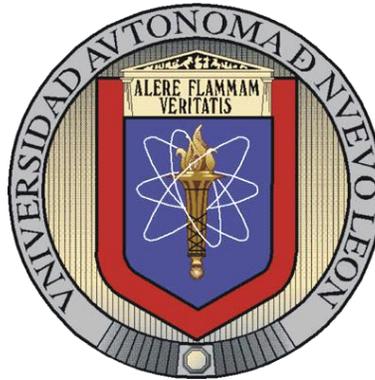


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**DINÁMICA DE LA CAPTURA DE CARBONO DERIVADA DE LOS  
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS EN ECOSISTEMAS DEL  
NORESTE DE MÉXICO**

TESIS DE DOCTORADO

Como requisito parcial para obtener el grado de  
**DOCTORADO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE  
RECURSOS NATURALES**

Presenta

**M.C. JOSÉ ISRAEL YERENA YAMALLEL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

DINÁMICA DE LA CAPTURA DE CARBONO DERIVADA DE LOS  
IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS EN ECOSISTEMAS DEL  
NORESTE DE MÉXICO

TÉSIS DE DOCTORADO

Como requisito parcial para obtener el grado de  
DOCTORADO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE  
RECURSOS NATURALES

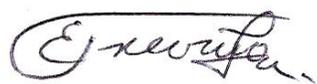
Presenta

M.C. JOSÉ ISRAEL YERENA YAMALLEL

Comité de Tesis:



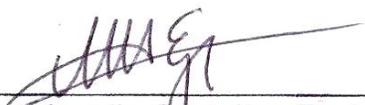
Dr. Javier Jiménez Pérez  
Director de Tesis



Dr. Eduardo Javier Treviño Garza  
Asesor



Dr. Oscar A. Aguirre Calderón  
Asesor



Dr. Marco Aurelio González Tagle  
Asesor



Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna  
Asesor Externo

Linares, Nuevo León, México

Enero de 2013

Manifiesto que la presente investigación es original y fue desarrollada para obtener el grado de Doctorado en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Naturales, donde se utiliza información de otros autores se otorgan los créditos correspondientes.

José Israel Yerena Yamallel

Enero de 2013

## **Dedicatoria**

A mi esposa Evelyin por tener la confianza de creer en mí, por su gran paciencia y comprensión. Por darme dos grandes motivaciones de lucha y dedicación, las cuales son mis hijas Natalia y Fatima, las cuales todos los días me hacen reír, reflejando la simplicidad de la vida. A las tres, por las cuales voy seguir esforzándome, con el fin de seguir siendo felices.

A mis padres, por todo el apoyo incondicional durante mi formación y por confiar en mis objetivos de vida.

A mis hermanos, por todos los momentos que hemos vivido desde niños.

A mis abuelitos, que desgraciadamente ya no los tengo conmigo pero que nunca los voy a olvidar por que fueron y serán una parte importante de mi vida.

A Dios, por darme esta vida y ayudarme a vivirla.

## **Agradecimiento**

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por haberme aceptado en su programa de Doctorado en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Naturales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me facilitó para realizar el Doctorado.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por haber confiado en mí y haberme aceptado para formar parte de su grupo de trabajo, por su gran asesoramiento para la elaboración de esta tesis y por su gran ayuda en mi formación.

Al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza, por haber aceptado formar parte de esta investigación y por sus acertados comentarios para la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Oscar A. Aguirre Calderón, por sus valiosos consejos en la elaboración de esta tesis y aceptar en formar parte del comité de tesis.

Al Dr. Marco Aurelio González Tagle por su maravillosa asesoría para el análisis experimental de la información y acceder a integrarse en este estudio.

A mi asesor externo Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna por su amable aprobación en formar parte del comité de tesis y su colaboración en este trabajo.

A todos los profesores de esta facultad por todas las cosas que me enseñaron.

A Claudio Castillo por todo su gran apoyo de logística para las salidas de campo y por su amistad.

A mis compañeros de campo Andrés, Francisco, Horacio y Pepe, por su grande ayuda, y que con todos durante estos años tuve muchos momentos agradables.

A mis amigos de antaño Oliver, Meny, Beto y Luis por todos los momentos de alegría y tristeza que hemos tenido en nuestros años de amistad y porque esta siga durando.

A todo el personal docente de esta Facultad por su ayuda y su amable convivencia durante mi tercera estancia.

A todos, Muchas Gracias.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN GENERAL.....	vii
GENERAL ABSTRACT.....	ix

### CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2. LITERATURA CITADA.....	6

### CAPÍTULO II

2. CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE SUELO, EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO.....	9
Resumen.....	10
Abstract.....	11
2.1. INTRODUCCIÓN.....	12
2.2. HIPÓTESIS.....	14
2.3. OBJETIVOS.....	14
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
2.5.1. Número de individuos y biomasa aérea.....	21
2.5.2. Concentración de carbono.....	22
2.5.3. Contenido de carbono.....	23
2.5. CONCLUSIONES.....	26
2.6. LITERATURA CITADA.....	27

### CAPÍTULO III

3. DINÁMICA DE LA CAPTURA DE CARBONO EN PASTIZALES ABANDONADOS DEL NORESTE DE MÉXICO.....	31
Resumen.....	32
Abstract.....	33
3.1. INTRODUCCIÓN.....	34
3.2. HIPÓTESIS.....	36
3.3. OBJETIVOS.....	36
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42

3.5.1. Riqueza de especies y densidad de individuos.....	42
3.5.2. Número de individuos por categorías diamétricas.....	45
3.5.3. Biomasa aérea y contenido de carbono.....	48
3.6. CONCLUSIONES.....	51
3.7. LITERATURA CITADA.....	52

#### CAPÍTULO IV

4. DINÁMICA DE LA CAPTURA DE CARBONO EN ÁREAS CON USO HISTÓRICO DE AGRICULTURA, EN MEZQUITALES.....	57
Resumen.....	58
Abstract.....	59
4.1. INTRODUCCIÓN.....	60
4.2. HIPÓTESIS.....	62
4.3. OBJETIVOS.....	62
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	63
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.5.1. Riqueza de especies y densidad de individuos.....	68
4.5.2. Número de individuos por categorías diamétricas.....	71
4.5.3. Biomasa aérea y contenido de carbono.....	73

	Página
4.6. CONCLUSIONES.....	76
4.7. LITERATURA CITADA.....	77

## CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES GENERALES.....	80
----------------------------------	----

## INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Número de individuos y biomasa aérea por clase diamétrica.....	21
2. Concentración de carbono de los componentes por sistema.....	22
3. Contenido de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en los sistemas.....	23
4. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema matorral primario.....	43
5. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema pastizal de 30 años.....	44
6. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema pastizal de 20 años.....	44
7. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema pastizal de 10 años.....	45
8. Biomasa aérea y contenido de carbono por categoría diamétrica.....	48
9. Contenido de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en los sistemas.....	49
10. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema mezquital primario.....	69
11. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema mezquital de 30 años.....	70
12. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema mezquital de 15 años.....	70
13. Biomasa aérea y contenido de carbono por categoría diamétrica.....	73
14. Contenido de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en los sistemas.....	74

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Sistema matorral primario.....	16
2. Sistema agricultura tradicional.....	16
3. Sistema matarasa.....	17
4. Localización de las áreas de estudio.....	18
5. Biomasa aérea y contenido de carbono en los sistemas evaluados.....	24
6. Sistemas: pastizal de a) 10, b) 20 y c) 30 años.....	38
7. Localización de las áreas de estudio.....	39
8. Representación de una sitio de muestreo en campo.....	40
9. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el matorral primario.....	46
10. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el pastizal de 30 años.....	47
11. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el pastizal de 20 años.....	47
12. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el pastizal de 10 años.....	48
13. Biomasa aérea y contenido de carbono en los sistemas evaluados.....	50
14. Sistema mezquital primario.....	63
15. Sistemas: mezquital a) 15 y b) 30 años.....	64
16. Localización de las áreas de estudio.....	65
17. Representación de una sitio de muestreo en campo.....	66
18. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el mezquital primario.....	71
19. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el mezquital de 15 años.....	72
20. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el mezquital de 30 años.....	72
21. Biomasa aérea y contenido de carbono en los sistemas evaluados.....	75

## RESUMEN GENERAL

Las actividades económicas-productivas producen cambio de uso de suelo de acuerdo con las necesidades de la sociedad y de los programas gubernamentales, ya sea para la explotación de recursos naturales o de la adaptación a tierras agrícolas o pecuarias. El objetivo del presente trabajo fue estimar 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 diez áreas, ocho de ellas se encuentran en el municipio de Linares, una en Hualahuises, en el estado de Nuevo León, y una en Mainero, Tamaulipas, comprendiendo dos tipos de vegetación: matorral espinoso tamaulipeco y mezquitales. 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 m<sup>2</sup> (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 ( $d_{0.10}$ ). En los sistemas evaluados el mezquital de 30 años de abandono resultó con el valor mayor de contenido de carbono en la biomasa aérea con 18.83 Mg ha<sup>-1</sup> en un tipo de geoforma de valle, seguido por el mezquital primario con 14.76 Mg ha<sup>-1</sup> y el matorral primario con valores de 14.25 y 11.7 Mg ha<sup>-1</sup> en dos tipos de geoforma llanura y lomerío respectivamente. El contenido de carbono en los sistemas abandonados presentaron reservas mayores en los pastizales de 30 y 20 años con 8.03 y 7.33 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, seguido por el mezquital de 15 años con 5.24 Mg ha<sup>-1</sup>, matarasa con 4.67 Mg ha<sup>-1</sup>, el pastizal de 10 años con 4.13 Mg ha<sup>-1</sup> y por último agricultura tradicional con 2.98 Mg ha<sup>-1</sup>. Recuperar las reservas de carbono en áreas con impactos antropogénicos en el matorral espinoso tamaulipeco toma muchos años, tal como se pudo comprobar en el sistema pastizal de 30 años que alcanza solo un 56% de lo que se tenía en reservas del matorral primario, pero la recuperación del contenido de carbono en un tipo de geoforma de valle es posible, por el escurrimiento y disponibilidad

del agua que son determinante en la producción de biomasa, como se pudo apreciar en el sistema mezquital de 30 años que sobrepaso el contenido de carbono que se tenía en reservas del mezquital primario.

## GENERAL ABSTRACT

Economic-productive activities produce change of land use in accordance with the needs of society and of government programs, either for the exploitation of natural resources or adaptation to agricultural land or livestock. The objective of the present study was to estimate the carbon content in aboveground biomass in different land use systems in a fraction of tamaulipan thornscrub. The study was conducted in ten areas, eight of them are in the town of Linares, one in Hualahuises, in the state of Nuevo Leon, and one in Mainero, Tamaulipas, comprising two types of vegetation: tamaulipan thornscrub and mezquites. For the estimation of the carbon content was used a systematic sampling design, in each area were established four sampling sites of 1,600 m<sup>2</sup> (40 x 40 m) divided into four quadrants. In quadrant I measured all trees and shrubs greater than 1 cm in diameter ( $d_{0.10}$ ). In the quadrants II, III and IV were evaluated only individuals over 5 cm in diameter ( $d_{0.10}$ ). In the systems evaluated the mezquite of 30 years of neglect resulted with the carbon content in aboveground biomass highest with 18.83 Mg ha<sup>-1</sup> in a valley geoform type, followed by the primary mezquite with 14.76 Mg ha<sup>-1</sup> and primary scrub with values of 14.25 and 11.7 Mg ha<sup>-1</sup> in two types of plain and hillocks geoform respectively. The carbon content in the abandoned systems showed reserves higher in grassland of 30 and 20 years with 8.03 and 7.33 Mg ha<sup>-1</sup> respectively, followed by mezquite of 15 years with 5.24 Mg ha<sup>-1</sup>, clearcut with 4.67 Mg ha<sup>-1</sup>, the grassland of 10 years with 4.13 Mg ha<sup>-1</sup> and finally the system of traditional agriculture with 2.98 Mg ha<sup>-1</sup>. Recover carbon stocks in areas with in tamaulipan thornscrub anthropogenic impacts takes many years, such as it could be verified in the system of grassland of 30 years that only 56 % of what was in the primary scrub reserves, but the recovery of carbon content in a type of geoform valley is possible, for the runoff and water availability that are decisive for the production of biomass, as can be seen with the mezquite of 30 years bypass the carbon content that was had in primary mezquite reserves.

## CAPÍTULO I

### 1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El efecto invernadero ocurre porque la superficie de la Tierra, la cual es más fría que el Sol, emite energía radiante en forma de longitudes de onda larga y los gases de efecto invernadero (GEI) como son: el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), clorofluorocarbonos (CFC), ozono (O<sub>3</sub>) y el vapor de agua con fluctuaciones anuales (Houghton y Woodwell, 1989; Dixon *et al.*, 1994; Masera, 1995), absorben algo de estas ondas infrarrojas. Cuando esto sucede se produce el calentamiento de la atmósfera. Estos gases también despiden radiación infrarroja y la energía vuelve a calentar el relieve terrestre. Al evitar la rápida salida de la radiación infrarroja los gases de efecto invernadero actúan como una capa aislante alrededor del planeta, provocando que su área sea mucho más caliente que si estos no estuvieran presentes.

En el fenómeno del calentamiento global, por las acciones del ser humano, los almacenes de carbono se han visto alteradas tanto en la biomasa como en el suelo; pero principalmente en el subsuelo que es donde se han desenterrado grandes cantidades de carbono mediante la extracción de los combustibles fósiles (petróleo), incorporando grandes cantidades de los GEI a la atmósfera.

