suffer from low productivity in their grasslands, which are abandoned giving rise to the appearance of species considered invasive and undesirable for producers, without knowing the qualities of these as mitigating of climate change. The objective of the present study was to estimate the carbon content in tamaulipan thornscrub and three abandoned grasslands with a time of abandonment of 10, 20 and 30 years. For the estimation of the carbon content was used a systematic sampling design, in each area were established four sampling sites of 1,600 m². The primary scrub is the system that resulted in the largest value of carbon content of 14.25 Mg ha⁻¹, followed by the grasslands of 30, 20 and 10 years with 8.03, 7.33 and 4.13 Mg ha⁻¹ respectively. It was concluded that recovering the initial state of the primary scrub take many years, as can be seen in the grasslands system 30 years reaching only 56% of what it had in reserves of primary scrub.

Key words: carbon content; abandoned grasslands; tamaulipan thornscrub.

Siendo el CO₂ el principal gas de efecto invernadero es importante saber que, para la mitigación del calentamiento global se tendrán que reducir la cantidad de este gas presente en la atmósfera y también que este proceso, al igual que el de bajar la temperatura del planeta no son de un día para otro (Vargas-Mena y Yáñez, 2004).

Las especies vegetales mantiene este proceso natural en un flujo constante de absorción de carbono y

fijación del mismo para nutrir el suelo y promover el crecimiento de estas, por medio de la fotosíntesis. Las actividades humanas de modificación del ecosistema, son los principales factores de contaminación y desequilibrio ecológico en el planeta por lo cual es justificable la conservación de las especies con el fin de lograr un mejor aprovechamiento de los recursos sin dañar al ecosistema (Jaramillo, 2004).

La producción de biomasa esta correlacionada con algunos factores del ambiente positiva o negativamente (Mittlebach *et al.*, 2001; Clark *et al.*, 2001; Burquez *et al.*, 2010; Burquez y Martinez, 2011). El peso seco de la biomasa se requiere para estimar la cantidad de carbono almacenado en la vegetación (Návar *et al.*, 2002; Alberto y Elvir, 2008). La composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal, son aspectos importantes que hacen variar la capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa (Schulze *et al.*, 2000). Para estimar la biomasa aérea el método destructivo en conjunto con el desarrollo de ecuaciones alométricas locales es el más preciso (Návar *et al.*, 2004; Návar-Cháidez, 2010; Correia *et al.*, 2010; Ruiz-Peinado *et al.*, 2011).

Existen diferentes estudios específicos (Francis, 2000; Lin *et al.*, 2002, Peri *et al.*, 2004; Gayoso y Guerra, 2005; Fonseca *et al.*, 2011; Yerena *et al.*, 2012; Fonseca *et al.*, 2012) donde reportan concentraciones de carbono para los diferentes componentes de de las especies, en la ausencia de estudios específicos y basados en previas investigaciones, generalmente se emplea el coeficiente de 50 por ciento (IPCC, 1996; Brown, 1999; Houghton *et al.*, 1999; Husch, 2001).

Las actividades pecuarias debido al mal manejo de la capacidad de carga, sufren de baja productividad en sus pastizales y agostaderos, por lo cual son abandonadas dando pie a la aparición de especies consideradas como invasoras y no deseables para los productores, sin saber las cualidades de estas como mitigadoras del cambio climático. En los ecosistemas del estado de Nuevo León, existe escasa información sobre carbono (Návar, 2008; Yerena-Yamallel *et al.*, 2011), es importante investigar acerca de la capacidad de captura de carbono de las especies a lo largo del tiempo, para poder justificar la presencia de estas en los sistemas de producción pecuaria debido a los servicios ambientales que pueden brindar. Por tal motivo el objetivo del presente trabajo fue estimar el contenido de carbono en el matorral espinoso tamaulipeco y en tres pastizales abandonados con un tiempo de abandono de 10, 20 y 30 años, en el matorral espinoso tamaulipeco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en cuatro áreas, dos de ellas se encuentran en el municipio de Linares, una en Hualahuises, en el estado de Nuevo León, y una en Mainero, Tamaulipas, en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco de la Planicie Costera del Golfo. El clima es (A) C (x') (w'') a (e) correspondiente a un clima extremoso semi-calido - sub húmedo básicamente debido a la posición geográfica en la zona subtropical de altas presiones, con influencia de los vientos alisios húmedos y vientos fríos del norte durante el invierno. La precipitación pluvial anual oscila entre 400 y 1,850 mm, con un valor promedio de 805 mm y desviación estándar de 260 mm. La temperatura promedio anual es de 22.4° C con temperaturas mayores a las 40° C en verano e inferiores a 0° C en invierno. Los suelos de la zona corresponden a un típico vertisol de origen aluvio-columial. Las áreas de estudio son:

Matorral primario, tiene 26 años como reserva natural de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, la cual tiene como objetivo la enseñanza e investigación, desde entonces no se ha realizado aprovechamiento de especies en esta área, cuenta con gran variedad y se observan especies muertas y caídas de forma natural.

Pastizal, tres áreas desmontadas convertidas en pastizales con una edad de abandono de 10, 20 y 30 años. La regeneración natural fue dominada por una especie considerada invasora, el huizache (*Vachellia farnesiana*).

Para la estimación del contenido de carbono se utilizó un diseño de muestreo sistemático, en cada área se realizaron cuatro sitios de muestreo cuadrangulares de 1,600 m² (40 x 40 m) dividido en cuatro cuadrantes. En el cuadrante I se midieron todos los árboles y arbustos mayores de 1 cm de diámetro (d_{0,10}). En los cuadrantes II, III y IV se evaluaron únicamente los individuos mayores de 5 cm de diámetro (d_{0,10}). Las mediciones dasométricas que se hicieron son altura total (h) y diámetro (d_{0,10}).

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

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

Dónde:

B = biomasa aérea (peso seco de los árboles y/o arbustos, kg)

CC = concentración de carbono (%)

Para la determinación de la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas se utilizó una ecuación alométrica local tomada de Nívar *et al.* (2004).

$$BT = (0.026884 + 0.001191D^2H + 0.044529D - 0.01516H) + (1.025041 + 0.023663D^2H - 0.17071H - 0.09615 \ln H) + (-0.43154 + 0.011037D^2H + 0.113602D + 0.307809 \ln D)$$

donde:

BT= biomasa total aérea (kg)

D= diámetro basal (cm)

H= altura total (m)

La concentración de carbono fue tomada de Yerena *et al.* (2011) que recomiendan 45.4 % para la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco.

El potencial de captura de carbono se estimó mediante la relación del contenido de carbono almacenado por hectárea del sistema entre el tiempo de abandono, para la conversión ha contenido de CO_{2e} (dióxido de carbono equivalente) se multiplicó el contenido de carbono por 44/12 (es una relación del peso atómico de CO₂ entre el peso atómico de carbono) (IPCC, 2006).

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza ANDEVA (con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$) completamente aleatorio para determinar si existen efectos significativos en el contenido de carbono, estableciéndose como tratamientos los 4 sistemas (matorral primario, pastizal de 10 años, pastizal de 20 años y pastizal de 30 años) con cuatro réplicas cada uno, y cuando resulte 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

Riqueza de especies y densidad de individuos

En el matorral primario se encontraron 24 especies (Tabla 1), en las áreas de pastizal el número de especies fue aumentando con el tiempo de abandono, resultando: pastizal de 10, 20 y 30 años con 4, 12 y 15 especies respectivamente, estando la especie *Vachellia farnesiana* con mayor densidad de individuos por hectárea en las tres áreas, disminuyendo esta con la edad de abandono y a su vez dejando el

restablecimiento de otras especies (Tabla 2, 3 y 4), comportándose como una especie agresiva en los primeros años de la sucesión ecológica, lo que concuerda con los resultados de Estrada *et al.* (2004) y de Jiménez *et al.* (2012), mencionan que las aéreas abandonadas que han sufrido algún tipo de disturbio por actividad antropogénica tienden a reflejar una baja disponibilidad de nitrógeno, resultando el establecimiento de especies con esta característica.