En México, como en otros países, los recursos naturales están sometidos al deterioro que se expresa en elevadas tasas de pérdida de diversidad biológica, deforestación, erosión del suelo, desertificación y contaminación de cuencas hidrológicas (Masera, 1995; Velásquez *et al.*, 2001).

Para mitigar el cambio climático se considera cualquier acción que tenga como resultado una reducción en las emisiones de los GEI en general y/o la sustitución de los combustibles fósiles por biocombustibles, los cuales prometen

ser una alternativa viable para aminorar el calentamiento global. Por otra parte, se identifican dos opciones básicas para amortiguar el cambio climático en el sector forestal: a) la conservación, que consiste en la preservación de áreas naturales protegidas, el fomento hacia un manejo sostenible de los bosques naturales y la protección de las áreas arboladas para reducir los incendios, así como evitar las plagas y las enfermedades; b) el aumento de la extensión de las áreas arboladas, ya sea mediante la reforestación dedicada a recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración, el desarrollo de plantaciones comerciales para producir madera, pulpa para papel, hule, etc., así como el aumento de plantaciones energéticas y de sistemas agroforestales. Acciones como las anteriores tienen por objetivo incrementar la fijación de carbono y mantener estables los stocks (Masera, 1995).

Uno de los principales riesgos que puede poner en peligro la permanencia del carbono almacenado en los bosques es el *riesgos asociados con la demanda*: cuando la demanda de productos agrícolas y/o pecuarios es el principal causante de la deforestación, un aumento en los precios de los mercados nacionales o mundiales puede aumentar los costos de oportunidad por encima de los precios de carbono acordados, haciendo que la conversión forestal sea rentable (Wong y Dutschke, 2003).

Para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del cambio climático es imprescindible conocer la dinámica del carbono en los ecosistemas forestales y las modificaciones de los flujos de carbono derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo, a su vez es indispensable por un lado, poseer la información básica sobre los contenidos de carbono en los diferentes depósitos del ecosistema (Ordóñez, 1999; Pagiola *et al.*, 2002), pero además tener el sustento de los gobiernos para apoyar las labores que sean necesarias y efectivas.

Dado lo anterior, el IPCC (2006) desarrolló las directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, que proporcionan métodos para la medición de los depósitos de carbono en la biomasa, materia orgánica muerta y materia orgánica del suelo, lo que ha llevado a la emisión de procesos de certificación de las existencias de CO<sub>2</sub> almacenadas en distintos tipos de vegetación.

Se han planteado distintas opciones de mitigación, como innovaciones tecnológicas en los procesos productivos, el uso de energías alternativas a los combustibles fósiles, la posibilidad de “enterrar” el bióxido de carbono en las profundidades del océano o en cavernas, etc (IPCC, 2005). No obstante, hoy se toman en cuenta los proyectos forestales por la razón fundamental, mediante la cual la energía solar activa el proceso de fotosíntesis y la vegetación captura el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y lo fijan en sus células como carbono, liberando oxígeno. Como resultado de los procesos fisiológicos las plantas crecen; es así como aproximadamente el 50% de su biomasa es carbono (IPCC, 1996; Brown, 1997; Houghton *et al.*, 1999; Brown, 1999). No obstante, diversos estudios denotan la variabilidad de la concentración de carbono según la especie y tejido del árbol (Lin *et al.*, 2002; Peri *et al.*, 2004; Gayoso y Guerra, 2005; Figueroa *et al.*, 2005; Avendaño *et al.*, 2009). Si bien hay mucho que hacer con respecto al cambio climático, los bosques constituyen un elemento trascendental en la solución del problema, no sólo por su rol de captura y secuestro de carbono, sino también porque su efecto de sustitución mediante la utilización de sus productos (madera) considera el empleo de menor energía. Lo anterior deriva en la importancia de efectuar investigaciones sobre captura de carbono en los ecosistemas forestales.

A partir de las consideraciones anteriores se estableció el objetivo de evaluar la dinámica de la captura de carbono derivada de los impactos antropogénicos en ecosistemas del noreste de México, con la finalidad de estimar su capacidad de

captura de carbono. De contar con toda esta información completa y fidedigna, se podría entonces tener la posibilidad de generar propuestas de mercadeo de carbono sobre bases cuantitativas sólidas. La generación de este tipo de trabajos puede constituir una opción para ir comprendiendo las dinámicas de secuestro de carbono que tienen los ecosistemas y de esa manera, tener la alternativa de obtener ingresos extras debido al pago por servicios ambientales, en este caso particular por la venta de secuestro de carbono, aunque no está limitado sólo a este rubro, sino que también podría ser por la venta de secuestro de agua y el mantenimiento de la biodiversidad, representando así una alternativa viable de desarrollo sustentable para las comunidades rurales, así mismo de evitar que la producción agropecuaria crezca a costa de los terrenos forestales.

Para poder lograr el objetivo general de la tesis se realizaron tres capítulos, a continuación se describen brevemente:

**Capítulo II. Contenido de carbono en la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de suelo, en el matorral espinoso tamaulipeco.** El objetivo del ensayo fue estimar el contenido de carbono en el matorral espinoso tamaulipeco y en áreas de agricultura y matarasa abandonadas. Se evaluó el número de individuos y biomasa aérea por clase diamétrica, la concentración de carbono de los componentes por sistema y el contenido de carbono.

**Capítulo III. Dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados del noreste de México.** El objetivo del 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. Se evaluó la riqueza de especies, el número de individuos por categorías diamétricas, la biomasa aérea y el contenido de carbono.

Capítulo IV. **Dinámica de la captura de carbono en áreas con uso histórico de agricultura, en mezquiales.** El objetivo del estudio fue estimar el contenido de carbono en el mezquital en un tipo geoforma de meseta y áreas con uso histórico de agricultura en dos tipos de geoforma de meseta y valle. Se evaluó la riqueza de especies, el número de individuos por categorías diamétricas, la biomasa aérea y el contenido de carbono.

## 1.2. LITERATURA CITADA

- Avendaño D., M. Acosta, F. Carrillo y J. Etchevers. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Fitotecnia Mexicana* 32(3): 233-238.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper* 134. Rome, Italy. 55 p.
- Brown, S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. Winrock International for the World Bank. Arlington, VA, USA. 11 p.
- 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.
- Figueroa, C., J. D. Etchevers, A. Velázquez y M. Acosta. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana* 23: 57-64.
- Gayoso, J. y J. Guerra. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque* 26(2): 33-38.
- Houghton, R. A., J. L. Hackler and K. T. Lawrence. 1999. The U.S. carbon budget: Contributions from land-use change. *Science* 285: 574-577.
- Houghton R. A., and C. Woodwell M. 1989. Global climate change. *Scientific American* 260(4): 36-40.

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>.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2005. La captación y almacenamiento de dióxido de carbono. Disponible en [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_spm\\_ts\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf).

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/publi/2006gl/spanish/index.html>.

Lin Y., J., C. Liu P., and J. Lin C. 2002. Measurement of specific gravity and carbon content of important timber species in Taiwan. *Journal of Forest Science* 17(3): 291-299.

Masera, O. 1995. Carbon mitigation scenarios for Mexican forest: Methodological considerations and results. *Interciencia* 20(6): 388-395.

Ordóñez, A. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. D.F. México. 72 p.

Pagiola, S., J. Bishop and N. Landell-Mills. 2002. Selling forest environmental services: Market-based Mechanisms for Conservation and Development. Earthscan, London. UK. 299 p.

Peri, P., M. Viola and G. Martínez. 2004. Estimación de Biomasa y secuestro de carbono en bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) en

Patagonia Sur. Publicación Técnica Forestal 24, Convenio INTA-UNPA-  
CAP. Santa Cruz, Argentina. 9 p.

Velásquez A., J. Mas F., R. Mayorga S., J. Palacio L., G. Bocco, G. Gómez R.,  
L. Luna G., I. Trejo, J. López G., M. Palma, A. Peralta, y J. Prado M.  
2001. Inventario forestal nacional 2000: Potencial de Uso y Alcances.  
Ciencias 64: 13-19.

Wong, J. and Dutschke, M. 2003. Can permanence be insured? Consideration  
of some technical and practical issues of insuring carbon credits from  
afforestation and reforestation. HWWA Discussion Paper 235. 17 p.

## **CAPÍTULO II**

### **CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE SUELO, EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO**

## 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 matarasa. Para la estimación del contenido de carbono se realizaron cuatro parcelas rectangulares de 250 m<sup>2</sup> 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<sup>-1</sup> en la biomasa aérea, el valor se reduce drásticamente en los sistemas recuperados con 4.67 MgC ha<sup>-1</sup> en matarasa y 2.98 MgC ha<sup>-1</sup> 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

## **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 m<sup>2</sup> 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<sup>-1</sup> in the aboveground biomass, the value is drastically reduced in the recovered systems with 4.67 MgC ha<sup>-1</sup> in clearcut and 2.98 MgC ha<sup>-1</sup> in traditional agriculture. Tamaulipan thornscrub has great potential as carbon storage, presents a wide capacity of mitigation due to its important surface.

**Keywords:** carbon content, tamaulipan thornscrub, land use systems, aboveground biomass

## 2.1. 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; 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.

## **2.2. HIPÓTESIS**

Áreas con diferente impacto antropogénico y el matorral espinoso tamaulipeco presentan una diferencia significativa en el contenido de carbono en la biomasa aérea.

## **2.3. OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el contenido de carbono en la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de suelo en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

### **Específicos**

- Estimar el contenido de carbono en el matorral espinoso tamaulipeco.
- Estimar el contenido de carbono en áreas de agricultura y matarasa abandonadas, en el matorral espinoso tamaulipeco.

## 2.4. 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). El clima es (A) C (x') (w'') a (e) correspondiente a un clima extremo semi-cálido - 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-coluvial. Éstas se encuentran en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco de la Planicie Costera del Golfo en el municipio de Linares, Nuevo León, México, situado entre las coordenadas 25° 09' y 24° 33' N, y 99° 54' y 99° 07' O, en una altitud de 350 m.s.n.m.

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.



Figura 1. Sistema matorral primario

*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.



Figura 2. Sistema agricultura tradicional

*Matarasa*

Superficie desmontada hace 27 años con fines de investigación utilizando la técnica del cadeneo. Desde entonces no se ha realizado ninguna actividad agrosilvopecuaria.



Figura 3. Sistema matarasa

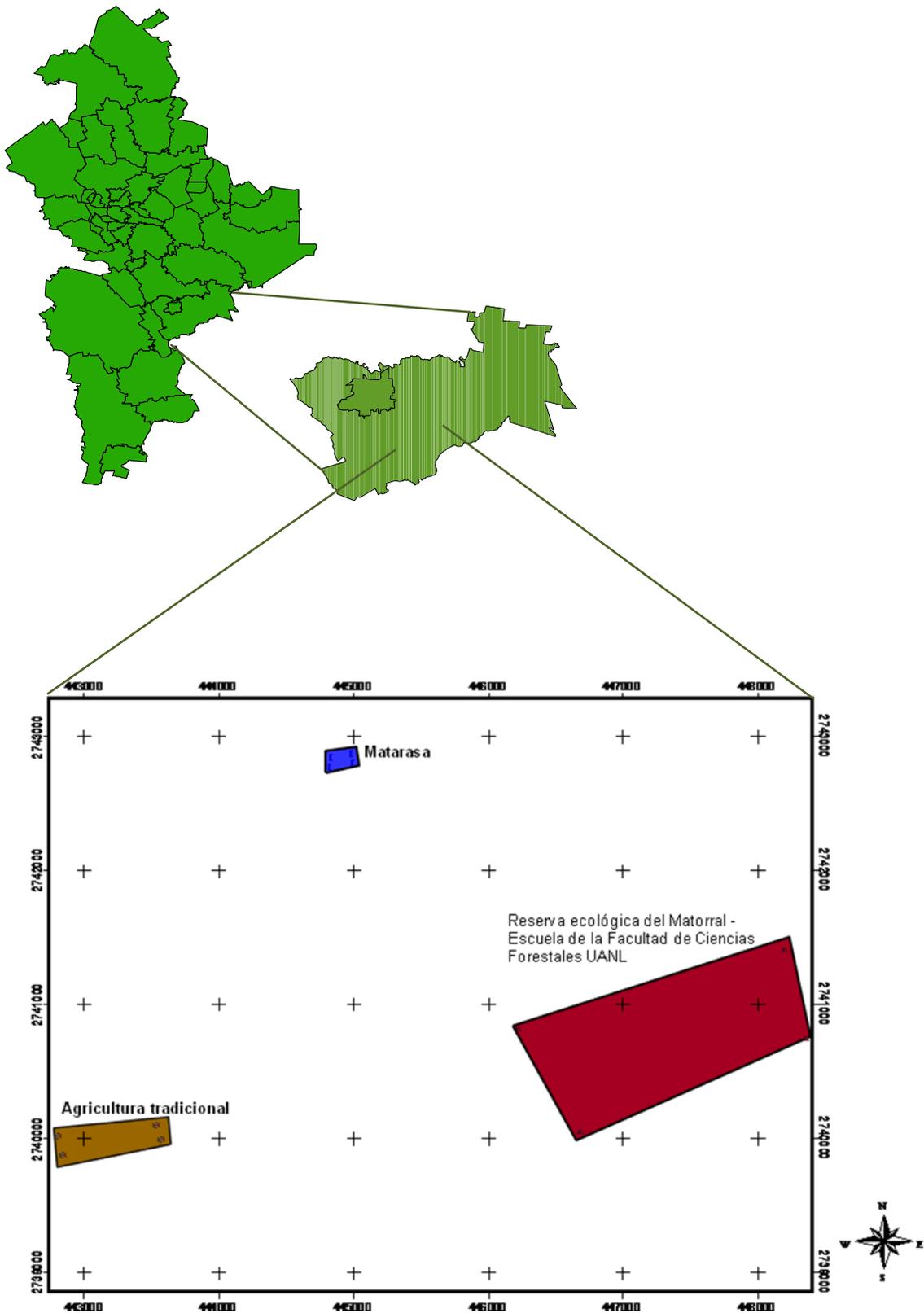


Figura 4. Localización de las áreas de estudio.

Para la estimación del contenido de carbono se realizaron cuatro parcelas rectangulares de 250 m<sup>2</sup> 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<sub>0.10</sub>) mayor a un centímetro y se efectuaron mediciones dasométricas de altura total (h) y diámetro (d<sub>0.10</sub>). Las ecuaciones de biomasa que se aplicaron fueron tomadas de Návar *et al.* (2004) y Návar (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 trituró 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 las concentraciones de carbono de 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 ( $3 \times 4$ ). Cuando resultó significancia en la prueba, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados de contenido de carbono se sometieron a un análisis de varianza ANDEVA (con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ ) para determinar si existen efectos significativos, y cuando resulte significancia en la prueba, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1. 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 matorral en la mayoría de las clases diamétricas a excepción de 1- 5 (Tabla 1).

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

Clase diamétrica	Matorral primario		Matorral		Agricultura tradicional	
	Ind ha <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>	Ind ha <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>	Ind ha <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>
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

El valor de biomasa en el matorral primario (25 Mg ha<sup>-1</sup>) evaluado es mayor al determinado por Návar (2008) de 12.93 Mg ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> y para el matorral espinoso 10.57 Mg ha<sup>-1</sup>; Návar *et al.* (2002), Návar *et al.* (2004) y Návar (2008) citan valores mayores para el matorral espinoso tamaulipeco, de 36.75, 44.40 y 48.40 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, a su vez Búrquez *et al.* (2010) para el matorral de desierto en Sonora, de 29.24 Mg ha<sup>-1</sup>.

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 Návar, 2005). En estos sitios sólo existe la precipitación anual y en algunas especies escorrentía fustal (Návar y Bryan, 1990; Návar, 1993).

### 2.5.2. 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 %.

Tabla 2. Concentración de carbono de los componentes por sistema.

Componente	Sistema	Media±SD*	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
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

<sup>1</sup>Letras iguales son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ )

\*SD = Desviación estándar de la muestra

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 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).

### 2.5.3. 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<sup>-1</sup> en la biomasa aérea, el valor se reduce drásticamente en los sistemas recuperados con 4.67 MgC ha<sup>-1</sup> en matarasa y 2.98 MgC ha<sup>-1</sup> en agricultura tradicional, con el análisis de varianza se determinó que existen diferencias significativas entre los sistemas ( $P < 0.001$ ). La prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) determina que el sistema matorral primario es estadísticamente diferente y con un valor mayor al contenido de carbono de los otros sistemas, los sistemas agricultura tradicional y matarasa son estadísticamente iguales formando un grupo (Tabla 3). 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 42% de lo que se tenía en reservas del matorral primario (Figura 5).

Tabla 3. Contenido de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) en los sistemas.

Sistema	Media±SD*	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Agricultura tradicional	2.98±1.01	a
Matarasa	4.67±0.58	a
Matorral primario	11.70±0.82	b

<sup>1</sup>Letras iguales son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ )

\*SD = Desviación estándar de la muestra

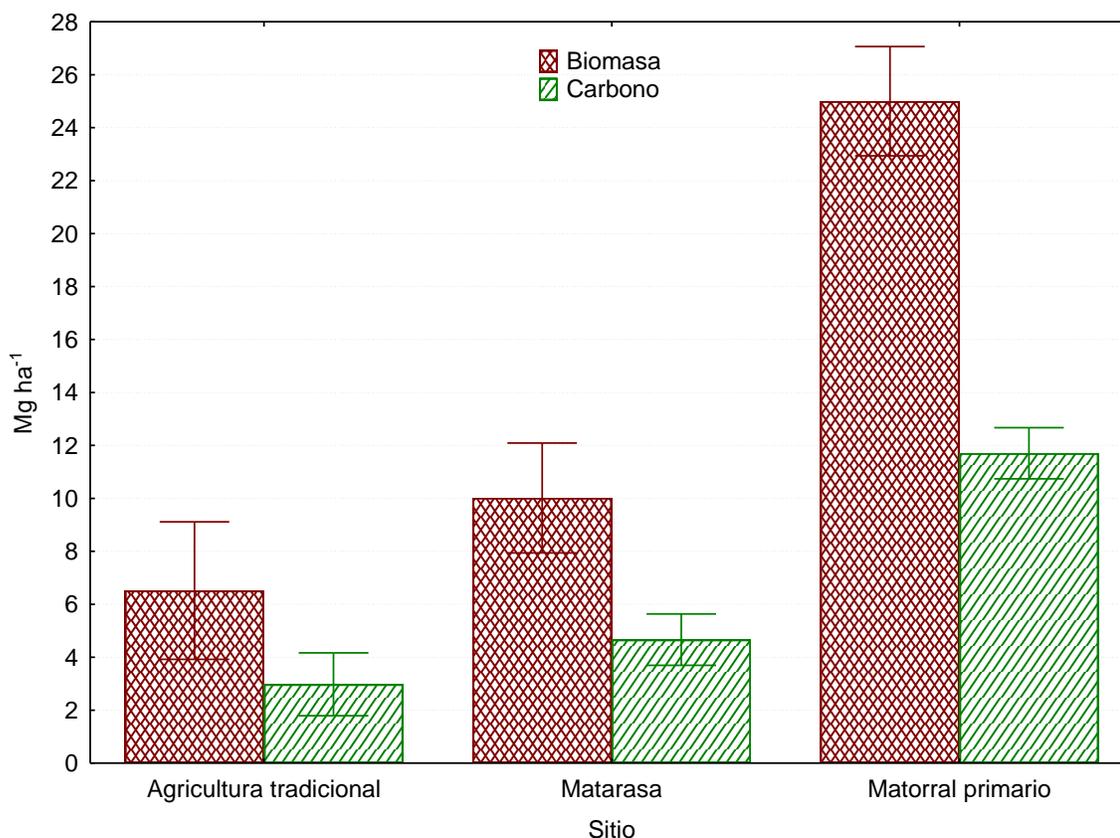


Figura 5. Biomasa aérea y contenido de carbono en los sistemas evaluados.

El contenido de carbono en la biomasa aérea en el sistema de matorral primario evaluado, resultó similar al reportado por Návar (2008) de 11.35 MgC ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> en Bosque primario, 77.4 MgC ha<sup>-1</sup> huerto casero, 67.9 MgC ha<sup>-1</sup> bosque secundario, 45.4 MgC ha<sup>-1</sup> café+sombra, 30.4 MgC ha<sup>-1</sup> silvopastura y para el estrato arbustivo-herbáceo citan valores menores a los de este estudio: 0.75 MgC ha<sup>-1</sup> Bosque primario, 0.54 MgC ha<sup>-1</sup> huerto casero, 0.78 MgC ha<sup>-1</sup> bosque secundario, 0.63 café+sombra, 0.91 MgC ha<sup>-1</sup> silvopastura y 1.28 MgC ha<sup>-1</sup> pastura; Lapeyre *et al.* (2004), en diferentes usos de tierra en San Martín, Peru, determinaron valores de: 485.3 MgC ha<sup>-1</sup> para bosque primario, 234.3 MgC ha<sup>-1</sup> bosque secundario 50 años, 62.1 MgC ha<sup>-1</sup> bosque secundario 20

años, 19.3 MgC ha<sup>-1</sup> agroforestal café-guaba, 47.2 MgC ha<sup>-1</sup> cacao, así mismo valores menores: 1.7 MgC ha<sup>-1</sup> en cultivo de arroz, 4.4 MgC ha<sup>-1</sup> cultivo de maíz, 2.3 MgC ha<sup>-1</sup> pastos manejados; Callo-Concha *et al.* (2004) señalan para sistemas agroforestales valores de 30 MgC ha<sup>-1</sup> en cítricos+plátano, 41.8 MgC ha<sup>-1</sup> cítricos + café+ plátano, 39.2 MgC ha<sup>-1</sup> cítricos+café, 37.2 MgC ha<sup>-1</sup> cítricos+cobertura y 61.8 MgC ha<sup>-1</sup> cítricos+pelibuey; Pacheco *et al.* (2007) reportan 17.9 MgC ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> para bosque secundario, 92.42 MgC ha<sup>-1</sup> plantación forestal de teca, 23.01 MgC ha<sup>-1</sup> bosque secundario, 17.92 MgC ha<sup>-1</sup> vegetación secundaria joven, a su vez valores menores: 1.63 MgC ha<sup>-1</sup> en pastura mejorada con baja densidad de árboles, 7.09 MgC ha<sup>-1</sup> pastura natural con alta densidad de árboles, 6.01 MgC ha<sup>-1</sup> banco forrajero de gramínea, 9 MgC ha<sup>-1</sup> pastura mejorada alta densidad de árboles, 11.9 MgC ha<sup>-1</sup> pastura natural baja densidad de árboles y 4.83 MgC ha<sup>-1</sup> pastura degradada; Rodríguez *et al.* (2009) señalan para un bosque de pino-encino 82.91 MgC ha<sup>-1</sup> y en renuevos un valor menor de 0.4 MgC ha<sup>-1</sup>, en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México.

## **2.6. 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 CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero.

## 2.7. LITERATURA CITADA

- 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 Návar, 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.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.lges.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.
- Rodriguez, 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.

### **CAPÍTULO III**

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

## Resumen

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. 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. Las cuatro áreas de estudio se localizan en: dos de ellas en el municipio de Linares, una en Hualahuises, en el estado de Nuevo León, y una en Mainero, Tamaulipas. 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 m<sup>2</sup> (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 matorral primario es el sistema que resulto con el valor mayor de contenido de carbono con 14.25 Mg ha<sup>-1</sup>, seguidos por los pastizales de 30, 20 y 10 años con 8.03, 7.33 y 4.13 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente. 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. 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.

**Palabras clave:** contenido de carbono, pastizales abandonados, matorral espinoso tamaulipeco

## **Abstract**

Livestock activities due to the improper handling of the load capacity, suffer from low productivity in their grasslands and rangelands, 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, in tamaulipan thornscrub. The four study areas are located in: two of them in the town of Linares, one in Hualahuises, in the state of Nuevo Leon, and one in Mainero, Tamaulipas. For the estimation of the carbon content was used a systematic sampling design, in each area were established four sampling sites of 1,600 m<sup>2</sup> (40 x 40 m) divided into four quadrants. In quadrant I measured all trees and shrubs greater than 1 cm in diameter ( $d_{0.10}$ ). In the quadrants II, III and IV were evaluated only individuals over 5 cm in diameter ( $d_{0.10}$ ). The dasometric measurements that were made are total height (h) and diameter ( $d_{0.10}$ ). The primary scrub is the system that resulted in the largest value of carbon content of 14.25 Mg ha<sup>-1</sup>, followed by the grasslands of 30, 20 and 10 years with 8.03, 7.33 and 4.13 Mg ha<sup>-1</sup> respectively. 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. The recovery and the development over time of the arboreal and shrubby species in a natural manner in grasslands, fulfilling the function of conserving soil and water, have a great potential as carbon storage.

**Key words:** carbon content, abandoned grasslands, tamaulipan thornscrub

### 3.1. 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 CO<sub>2</sub> 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).

Siendo el CO<sub>2</sub> 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 (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, 2007).

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.

### **3.2. HIPÓTESIS**

Existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la biomasa aérea en pastizales con diferente tiempo de abandono y en el matorral espinoso tamaulipeco.

### **3.3. OBJETIVOS**

#### **General**

Evaluar la dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados en el matorral espinoso tamaulipeco.

#### **Específicos**

- Estimar el contenido de carbono en el matorral espinoso tamaulipeco en un tipo de geoforma de llanura.
- Estimar el contenido de carbono en pastizales abandonados, en el matorral espinoso tamaulipeco en un tipo de geoforma de llanura.

### 3.4. 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 extremo 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-coluvial.

Las áreas de estudio son:

#### *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 de la UANL, la cual tiene como objetivo la enseñanza e investigación.