Las especies *Vachellia rigidula*, *Havardia pallens* y *Forestiera angustifolia* son las que obtuvieron el mayor número de individuos por hectárea con 2,496, 2,232 y 1,883 respectivamente en el sistema matorral primario (Tabla 1). En el sistema pastizal de 30 años la especie *Vachellia farnesiana* es la que resultó con la densidad superior con 823 individuos/hectárea, seguida por *Diospyros texana* con 161 ind/ha y *Prosopis laevigata* con 159 ind/ha (Tabla 2). En lo que respecta al sistema pastizal de 20 años las especies *Vachellia farnesiana*, *Prosopis laevigata* y *Celtis pallida* alcanzaron los valores mayores de número de individuos por hectárea con 1,501, 147 y 86 respectivamente (Tabla 3). *Vachellia farnesiana* fue la especie con mayor densidad en el sistema de pastizal de 10 años con 4,303 individuos/hectárea seguida por *Vachellia rigidula* con 150 ind/ha (Tabla 4). Lo anterior indica que existe un estado de regeneración activo.

Número de individuos por categorías diamétricas

El matorral primario es el sistema que tiene mayor número de individuos por hectárea y en las primeras tres categorías diamétricas, seguido por el pastizal de 10 años. En el sistema pastizal de 30 años se encontraron siete categorías diamétricas, consecutivamente matorral primario y el pastizal de 20 años con cinco, por último el pastizal de 10 años solamente con tres categorías. En todos los sistemas el mayor número de individuos se localizan en las categorías menores. El pastizal de 10 años en la categoría diamétrica 5 tiene un mayor número de individuos por hectárea que los otros sistemas de pastizal, de igual manera el pastizal de 20 años en la categoría diamétrica 10 y el pastizal de 30 años en la categoría diamétrica 15 (Tabla 5). Lo anterior demuestra que existe un crecimiento óptimo en diámetro a través de los años mediante la restauración pasiva post-pecuaria.

Tabla 1. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema matorral primario.

	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos/ha
1	<i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Gavia	2,496
2	<i>Havardia pallens</i> (Benth) Britt & Rose	Tenaza	2,232
3	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Panalero	1,883
4	<i>Diospyros texana</i> Scheele.	Chapote blanco	865
5	<i>Amyris madrensis</i> S. Wats.	Barreta china	381
6	<i>Mimosa monancistra</i> Benth.	Uña de gato	337
7	<i>Castela texana</i> (T. & G.) Rose	Chaparro amargoso	293
8	<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele.	Vara dulce	223
9	<i>Cordia boissieri</i> A. D.C.	Anacahuíta	198
10	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	191
11	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	163
12	<i>Bernardia myricaefolia</i> (Sheele) Wats.	Oreja de ratón	152
13	<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zucc.	Coyotillo	150
14	<i>Sideroxilum celastrinum</i> (Kunth) Pennington	Coma	126
15	<i>Helietta parvifolia</i> (Gray) Benth.	Barreta	93
16	<i>Croton torreyanus</i> Muell Arg.	Croton	88
17	<i>Condalia hoockeri</i> M. C. Johnst.	Brasil	62
18	<i>Cercidium macrum</i> I. M. Johnst.	Palo verde	43
19	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Britton et Rose	Ebano	31
20	<i>Randia rhagocarpa</i> Standl.	Cruceto	28
21	<i>Guaiacum angustifolium</i> (Engelm.) Gray	Guayacan	28
22	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston	Mezquite	20
23	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	9
24	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berl.) I. M. Johnst	Cenizo	2
Total			10,094

Biomasa aérea y contenido de carbono

En los sistemas matorral primario y pastizal de 10 años las mayores reservas de biomasa aérea y de contenido de carbono se encuentran en las categorías diamétricas menores, en cambio en el sistema pastizal de 30 años resulto en las categorías diamétricas 15, 10 y 35, a su vez en el sistema pastizal de 20 años se presentó en las categorías diamétricas 10, 20 y 15 (Tabla 6).