#### *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*).

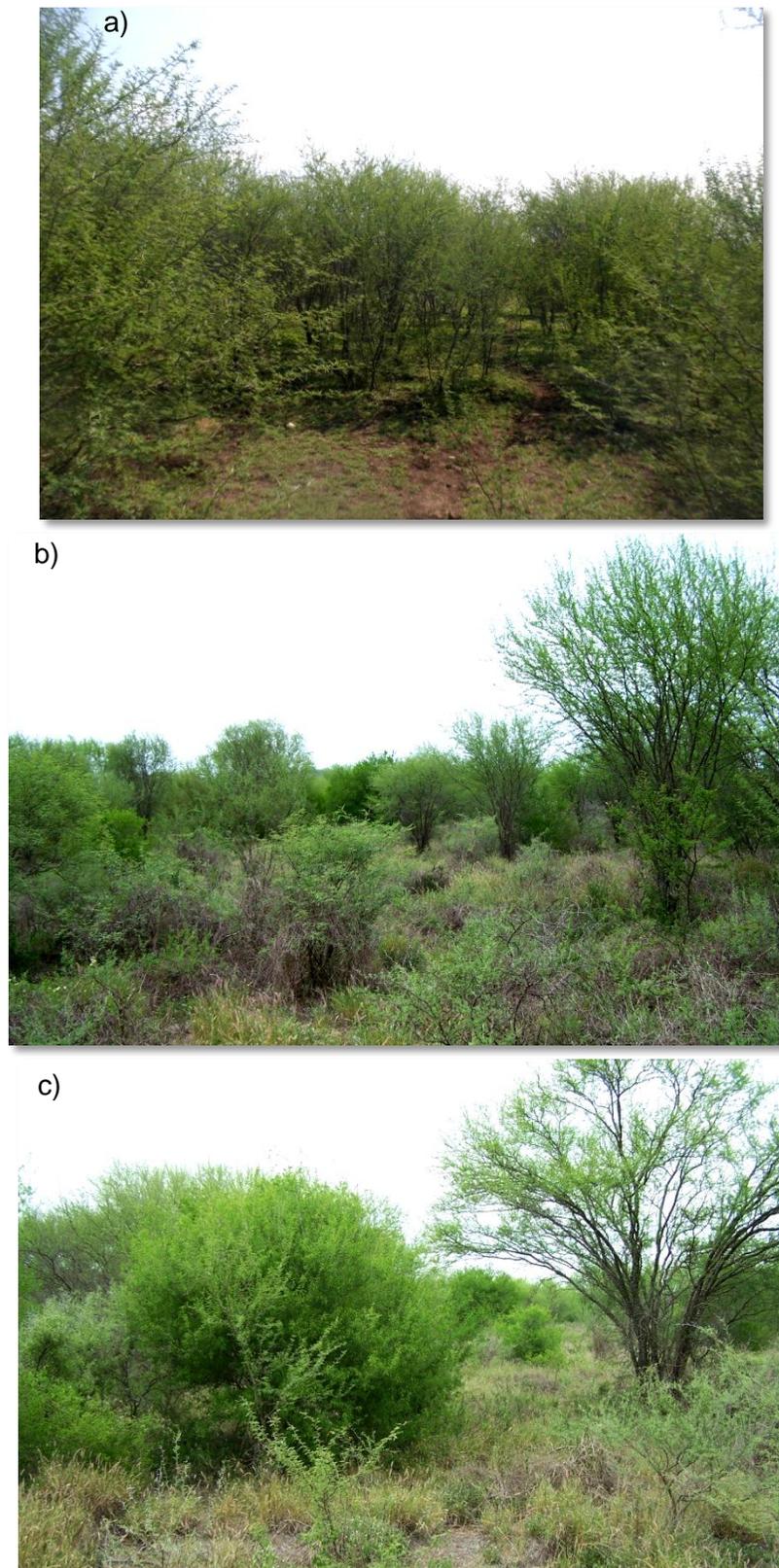


Figura 6. Sistemas: pastizal de a) 10, b) 20 y c) 30 años.

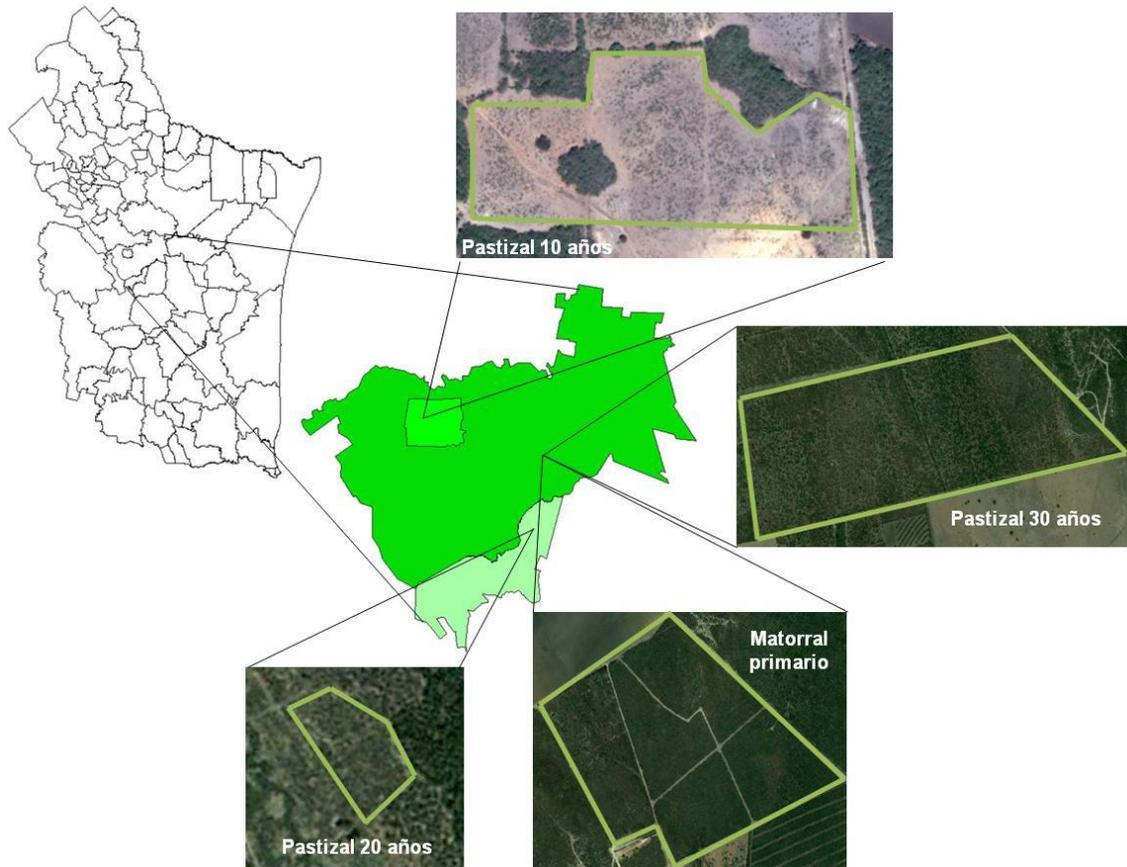


Figura 7. Localización de las áreas de estudio.

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  $1,600 \text{ m}^2$  ( $40 \times 40 \text{ m}$ ) 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 ( $d_{0.10}$ ) (Figura 8).

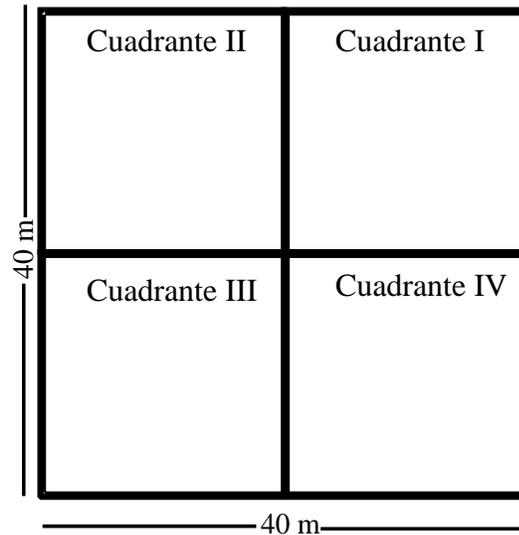


Figura 8. Representación de una sitio de muestreo en campo.

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 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 Návar *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<sub>2e</sub> (dióxido de carbono equivalente) se multiplicó el contenido de carbono por 44/12 (es una relación del peso atómico de CO<sub>2</sub> entre el peso atómico de carbono) (IPCC, 2006).

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza ANDEVA (con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ ) para determinar si existen efectos significativos, y cuando resulte significancia en la prueba, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.5.1. Riqueza de especies y densidad de individuos

En el matorral primario se encontraron 24 especies (Tabla 4), 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 5, 6 y 7).

Las especies *Vachellia amentacea*, *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 4). En el sistema pastizal de 30 años la especie *Vachellia farnesiana* es la que resulto con la densidad superior con 823 individuos/hectárea, seguida por *Dyospiros texana* con 161 ind/ha y *Prosopis laevigata* con 159 ind/ha (Tabla 5). 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 6). *Vachellia farnesiana* fue la especie con mayor densidad en el sistema de pastizal de 10 años con 4,303 individuos/hectárea seguida por *Vachellia amentacea* con 150 ind/ha (Tabla 7).

Tabla 4. 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 amentacea</i> (D.C.) Wight & Arn.	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>Dyospiros 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.	Anacahuita	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>Sideroxylum celastrinum</i> (Kunth) Pennington	Coma	126
15	<i>Heliopsis 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
<b>Total</b>			<b>10,094</b>

Tabla 5. 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>Dyospiros 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 amentacea</i> (D.C.) Wight & Arn.	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
<b>Total</b>			<b>1,560</b>

Tabla 6. 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

	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos/ha
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
<b>Total</b>			<b>1,937</b>

Tabla 7. 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 amentacea</i> (D.C.) Wight & Arn.	Gavia	150
3	<i>Havardia pallens</i> (Benth) Britt & Rose	Tenaza	19
4	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	5
<b>Total</b>			<b>4,477</b>

### 3.5.2. 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 sistemas de pastizal de 20 y 30 años; el pastizal de 20 años en la categoría diamétrica 10 tiene un mayor

número de individuos por hectárea que los sistemas de pastizal de 10 y 30 años; el pastizal de 30 años en la categoría diamétrica 15 tiene un mayor número de individuos por hectárea que los sistemas de pastizal de 10 y 20 años (Figuras 9, 10, 11 y 12).

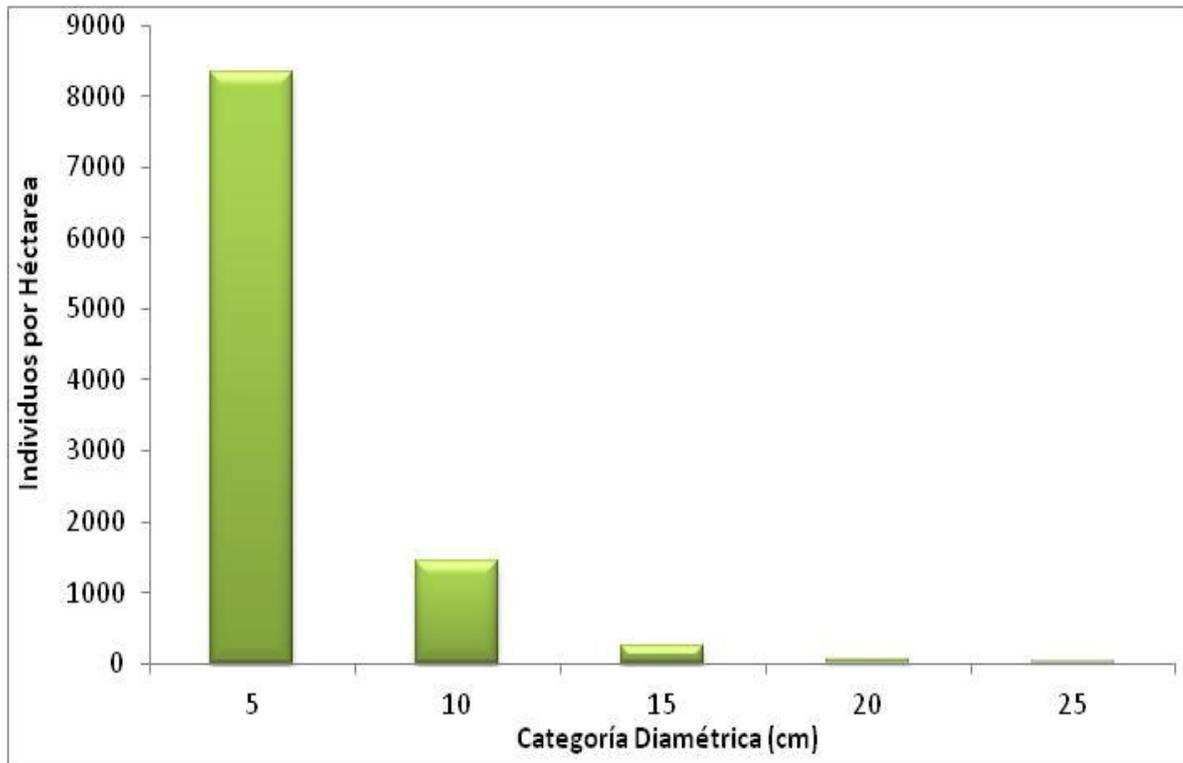


Figura 9. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el matorral primario.

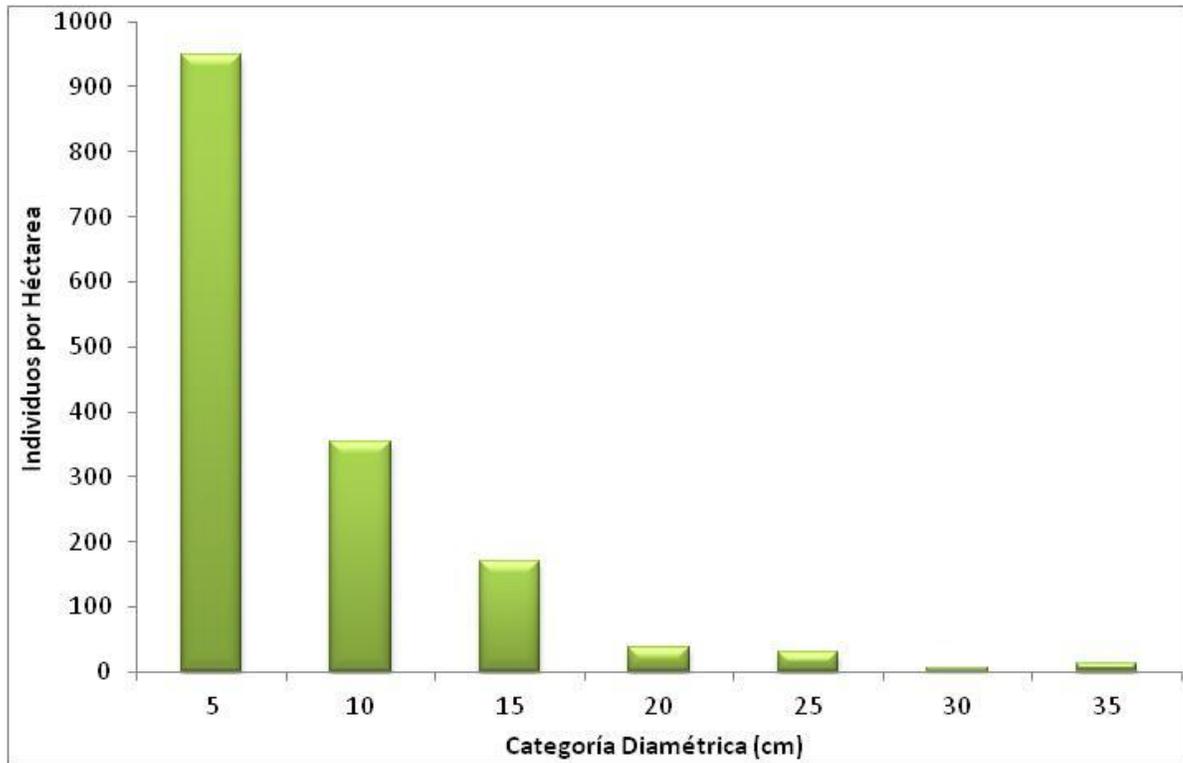


Figura 10. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el pastizal de 30 años.

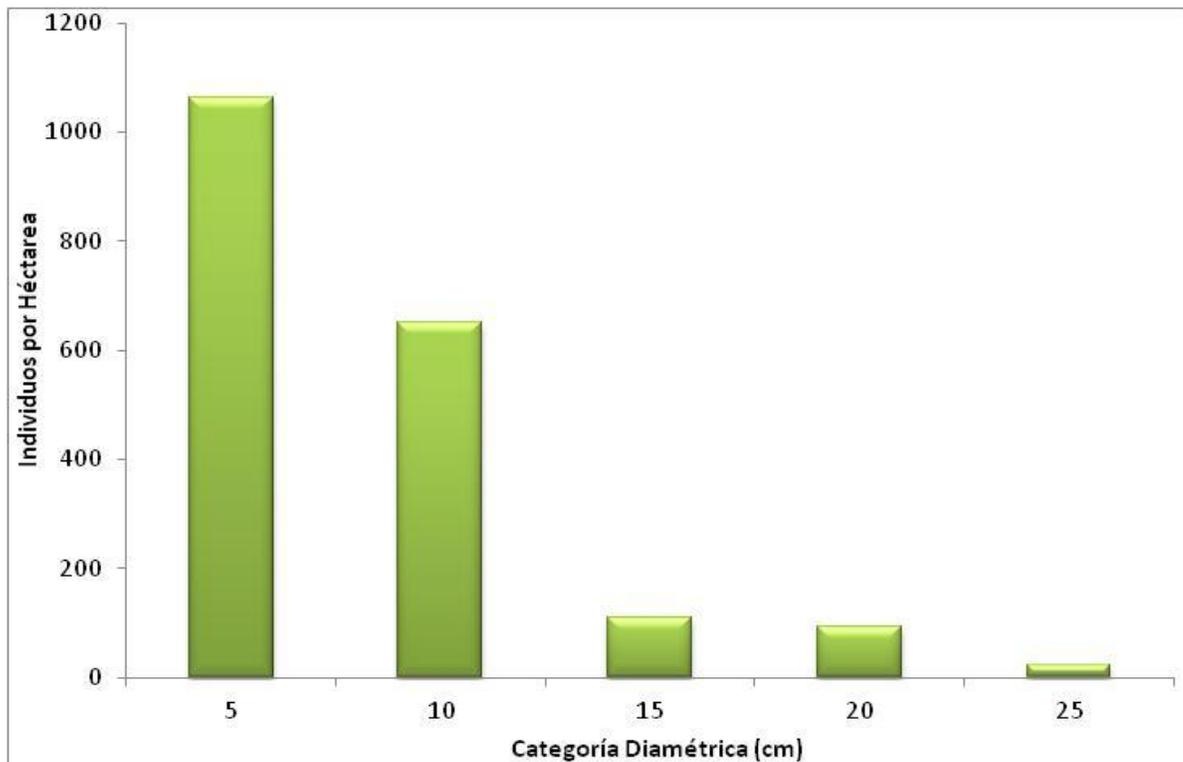


Figura 11. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el pastizal de 20 años.

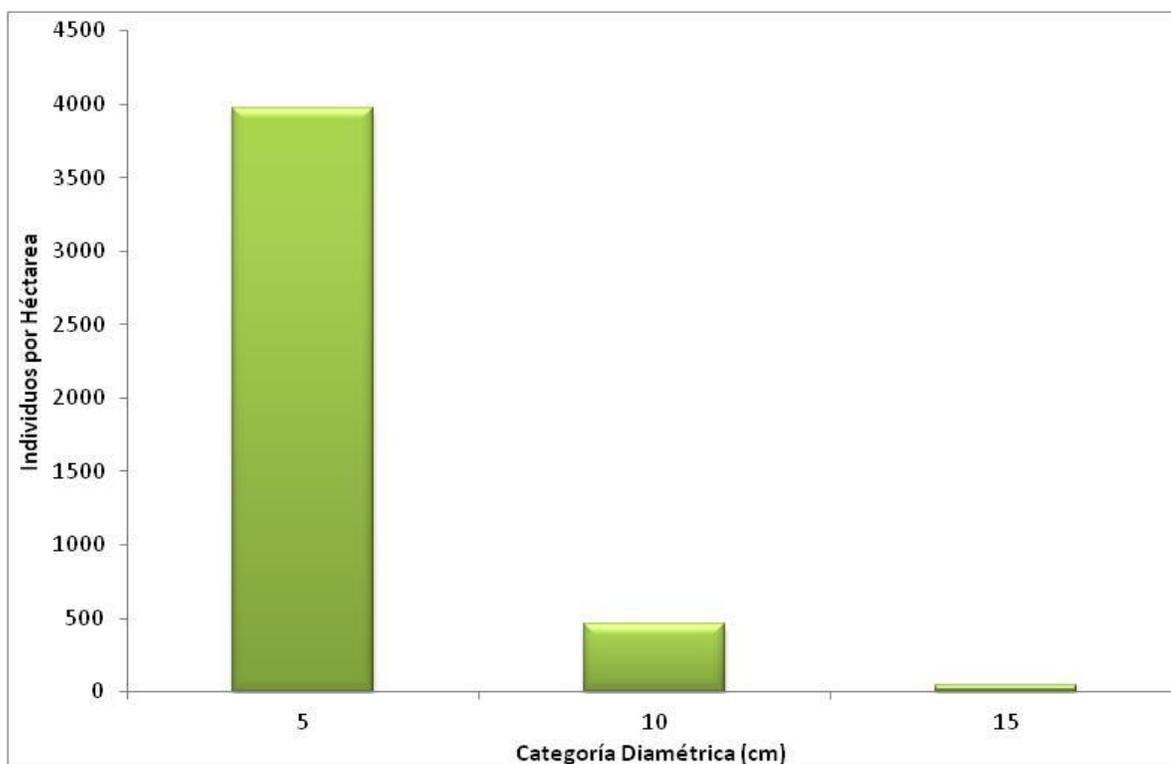


Figura 12. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el pastizal de 10 años.

### 3.5.3. 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 presento en las categorías diamétricas 10, 20 y 15 (Tabla 8).

Tabla 8. Biomasa aérea y contenido de carbono por categoría diamétrica.

Clase diamétrica	Matorral Primario		Pastizal 30 años		Pastizal 20 años		Pastizal 10 años	
	MgB ha <sup>-1</sup>	MgC ha <sup>-1</sup>						
5	11.38	5.17	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	0.3	0.14	2.61	1.18	2.07	0.94	-	-
30	-	-	1.13	0.51	-	-	-	-
35	-	-	3.04	1.38	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>31.4</b>	<b>14.26</b>	<b>17.7</b>	<b>8.04</b>	<b>16.15</b>	<b>7.33</b>	<b>9.09</b>	<b>4.13</b>

El matorral primario es el sistema que resulto con los valores mayores de biomasa aérea y contenido de carbono seguido por los pastizales de 30, 20 y 10 años. Con el análisis de varianza se determinó que existen diferencias significativas entre los contenidos de carbono de los sistemas ( $P < 0.0001$ ). En la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) resulto que el sistema matorral primario es estadísticamente diferente y con un valor mayor al contenido de carbono de los otros sistemas; los sistemas pastizal de 10 y 20 años, así como pastizal de 20 y 30 años no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí (Tabla 9). 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 (Figura 13).

Tabla 9. Contenido de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en los sistemas.

Sistema	Media $\pm$ SD*	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Pastizal 10 años	4.13 $\pm$ 1.09	a
Pastizal 20 años	7.33 $\pm$ 2.29	a b
Pastizal 30 años	8.03 $\pm$ 1.76	b
Matorral primario	14.25 $\pm$ 1.92	c

<sup>1</sup>Letras iguales son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ )

\*SD = Desviación estándar de la muestra

El potencial de captura de carbono expresado en  $\text{MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  presenta un valor mínimo de  $0.27 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  que equivale a  $0.99 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  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  $1.36 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y, se obtuvo un valor máximo de  $0.41 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  equivale  $1.51 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en el pastizal de 10 años.

El valor de biomasa en el matorral primario ( $31 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) evaluado es mayor al determinado por Nívar (2008) de  $12.93 \text{ Mg ha}^{-1}$  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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> y para el matorral espinoso 10.57 Mg ha<sup>-1</sup>; Návar *et al.* (2002), Návar *et al.* (2004) y Návar (2008) citan valores superiores para el matorral espinoso tamaulipeco, de 36.75, 44.40 y 48.40 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

El contenido de carbono en la biomasa aérea en el sistema matorral primario, resultó mayor al reportado por Návar (2008) de 11.35 MgC ha<sup>-1</sup> 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).

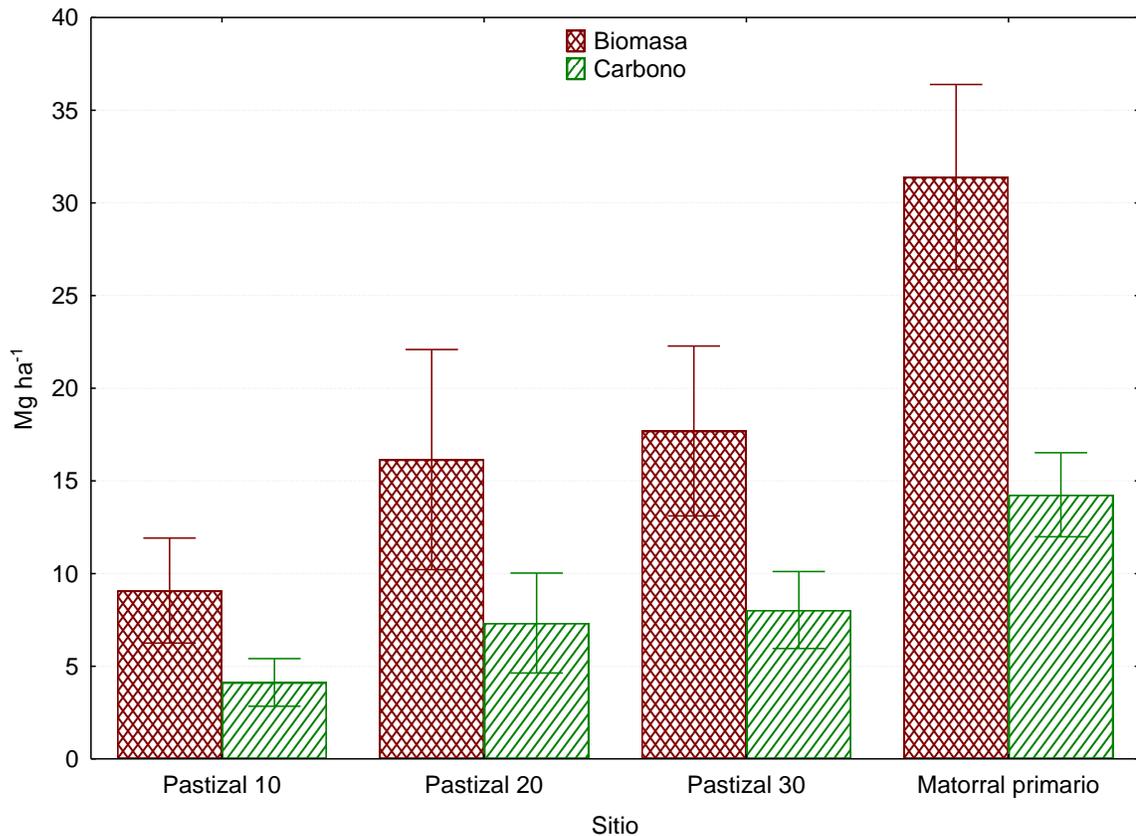


Figura 13. Biomasa aérea y contenido de carbono en los sistemas evaluados.