El matorral primario es el sistema que resultó con los valores mayores de biomasa aérea y contenido de carbono seguido por los pastizales de 30, 20 y 10

años. El sistema matorral primario tiene un mayor contenido de carbono al de los otros sistemas ($P < 0.0001$); los sistemas pastizal de 10 y 20 años, así como pastizal de 20 y 30 años no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí (Tabla 7), lo cual está relacionado porque en el sistema de menor tiempo de abandono hay un mayor número de individuos que en el sistema de mayor tiempo pero en este último los individuos son de porte mayor en sus variables dasométricas. Recuperar el estado inicial del matorral primario tomará muchos años, tal como se puede apreciar con el sistema pastizal de 30 años que alcanza solo un 56% de lo que se tenía en reservas del matorral primario.

Tabla 2. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema pastizal de 30 años.

	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos/ha
1	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	823
2	<i>Diospyros texana</i> Scheele.	Chapote blanco	161
3	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston	Mezquite	159
4	<i>Sideroxilum celastrinum</i> (Kunth) Pennington	Coma	93
5	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	68
6	<i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Gavia	66
7	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	52
8	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama	42
9	<i>Koeberlinia spinosa</i> Zucc.	Corona de cristo	30
10	<i>Cercidium macrum</i> I. M. Johnst.	Palo verde	20
11	<i>Mimosa monancistra</i> Benth.	Uña de gato	19
12	<i>Cordia boissieri</i> A. D.C.	Anacahuita	9
13	<i>Condalia hoockeri</i> M. C. Johnst.	Brasil	6
14	<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele.	Vara dulce	6
15	<i>Guaiacum angustifolium</i> (Engelm.) Gray	Guayacan	6
Total			1,560

Tabla 3. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema pastizal de 20 años.

	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos/ha
1	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	1,501
2	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston	Mezquite	147
3	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	86
4	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Panalero	68
5	<i>Cordia boissieri</i> A. D.C.	Anacahuita	38
6	<i>Havardia pallens</i> (Benth) Britt & Rose	Tenaza	33
7	<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray	Árbol del potro	23
8	<i>Randia rhagocarpa</i> Standl.	Cruceto	19
9	<i>Sideroxilum celastrinum</i> (Kunth) Pennington	Coma	8
10	<i>Mimosa monancistra</i> Benth.	Uña de gato	6
11	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Britton et Rose	Ebano	5
12	<i>Helietta parvifolia</i> (Gray) Benth.	Barreta	3
Total			1,937

Tabla 4. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema pastizal de 10 años.

	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos/ha
1	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	4,303
2	<i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Gavia	150
3	<i>Havardia pallens</i> (Benth) Britt & Rose	Tenaza	19
4	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	5
Total			4,477

Tabla 5. Número de individuos por categoría diamétrica.

Clase diamétrica	Matorral Primario Ind ha ⁻¹	Pastizal 30 años Ind ha ⁻¹	Pastizal 20 años Ind ha ⁻¹	Pastizal 10 años Ind ha ⁻¹
5	8,337	950	1,062	3,969
10	1,450	354	650	464
15	256	170	109	44
20	48	37	93	
25	3	31	23	
30		6		
35		12		
Total	10,094	1,560	1,937	4,477

Tabla 6. Biomasa aérea y contenido de carbono por categoría diamétrica.

Clase diamétrica	Matorral Primario		Pastizal 30 años		Pastizal 20 años		Pastizal 10 años	
	MgB ha ⁻¹	MgC ha ⁻¹						
5	11.38	5.16	1.78	0.81	1.85	0.84	5.33	2.42
10	10.88	4.94	3.28	1.49	4.96	2.25	2.71	1.23
15	6.43	2.92	4.04	1.83	2.54	1.15	1.05	0.48
20	2.41	1.09	1.82	0.83	4.73	2.15	-	-
25	0.30	0.14	2.61	1.18	2.07	0.94	-	-
30	-	-	1.13	0.51	-	-	-	-
35	-	-	3.04	1.38	-	-	-	-
Total	31.40	14.25	17.70	8.03	16.15	7.33	9.09	4.13

Tabla 7. Biomasa aérea y contenido de carbono (Mg ha⁻¹) en los sistemas.

Sistema	Media		Desviación estándar de la media		Error estándar de la media	
	Biomasa*	Carbono**	Biomasa	Carbono	Biomasa	Carbono
Pastizal 10 años	9.09 ^a	4.13 ^a	2.41	1.09	1.20	0.54
Pastizal 20 años	16.15 ^{ab}	7.33 ^{ab}	5.04	2.29	2.52	1.14
Pastizal 30 años	17.70 ^b	8.03 ^b	3.89	1.76	1.94	0.88
Matorral primario	31.40 ^c	14.25 ^c	4.24	1.92	2.12	0.96

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

*F(3, 12)= 21.623, p= 0.00004

**F(3, 12)= 21.641, p= 0.000039

El valor de biomasa en el matorral primario (31 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) en Sonora de 29.24 y 13.03 Mg ha⁻¹ para el matorral de desierto y matorral espinoso 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 superiores para el matorral espinoso tamaulipeco, de 36.75, 44.40 y 48.40 Mg ha⁻¹ respectivamente.

El contenido de carbono en la biomasa aérea en el sistema matorral primario, resultó mayor 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 para diferentes tipos de vegetación y sistemas (Callo-Concha *et al.*, 2002; Lapeyre *et al.*,

2004; Callo-Concha *et al.*, 2004; Pacheco *et al.*, 2007; Ibrahim *et al.*, 2007).

El potencial de captura de carbono expresado en $\text{MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ presenta un valor mínimo de $0.27 \text{ MgC ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ que equivale a $0.99 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en el sistema pastizal de 30 años, seguido por el pastizal de 20 años con $0.37 \text{ MgC ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ que equivale a $1.36 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y, se obtuvo un valor máximo de $0.41 \text{ MgC ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ equivale $1.51 \text{ MgCO}_2\text{e ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en el pastizal de 10 años. El potencial de captura de carbono disminuye con el aumento del tiempo de abandono de los sistemas, se atribuye a que los individuos de mayor edad van adquiriendo menos crecimiento y productividad lo cual está conexo con el secuestro de carbono.

Tomando en cuenta el potencial de almacenamiento de carbono del huizache (*Vachellia farnesiana*) considerada invasora en los pastizales, le da un valor agregado para su conservación e implementación en sistemas pastoril-silvícolas. La dominancia de esta especie en la restauración pasiva post-pecuaria debido a su plasticidad fenotípica se pensaría que causa graves desequilibrios ecológicos, pero en estas áreas de manera natural con el paso de los años permite el establecimiento de otras, lo cual demuestra que no crea una alteración significativa en la composición de las especies, sin olvidar que el impacto principal es el antropogénico al realizar cambio de uso de suelo de matorral espinoso tamaulipeco a pastizales. Otro punto importante es el costo-beneficio de la sucesión natural (cero costos económicos) en comparación de la implementación de acciones de restauración ecológica (generación de costos económicos).

CONCLUSIONES

El contenido de carbono en los sistemas abandonados presentaron reservas superiores en los pastizales de 30 y 20 años con 8.03 y 7.33 Mg ha^{-1} respectivamente, seguido por el pastizal de 10 años con 4.13 Mg ha^{-1} .

La recuperación y el desarrollo a través del tiempo de las especies arbóreas y arbustivas de manera natural en los pastizales, además de cumplir con la función de conservar suelos y aguas, tienen un gran potencial como almacenadoras de carbono.

Se deberá compatibilizar las actividades de pastoreo en las áreas con regeneración natural evitando que el cambio de uso de suelo con fines agropecuarios o de cualquier otra índole afecte su permanencia y potencialidad.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor para realizar estudios de Doctorado en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Naturales.

REFERENCIAS

- Alberto, D.M., Elvir, J.A. 2008. Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales en Honduras. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. 17:67-78.
- Brown, S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. Winrock International for the World Bank, Arlington, Virginia.
- Burquez, A., Martínez-Yrizar, A., Nuñez, S., Quintero, T., 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.
- Burquez, A., 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.
- Callo-Concha, D., Krishnamurthy, L., 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., 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., Ni, J. 2001. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. Ecological Applications. 11:356-370.
- Correia, A.C., Tomé, M., Pacheco, C.A., Faias, S., Dias, A.C., Freire, J., Carvalho, P.O., Pereira, J.S. 2010. Biomass allometry and carbon factors for a Mediterranean pine (*Pinus pinea* L.) in Portugal. Forest Systems. 19:418-433.
- Estrada, E., Yen, C., Delgado, A., Villarreal, J. 2004. Leguminosas del centro del estado de Nuevo León, México. Anales del Instituto de

- Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica. 75:73-85.
- Francis, J. 2000. Estimating Biomass and Carbon Content of Saplings in Puerto Rican Secondary Forests. *Caribbean Journal of Science*. 36:346-350.
- Fonseca, W., Rey-Benayas, J.M., Alice, F.E. 2011. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 262:1400-1408.
- Fonseca, W., Alice, F.E., Rey-Benayas, J.M. 2012. Carbon accumulation in aboveground and belowground biomass and soil of different age native forest plantations in the humid tropical lowlands of Costa Rica. *New Forests*. 43:197-211.
- Gayoso, J., Guerra, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque*. 26:33-38.
- González, E.M., Jurado, E., González, E.S., Aguirre, C.O., Jiménez, P.J., Navar, J. 2003. Cambio Climático Mundial: Origen y Consecuencias. *Ciencia UANL*. 6:337- 386.
- Houghton, R.A., Hackler, J.L., Lawrence, K.T. 1999. The U.S. carbon budget: Contributions from land-use change. *Science*. 285:574-577.
- 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, Chile, 18 al 20 de octubre de 2001. 9 p.
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, J., 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.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Consultado 6 de octubre de 2012.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges>
- [or.jp/public/2006gl/spanish/index.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html). Consultado 6 de octubre de 2012.
- Jaramillo, V. 2004. El ciclo global del carbono. En: Martínez, J., Fernández, A.B., (eds.). Cambio climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México. pp. 77-85.
- Jiménez, J., Alanís, E., Ruiz, J., González, M., Yerena, J., Alanís, G. 2012. Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el noreste de México. *Revista Ciencia UANL*. 58:66-71.
- Lapeyre, T., Alegre, J., 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., Gough, L. 2001. What is the observed relationship between species richness and productivity?. *Ecology*. 82:2381-2396.
- Návar, J., Mendez, E., Dale, V. 2002. Estimating stand biomass in the tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Annals of Forest Science*. 59:813-821.
- Návar, J., Mendez, E., Graciano, J., Dale, V., 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*. 3:1-6.
- Navar-Cháidez, J. 2010. Biomass allometry for tree species of northwestern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12:507-519.
- Lin, Y.J., Liu, C.P., Lin, J.C. 2002. Measurement of specific gravity and carbon content of important timber species in Taiwan. *Journal of Forest Science*. 17:291-299.
- Pacheco, C., Aldrete, A., Gomez, A., Fierros, A., Centina-Alcala, V., Vaquera, H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de un plantación joven de *Pinus greggii*

- Engelm. Revista Fitotecnia Mexicana. 38:251-254.
- Peri, P., Viola, M., Martínez, G. 2004. Estimación de biomasa y secuestro de carbono en bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) en Patagonia Sur. Publicación Técnica Forestal No 24, Convenio INTA-UNPA-CAP. Argentina. 9 p. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/santacruz/>. Consultado 3 de septiembre de 2012.
- Ruiz-Peinado, R., del Rio, M., Montero, G. 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. Forest Systems. 20:176-188.
- Schulze, E., Wirth, Ch., Heimann, M. 2000. Managing Forest after Kyoto. Science. 289:2058-2059.
- Vargas-Mena, A.A., Yáñez S.A. 2004. La Captura de Carbono en Bosques: ¿Una Herramienta para la Gestión Ambiental?. Gaceta Ecológica. 70:5-18.
- Yerena-Yamallel, J.I., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O.A., Treviño-Garza, E.J. 2011. Concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso tamaulipeco. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17:283-291.
- Yerena, J., Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño, E. 2012. Contenido de carbono total en los componentes de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México. Bosque. 33:145-152.

Submitted January 18, 2013 – Accepted March 27, 2014
Revised received April 02, 2014