### 3.6. CONCLUSIONES

El matorral primario es el sistema que resulto con el valor mayor de contenido de carbono con  $14.25 \text{ Mg ha}^{-1}$ , seguidos por los pastizales de 30, 20 y 10 años con  $8.03$ ,  $7.33$  y  $4.13 \text{ Mg ha}^{-1}$  respectivamente. Recuperar el estado inicial del matorral primario tomará muchos años, tal como se pudo comprobar con el sistema pastizal de 30 años que alcanza solo un 56% de lo que se tenía en reservas del matorral primario.

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.

### 3.7. LITERATURA CITADA

- Alberto, D.M. y 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(1): 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. y Martinez-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., Martinez-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.

- Correia, A.C., Tomé, M., Pacheco, C.A., Faias, S., Dias, A.C., Freire, J., Carvalho, P.O. and Pereira, J.S. 2010. Biomass allometry and carbon factors for a Mediterranean pine (*Pinus pinea* L.) in Portugal. *Forest Systems*, 19(13): 418-433.
- 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(8): 1400-1408. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.06.036.
- 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. DOI: 10.1007/s11056-011-9273-9.
- Gayoso, J. y 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. y Navar, J. 2003. Cambio Climático Mundial: Origen y Consecuencias. *Ciencia UANL*, 6(3): 337- 386
- Houghton, R.A., Hackler, J.L. and 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, 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.
- 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>.
- 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/publi/2006gl/spanish/index.html>.
- Jaramillo, V. 2007. El ciclo global del carbono. Cambio climático: una visión desde México. INE- SEMARNAT. pp. 77-85.
- 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., 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.
- Navar-Cháidez, J. 2010. Biomass allometry for tree species of northwestern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(3): 507-519.
- Lin, Y.J., Liu, C.P. and Lin, J.C. 2002. Measurement of specific gravity and carbon content of important timber species in Taiwan. *Journal of Forest Science*, 17(3): 291-299.
- 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.
- Peri, P., Viola, M. y 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. Consultado 3 dic. 2010. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/santacruz/>.

- Ruiz-Peinado, R., del Rio, M. and Montero, G. 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems*, 20(1): 176-188.
- Schulze, E., Wirth, Ch. and Heimann, M. 2000. Managing Forest after Kyoto. *Science*, 289: 2058-2059.
- Yáñez S. A. 2004. La Captura de Carbono en Bosques: ¿Una Herramienta para la Gestión Ambiental?. *Gaceta Ecológica*, enero- marzo, numero 070, Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. pp. 5-18.
- Yerena-Yamallel, J.I., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O.A. y 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(2): 283-291. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2010.02.004.
- Yerena, J., Jiménez, J., Aguirre, O. y 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(2): 145-152. DOI: 10.4067/S0717-92002012000200004.

## **CAPÍTULO IV**

### **DINÁMICA DE LA CAPTURA DE CARBONO EN ÁREAS CON USO HISTÓRICO DE AGRICULTURA, EN MEZQUITALES**

## Resumen

Las actividades económicas-productivas producen cambio de uso de suelo de acuerdo con las necesidades de la sociedad y de los programas gubernamentales, ya sea para la explotación de recursos naturales o de la adaptación a tierras agrícolas. El objetivo del presente trabajo fue estimar el contenido de carbono en el mezquital y en dos áreas con uso histórico de agricultura con un tiempo de abandono de 15 y 30 años, en mezquites. Las tres áreas de estudio se encuentran en el municipio de Linares, Nuevo León. 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 m<sup>2</sup> (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 mezquital de 30 años resultó con el contenido de carbono en la biomasa aérea más alto con 18.83 Mg ha<sup>-1</sup>, seguido por el mezquital primario con 14.76 Mg ha<sup>-1</sup> y mezquital de 15 años con 5.24 Mg ha<sup>-1</sup>. Recuperar el estado inicial del mezquital primario en un tipo de geoforma de valle es posible, tal como se puede apreciar con el sistema mezquital de 30 años que sobrepasó el contenido de carbono que se tenía en reservas del mezquital primario. Las áreas de uso histórico de agricultura abandonadas en un tipo de geoforma de valle con regeneración natural deben de ser tomadas en consideración como ecosistemas importantes para el almacenamiento de carbono, así mismo fomentar la ubicación de plantaciones forestales en este tipo de geoforma.

**Palabras clave:** contenido de carbono, áreas con uso histórico de agricultura, mezquital

## **Abstract**

Economic-productive activities produce change of land use in accordance with the needs of society and of government programs, either for the exploitation of natural resources or agricultural land adaptation. The objective of the present study was to estimate the carbon content in the mezquital and two areas with historical use of agriculture with a time of abandonment of 15 and 30 years, in mezquiales. The study areas are located in the town of Linares, Nuevo Leon. For the estimation of the carbon content was used a systematic sampling design, in each area were established four sampling sites of 1,600 m<sup>2</sup> (40 x 40 m) divided into four quadrants. In quadrant I measured all trees and shrubs greater than 1 cm in diameter ( $d_{0.10}$ ). In the quadrants II, III and IV were evaluated only individuals over 5 cm in diameter ( $d_{0.10}$ ). The dasometric measurements that were made are total height (h) and diameter ( $d_{0.10}$ ). The mezquital of 30 years resulted in the largest value of carbon content in the aboveground biomass with 18.83 Mg ha<sup>-1</sup>, followed by the primary mezquital with 14.76 Mg ha<sup>-1</sup> and mezquital of 15 years with 5.24 Mg ha<sup>-1</sup>. Recovering the initial state of primary mezquital in a geofom type of valley is possible, as can be seen with the mezquital of 30 years bypass the carbon content that was had in primary mezquital reserves. The historical use of agriculture areas abandoned in a geofom type of valley with natural regeneration should be taken into account as important ecosystems for carbon storage, likewise promote the location of forest plantation in this type of geofom.

**Key words:** carbon content, areas with historical use of agriculture, mezquital

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

La urbanización y actividades económicas-productivas producen cambio de uso de suelo de acuerdo con las necesidades de la sociedad, ya sea para la explotación de recursos naturales o de la adaptación a tierras agrícolas (Sanhueza y Azocar, 2000). Esto da lugar a la pérdida o ganancia de un tipo de cubierta y crea un impacto directo sobre el medio biótico, como la degradación de la tierra, emisiones de carbono, y el deterioro de la capacidad del sistema para satisfacer las necesidades humanas (Lambin *et al.*, 2003; Torrejón y Cisternas, 2002; Torrejón *et al.*, 2004; Chase *et al.*, 1999).

Entre las principales causas de la deforestación en México se encuentran los cambios de uso del suelo para destinarse actividades como la agropecuaria, así como para el desarrollo urbano y de infraestructura (líneas de transmisión eléctricas, carreteras, plantas hidroeléctricas, entre otros.) Adicionalmente, la tala clandestina y los incendios forestales vuelven más susceptibles a los predios forestales de sufrir cambio de uso de suelo (FAO, 2010).

Los procesos de deforestación y degradación de los bosques por efecto de las actividades humanas constituyen una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en México (Maser *et al.*, 1997).

Limitar el aumento de la temperatura mundial a menos de 2°C dependerá de que se mantengan las concentraciones atmosféricas por debajo de 450 partes por millón (ppm). Lograr esa meta necesitará un rápido despliegue de las principales estrategias de mitigación del cambio climático. Como la deforestación representa aproximadamente el 18 por ciento de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero – más que todo el sector transporte del mundo – reducir las emisiones de la deforestación y la degradación de bosques (REDD) se ha convertido en prominente estrategia posible para la

mitigación. El concepto REDD se predica basándose en el supuesto de que los bosques van a contribuir a mitigar el cambio climático sólo si su valor aumenta a un nivel en el que la protección de los bosques corresponda con estrategias viables de desarrollo (Angelsen *et al.*, 2009).

Es importante cuantificar la dinámica temporal y espacial del paisaje en diferentes escalas, local, regional y mundial, con el fin de comparar los patrones de cambio de acuerdo a las presiones socio-económicas en un territorio. Esta relación produce información sobre la naturaleza y la dirección del cambio de uso del suelo. Tal conocimiento es de gran relevancia para vincular los efectos de las alteraciones de uso del suelo y modificación del flujo de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, con consecuencias en la alteración del sistema climático (Simpson *et al.*, 1994; Dale, 1997).

Los bosques representan, por tanto, un recurso vulnerable cuya conservación, manejo y restauración ofrecen una gran oportunidad para generar beneficios, tanto por la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación, como por la conservación de los bienes y servicios ambientales de los que dependemos todos.

## **4.2. HIPÓTESIS**

Existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la biomasa aérea en áreas con uso histórico de agricultura con diferente tiempo de abandono y en el mezquital.

## **4.3. OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar la dinámica de la captura de carbono en áreas con uso histórico de agricultura, en mezquiales.

### **Específicos**

- Estimar el contenido de carbono en el mezquital en un tipo de geoforma de llanura.
- Estimar el contenido de carbono en áreas con uso histórico de agricultura en dos tipos de geoforma: meseta y valle, en mezquiales.

#### 4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en tres áreas que se encuentran en el municipio de Linares, Nuevo León, 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 extremo 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-coluvial.

Las áreas de estudio son:

##### *Mezquital primario*

No se ha realizado aprovechamiento de especies en esta área, dominada por el mezquite (*Prosopis glandulosa*). Situada entre las coordenadas UTM, X: 458895 Y: 2749200.



Figura 14. Sistema mezquital primario.

*Mezquital secundario*

Dos áreas desmontadas con maquinaria para la práctica agrícola, cultivo de maíz y sorgo de temporal, durante un periodo aproximado de 20 años. Estos sitios tienen 15 y 30 años de abandono, de esta forma se presentó una regeneración natural prevaleciendo el mezquite (*Prosopis glandulosa*). Situadas entre las coordenadas UTM, 15 años= X: 459320 Y: 2747894 y 30 años= X: 458676 Y: 2748047.



Figura 15. Sistemas: mezquital a) 15 y b) 30 años.

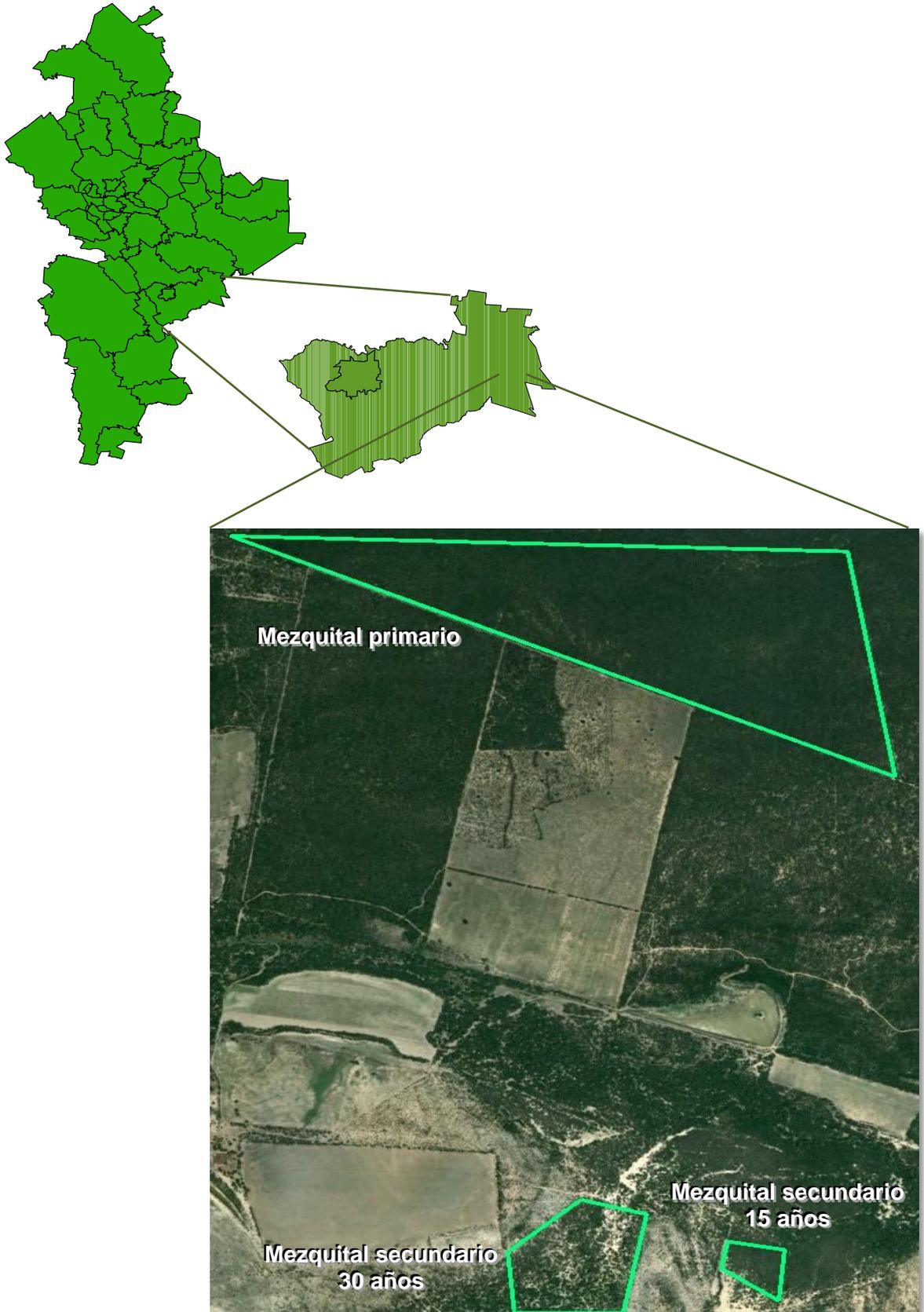


Figura 16. Localización de las áreas de estudio.

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 m<sup>2</sup> (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 ( $d_{0.10}$ ) (Figura 17).

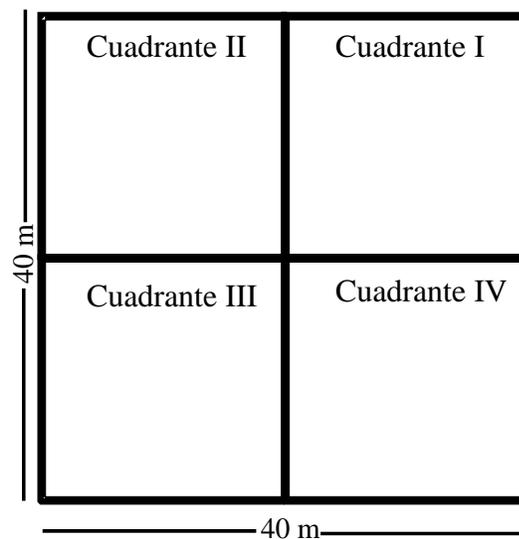


Figura 17. Representación de una sitio de muestreo en campo.

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 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 Návar *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<sub>2e</sub> (dióxido de carbono equivalente) se multiplicó el contenido de carbono por 44/12 (es una relación del peso atómico de CO<sub>2</sub> entre el peso atómico de carbono) (IPCC, 2006).

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza ANDEVA (con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ ) para determinar si existen efectos significativos, y cuando resulte significancia en la prueba, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## 4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.5.1. Riqueza de especies y densidad de individuos

En el mezquital primario se encontraron 21 especies (Tabla 10), en las áreas de uso histórico de agricultura el número de especies fue aumentando con el tiempo de recuperación, resultando: mezquital de 15 con 3 especies y mezquital de 30 años con 11 especies, estando *Prosopis laevigata* con la mayor densidad de individuos por hectárea en las dos áreas (Tabla 11 y 12).

Las especies *Vachellia amentacea*, *Vachellia berlandieri* y *Havardia pallens* son las que obtuvieron el mayor número de individuos por hectárea con 394, 313 y 304 respectivamente en el sistema mezquital primario (Tabla 10). En el sistema mezquital de 30 años la especie *Prosopis laevigata* es la que resulto con la densidad superior con 2,914 individuos/hectárea, consecutivamente *Vachellia berlandieri* con 144 ind/ha y *Cordia boissieri* con 40 ind/ha (Tabla 11). *Prosopis laevigata* fue la especie con el valor más alto de densidad en el sistema mezquital de 15 años con 2,104 individuos/hectárea seguida por *Cercidium macrum* con 51 ind/ha (Tabla 12).

Tabla 10. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema  
mezquital primario.

	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos/ha
1	<i>Vachellia amentacea</i> (D.C.) Wight & Arn.	Gavia	394
2	<i>Vachellia berlandieri</i> (Benth.) Wight & Arn.	Huajillo	313
3	<i>Havardia pallens</i> (Benth) Britt & Rose	Tenaza	304
4	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	244
5	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	161
6	<i>Castela texana</i> (T. & G.) Rose	Chaparro amargoso	159
7	<i>Helietta parvifolia</i> (Gray) Benth.	Barreta	128
8	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Panalero	125
9	<i>Guaiacum angustifolium</i> (Engelm.) Gray	Guayacan	122
10	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston	Mezquite	121
11	<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zucc.	Coyotillo	113
12	<i>Cordia boissieri</i> A. D.C.	Anacahuita	97
13	<i>Mimosa monancistra</i> Benth.	Uña de gato	92
14	<i>Condalia hoockeri</i> M. C. Johnst.	Brasil	79
15	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Britton et Rose	Ebano	39
16	<i>Vachellia schaffneri</i> (F.J. Herm.) Wight & Arn.	Huizache chino	14
17	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama	13
18	<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele.	Vara dulce	9
19	<i>Cercidium macrum</i> I.M. Johnst.	Palo verde	8
20	<i>Dyospiros texana</i> Scheele.	Chapote blanco	2
21	<i>Sideroxilum celastrinum</i> (Kunth) Pennington	Coma	2
<b>Total</b>			<b>2,539</b>

Tabla 11. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema mezquital de 30 años.

	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos/ha
1	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston	Mezquite	2,914
2	<i>Vachellia berlandieri</i> (Benth.) Wight & Arn.	Huajillo	144
3	<i>Cordia boissieri</i> A. D.C.	Anacahuita	40
4	<i>Vachellia amentacea</i> (D.C.) Wight & Arn.	Gavia	27
5	<i>Helietta parvifolia</i> (Gray) Benth.	Barreta	24
6	<i>Havardia pallens</i> (Benth) Britt & Rose	Tenaza	16
7	<i>Mimosa monancistra</i> Benth.	Uña de gato	6
8	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama	3
9	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Britton et Rose	Ebano	2
10	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	2
11	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	2
<b>Total</b>			<b>3,180</b>

Tabla 12. Riqueza de especies y número de individuos por hectárea en el sistema mezquital de 15 años.

	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos/ha
1	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnston	Mezquite	2,104
2	<i>Cercidium macrum</i> I.M. Johnst.	Palo verde	51
3	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	19
<b>Total</b>			<b>2,174</b>

#### 4.5.2. Número de individuos por categorías diamétricas

El mezquital de 30 años es el sistema que tiene mayor número de individuos por hectárea. En el mezquital primario se encontraron doce categorías diamétricas, seguido por el mezquital de 30 años con cinco y el mezquital de 15 años con cuatro categorías. En los sistemas mezquital de 15 y 30 años el mayor número de individuos se encontró en la categoría diamétrica 10. El mezquital de 15 años en la categoría diamétrica 5 tiene un mayor número de individuos por hectárea que el sistema mezquital de 30 años; el mezquital de 30 años en las categorías diamétricas 15 y 20 tiene un mayor número de individuos por hectárea que los sistemas mezquital primario y mezquital de 15 años (Figuras 18, 19 y 20).

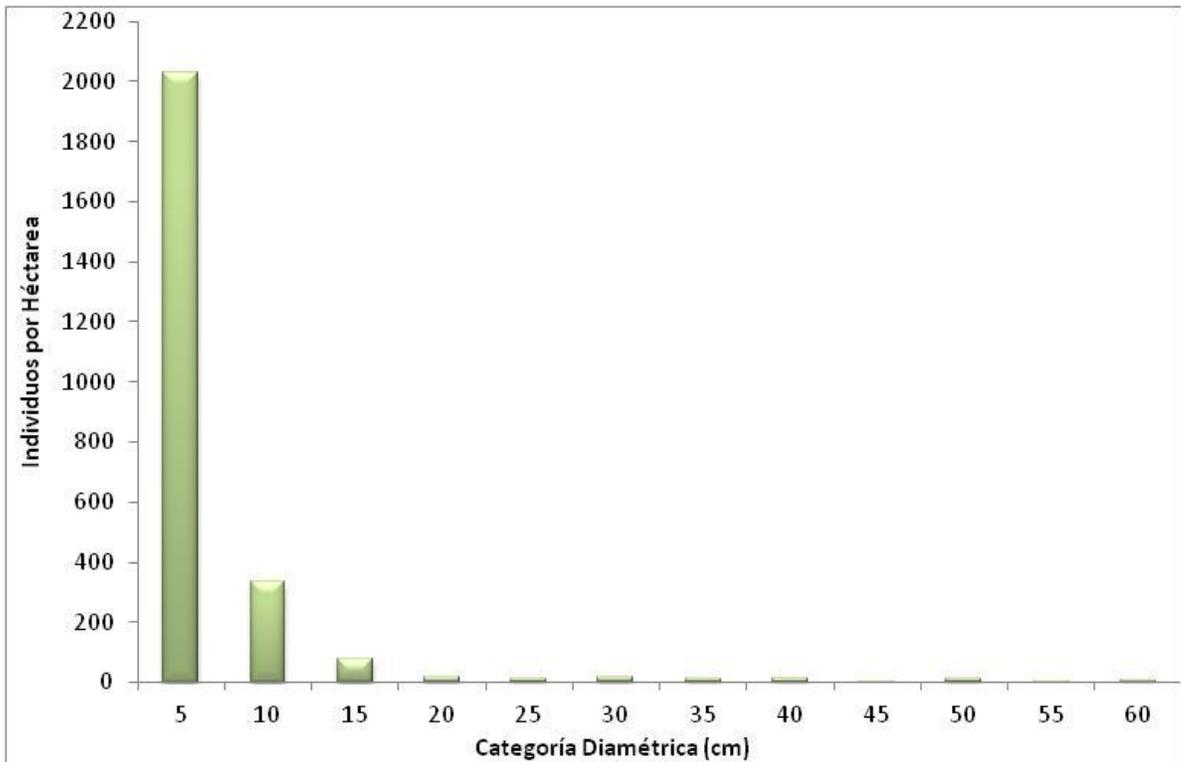


Figura 18. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el mezquital primario.

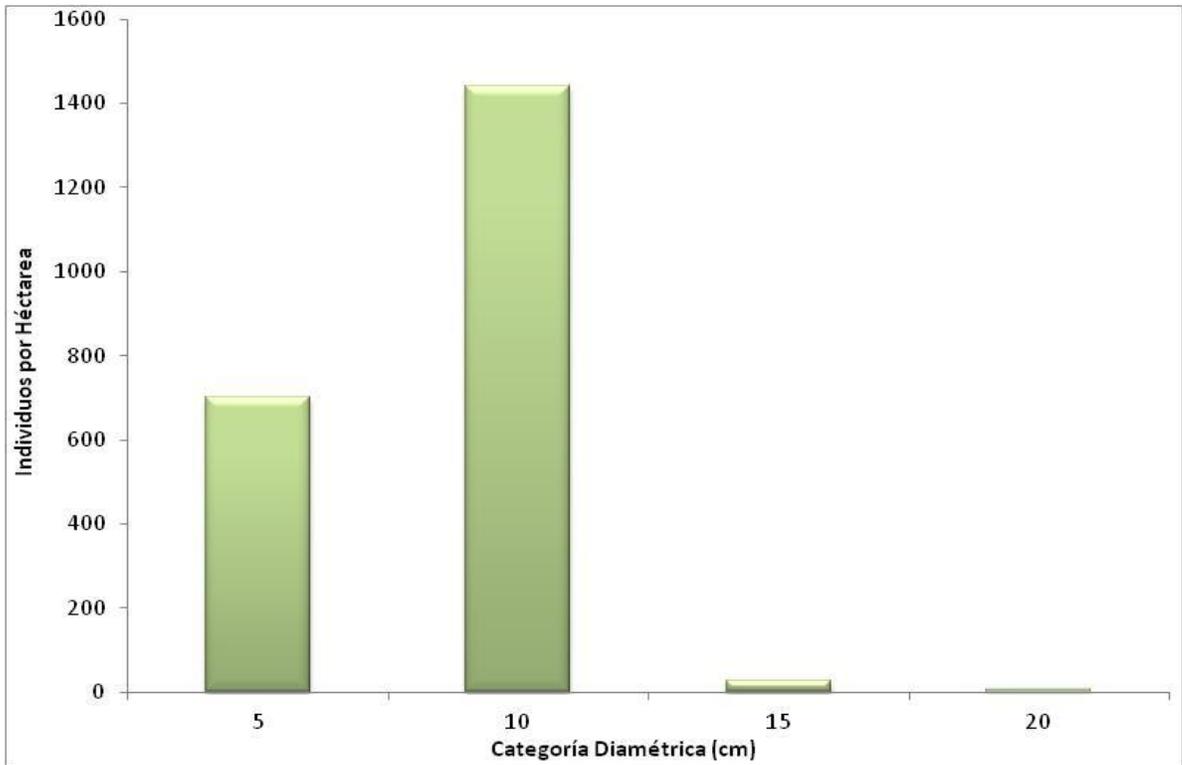


Figura 19. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el mezquital de 15 años.

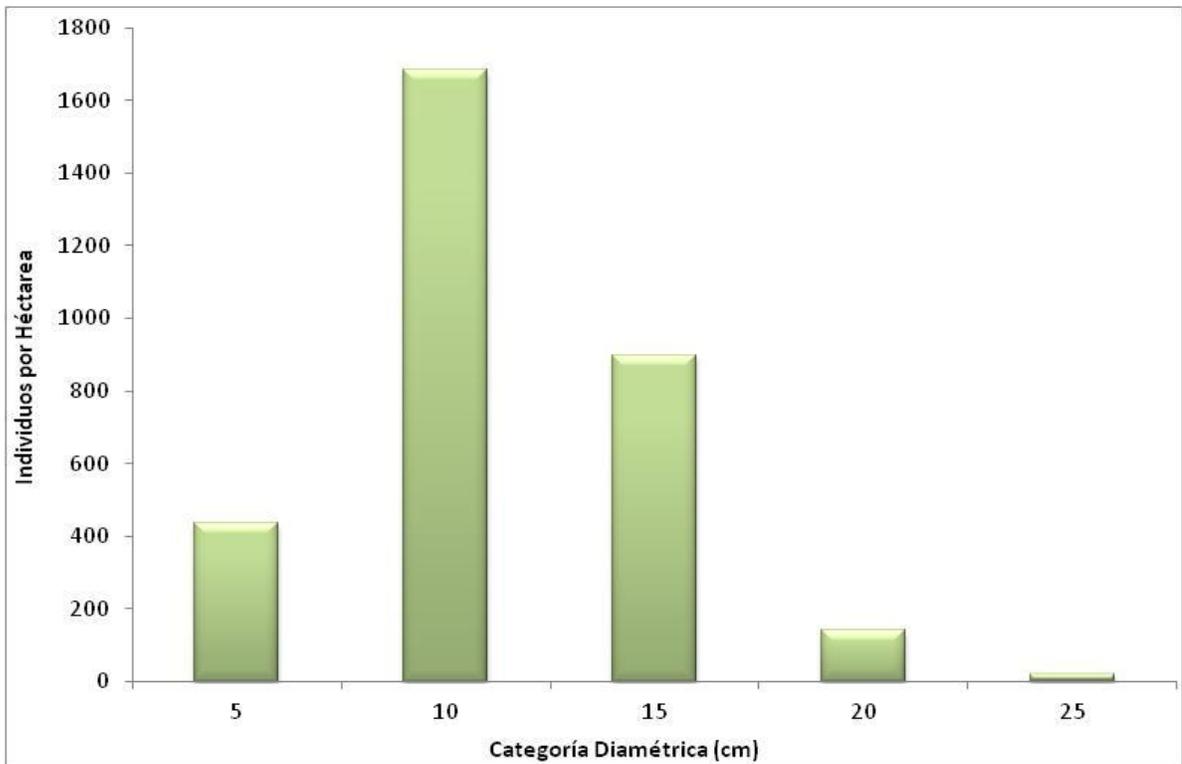


Figura 20. Número de individuos por categoría diamétrica por hectárea en el mezquital de 30 años.

#### 4.5.3. Biomasa aérea y contenido de carbono

En el sistema mezquital primario las mayores reservas de biomasa aérea y de contenido de carbono se encuentran en las categorías diamétricas 50 y 60, en el sistema mezquital de 30 años resulto en las categorías diamétricas 15 y 10, a su vez en el sistema mezquital de 15 años se presento en la categoría diamétrica 10 (Tabla 13).

Tabla 13. Biomasa aérea y contenido de carbono por categoría diamétrica.

Clase diamétrica	Mezquital primario		Mezquital 30 años		Mezquital 15 años	
	MgB ha <sup>-1</sup>	MgC ha <sup>-1</sup>	MgB ha <sup>-1</sup>	MgC ha <sup>-1</sup>	MgB ha <sup>-1</sup>	MgC ha <sup>-1</sup>
5	3.01	1.37	0.86	0.39	1.57	0.71
10	2.25	1.02	13.51	6.13	9.26	4.20
15	1.77	0.80	19.04	8.64	0.49	0.22
20	0.78	0.35	6.39	2.90	0.23	0.10
25	0.95	0.43	1.68	0.76	-	-
30	1.82	0.83	-	-	-	-
35	2.36	1.07	-	-	-	-
40	4.31	1.96	-	-	-	-
45	1.55	0.70	-	-	-	-
50	5.87	2.66	-	-	-	-
55	2.85	1.29	-	-	-	-
60	4.99	2.27	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>32.51</b>	<b>14.76</b>	<b>41.48</b>	<b>18.83</b>	<b>11.55</b>	<b>5.24</b>

El mezquital de 30 años es el sistema que resulto con los valores mayores de biomasa aérea y contenido de carbono, esto debido al tipo de geoforma en que se encuentra (valle) donde hay una mayor disponibilidad de agua, por ende mayor productividad, seguido por el mezquital primario y mezquital de 15 años. Con el análisis de varianza se determinó que existen diferencias significativas entre los contenidos de carbono de los sistemas ( $P < 0.0001$ ). En la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) resulto que los sistemas son estadísticamente diferente entre sí (Tabla 14). Recuperar el estado inicial del mezquital primario es posible, tal como se puede apreciar con el sistema

mezquital de 30 años que sobrepasó el contenido de carbono que se tenía en reservas del mezquital primario (Figura 21).

Tabla 14. Contenido de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) en los sistemas.

Sistema	Media $\pm$ SD*	Agrupación Tukey <sup>1</sup>
Mezquital 15	5.24 $\pm$ 0.65	a
Mezquital primario	14.76 $\pm$ 1.76	b
Mezquital 30	18.83 $\pm$ 1.56	c

<sup>1</sup>Letras iguales son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ )

\*SD = Desviación estándar de la muestra

El potencial de captura de carbono expresado en  $\text{MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  presenta un valor mínimo de  $0.35 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  que equivale a  $1.29 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en el sistema mezquital de 15 años y, se obtuvo un valor máximo de  $0.63 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  equivale  $2.31 \text{ MgCO}_{2e} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en el mezquital de 30 años.

Los valores de biomasa en el mezquital primario ( $32.51 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) y en el mezquital de 30 años ( $41.48 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) son mayores al determinado por Nívar (2008) de  $12.93 \text{ Mg ha}^{-1}$  para el matorral espinoso tamaulipeco, de igual modo a los encontrados por Búrquez *et al.* (2010) en Sonora de  $29.24$  y  $13.03 \text{ Mg ha}^{-1}$  para el matorral de desierto y matorral espinoso respectivamente, asimismo Búrquez y Martínez-Yrizar (2011) señalan para el matorral de desierto  $6.67$  y  $23.78 \text{ Mg ha}^{-1}$  y para el matorral espinoso  $10.57 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; Nívar *et al.* (2004) y Nívar (2008) citan valores superiores para el matorral espinoso tamaulipeco, de  $44.40$  y  $48.40 \text{ Mg ha}^{-1}$  respectivamente.

El contenido de carbono en la biomasa aérea en los sistemas mezquital primario y mezquital de 30 años, resultaron mayores al reportado por Nívar (2008) de  $11.35 \text{ MgC ha}^{-1}$  para el matorral espinoso tamaulipeco, he inferiores 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).

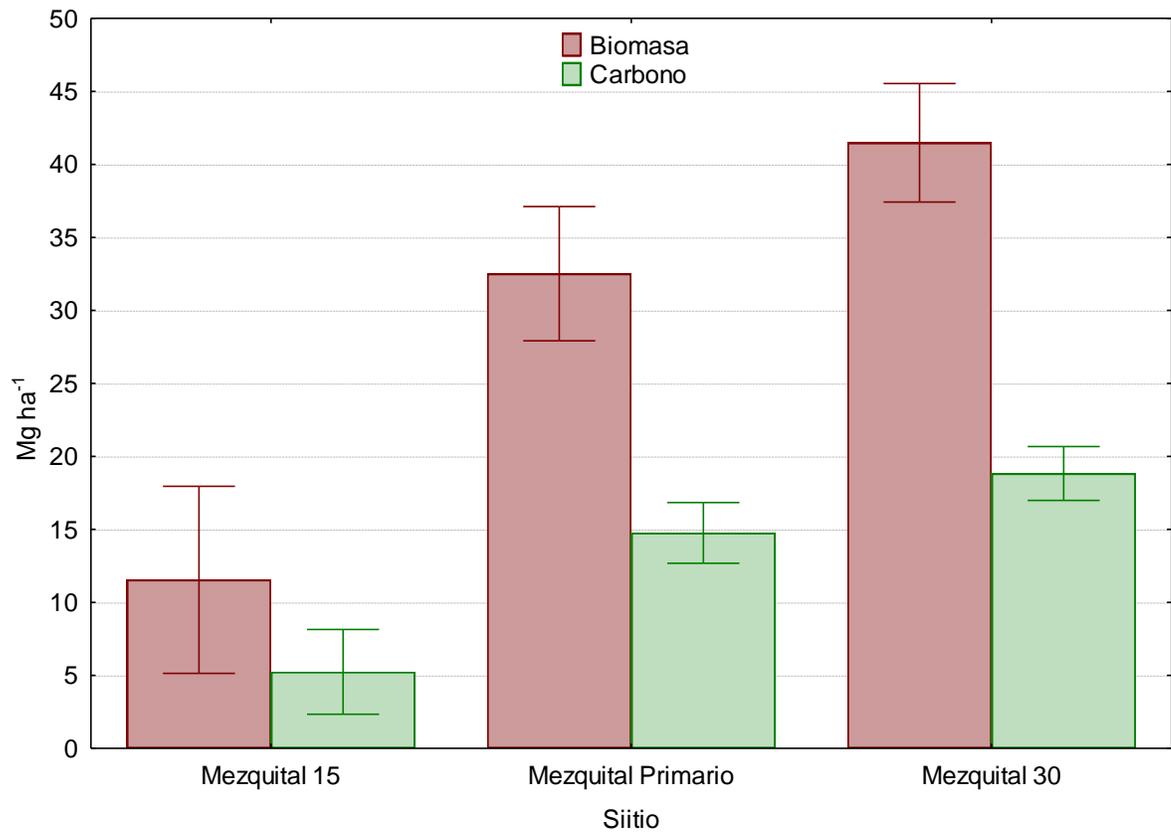


Figura 21. Biomasa aérea y contenido de carbono en los sistemas evaluados.

#### **4.6. CONCLUSIONES**

El mezquital de 30 años resultó con el contenido de carbono en la biomasa aérea más alto con  $18.83 \text{ Mg ha}^{-1}$ , seguido por el mezquital primario con  $14.76 \text{ Mg ha}^{-1}$  y mezquital de 15 años con  $5.24 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Recuperar el estado inicial del mezquital primario en un tipo de geoforma de valle es posible, tal como se pudo comprobar con el sistema mezquital de 30 años que sobrepasó el contenido de carbono que se tenía en reservas del mezquital primario.

Las áreas de uso histórico de agricultura abandonadas en un tipo de geoforma de valle con regeneración natural deben de ser tomadas en consideración como ecosistemas importantes para el almacenamiento de carbono, así mismo fomentar la ubicación de plantaciones forestales en este tipo de geoforma.

#### 4.7. LITERATURA CITADA

- Angelsen, A., Brown, S., Loisel, C.; Peskett, L., Streck, C. y Zarin, D. 2009. Reducción de Emisiones de la deforestación y la degradación de bosques (REDD): Reporte de Evaluación de Opciones. Preparado para el Gobierno de Noruega. Meridian Institute. Washington, D.C. 108 p.
- Burquez, A. y Martinez-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., Martinez-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.
- Chase, T.N., Pielke, R.A., Kittel, T.G.F., Neman, R.R. and Runnings, S.W. 1999. Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics*, 16: 93-105.
- Dale, V.H. 1997. The relationship between land-use change and climate change. *Ecological applications*, 7(3): 753-769.

FAO, Departamento Forestal. 2010. Evaluación de los Recursos Forestales mundiales, Informe Nacional México, FRA 2010/132. Roma. 98 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.

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/publi/2006gl/spanish/index.html>.

Lambin, E.F., Geist, H.J. and Lepers, E. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical forest. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 28: 205-241.

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.

Masera, O., Ordóñez, A. and Dirzo, R. 1997. Carbon emissions from Mexican forest: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change*, 35: 265-295.

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.
- 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.
- Sanhueza, R. y Azócar, G. 2000. Transformaciones ambientales provocadas por los cambios económicos de la segunda mitad del siglo XIX; provincia de Concepción. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 45: 181-194.
- Simpson, J.W., Boerner, R.E.J., DeMers, M.N., Berns, L.A., Artigas, F.J. and Silva, A. 1994. Forty-eight years of landscape change on two contiguous Ohio landscape. *Landscape Ecology*, 4(9): 261-270.
- Torrejón, F. y Cisternas, M. 2002. Alteraciones del paisaje ecológico araucano por la asimilación mapuche de la agroganadería hispanomediterránea (siglos XVI y XVII). *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(4): 729-736.
- Torrejón, F., Cisternas, M. y Araneda, A. 2004. Efectos ambientales de la colonización. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77: 661-677.
- Yerena-Yamallel, J.I., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O.A. y 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(2): 283-291. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2010.02.004.

## CAPÍTULO V

### 5.1. CONCLUSIONES GENERALES

En los sistemas evaluados el mezquital de 30 años de abandono resultó con el valor mayor de contenido de carbono en la biomasa aérea con  $18.83 \text{ Mg ha}^{-1}$  en un tipo de geoforma de valle, seguido por el mezquital primario con  $14.76 \text{ Mg ha}^{-1}$  y el matorral primario con valores de  $11.7$  y  $14.25 \text{ Mg ha}^{-1}$  en dos tipos de geoforma lomerío y llanura respectivamente.

El contenido de carbono en los sistemas abandonados presentaron reservas superiores en los pastizales de 30 y 20 años con  $8.03$  y  $7.33 \text{ Mg ha}^{-1}$  respectivamente, seguido por el mezquital de 15 años con  $5.24 \text{ Mg ha}^{-1}$ , matarasa con  $4.67 \text{ Mg ha}^{-1}$ , el pastizal de 10 años con  $4.13 \text{ Mg ha}^{-1}$  y por último agricultura tradicional con  $2.98 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Recuperar las reservas de carbono en áreas con impactos antropogénicos en el matorral espinoso tamaulipeco toma muchos años, tal como se pudo comprobar en el sistema pastizal de 30 años que alcanza solo un 56% de lo que se tenía en reservas del matorral primario, pero la recuperación del contenido de carbono en un tipo de geoforma de valle es posible, por el escurrimiento y disponibilidad del agua que son determinante en la producción de biomasa, como se pudo apreciar en el sistema mezquital de 30 años que sobrepasó el contenido de carbono que se tenía en reservas del mezquital primario.

Las áreas en un tipo de geoforma de valle con regeneración natural deben de ser tomadas en consideración como ecosistemas importantes para el almacenamiento de carbono, así mismo fomentar la ubicación de plantaciones forestales en este tipo de geoforma.

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

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

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 CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero.