

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y MANEJO FORESTAL



**Conservación de los servicios ecosistémicos mediante sistemas
agroforestales en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste
de México**

TESIS DE MAESTRÍA

COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:
DINORAH DALILA MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

Linares, Nuevo León, México

Mayo del 2020

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y MANEJO FORESTAL


**CONSERVACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS
MEDIANTE SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL MATORRAL
ESPINOSO TAMAULIPECO DEL NORESTE DE MÉXICO**

TESIS DE MAESTRÍA

**COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA:

DINORAH DALILA MARTÍNEZ HERNÁNDEZ




Dr. Eduardo Alanís Rodríguez
Director



Dr. Javier Jiménez Pérez
Secretario



Dr. Israel Yerena Yamallel
Asesor



Dra. Pamela A. Canizales Velázquez
Directora externa

Manifiesto que la presente investigación es original y fue desarrollada para obtener el grado de Maestro en Ciencias Forestales, donde se utiliza información de otros autores se otorgan los créditos correspondientes.

Dinorah Dalila Martínez Hernández

Mayo del 2020

DEDICATORIA

Para Alfredo López Castillo por saber comprenderme y apoyarme en los buenos y malos momentos y que juntos hemos superado, gracias por todo tu amor, amistad y paciencia. A mis hijos Sugeyri, Liam y Yoan por ser mi inspiración para seguir superándome. Les dedico este y todos mis logros.

A mis padres Manuel Martínez de León y Dinorah Hernández Espinosa, por quererme tanto y darme la vida, y especialmente a mi madre por sus buenos consejos y su enorme apoyo y motivación en los momentos más difíciles durante mis estudios. A mis hermanos Daniel y Dessire por contagiarme su alegría y hacerme reír cuando lo necesitaba.

Ustedes son una parte sumamente importante de mi vida y amo con todo mi corazón.

Muchas gracias por estar conmigo siempre!!

AGRADECIMIENTOS

A Dios por concederme la gracia de seguir viviendo y permitirme alcanzar una meta más en el camino.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León y especialmente a los Maestros que durante todos estos años formaron mi perfil profesional con sus conocimientos y sabiduría.

Al comité de tesis, donde cada uno de los integrantes creó un ambiente de confianza y responsabilidad para el desarrollo de este trabajo, en especial al Dr. Eduardo Alanís Rodríguez por su total apoyo y observaciones profesionales. También por sus valiosos consejos que me han encaminado a aprovechar buenas oportunidades, pero principalmente por la valiosa amistad, confianza y respeto que me ha brindado durante el tiempo que trabajamos para el desarrollo de esta investigación.

A todas las personas que participaron en la realización del trabajo de campo.

INDICE GENERAL		Pág.
Resumen general		I
General summary		II
Introducción general		1
Objetivos		4
Estructura de la tesis		4
Capítulo 1		
Análisis de la estructura arbórea en un sistema agroforestal en el Noreste de México		5
Resumen.....		5
Summary.....		6
Introducción.....		7
Materiales y métodos.....		9
Resultados.....		14
Discusión.....		28
Conclusiones.....		31
Agradecimientos.....		31
Literatura citada.....		32
Capítulo 2		
Contenido de carbono en un sistema agroforestal pastoril silvícola del matorral espinoso tamaulipeco		40
Resumen.....		40
Summary.....		40
Introducción.....		41
Materiales y métodos.....		43
Resultados y Discusión.....		46
Conclusiones.....		49
Agradecimientos.....		49
Literatura citada.....		49
Conclusiones generales		53
Bibliografía		54

ÍNDICE DE FIGURAS		Pág.
Capítulo 1		
Análisis de la estructura arbórea en un sistema agroforestal en el noreste de México		
Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio		10
Figura 2. Riqueza de especies (izquierda) e Índice de Margalef (derecha) para cada uso de suelo. Letras distintas indican diferencias significativas.		16
Figura 3. Índice de diversidad de Shannon para cada uso de suelo. Letras distintas indican diferencias significativas.		17
Figura 4. Individuos por hectárea en cada uso de suelo. Letras distintas indican diferencias significativas.		17
Figura 5. Dominancia de las especies en cada uso de suelo		18
Figura 6. Curvas de rarefacción para la riqueza y diversidad de especies de cada area de estudio.		22
Figura 7. Dendrograma de la similitud florística Bray-Curtis entre las comunidades estudiadas.		23
Figura 8. Representación de las diferentes parcelas de muestreo en los dos primeros componentes del PCA de la abundancia de especies.		24
Figura 9. Representación de las diferentes parcelas de muestreo en los dos primeros componentes del PCA de la dominancia de especies.		27
Capítulo 2		
Contenido de carbono en un sistema agroforestal pastoril silvícola del matorral espinoso tamaulipeco		
Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio.		43
Figura 2. Carbono almacenado y biomasa aérea de las áreas evaluadas.		48

INDICE DE TABLAS	Pág.
Capítulo 1	
Análisis de la estructura arbórea en un sistema agroforestal en el noreste de México	
Tabla 1. Localización y altitud de las áreas evaluadas.	9
Tabla 2. Nombre científico, nombre común, familia y forma de vida de las especies leñosas presentes en las áreas de estudio.	14
Tabla 3. Especies y parámetros ecológicos de las comunidades vegetales muestreadas.	19
Tabla 4. Peso de las abundancias de las distintas especies sobre los dos primeros componentes del PCA. Valores próximos a +1 y -1 indican un elevado peso directa e inversamente proporcional, respectivamente, de la especie sobre el componente, mientras que valores próximos a 0 indican escasa importancia de esa especie.	24
Tabla 5. Peso de las dominancias de las distintas especies sobre los dos primeros componentes del PCA. Valores próximos a +1 y -1 indican un elevado peso directa e inversamente proporcional, respectivamente, de la especie sobre el componente, mientras que valores próximos a 0 indican escasa importancia de esa especie.	28
Capítulo 2	
Contenido de carbono en un sistema agroforestal pastoril silvícola del matorral espinoso tamaulipeco	
Tabla 1. Número de individuos y biomasa aérea de acuerdo a clases diamétricas.	46
Tabla 2. Valores de diámetro, altura y cobertura de copa e índice de valor forestal (IVF) de las especies en el área de estudio.	47
Tabla 3. Estadísticos y parámetros de los modelos probados.	47

RESUMEN GENERAL

A nivel mundial el aumento del cambio de uso de suelo para la producción agropecuaria ha ejercido una presión mayor sobre los recursos naturales, así como del ambiente. En México el 45% de la superficie se encuentra con algún grado de deterioro y una de las principales causas de degradación es el cambio de uso de suelo para fines de agricultura y ganadería (para ambos casos el 17.5%). Una estrategia para mitigar esto es la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF), que son formas de uso y manejo del suelo en donde especies de árboles son utilizadas en asociaciones con cultivos agrícolas y/o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal, con el objetivo de diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible. La presente investigación se llevó a cabo en tres áreas con distinto historial antropogénico en el municipio de Linares Nuevo León, las cuales son: un área de referencia del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET), un área con un sistema agroforestal tipo pastoril silvícola y un área regenerada después de haber sido utilizada para la ganadería extensiva. En cada una se estimaron parámetros ecológicos, indicadores de diversidad y riqueza y la captura de carbono; y posteriormente se realizó un análisis estadístico, para conocer si existen diferencias significativas entre la composición y estructura vegetal, así como de la captura de carbono en las tres áreas. Los resultados muestran que el SAF evaluado es una alternativa de manejo que conserva los servicios ecosistémicos de diversidad y captura de carbono del MET.

GENERAL SUMMARY

Globally the increasing change of use of land for agricultural production has exerted greater pressure on natural resources and the environment. In Mexico, 45% of the surface is with some degree of impairment and one of the main causes of degradation is the change of use of land for agriculture and livestock (for both cases, 17.5%). A strategy to mitigate this is the implementation of Agroforestry Systems (AFS), which are forms of use and management of land where species of tree are used in association with agricultural crops and / or animals on the same land, simultaneously or in a time sequence, with the objective of diversify and optimize the production for sustainable management. This research was carried out in three areas with different anthropogenic history in the town of Linares Nuevo Leon, which are: an area of reference of Tamaulipan thorn scrub, an area with an Agroforestry System type silvopastoral and an area regenerate after have been used for extensive grazing. In each were estimated ecological parameters, indicators of diversity and richness and carbon capture, and subsequently be performed a statistical analysis to determine whether significant differences between the composition and vegetation structure and carbon capture in the three areas. The results show that the SAF assessed is a management alternative that preserves the ecosystem services of diversity and carbon capture of MET.

INTRODUCCIÓN GENERAL

A nivel mundial el aumento del cambio de uso de suelo para la producción agropecuaria ha ejercido una presión mayor sobre los recursos naturales, así como del ambiente. En comparación con las actividades pecuarias, las actividades agrícolas han sido de mayor demanda debido a las necesidades alimenticias, que se han incrementado con el aumento de la población (Casanova, *et al.* 2011; FAO, 2007). Estos sistemas agrícolas y pecuarios convencionales han ocasionado una degradación y alteración de los ecosistemas, como lo son la pérdida de biodiversidad, la deforestación, contaminación de agua, erosión, agotamiento de los mantos acuíferos, aumento de la emisión de gases asociados al calentamiento global, etc. (FAO, 2007; Kanninen, 2003; Paruelo, *et al.* 2005).

Estos efectos ya se ven reflejados en México, ya que el 45% de la superficie se encuentra con algún grado de deterioro (principalmente por el cambio de uso de suelo para la agricultura y ganadería); y además se encuentra entre los 20 países con más emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con cerca del 2% de las emisiones a nivel mundial (Benjamín y Masera, 2001; SEMARNAT, 2006; SEMARNAT; 2008). Por ello, es necesario encontrar métodos de producción agrícola y ganadera sustentable que consideren los aspectos ecológicos, sociales y económicos.

Se sabe que los métodos típicos de producción agrícola y ganadera se han usado a través de los años principalmente por las altas ganancias económicas que ofrecen; sin embargo, los productores no consideran que esto es a corto plazo, ya que con el paso de los años estos sistemas productivos deterioran los recursos naturales con los que se interactúan ocasionando daños económicamente incalculables, los cuales a su vez serán contradictorios para la sociedad y para el mismo productor. Aunque algunos productores continúan sus técnicas sin considerar lo anteriormente mencionado, otros ya han optado por modificar las actividades agropecuarias a manera de utilizar el factor ecológico como estrategia para obtener ganancias económicas, que a pesar de que no serán tan grandes como las de una producción tradicional, si será constante a corto

y largo plazo. No obstante, los beneficios económicos van a depender del tipo de sistema, tamaño, intensidad, productos y rentabilidad en la región y la inversión económica (Murgueitio, 2000).

Estas estrategias de producción son conocidas como sistemas agroforestales (SAF), los cuales además de que pueden ser una buena alternativa de manejo sustentable, su práctica consiste en incorporar el elemento arbóreo como indispensable para obtener responsablemente las ventajas ecológicas del lugar en cualquier tipo de actividad agrícola, pecuaria o agropecuaria. Estos sistemas tienen como objetivo principal diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible (SAGARPA, sin fecha). Esta opción ofrece numerosas ventajas ecológicas como el aumento de los niveles de materia orgánica del suelo, la fijación de nitrógeno atmosférico, el reciclado de nutrientes, protección física contra erosión, secuestro y almacenamiento de carbono, entre otros (Botero, 2003; Scales *et al.*, 2008; Shibu, 2009), las cuales resultan muy útiles para producción agropecuaria.

A pesar de los múltiples beneficios que ofrecen estos sistemas en México se tienen registros de que la mayoría de ellos se encuentran hacia el centro y sur del país, mientras en el norte no es muy habitual esta práctica probablemente a que las costumbres y tradiciones de las zonas rurales en esta zona son distintas a las de resto del país (Moreno *et al.*, 2013).

Cabe mencionar que al implementar algún tipo de sistema agroforestal con los aclareos y selecciones vegetales que involucra, no solo se mantiene la vegetación similar a la de las comunidades naturales (Sarmiento *et al.*, 2015), si no que en las comunidades rurales o que tienen influencia indígena, las plantas son conservadas en su medio natural. Esto es debido a que los pobladores de estos lugares comúnmente están estrechamente relacionados con el conocimiento tradicional, costumbres y ceremonias de algunas especies; por tal motivo, han adoptado la agroforestería como un método tradicional de producción en forma de huertos caseros, evitando así la extracción de las plantas de su medio natural, lo cual convierte a esta práctica en una

actividad de gran importancia para las familias, ya que además les provee gran parte de los alimentos, medicinas caseras, además genera ingresos económicos y beneficios culturales. Sin embargo, esta práctica puede desaparecer debido al crecimiento de la población o a los movimientos migratorios hacia otros estados (Araújo *et al.*, 2015). Por lo que es importante seguir fomentando e investigando las actividades agroforestales, porque además de las ventajas ecológicas que se obtienen, estas actividades mantienen una cultura y tradición que se debe conservar como patrimonio de México.

Un beneficio adicional de los sistemas agroforestales es que a diferencia de la actividad agrícola tradicional en la que solo existe la presencia de un cultivo, los sistemas agroforestales tienen mayor capacidad para la captura de carbono, debido a que además de la sola presencia de los árboles además de uno o varios cultivos, estos juegan un papel muy importante para crear un ambiente en el que los demás elementos vegetales tales como las herbáceas, la hojarasca y los arbustos interactúan entre sí y se pueden desarrollar; lo cual dará lugar a la formación de un ambiente más complejo y enriquecedor que su vez tendrá una mayor captura de carbono. Cabe resaltar que además de obtener ventajas ecológicas y ganancias económicas por la producción, se pueden generar pagos por servicios ambientales (Concha *et al.*, 2007; Rocal *et al.*, 2008).

Considerando todos los aspectos mencionados anteriormente, un sistema agroforestal implementado adecuadamente es ecológica y económicamente sustentable una buena alternativa de producción. Por ello, es importante evaluar la composición y diversidad vegetal, además de estimar la capacidad de captura del carbono de los con SAF existentes, para formar bases científicas como una buena herramienta de apoyo que proporcione elementos para el análisis y la toma de decisiones en la ejecución de un SAF y así lograr que su uso sea más fácilmente extendido por todo el país.

OBJETIVOS

Los objetivos principales del presente estudio son:

1. Caracterizar la vegetación arbórea de tres zonas con distinto uso de suelo en el matorral espinoso tamaulipeco y conocer si existen diferencias de la composición vegetal.
2. Evaluar el contenido de carbono de la biomasa aérea de tres zonas con distinto uso de suelo en el matorral espinoso tamaulipeco.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente investigación está estructurada en dos capítulos, los cuales se describen brevemente a continuación:

Capítulo 1. *Análisis de la estructura arbórea en un sistema agroforestal en el noreste de México.* Para analizar la estructura vegetal se efectuaron mediciones del diámetro basal, diámetro de copa en sentido norte-sur y este-oeste y la altura todos los individuos arbóreos. En cada área se calcularon parámetros ecológicos de abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia, índice de Margalef e índice de Shannon. Se diseñaron curvas de rarefacción (riqueza, índice de Shannon e índice de Simpson) para los para cada una de las comunidades y para evaluar la similitud florística entre ellas se realizó un análisis de ordenación Bray-Curtis.

Capítulo 2. *Contenido de carbono en un sistema agroforestal pastoril-silvícola del matorral espinoso tamaulipeco.* Para determinar la captura de carbono se consideró la altura y el diámetro basal de todos los individuos con un diámetro mayor a 5 cm así como la concentración de carbono del MET. Posteriormente se realizó un ANOVA para determinar las posibles diferencias significativas entre las áreas.

CAPÍTULO 1
ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ARBÓREA EN UN SISTEMA AGROFORESTAL
EN EL NORESTE DE MÉXICO

ANALYSIS OF THE STRUCTURE TREE IN AN AGROFORESTRY SYSTEM IN
THE NORTHEAST OF MEXICO

RESUMEN

A nivel mundial el cambio de uso de suelo para la producción agropecuaria ha ejercido una presión mayor sobre el ambiente. Debido a ello, el 45% de la superficie mexicana se encuentra deteriorado. Los Sistemas Agroforestales (SAF), son una alternativa de producción sostenible, en ellos se pueden aprovechar las interacciones ecológicas que ocurren entre sus distintos componentes y así aumentar la productividad sin dañar el ecosistema. Debido a esto, se debe conocer como es la composición vegetal de estos sistemas. La presente investigación se realizó dentro del matorral espinoso tamaulipeco (MET) en el municipio de Linares, las cuales son un: área de referencia, área con un SAF pastoril-silvícola y área post-pecuaria regenerada, para conocer si existen diferencias entre la composición y estructura vegetal. En cada área se establecieron aleatoriamente 4 sitios de muestreo de 1600m², en donde se censaron todos los individuos arbóreos y se les efectuaron mediciones dasométricas. En cada área se calcularon parámetros e indicadores ecológicos de riqueza y diversidad. Los resultados muestran que el área con SAF conserva la riqueza y diversidad, ya que estas variables presentan similitud estadística y florística (modelo de Bray-Curtis) con el área de referencia, poniendo en manifiesto que el SAF evaluado conserva la vegetación nativa del MET.

Palabras clave: diversidad, composición, matorral espinoso tamaulipeco

SUMMARY

Globally changing land use for agricultural production has increased pressure on the environment. As a result, 45% of Mexican surface is deteriorated. Agroforestry systems (AFS), are an alternative for sustainable production, they can take advantage of ecological interactions that occur between the different components and increase productivity without damaging the ecosystem. Because of this, you must know as the vegetative composition of these systems. This research was conducted within the Tamaulipas thorny scrub (MET) in the town of Linares, which are: reference area, area with a SAF pastoril silvícola and post-livestock regenerated area, to see if there are differences between the composition and structure plant. In each area were randomly established four sampling sites of 1600m², where all tree individuals were counted and were made dasometric measurements. In each area parameters and ecological indicators of richness and diversity were calculated. The results show that the area with SAF retains the richness and diversity, as these variables have statistical and floristic similarity (Bray-Curtis model) to the reference area, putting on shows that the evaluated SAF retains native vegetation MET

Key words: diversity, composition, tamaulipan thornscrub

INTRODUCCIÓN

El aumento del cambio de uso de suelo para la producción agropecuaria observado en las últimas décadas ha supuesto un aumento significativo de la presión sobre los recursos naturales (INE, 2009; Rocha *et al.*, 2010). En comparación con las actividades pecuarias, las actividades agrícolas han sufrido mayor demanda debido a las necesidades alimenticias que se han incrementado con el aumento de la población (FAO, 2007; Casanova *et al.*, 2011; Clough *et al.*, 2011). El establecimiento de nuevas superficies de explotación agropecuaria con manejos convencionales ha ocasionado una severa degradación y alteración de los ecosistemas naturales (Paruelo *et al.*, 2005; FAO, 2007; Asase *et al.*, 2010; Tschamtkke *et al.*, 2011). Estos efectos ya se ven reflejados en México, ya que el 45% de la superficie del país se encuentra con algún grado de deterioro (SEMARNAT, 2008). Las principales causas de degradación se encuentran en el cambio de uso de suelo para fines de agricultura y ganadería (para ambos casos el 17.5%), seguida por la tala de bosques con fines madereros y la urbanización (SEMARNAT, 2003). Ante tal situación, es necesario encontrar métodos sustentables de producción agrícola y ganadera que consideren globalmente los aspectos ecológicos, sociales y económicos.

Una estrategia para mitigar estos problemas es la implementación de sistemas agroforestales (Villavicencio *et al.*, 2003), los cuales consisten en formas de uso del suelo en donde especies de árboles o arbustos son utilizadas en asociaciones con cultivos agrícolas y/o con animales en el mismo terreno, con el objetivo de diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible (SAGARPA, sin fecha; Bautista *et al.*, 2011). Las interacciones que ocurren entre sus distintos componentes simulan los sistemas naturales, lo cual se puede aprovechar aumentando la productividad y diversificando la producción, mejorando el nivel de vida de los productores sin causar daños irreversibles al ecosistema (Conafor; Tschamtkke *et al.*, 2011; Dawson *et al.*, 2013). Esta opción puede ofrecer un amplio abanico de ventajas ecológicas como el aumento de los niveles de materia orgánica del suelo, la fijación de nitrógeno atmosférico, el reciclado de nutrientes, modificar el microclima, protección física contra

erosión, una mayor estratificación del espacio, o una mayor diversificación de hábitats (Scales *et al.*, 2008; Palomeque, 2009; Shibu, 2009; Ramachandran, 2011). Distintos estudios han observado que tanto la flora como la fauna silvestre se han ido adaptando a los sistemas agropecuarios (Clough *et al.*, 2009; Medina *et al.*, 2011; Pulido y Renjifo, 2011; De Beenhouwer *et al.*, 2013; Hernández *et al.*, 2013). También se ha demostrado que los sistemas agroforestales pueden conservar y mantener la vegetación nativa debido tanto a la persistencia de los bancos de semillas que permiten la regeneración natural como a la dispersión de semillas por medio de la fauna silvestre. Cabe mencionar que la vegetación nativa es la mejor opción para obtener mayores beneficios ecológicos y económicos al menor costo, siendo ésta la opción preferida por los productores (Farrell y Altieri, 2011; Moreno y Casas, 2008; Grande 2010; Moreira *et al.* 2011; Reyes *et al.* 2013; Villavicencio, 2013). Esta capacidad abre la posibilidad de diseñar la agricultura, ganadería y forestería cumpliendo simultáneamente con objetivos socioeconómicos y ecológicos (González *et al.*, 2012). La adopción de estos sistemas está basada en la capacidad de los agricultores para adaptar una tecnología a sus condiciones, buscando disminuir los riesgos y la demanda por mano de obra, generando ingresos y aumentando la eficacia (Velarde *et al.*, 2010). El Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF), reporta que el 43% de las tierras agrícolas del planeta tiene más del 10% de cobertura de árboles (Pinho *et al.*, 2012). Considerando todos los aspectos anteriores, un sistema agroforestal implementado adecuadamente representa una alternativa de producción sustentable. Por ello, es importante conocer cómo es la composición vegetal de los sistemas agroforestales existentes para formar bases científicas que sirvan como herramienta de apoyo que proporcione elementos para el análisis y la toma de decisiones en el diseño y la ejecución de un sistema agroforestal.

En el presente estudio se caracterizó la vegetación arbórea del matorral espinoso tamaulipeco en un gradiente de uso. Por un lado, estudiamos tres situaciones diferentes: i) un sistema agroforestal pastoril silvícola, ii) un área que fue utilizada para fines ganaderos, abandonada hace 30 años y que regeneró naturalmente, y iii) un área de referencia del matorral espinoso tamaulipeco sin uso conocido. El objetivo del

trabajo es conocer la composición y estructura de los estratos arbóreo y arbustivo en los tres sistemas y evaluar las posibles diferencias. La hipótesis planteada es que a pesar de la modificación estructural que sufre un área con un sistema agroforestal, ésta conserva buena parte de la diversidad florística nativa de la región de origen.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La presente investigación se realizó en el matorral espinoso tamaulipeco (MET) en el municipio de Linares, Nuevo León (Noreste de México). El clima de la zona corresponde a un extremoso semi-cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 22.4° C y precipitación anual media que oscila entre los 600 y 1000 mm con un promedio de 749 mm. Los suelos corresponden a vertisoles de origen aluvio-columial (García y Jurado, 2008). El ecosistema del MET cubre una superficie de 200,000 km² del noreste de México y el sur de Texas (EUA). En él se puede encontrar una gran diversidad de plantas, siendo las especies xerófitas la vegetación característica (González *et al.* 2010).

Para cumplir con los objetivos planeados se seleccionaron tres situaciones contrastadas desde el punto de vista de uso del territorio: un sistema de referencia, el cual fue utilizado para un uso mínimo de pastoreo y extracción de leña, y durante 28 años (vegetación madura), no se le ha dado ningún uso, una zona con actividad pecuaria en el pasado y con 30 años de regeneración por sucesión secundaria, y un sistema agroforestal pastoril-silvícola en activo (Tabla 1, Figura 1).

Tabla 1. Localización y altitud de las áreas evaluadas.

	Referencia (Ref)	Sistema agroforestal pastoril silvícola (SAF)	Regenerada post-pecuaria (Reg)
Latitud norte	24° 46' 51''	24° 54' 30''	24° 48' 07''
Longitud oeste	99° 31' 16''	99° 35' 51''	99° 32' 27''
Altitud (msnm)	368	355	380

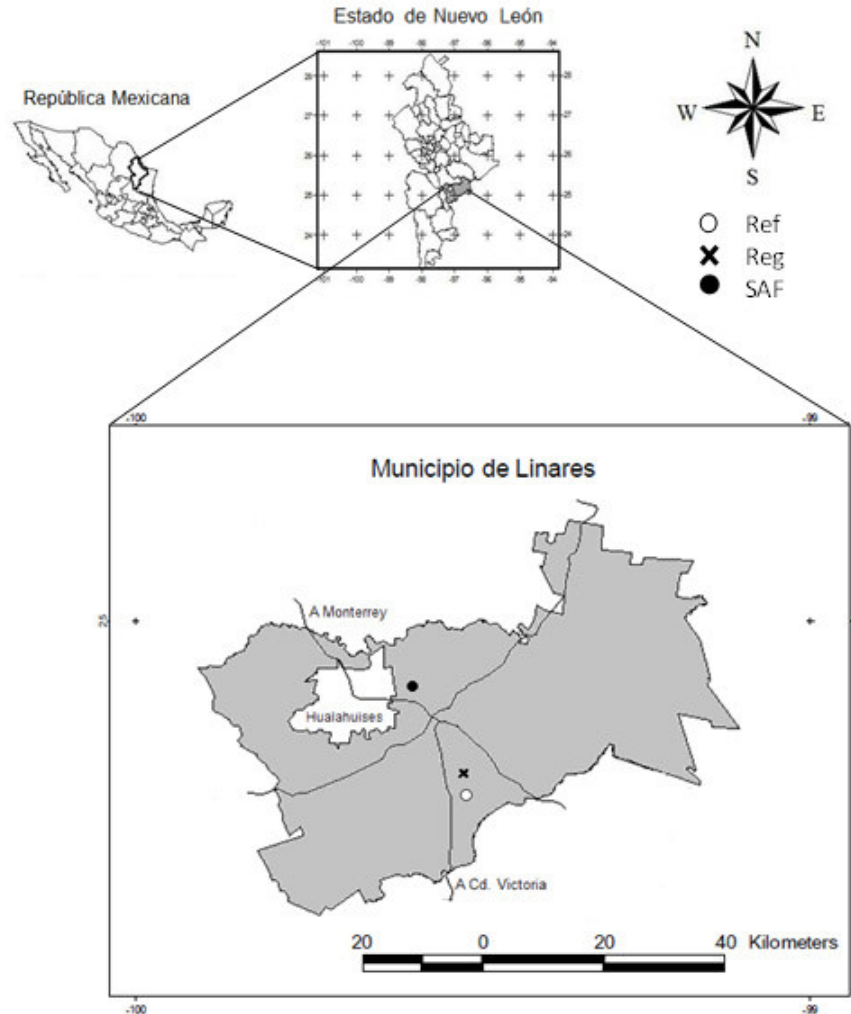


Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio

Características de las áreas evaluadas. El área de referencia (Ref) es una comunidad vegetal con individuos maduros, sobremaduros y muertos en pie del matorral espinoso tamaulipeco. Está ubicada dentro del Matorral-Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Esta área nunca fue desmontada para uso agrícola, pecuario o forestal, solo se le dio un uso muy mínimo extrayendo madera del suelo para leña y ramoneo de cabritos. Después fue delimitada por un cerco perimetral desde hace tres décadas y actualmente es utilizada como una reserva ecológica y experimental.

El Sistema agroforestal pastorilsilvícola (SAF) se encuentra en el Ejido Zapata (municipio de Linares, N.L.). Entre los años 2010 y 2011, en esta área se eliminaron

los individuos de *porte* bajo de forma manual, dejando únicamente los árboles de diámetros y alturas mayores, con el objetivo de crear espacios abiertos para el desplazamiento del ganado y en la parte alta árboles bien conformados para producir un microambiente mediante la sombra y alimento para el ganado.

En 1970 se produjo un desmonte con maquinaria agrícola para sembrar zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) y utilizarla para el pastoreo de ganado vacuno. Doce años después (en 1982) el área fue abandonada, actuando sobre ella los procesos naturales de sucesión secundaria (Reg).

Análisis de la vegetación. En julio de 2012 se realizó un muestreo intensivo de campo para caracterizar la composición y estructura de la vegetación arbórea de las áreas objeto de estudio. En cada localidad e historia de uso se establecieron aleatoriamente cuatro parcelas cuadrangulares de 1600 m² (40 x 40 m) separadas un mínimo de 100 m entre sí. En cada sitio se realizó un censo de todos los individuos arbóreos y arbustivos, a los cuales se les efectuaron mediciones dasométricas del diámetro basal (*do.10*) mayor a cinco centímetros, de la superficie de copa midiendo el espacio de copa que ocupa en sentido norte-sur y este-oeste, y la altura total.

Análisis de la información. Para cada especie se calcularon parámetros estructurales de la vegetación como la abundancia relativa (A_i) de acuerdo con el número de individuos, la frecuencia relativa (F_i) con base en su existencia en los sitios de muestreo, su dominancia relativa (D_i) en función a la cobertura de copa, y el índice de valor de importancia (IV) que adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Mueller y Ellenberg, 1974; Magurran, 1988).

Para la estimación de la abundancia relativa se empleó la siguiente ecuación:

$$A_i = N_i / S$$

$$AR_i = \left(\frac{A_i}{\sum A_i} \right) * 100$$

$$i = 1 \dots n$$

donde A_i es la abundancia absoluta, AR_i es la abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, N_i es el número de individuos de la especie i , S la superficie de muestreo (ha).

La dominancia relativa se evaluó mediante:

$$D_i = \frac{Ab_i}{S(ha)}$$

$$DR_i = \left(\frac{D_i}{\sum D_i} \right) * 100$$

$$i = 1 \dots n$$

donde D_i es la dominancia absoluta, DR_i es la dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total, Ab_i el área de copa de la especie i , S la superficie (ha).

La frecuencia relativa se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$F_i = \frac{P_i}{NS}$$

$$FR_i = \left(\frac{F_i}{\sum F_i} \right) * 100$$

$$i = 1 \dots n$$

donde F_i es la frecuencia absoluta, FR_i es la frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total, P_i es el número de sitios en los que está presente la especie i , NS el número total de sitios de muestreo.

El índice de valor de importancia (IVI) se obtiene mediante la fórmula:

$$IVI = \frac{AR_i + DR_i + FR_i}{3}$$

Para estimar la diversidad de especies se utilizó el índice de Shannon & Weiner (H') (1948) y para la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef (D_{Mg}) mediante las siguientes ecuaciones:

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i)$$

$$p_i = n_i / N$$

$$D_{Mg} = \frac{(s-1)}{\ln(N)}$$

donde S es el número de especies presentes, N es el número total de individuos, n_i es el número de individuos de la especie i .

Con la información obtenida se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para cada variable para determinar si existen diferencias significativas entre los parámetros ecológicos de los distintos sistemas evaluados ($P \leq 0.05$). En caso de obtener diferencias significativas se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la prueba HSD de Tukey.

Para cada área se realizó una comparación entre la riqueza de especies mediante curvas de rarefacción (riqueza, Shannon y Simpson), las cuales se generaron por medio del programa R. Asimismo, se creó una representación gráfica de un modelo de ordenación Bray-Curtis para conocer la variación de la similitud vegetal que hay entre las comunidades estudiadas, utilizando el programa Biodiversity Pro 2.0.

Finalmente, con los datos de abundancia y dominancia de cada especie se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para observar si, de manera general, la composición y estructura de las comunidades estaban condicionadas por la historia de uso.

RESULTADOS

Tomando en consideración las tres áreas se registraron 27 especies que representaban 24 géneros y 17 familias. La familia más representada es Fabaceae con 5 especies y el género con más especies (3) fue *Acacia* (Tabla 2).

Tabla 2. Nombre científico, nombre común, familia y forma de vida de las especies leñosas presentes en las áreas de estudio.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	FORMA DE VIDA
<i>Bernardia myricaefolia</i> (Scheele) Watson var. <i>myricaefolia</i>	Oreja de ratón	Euphorbiaceae	Arbustiva
<i>Bumelia celastrina</i> H.B.K.	Coma	Sapotaceae	Arbórea
<i>Castela texana</i> (T. & G.) Rose.	Chaparro amargoso	Simaroubaceae	Arbustiva
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	Ulmaceae	Arbustiva
<i>Cercidium macrum</i> I.M. Johnst.	Palo verde	Mimosaceae	Arbórea
<i>Condalia hoockeri</i> M. C. Johnst.	Brasil	Rhamnaceae	Arbórea
<i>Cordia boissieri</i> DC.	Anacahuita	Boraginaceae	Arbustiva
<i>Diospyros texana</i> Scheele.	Chapote blanco	Ebenaceae	Arbórea
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Britton et Rose	Ebano	Fabaceae	Arbórea
<i>Ehretia anacua</i> (Teran & Berl) I.M. Johnst	Anacua	Boraginaceae	Arbórea
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele.	Vara dulce	Fabaceae	Arbustiva
<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Panalero	Oleaceae	Arbustiva

<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Standl.	Tenaza	Fabaceae	Arbórea
<i>Helietta parvifolia</i> Gray (Benth.)	Barreta	Rutaceae	Arbustiva
<i>Koeberlinia spinosa</i> Zucc.	Corona de cristo	Coerberlineaceae	Arbustiva
<i>Leucophyllum texanum</i> (Berl.) I.M. Johnst	Cenizo	Scrophulariaceae	Arbustiva
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama	Caesalpiniaceae	Arbórea
<i>Parkinsonia texana</i> (A. Gray) S. Watson	Palo verde	Caesalpiniaceae	Arbustiva
<i>Porlieria angustifolia</i> Englem	Guayacán	Zygophyllaceae	Arbórea
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) M. C. Johnston	Mezquite	Mimosaceae	Arbórea
<i>Randia rhagocarpa</i> Standl.	Cruceto	Rubiaceae	Arbustiva
<i>Sideroxilum celastrinum</i> (Kunth) Pennington	Coma	Sapotaceae	Arbórea
<i>Acacia amentacea</i> (D.C.) Wight y Arn	Gavia	Fabaceae	Arbustiva
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	Fabaceae	Arbustiva
<i>Acacia wrightii</i>	Uña de gato	Fabaceae	Arbórea
<i>Yucca filifera</i> Chab.	Yuca	Liliaceae	Arbórea
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg	Colima	Rutaceae	Arbustiva

Comparación de parametros estructurales entre las comunidades vegetales. La riqueza específica fue significativamente diferente entre las tres áreas evaluadas ($F=22.28$, $P<0.001$). El área de referencia es la que presentó el mayor valor (13.25 ± 0.629), seguida del SAF con (10.75 ± 0.479) y el área regenerada (7.75 ± 0.629)

(Figura 2), lo que representa una reducción de la riqueza en estos dos últimos sitios respecto a la referencia de un 19 y un 42%, respectivamente.

De la misma manera, el índice de Margalef ofreció diferencias significativas entre los distintos usos del territorio ($F=53.11$, $P=0.000$), si bien en este caso tanto la referencia como el SAF mostraron valores parecidos (2.17 ± 0.080 y 2.56 ± 0.113 , respectivamente). De manera similar, el área en regeneración fue la que presentó valores de DMg más bajos (1.14 ± 0.106) (Figura 2).

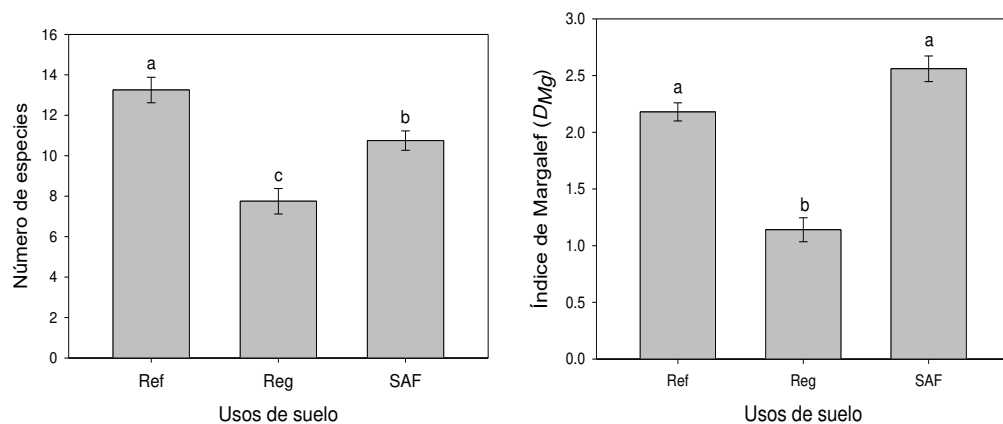


Figura 2. Riqueza de especies (izquierda) e Índice de Margalef (derecha) para cada uso de suelo. Letras distintas indican diferencias significativas.

El índice de diversidad de Shannon (H') mostró valores muy parecidos al DMg , con el área de referencia y el SAF presentando valores muy similares (1.94 ± 0.085 y 1.95 ± 0.066 , respectivamente), mientras que el área regenerada presentó un valor significativamente más bajo (1.30 ± 0.155 , $F= 11.78$, $P= 0.003$; Figura 3).

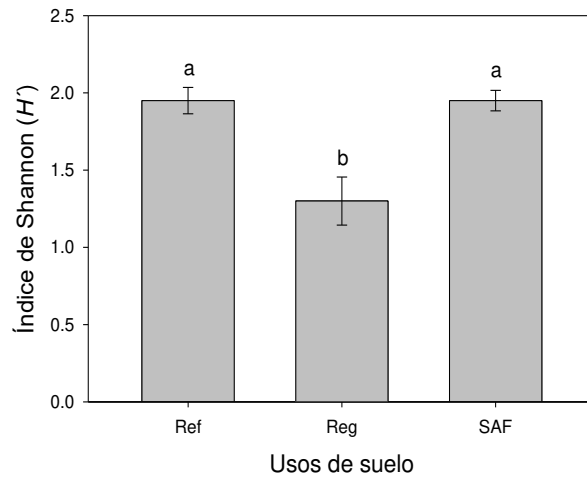


Figura 3. Índice de diversidad de Shannon para cada uso de suelo. Letras distintas indican diferencias significativas.

La comunidad que presentó una mayor densidad de individuos leñosos fue la de referencia con 1762 ± 213.12 ind/ha. La densidad en este uso del suelo fue un 52.5 y un 82.5% significativamente mayor que en la regenerada y SAF, respectivamente ($F=18.55$, $P=0.001$) (Figura 4).

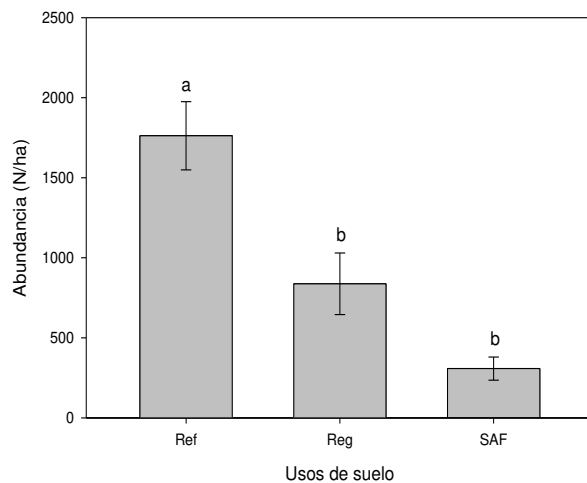


Figura 4. Individuos por hectárea en cada uso de suelo. Letras distintas indican diferencias significativas.

La variable cobertura no presentó diferencias significativas ($F = 0.805$, $P = 0.477$) entre las distintas comunidades evaluadas, oscilando la cobertura de copa entre 9521 ± 2258.69 y $6970 \pm 1498.42 \text{ m}^2/\text{ha}$, con una alta variabilidad dentro de cada una de las comunidades (Figura 5).

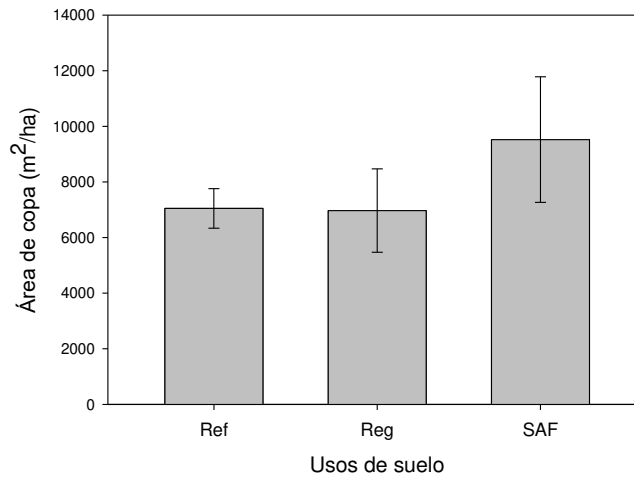


Figura 5. Dominancia de las especies en cada uso de suelo

Parámetros ecológicos para la comunidad de referencia. Los resultados obtenidos muestran que las especies con mayor densidad en esta comunidad fueron *Diospiros texana* y *Havardia pallens* con más de 400 individuos por hectárea, seguidas de *Acacia amentacea* y *Cordia boissieri* con 328 y 186 individuos por hectárea, respectivamente. El chapote (*D. texana*) fue también la especie que presentó mayor dominancia ($> 2000 \text{ m}^2/\text{ha}$), seguida de *Cordia boissieri* y *Havardia pallens* con valores superiores ambas a los $1000 \text{ m}^2/\text{ha}$. Hasta ocho especies mostraron la misma frecuencia relativa (7.5%): *Diospyros texana*, *Eysenhardtia texana*, *Havardia pallens*, *Acacia amentacea*, *Cordia boissieri*, *Condalia hoockeri*, *Zanthoxylum fagara* y *Sideroxylon celastrinum*. Las especies con mayor abundancia y dominancia fueron las que presentaron los mayores IVI. Así, *Diospyros texana* fue la especie con mayor Índice de valor de importancia (20.4), siguiéndole *Havardia pallens*, *Acacia amentacea* y *Cordia boissieri* (15.5, 12.2 y 12.1, respectivamente) (tabla 3).

Parámetros ecológicos para la comunidad regenerada. En esta comunidad encontramos una especie cuyo peso ecológico sobresale de las demás. *Acacia farnesiana* presentó valores de abundancia y dominancia de 500 individuos/ha y 4322 m²/ha, respectivamente, multiplicando prácticamente por 5 ambas variables respecto a la segunda especie con más peso (*Prosopis laevis*) (tabla 3). Como consecuencia, una única especie presentó un valor de IVI próximo al 50% (*V. farnesiana*, 44.9%). Estas dos especies, junto con *Diospyros texana* y *Celtis pallida* fueron las que mostraron una frecuencia más elevada en las parcelas de muestreo (12.9%).

Parámetros ecológicos para el sistema agroforestal pastoril-silvícola. Esta comunidad fue la que presentó menor densidad de individuos y mayor cobertura vegetal de las tres estudiadas. Dos especies fueron las más destacadas en todas las variables ecológicas consideradas: *Prosopis laevis* y *Havardia pallens*, con unos 60 individuos por hectárea ambas y una cobertura de copa de 5341 y 1128 m²/ha, respectivamente. Por tanto, fueron estas dos especies las que mostraron valores de IVI más altos (28.6 y 13.5, respectivamente). (tabla 3). *Celtis pallida* y *Cordia boissieri* presentaron valores de frecuencia iguales que las dos especies más importantes (9.3%).

Tabla 3. Especies y parámetros ecológicos de las comunidades vegetales muestreadas

ESPECIE	REFERENCIA				REGENERADO				SAF			
	N/ha	m ² /ha	F (%)	IVI	N/ha	m ² /ha	F (%)	IVI	N/ha	m ² /ha	F (%)	IVI
<i>Bernardia myricaefolia</i>	1.6	11.8	1.9	0.7								
<i>Bumelia celastrina</i>									20.3	195.2	4.7	4.4
<i>Castela texana</i>	4.7	3.7	1.9	0.7								

<i>Castela</i>												
<i>erecta</i> subsp.												
<i>texana</i>					29.7	374.7	9.7	6.2				
<i>Celtis pallida</i>	28.1	76.3	3.8	2.1	18.8	183.8	12.9	5.9	34.4	382.7	9.3	8.2
<i>Cercidium</i>												
<i>macrum</i>	31.3	249.8	5.7	3.6					4.7	118.2	2.3	1.7
<i>Condalia</i>												
<i>hoockeri</i>	50.0	446.8	7.5	5.5					31.3	439.9	7.0	7.2
<i>Cordia</i>												
<i>boissieri</i>	185.9	1292.7	7.5	12.1	4.7	28.3	6.5	2.5	32.8	639.2	9.3	8.9
<i>Diospyros</i>												
<i>texana</i>	426.6	2088.6	7.5	20.4	57.8	133.5	12.9	7.2	1.6	15.0	2.3	1.0
<i>Ebenopsis</i>												
<i>ebano</i>	31.3	62.2	1.9	1.5					3.1	154.7	4.7	2.4
<i>Ehretia</i>												
<i>anacua</i>									9.4	142.6	9.3	4.6
<i>Eysenhardtia</i>												
<i>texana</i>	48.4	196.1	7.5	4.3					1.6	27.6	2.3	1.0
<i>Forestiera</i>												
<i>angustifolia</i>	7.8	44.0	3.8	1.6								
<i>Havardia</i>												
<i>pallens</i>	418.8	1077.8	7.5	15.5					59.4	1128.2	9.3	13.5
<i>Helietta</i>												
<i>parvifolia</i>	29.7	131.1	5.7	3.0					1.6	3.0	2.3	1.0
<i>Koeberlinia</i>												
<i>spinosa</i>					10.9	53.9	3.2	1.8				
<i>Leucophyllum</i>												
<i>texanum</i>	1.6	5.2	1.9	0.7								
<i>Parkinsonia</i>												
<i>aculeata</i> L.					20.3	255.0	3.2	3.1				

<i>Parkinsonia</i>												
<i>texana</i>					32.8	341.6	6.5	5.1				
<i>Porlieria</i>												
<i>angustifolia</i>	3.1	3.5	1.9	0.7					4.7	34.9	4.7	2.2
<i>Prosopis</i>												
<i>laevigata</i>	20.3	33.7	1.9	1.2	93.8	883.4	12.9	12.3	62.5	5341.2	9.3	28.6
<i>Randia</i>												
<i>rhagocarpa</i>	3.1	3.9	1.9	0.7								
<i>Sideroxylon</i>												
<i>celastrinum</i>	76.6	289.8	7.5	5.3	28.1	116.2	6.5	3.8				
<i>Acacia</i>												
<i>amentacea</i>	328.1	737.0	7.5	12.2	7.8	96.6	3.2	1.8	21.9	442.9	7.0	6.2
<i>Acacia</i>												
<i>farnesiana</i>	9.4	60.2	3.8	1.7	500.0	4321.9	12.9	44.9	4.7	168.2	4.7	2.6
<i>Acacia</i>												
<i>wrightii</i>									10.9	246.9	7.0	4.4
<i>Yucca filifera</i>												
	4.7	14.8	3.8	1.4								
<i>Zanthoxylum</i>												
<i>fagara</i>	51.6	218.0	7.5	4.5	32.8	180.9	9.7	5.4	3.1	41.2	4.7	2.0

En las curvas de rarefacción se observó que la comunidad de Referencia alcanzó la mayor riqueza de especies con 21=1129, seguida por el área del SAF con valores de 17=198, sin embargo no presentaron diferencias significativas entre ellas. Por otro lado, la zona Regenerada obtuvo una riqueza de especies de 12=501, siendo estadísticamente diferente a las otras dos áreas. Lo anterior señala que el área con menor riqueza de es la Regenerada (Figura 6).

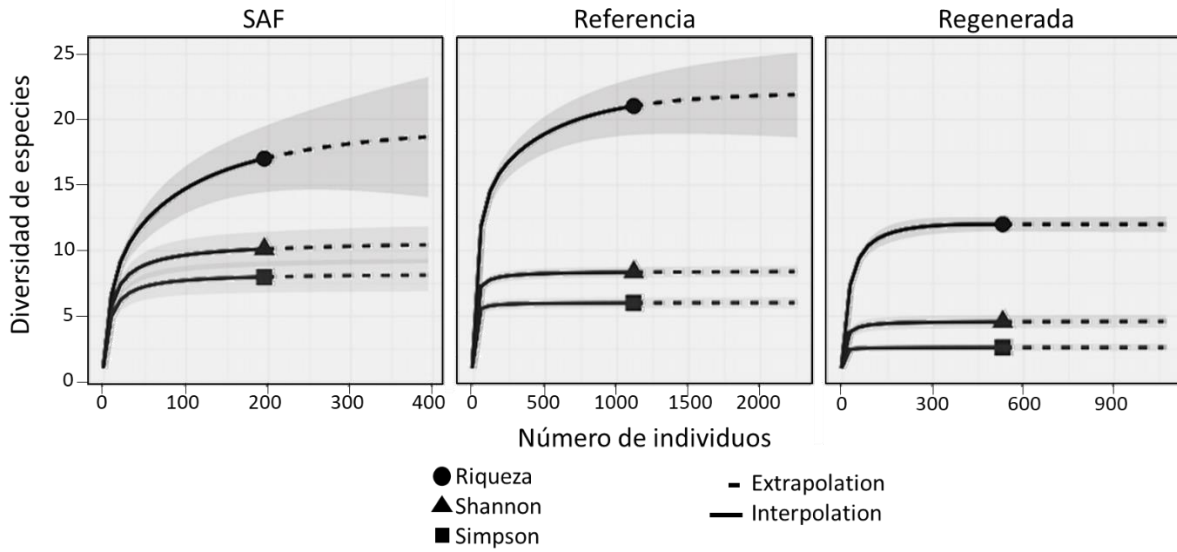


Figura 6. Curvas de rarefacción para la riqueza y diversidad de especies de cada area de estudio.

La similitud vegetal entre las comunidades fue con baja (menor a 21%). El área de Referencia y el SAF presentaron mayor porcentaje de similitud florística con un valor de 20.98%, mientras que la zona Regenerada alcanzó una similitud de 13.82% con el área de Referencia (Figura 7).

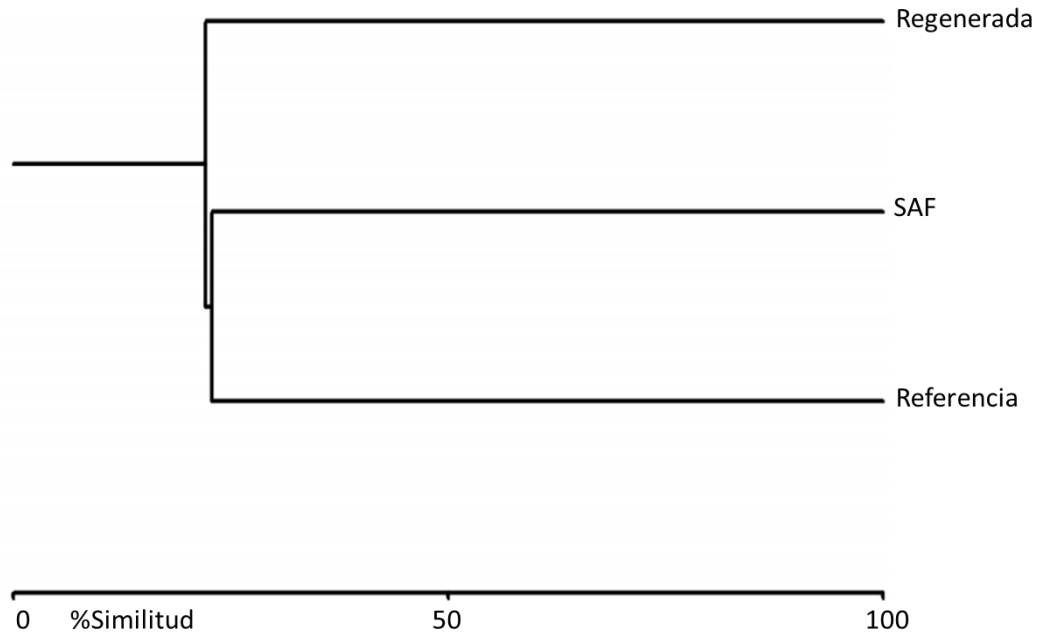


Figura 7. Dendrograma de la similitud florística Bray-Curtis entre las comunidades estudiadas.

Los dos primeros componentes del PCA realizado a la matriz de datos de abundancia explicaron un 44.1% de la varianza (28.3% el primer eje y un 15.7% adicional el segundo componente). Las especies que más peso tienen en el primer componente son, por este orden, *Acacia rigidula*, *Diospyros texana*, *Cordia boissieri*, *Havardia pallens*, *Cercidium macrum*, *Yucca filifera*, *Helietta parviflora* y *Forestiera angustifolia* (Tabla 4). Por su parte, el segundo componente está principalmente condicionado por la abundancia de *Porlieria angustifolia* y *Bumelia celastrina*, y, en menor medida y con peso negativo, *Acacia farnesiana*. La representación gráfica de los puntos de muestreo tras este análisis muestran tres grupos bien definidos en donde se aprecia que hay diferencias entre los sistemas (Figura 8). Así, las parcelas del sistema de referencia presentan valores positivos del primer componente indicando una mayor abundancia de las especies mencionadas anteriormente que los sistemas Reg y SAF. Estos dos sistemas, por su parte, muestran una separación a lo largo del segundo componente, con valores positivos de las parcelas de SAF, asociados a abundante *Porlieria angustifolia* y *Bumelia celastrina*, mientras que las parcelas de Reg mostraron valores negativos que se corresponden con alta abundancia de *Acacia farnesiana*.

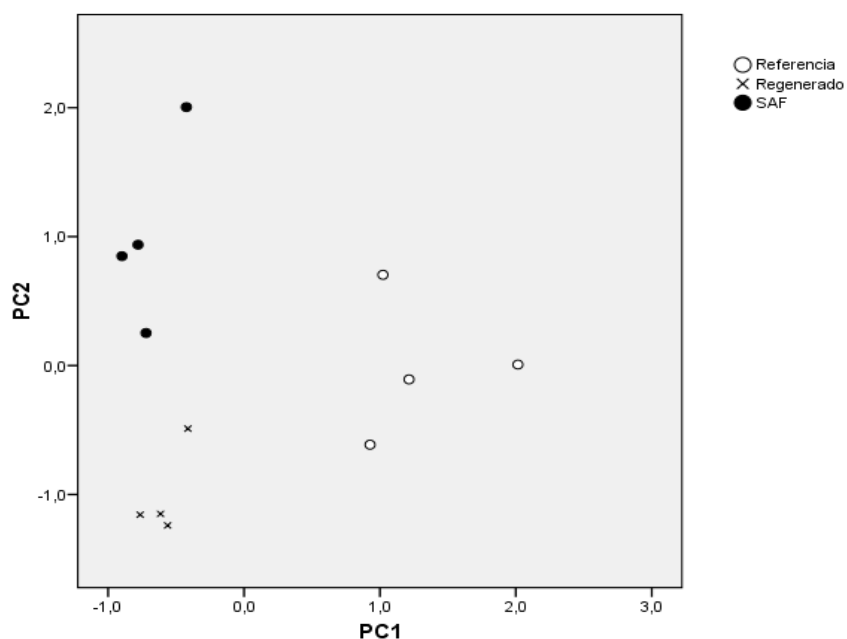


Figura 8. Representación de las diferentes parcelas de muestreo en los dos primeros componentes del PCA de la abundancia de especies.

Tabla 4. Peso de las abundancias de las distintas especies sobre los dos primeros componentes del PCA. Valores próximos a +1 y -1 indican un elevado peso directa e inversamente proporcional, respectivamente, de la especie sobre el componente, mientras que valores próximos a 0 indican escasa importancia de esa especie.

Especie	PC1	PC2
<i>Acacia rigidula</i>	0,931	0,133
<i>Diospyros texana</i>	0,881	-0,016
<i>Cordia boissieri</i>	0,825	0,136
<i>Havardia pallens</i>	0,82	0,054
<i>Cercidium macrum</i>	0,78	0,146
<i>Yucca filifera</i>	0,767	0,116

<i>Helietta parvifolia</i>	0,759	-0,041
<i>Forestiera angustifolia</i>	0,731	-0,003
<i>Ebenopsis ebano</i>	0,644	0,047
<i>Zanthoxylum fagara</i>	0,628	-0,391
<i>Eysenhardtia texana</i>	0,614	-0,135
<i>Condalia hookeri</i>	0,474	0,639
<i>Sideroxylon celastrinum</i>	0,361	0,036
<i>Randia rhagocarpa</i>	0,318	-0,056
<i>Leucophyllum texanum</i>	0,307	-0,182
<i>Bernardia myricaefolia</i>	0,307	-0,182
<i>Celtis pallida</i>	0,12	0,436
<i>Porlieria angustifolia</i>	0,057	0,73
<i>Prosopis laevigata</i>	-0,107	-0,547
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	-0,134	0,628
<i>Castela erecta subsp. texana</i>	-0,134	-0,441
<i>Parkinsonia aculeata</i>	-0,168	-0,396
<i>Koeberlinia spinosa</i>	-0,192	-0,361
<i>Parkinsonia texana</i>	-0,248	-0,381
<i>Bumelia celastrina</i>	-0,275	0,702
<i>Acacia farnesiana</i>	-0,365	-0,686

<i>Acacia wrightii</i>	-0,428	0,357
<i>Prosopis glandulosa</i>	-0,48	0,508
<i>Ehretia anacua</i>	-0,515	0,665

El análisis realizado sobre los datos de dominancia ofreció resultados parecidos. Los dos primeros ejes explicaron un 40.3% de la varianza (21.1% el primer eje y 19.3% el segundo). La representación de los resultados vuelve a mostrar los tres grupos de parcelas bien definidos. En este caso, la dominancia de *Eysenhardtia texana*, *Diospyros texana*, *Helietta parvifolia* y *Acacia rigidula* condicionan de manera positiva el primero de los componentes, mientras que *Bumelia celastrina*, *Porlieria angustifolia*, *Eysenhardtia polystachya* y *Celtis pallida* son las especies que determinan la distribución de las especies a lo largo del segundo componente (Tabla 5). Los tres sistemas se distribuyen en estos dos ejes de manera similar a lo mostrado para el análisis de las abundancias, con valores del eje 1 positivos en el Ref y negativos en SAF y Reg, y valores del eje 2 positivos del SAF y negativos del Reg (Figura 9).

Al igual que en la abundancia, la dominancia de las especies del sistema de referencia son las que presentaron mayor impacto, continuandole las del sistema agroforestal (Figura 9).

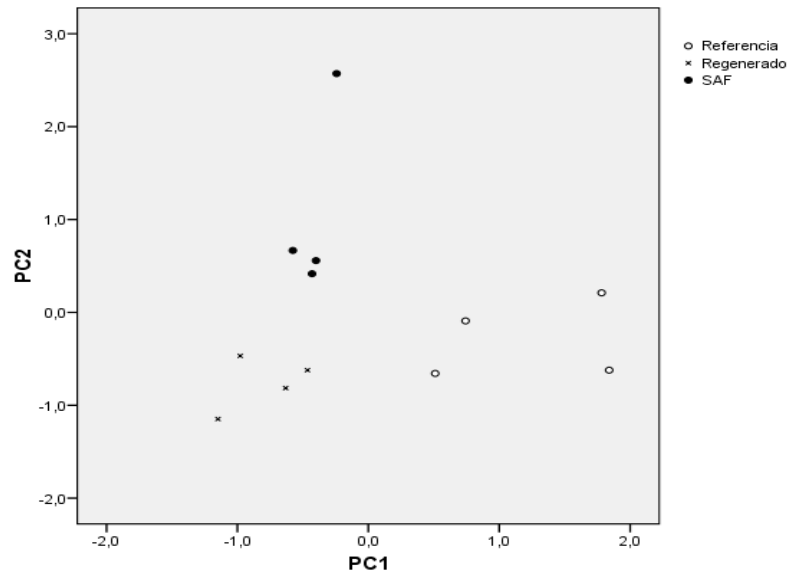


Figura 9. Representación de las diferentes parcelas de muestreo en los dos primeros componentes del PCA de la dominancia de especies

En la tabla 5 se encuentra el valor de la dominancia de cada especie por los tres usos de suelo. De manera general, son las mismas especies las que condicionan los valores de los ejes 1 y 2 de los datos de abundancia y dominancia pero con algunas diferencias. Por ejemplo, *Eysenhardtia texana* es la especie que más peso tiene sobre el primer componente de los datos de dominancia mientras que en los datos de abundancia hay otras 10 especies que tienen más peso que ella en este componente. Las diferencias de extracción de las especies sobre el segundo componente son menores que sobre el primero, siendo *Bumelia celastrina* y *Porlieria angustifolia* las dos especies más importantes en ambos análisis.

Tabla 5. Peso de las dominancias de las distintas especies sobre los dos primeros componentes del PCA. Valores próximos a +1 y -1 indican un elevado peso directa e inversamente proporcional, respectivamente, de la especie sobre el componente, mientras que valores próximos a 0 indican escasa importancia de esa especie.

Especie	PC1	PC2
<i>Eysenhardtia texana</i>	0,877	-0,244
<i>Diospyros texana</i>	0,772	-0,202
<i>Helietta parvifolia</i>	0,760	-0,219
<i>Acacia rigidula</i>	0,702	0,325
<i>Cordia boissieri</i>	0,682	0,380
<i>Yucca filifera</i>	0,619	0,027
<i>Bernardia myricaefolia</i>	0,586	-0,252
<i>Leucophyllum texanum</i>	0,586	-0,252
<i>Forestiera angustifolia</i>	0,568	0,036
<i>Havardia pallens</i>	0,522	0,397
<i>Zanthoxylum fagara</i>	0,435	-0,420
<i>Condalia hookeri</i>	0,291	0,651
<i>Cercidium macrum</i>	0,277	-0,118
<i>Sideroxylum celastrinum</i>	0,265	-0,238
<i>Ebenopsis ébano</i>	0,200	0,681
<i>Randia rhagocarpa</i>	0,110	-0,148
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	-0,038	0,809
<i>Porlieria angustifolia</i>	-0,100	0,820
<i>Bumelia celastrina</i>	-0,119	0,844
<i>Acacia wrightii</i>	-0,185	0,262
<i>Prosopis glandulosa</i>	-0,189	0,376
<i>Koeberlinia spinosa</i>	-0,207	-0,253
<i>Prosopis laevigata</i>	-0,217	0,123
<i>Celtis pallida</i>	-0,220	0,801
<i>Ehretia anacua</i>	-0,263	0,433

<i>Parkinsonia texana</i>	-0,317	-0,147
<i>Parkinsonia aculeata</i>	-0,371	-0,357
<i>Castela erecta subsp. texana</i>	-0,378	-0,365
<i>Acacia farnesiana</i>	-0,622	-0,558

DISCUSIÓN

El presente trabajo de evaluación de la vegetación leñosa en comunidades de matorral espinoso tamaulipeco bajo diferentes historias de uso ha puesto de relevancia el importante papel de la familia Fabaceae. La alta presencia de esta familia, y más concretamente del género *Acacia*, puede estar relacionada con una menor disponibilidad de nitrógeno. La suma de los IVI de las especies de esta familia fue más elevada en la comunidad Regenerada (46.7) quedando con los valores más bajos la comunidad SAF (30.1). Las áreas que han sido despojadas de su cobertura vegetal natural y posteriormente sometidas a uso agrícola y pecuario al ser abandonadas es probable que presenten una baja disponibilidad de nitrógeno, por lo que especies capaces de fijar nitrógeno atmosférico (característica común en las Fabaceae), frecuentemente están presentes en las primeras fases de la sucesión (Estrada *et al.* 2004; Garcia y Jurado, 2008). Estos resultados concuerdan con los de diversos autores (Jiménez *et al.* 2009, Martínez *et al.* 2013, Mora *et al.* 2013) quienes obtuvieron números similares de familias, géneros y especies, además de encontrar a esta familia como la más representativa de distintas áreas regeneradas del MET.

Los índices de diversidad indican que el SAF presenta una diversidad de especies vegetales similar a la del matorral espinoso tamaulipeco, aunque los resultados son un poco más bajos a los que señalan Jiménez *et al.* (2009) Espinoza y Návar (2005), Martínez *et al.* (2013) y Molina (2013) quienes obtuvieron valores mayores a 2.00, probablemente a que las zonas regeneradas del MET presentaron distinto historial.

La comunidad con mayor cantidad de individuos por hectárea fue significativamente mayor en Ref, debido a que esta zona se ha mantenido sin ningún tipo de impacto antrópico a diferencia de las otras dos zonas. Sin embargo, diversos autores (Jiménez *et al.*, 2009., 2013; Martínez *et al.*, 2013), han obtenido un amplio rango de densidades (2000 a 17000 ind/ha) debido a que los distintos impactos ocasionados en las zonas de estos estudios, de alguna manera, se ven involucrados en una recuperación más dinámica de la vegetación del MET. En el presente estudio, al no presentar ningún impacto la zona de referencia, la regeneración de la vegetación es menos activa mientras que en las otras dos zonas con disturbio las perturbaciones que se ven o se vieron involucradas no son tan influyentes en la regeneración natural.

La similitud de la cobertura vegetal de los tres sistemas se debe a que la vegetación arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco es altamente resiliente (Alanís *et al.*, 2013). Así el sistema Reg está conformado por diversas especies, y los árboles y arbustos al tener espacio crecieron vertical y horizontalmente, teniendo copas anchas y ramificadas (Pequeño *et al.*, 2012). El SAF alberga árboles y arbustos bien conformados, los cuales después del aclareo presentaron mayor crecimiento al disminuir la competencia.

Acacia amentacea, *Diospyros texana*, y *Havardia pallens*, además de ser las especies con mayor peso dentro del sistema del Ref, se encuentran con mayor abundancia dentro de los tres sistemas. *Acacia amentacea*, *Diospyros texana*, *Eysenhardtia texana* y *Helietta parvifolia* son las especies más dominantes en los tres sistemas. Estos resultados concuerdan con los de Alanís *et al.* (2008b), Espinosa y Návar (2005), García y Jurado (2008) y González *et al.* (2010) quienes en sus estudios realizados dentro del matorral espinoso tamaulipeco reportan estas especies con un alto valor en alguno de los parámetros básicos estructurales, lo que puede deberse a que el establecimiento de estas especies está estrechamente relacionado con las condiciones biofísicas de la zona (Estrada *et al.*, 2004).

Bumelia celastrina y *Porlieria angustifolia*, a pesar de no obtener valores altos en los parametros ecológicos dentro de este estudio, se pueden considerar especies clave en el rango de historia de uso del MET considerado en este estudio. Estas especies son características del MET con una alta abundancia y dominancia (Alanís, 2006; Gonzalez *et al.* 2010).

Acacia farnesiana y *Prosopis laevigata* se presentaron con gran peso en el sistema Reg. Estas especies son típicas de las zonas del MET que han presentado una intensa perturbación pecuaria (Pequeño *et al.* 2012), probablemente debido a que la comunidad, al estar desprovista de vegetación y con una baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo, intenta recuperarse estableciendo este tipo de especies capaces de fijar nitrógeno al suelo (Estrada *et al.*, 2005). Cabe agregar que estas especies frecuentemente son consumidas por el ganado que su vez favorecen su dispersión provocando una alta persistencia en la zona.

Prosopis laevigata y *Havardia pallens* son las especies con mayor presencia en el sistema SAF, debido a que estas especies son muy apreciadas por los productores de ganado doméstico debido al valor nutricional que estas adquieren al utilizar los frutos como forraje en las épocas que escasea el alimento, siendo además su madera utilizada para la construcción (Alanís *et al.*, 1996; Estrada y Jurado, 2005).

Los modelos de rarefacción indicaron que la riqueza de especies de las tres áreas es alta, pero con una baja abundancia relativa. Aunque las comunidades de Referencia y el SAF mostraron la mayor riqueza, el área del SAF no presentó totalmente una curva asíntota, esto es porque en esta área la proporción de especies es mayor y con una baja abundancia relativa. A pesar de ello, en la extrapolación no existen diferencias significativas entre ellas. Lo anterior concuerda con Alanís *et al.* (2013), que al evaluar áreas regeneradas del matorral espinoso tamaulipeco obtuvo un comportamiento similar.

Las comunidades de Referencia y SAF obtuvieron la mayor similitud florística, probablemente a que en un sistema silvopastoril la remoción vegetal no es total, debido que el elemento arbóreo es necesario para la implementación de este sistema, conservado así lo mejor posible las especies vegetales debido a los múltiples beneficios (ya antes mencionados) que ofrecen para este sistema de producción. Por lo contrario, la baja similitud florística de la comunidad Regenerada se puede deber a que los componentes bióticos y abióticos fueron alterados durante la etapa del pastoreo.

CONCLUSIONES

Esta investigación pone de manifiesto que el sistema silvopastoril evaluado conserva la riqueza específica y diversidad de especies, ya que estas variables presentan similitud estadística ($p < 0.05$) y florística con el área Referencia.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por todas las facilidades otorgadas para el establecimiento y desarrollo de la investigación y a todas las personas que participaron en las actividades de campo.

LITERATURA CITADA

Alanís E., 2006. Diversidad de especies arbóreas y arbustivas en áreas con distinto historial de uso antropogénico en el matorral espinoso tamaulipeco. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. 97 p

Alanís E., J. Jiménez, D. Espinoza, E. Jurado, O.A. Aguirre, M.A. González, 2008a. Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el

Parque Ecológico Chipinque. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 14(2):113-118

Alanís, E., Jiménez, J., González, M.A., Yerana J.I., Cuellar, L.G., Mora-Olivo, A. 2013. Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Phyton International Journal of Experimental Botany* 82(2):185-191.

Alanís E., J. Jiménez, O.A. Aguirre, E. Treviño, E. Jurado, M.A. González. 2008b. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Ciencia UANL* 11(1): 56-62.

Alanís G., G. Cano, M. Rovalo. 1996. Vegetación y Flora de Nuevo León una Guía Botánico-Ecológica. CEMEX. Impresora Monterrey. pp 251.

Asase A. y D. Tetteh. 2010. The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agroforestry systems* 79(3): 355-368.

Bautista M., López S., Pérez P., Vargas M., Gallardo F., Gómez F. 2011. Sistemas agro y silvopastoriles en la Comunidad el Limón, Municipio de paso de ovejas, Veracruz, México. Universidad Autónoma de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 14, núm. 1. pp. 63-76

Casanova L. F., Petit A. J., Solorio S. J. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 17(1): 133-143.

Clough Y., D. Putra, R. Pitopang y T. Tschardtke, 2009. Local and landscape factors determine functional bird diversity in Indonesian cacao agroforestry. *Biological conservation* 142(5):1032-1041

Clough Y., J. Barkmann, J. Juhbandt, M. Kessler, T. Wanger, A. Anshary, D. Buchori, D. Cicuzza, K. Darras, D. Putrak, S. Erasmil, R. Pitopangm, C. Schmidtn, Ch. Schulzeo, D. Seidell, I. Steffan-Dewenterp, K. Stenchlya, S. Vidaln, M. Weista, A. Wielgoss y T. Tscharncke. 2011. Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108(20): 8311-8316.

Conafor. www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/desarrollo-y-transferencia/sistemas-agroforestales/140?task=view. 12/03/13

Dawson I., Guariguata M., Loo J., Weber J., Lengkeek A., Bush D. y Jamnadass, R. 2013. What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity in circa situm, in situ and ex situ settings? A review. *Biodiversity and conservation*. 22(2): 301-324.

De Beenhouwer M., R. Aerts y O. Honnay. 2013. A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. *Agriculture ecosystems & environment* (175): 1-7

Espinoza, R. y J. Návar. 2005. Producción de biomasa, diversidad y ecología de especies en un gradiente de productividad en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(1): 25-31.

Estrada, E., C. Yen, A. Delgado y J. Villarreal. 2004. Leguminosas del centro del estado de Nuevo León, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM. Serie Botánica* 75(1): 78-85. FAO. 2007. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Pagos a los agricultores por servicios ambientales. *Agricultura* 38. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 255 p.

Estrada, E. y Jurado E., 2005. Leguminosas del norte del estado de Nuevo León, México. *Acta Botánica Mexicana*, 73: 1-18.

Farrell J. y M. Altieri. 2011. Capítulo 12, Sistemas agroforestales.
Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Pp 229-243

García y Jurado. 2008. Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares N.L., México. Ra Ximhai 4:1-21

González H., R. Ramírez, I. Cantú, M. Gómez, J. Uvalle. 2010. Composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México. 1 Núm. 29. Pp. 91-106.

González N., S. Ochoa, B. Ferguson, C. Pozo, Ch. Kampichler e I. Pérez. 2012. Análisis comparativo de la estructura, diversidad y composición de comunidades arbóreas de un paisaje agropecuario en Tabasco, México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 83 (1): 83-99.

Grande J. 2010. Los arboles forrajeros como recurso potencial para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en la región de la sierra de tabasco. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana. Pp 198

Hernández, S., B. Mattsson, V. Peters, R. Cooper y C. Carroll, 2013. Coffee Agroforests Remain Beneficial for Neotropical Bird Community Conservation across Seasons. PloS one 8(9): 5

Instituto Nacional de Ecología Investigación Ambiental. Ciencia y política pública. Vol 1. 2009. Publicación semestral.

Jiménez J., E. Alanís, M.A. González, O.A. Aguirre, E.J. Treviño. 2013. Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico. The Southwestern Naturalist 58(3): 299-304

Jiménez J., E. Alanís, O. Aguirre, M. Pando, M. González. 2009. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques* 15(3):5-20.

Magurran, A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. New Jersey. 179 pp

Martínez D., J. Jiménez, E. Alanís, J. Uvalle, P. Canizales, L. Rocha 2013. Regeneración natural del matorral espinoso tamaulipeco bajo una plantación de *Eucalyptus* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. *Revista mexicana de ciencias forestales* 5(21): 94-107.

Medina, M., D. García, P. Moratinos, T. Clavero e J. Iglesias. 2011. Macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles con *Morus alba*, *Leucaena leucophala* y pastos. *Zootecnia Tropical*, 29(3):301-312.

Molina V., M. Pando, E. Alanís, P. Canizales, H. González, J. Jiménez. 2013. Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4(2):361-371.

Mora C., E. Alanís, J. Jiménez, M. González, J. Yerena y L. Cuellar. 2013. Estructura, composición florística y diversidad del Matorral Espinoso Tamaulipeco, México. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. *Ecología Aplicada*, 12(1): 29-34

Moreira P., W. Steenbock, N. Peroni, M. dos Reis. 2011. Genetic diversity and mating system of bracinga (*Mimosa scabrella*) in a re-emergent agroforestry system in southern Brazil. *Agroforestry Systems* 83(2): 245-256

Moreno A. y A. Casas. 2008. Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del valle de Tehuacán, México. *Zonas Áridas* 12(1):13-35

Müeller-Dombois D., H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley and Sons, New Cork: Pp. 54

Palomeque, F. E. 2009. Los sistemas agroforestales, una alternativa del campo mexicano. Huehuetán, Chiapas, México. In: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/sistemas-agroforestales/sistemas-agroforestales.pdf>.

Paruelo M. J., Guerschman J. y Verón S.R., 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Facultad de Agronomía, UBA. *Ciencia hoy*, 15(87): 14-23.

Pequeño M., E. Alanís, J. Jiménez, M. González, J. Yerena, G. Cuellar, A. Mora. 2012. Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Ciencia UAT*. 24(2): 42-47

Pinho R., R. Miller y S. Alfaia. 2012. Agroforestry and the Improvement of Soil Fertility: A View from Amazonia. *Applied and Environmental Soil Science*. pp 11

Pulido P. y L. Renjifo. 2011. Live fences as tools for biodiversity conservation : a study case with birds and plants. *Agroforestry Systems*. 81(1): 15-30

Reyes F., Y. González, M. Navarro, J. Iglesias, D. Hernández, M. Carballo, E. Fernández¹ y E. Ruz. 2013. Composición genérica del banco de semilla del suelo en un sistema silvopastoril multiasociado (Nota técnica). *Pastos y Forrajes*. 36 (3): 296-299.

Rocha A., N. Ramírez y M. González. 2010. Riqueza y diversidad de árboles del bosque tropical caducifolio en la depresión central de Chiapas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (87): 89-103.

Scales B. y S. Marsden. 2008. Biodiversity in small-scale tropical agroforests: a review of species richness and abundance shifts and the factors influencing them. *Environmental Conservation*. 35: 160-172

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. sin fecha. Sistemas agroforestales. Ficha 8. Responsable Gerardo López. Pp. 8

SEMARNAT, 2003
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/03_suelos/cap3.html. 12/03/13

Secretaría de Manejo de Recursos Naturales. 2008. La degradación de los suelos en México. Capítulo 3. 12/03/13

Shannon, C. 1948. The mathematical theory of communication. En C. E. Shannon, W. Weaver (Ed). Univ. of Illinois. Press. Pp. 134-154.

Shibu J. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforest Systems*. 76:1–10

Tscharntke T., Y. Clough, S. Bhagwat, D. Buchori, H. Faust, D. Hertel, D. Hölscher, J. Juhbandt, M. Kessler, I. Perfecto, Ch. Scherber, G. Schroth, E. Veldkamp y T. Wanger. 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes-a review. *Journal of Applied Ecology* 48(3): 619-629

Velarde S., J. Ugarte-Guerra, M. Rüginitz, J. Capella, M. Sandoval, G. Hyman, A. Castro, J. Marín y E. Barona. 2010. Reducción de emisiones de todos los usos del

suelo. Reporte del Proyecto REALU Perú Fase 1. World Agroforestry Centre (ICRAF). Working Paper No. 110.

Villavicencio L. 2013. Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico, en San Miguel, Veracruz, México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 19(1): 67-80

Villavicencio L. y J. Valdez. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en san miguel, Veracruz, México. Colegio de posgraduados. Agrociencia. 37(4): 413-423.

CAPÍTULO 2

CONTENIDO DE CARBONO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL PASTORIL SILVÍCOLA DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO

CARBON CONTENT IN AN AGROFORESTRY SYSTEM SILVOPASTORAL OF TAMAULIPAN THORNSCRUB

RESUMEN

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

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

SUMMARY

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

Key words: carbon content, tamaulipan thornscrub, aboveground biomass.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el deterioro de los recursos naturales del continente americano evidencia los efectos del crecimiento de la población. Esta presión por incrementar las áreas de producción agrícola y pecuaria ha traído como consecuencia aumentos en la tasa de deforestación, en el uso de agroquímicos, en la erosión de los suelos, en el deterioro de las cuencas y fuentes de agua y en la emisión de gases asociados al calentamiento global (Kanninen, 2003). El calentamiento global es uno de los principales fenómenos ambientales que enfrenta la sociedad a nivel global. Este problema se ha ido incrementando por el aumento de las emisiones de CO₂. En la actualidad las causas que han contribuido significativamente con la presencia de este gas en la atmosfera son el uso de combustibles fósiles con el 80-85% (Andrade y Ibrahim, 2003), la producción de cemento 3.1% y el cambio de uso del suelo con el 30.2% (Benjamín y Masera, 2001).

México se encuentra entre los 20 países con más emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con cerca del 2% de las emisiones a nivel mundial (Benjamín y Masera, 2001; SEMARNAT, 2006). Alrededor del 70% de las emisiones de GEI está relacionado con el consumo de combustibles fósiles (empleado para el transporte y energía eléctrica), el 14% al cambio de uso de suelo y silvicultura, el 9% a procesos industriales y 8% a las actividades agropecuarias (SEMARNAT, 2008).

Por ello, la emisión de los GEI podría reducirse con el uso de otras alternativas de energía y a través de la creación y/o mejoramiento de ecosistemas naturales o de los sistemas de producción para que incrementen su capacidad de funcionar como sumideros de carbono. En México, actualmente las mejores opciones que se utilizan para la captación de carbono son el manejo de los ecosistemas naturales y de las áreas naturales protegidas. Así mismo el sector forestal conserva y almacena las emisiones de carbono preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de los bosques, reduciendo los incendios, reforestando áreas degradadas, restaurando áreas urbanas, estableciendo plantaciones comerciales y energéticas (producción de leña y generación de electricidad) e implementando Sistemas Agroforestales (SAF).

Los sistemas agroforestales pueden ser una buena alternativa de manejo para la conservación, secuestro y almacenamiento del carbono. Estos sistemas consisten básicamente en la incorporación de árboles a un sistema de producción.

Así como los bosques, los sistemas agroforestales también podrían almacenar cantidades significativas de carbono (Andrade y Ibrahim, 2003), ya que, en algunos casos, los sumideros de carbono en sistemas agroforestales son similares a aquellos encontrados en bosques secundarios o áreas con vegetación madura. Se estima que el contenido de carbono aéreo de los SAF varía del 10 a 70 ton/ha y el flujo anual de carbono está entre 1-10 ton/ha/año (Botero, 2003). Una proyección a nivel mundial del año 1995 al 2050 indica que la implementación de la silvicultura y la agroforestería pueden capturar 38 billones ton de carbono, lo que equivale del 11-15% del total de las emisiones fósiles emitidas en el mismo periodo (Roncal *et al.*, 2008). Sin embargo, existe poca investigación del potencial de secuestro de carbono en los SAF en comparación con otros usos de tierra (bosques y plantaciones forestales), lo que significa que estos sistemas pueden contener considerablemente sumideros de carbono no contabilizado en inventarios (Andrade y Ibrahim, 2003; Botero, 2003).

En el noreste de México existen pocos estudios de carbono (Návar, 2008; Yerena *et al.* 2011), por lo que es necesario generar información sobre las reservas de este elemento en los ecosistemas terrestres, que describan las modificaciones de los flujos derivadas de los cambios de uso de suelo y así proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del calentamiento global por medio del manejo apropiado de los ecosistemas y actividades agropecuarias y a la generación de recursos económicos futuros. Por ello, el presente estudio se realizó en tres áreas con distinto uso de suelo dentro del matorral espinoso tamaulipeco con el objetivo de evaluar el contenido de carbono en la biomasa aérea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en tres áreas del matorral espinoso tamaulipeco (MET) en el municipio de Linares, Nuevo León (Noreste de México), las cuales son una zona de referencia (vegetación madura), un SAF pastorilsilvícola y una zona regenerada la cual tuvo un periodo de descanso de 30 años (figura 1). Las tres áreas presentan condiciones similares de clima, suelo, altitud y pendiente.

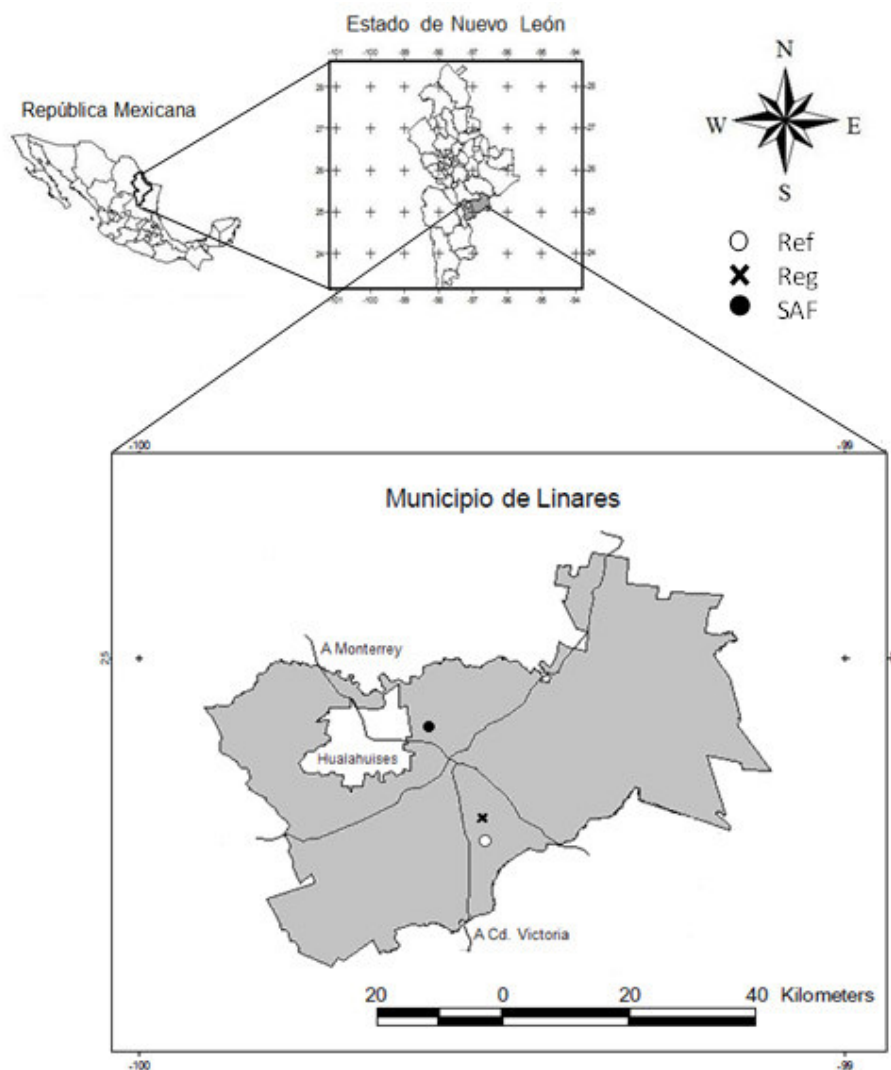


Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio

Características de las áreas evaluadas

El área de referencia es una comunidad vegetal con individuos maduros, sobre- maduros y murtos en pie del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Está ubicada dentro del Matorral-Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en las coordenadas 24° 46' y 56.7" de latitud y 99° 31' 34.3" de longitud. Esta área está destinada como una reserva ecológica y experimental, se encuentra delimitada por un cerco perimetral desde hace tres décadas.

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

El área regenerada está ubicada entre las coordenadas 25° 09' y 24° 33' de latitud norte, y 99° 54' y 99° 07' de longitud oeste. En los 70's fue desmontada con maquinaria agrícola para sembrar zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) y utilizarla para el pastoreo de ganado vacuno. Doce años después (en 1982) el área fue abandonada, y en el año 2012 la vegetación arbórea fue evaluada (Pequeño *et al.*, 2012).

Análisis de la vegetación

Para la estimación del contenido de carbono, en cada área se establecieron aleatoriamente 4 sitios de muestreo cuadrangulares de 1600 m² (40 x 40 m), debido a su facilidad de delimitación y medición en vegetación densa, con respecto a la forma circular (Alanís *et al.*, 2008; Jiménez *et al.*, 2009). En los sitios de muestreo se realizó un censo de todos los individuos arbóreos con diámetro basal ($d_{0.10}$) mayor a cinco centímetros, a los cuales les efectuaron mediciones del diámetro basal y altura total.

Análisis de la información

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

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

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

Para el cálculo de la biomasa aérea se aplicaron las siguientes ecuaciones alométricas (Navar *et al.*, 2004; Navar, 2009):

Ecuación para especies del matorral:

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

Ecuación para yucas:

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

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

La concentración de carbono considerada para la biomasa aérea de las especies arbóreas y arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco fue 45.4% (Yerena *et al.*, 2011). Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) (con un intervalo de confianza del 95%) para determinar si se presentan diferencias significativas entre las áreas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El matorral de referencia presenta el mayor número de individuos y biomasa aérea por hectárea en las primeras tres categorías diamétricas. En el sistema agroforestal se encuentra el valor más alto de biomasa en las categorías diamétricas mayores (20 a > 30), de la misma manera para el número de individuos a excepción de la clase diamétrica 25-30; esta área tiene la mayor productividad, aun contando con el menor número de individuos por hectárea (tabla 1).

El valor de la biomasa para el matorral de referencia es mayor al reportado por Nívar *et al.* (2008) con 12.93 ton/ha. Nívar *et al.* (2002), Nívar *et al.* (2004), Espinoza y Nívar (2005), Nívar (2008) y Yerena *et al.* (2011) determinaron valores mayores para el matorral espinoso tamaulipeco de 30.16, 44.40, 44.76, 48.40 y 25 ton/ha, respetivamente. Asimismo, en Argentina, Manrique *et al.* (2009) obtuvo valores de 31.93 ton/ha para un ecosistema de arbustos, 104.79 ton/ha en un bosque caducifolio xerófilo y 147.49 para un bosque subtropical de montaña. La producción de biomasa se ve afectada por la edad de los individuos (Roncal *et al.*, 2008; Callo-Concha *et al.*, 2004), ya que los individuos de diámetros mayores tienen una mayor acumulación de carbono a diferencia de los individuos con dimensiones menores, esto se comprueba en la tabla 1, en donde se observa que en el sistema agroforestal se encuentra un menor número de individuos con diámetros mayores y es el área con más productividad de biomasa.

Tabla 1. Número de individuos y biomasa aérea de acuerdo a clases diamétricas

Clase diamétrica	Referencia		SAF		Regenerado	
	Ind/ha	Ton/ha	Ind/ha	Ton/ha	Ind/ha	Ton/ha
5 - 10	1434	11.2	119	1.5	573	3.2
10 - 15	266	6.7	89	3	177	4.5
15 - 20	56	2.8	28	2	36	2
20 - 25	2	0.2	28	3.9	23	2.5
25 - 30	2	0.2	13	3	16	2.3

> 30	3	0.06	31	13	13	4.3
Total	1763	21.2	308	26.4	838	18.8

De las tres áreas evaluadas, el sistema agroforestal presenta el valor más alto de carbono almacenado con 11.9 ton/ha (figura 2). En otros sistemas agroforestales se reportan valores mayores a los de este estudio, entre ellos se encuentra el de Roncal *et al.* (2008) que señalan valores de 59.3 ton/ha en acahual natural, 42 ton/ha en vegetación secundaria y 16.9 ton/ha en Taungya. Estos aumentos de carbono almacenado se deben a la biomasa arbórea, ya que las especies arbóreas presentes en estos sistemas pertenecen a un clima húmedo, lo que da como resultado que el crecimiento de las especies presente un incremento en diámetro mayor en menor tiempo, esto implica mayor captura de carbono en la etapa juvenil. Además, cuentan con una amplia riqueza y diversidad de especies arbóreas (Rodríguez *et al.*, 2006). Callo-Concha *et al.* (2004) para cinco sistemas agroforestales obtienen valores de 61.8 ton/ha cítricos+pelibuey, 41.8 ton/ha cítricos+café+plátano, 39.2 ton/ha cítricos+café, 37.2 ton/ha cítricos+cobertura y 30 ton/ha en cítricos+plátano; Callo-Concha *et al.* (2002) evaluaron seis tipos de uso de suelo en tres ecozonas del amazonas, obteniendo valores de 196.1 ton/ha en bosque primario, 77.4 ton/ha en huerto casero, 67.9 ton/ha en bosque secundario, 45.4 ton/ha café+sombra y 30.4 ton/ha en silvopastura. Ortiz *et al.* (2008) para un sistema de 25 años de cacao con laurel reporta valores de 43-62 ton/ha con individuos de 28 a 48 cm de diámetro.

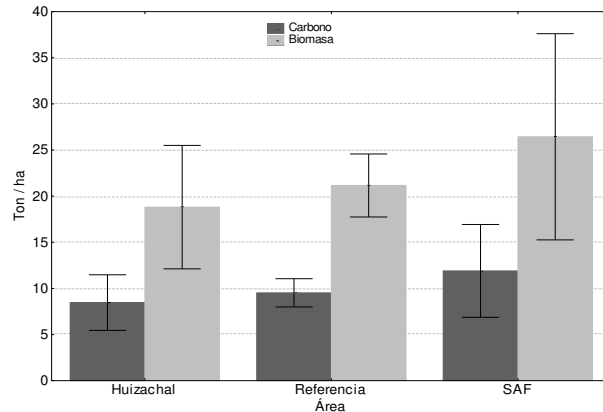


Figura 2. Carbono almacenado y biomasa aérea de las áreas evaluadas

El contenido de carbono en la biomasa aérea en el matorral de referencia 9.52 ton/ha es menor al reportado por Yerena *et al.* (2011) y Návar *et al.* (2008) con 11.7 y 11.3 ton/ha respectivamente, en áreas con condiciones similares. Yerena *et al.* (2011) también evaluaron dentro del matorral espinoso tamaulipeco otros sistemas en recuperación: matarrasa con 4.67 ton/ha y agricultura tradicional 2.98 ton/ha con 27 y 24 años de descanso respectivamente, estos valores son menores a los reportados en este estudio para el área regenerada con 8.47 ton/ha.

De acuerdo al análisis de varianza, las tres áreas presentan similitud estadística en el carbono almacenado ($p > 0.05$). Esta similitud se debe a que la vegetación arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco es altamente resiliente (Alanís *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2013). Así el área regenerada post-pecuaria está conformada por un alto número de especies, y los árboles y arbustos al tener espacio crecieron vertical y horizontalmente, teniendo copas anchas y ramificadas (Pequeño *et al.*, 2012; Jiménez *et al.*, 2009; Alanís *et al.*, 2008). El área con sistema agroforestal alberga árboles y arbustivos bien conformados (ya que fueron los que seleccionaron), los cuales después del aclareo presentaron mayor crecimiento al disminuir la competencia.

CONCLUSIONES

Esta investigación pone de manifiesto que el contenido de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso tamaulipeco de un área con sistema agroforestal pastorilsilvícola y una regenerada después de actividad pecuaria es similar a la de un área con vegetación madura. Esta información es de gran importancia para los gestores de recursos naturales, ya que se demostró que áreas agroforestales actualmente productivas o regeneradas después de ganadería intensiva son una alternativa viable para el almacenamiento de carbono en este ecosistema. Se recomienda generar más investigaciones que evalúen otros servicios tanto ambientales como socioeconómicos.

AGRADECIMIENTOS

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

LITERATURA CITADA

Alanís E., J. Jiménez, D. Espinoza, E. Jurado, O. Aguirre y M. González. 2008. Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el Parque Ecológico Chipinque. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 2008. 14:113-118.

Alanís E., Jiménez J., Aguirre O., Treviño E., Jurado E., González M. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*. 2008. 11:56-62.

Alanís, E., Jiménez, J., González, M.A., Yerana J.I., Cuellar, L.G., Mora-Olivo, A. 2013. Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Phyton International Journal of Experimental Botany*. 82(2): 185-191

Andrade H. y M. Ibrahim. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. *Agroforestería en las Américas*. 8: 109-116.

Benjamín J. y O. Masera. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*. 11:3-12.

Botero J. 2003. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de Carbono. *Agroforestería para la Producción Animal en América Latina*. FAO. Consultado el 25 de julio del 2013. <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s07.htm>

Callo-Concha D., I. Rajagopal y L. Krishnamurthy. 2004. Secuestro de Carbono por Sistemas Agroforestales en Veracruz. *Ciencia UANL*. 7: 60-65.

Callo-Concha D., L. Krishnamurthy y J. Alegre. 2002. Secuestro de Carbono por Sistemas Agroforestales Amazónicos. *Revista Chapingo: Ciencias Forestales y Medio Ambiente*. 28:101-106.

Espinoza R. y J. Návar. 2005. Producción de biomasa, diversidad y ecología de especies en un gradiente de productividad en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. 7: 25-31.

Jiménez J., E. Alanís, O. Aguirre, M. Pandoy M. González. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. 2009. *Madera y Bosques*. 15: 5-20.

Jiménez, J., Alanís, E., González, M.A., Aguirre, O.A., Treviño, E.J. 2013. Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 58(3): 299-304.

Kanninen M. 2003. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. *Agroforestería para la Producción Animal en América Latina*. FAO. Consultado el 24 de julio del 2013. <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s09.htm>

Manrique S., J. Franco, V. Núñez y L. Seghezzo. 2009. Estimación de densidad de biomasa aérea en ecosistemas naturales de la Provincia de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 9:37-45.

Návar J. 2008. Carbon fluxes resulting from land-use changes in the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Carbon Balance and Management*. 3: 6.

Návar J., E. Mendez and V. Dale. 2002. Estimating stand biomass in the tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Annals of Forest Science*. 59: 813-821.

Návar J., E. Mendez, J. Graciano, V. Dale and B. Parresol. 2004. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments*. 59: 657-674.

Návar J. 2009. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. *Annals of Forest Science*. 66: 208-216.

Ortiz A., L. Riascos, y E. Somarriba. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) *Agroforestería en las Américas*. 4:26-29.

Pequeño M., E. Alanís, J. Jiménez, M. González, I. Yerena, G. Cuellary A. Mora. 2012. Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el Matorral Espinoso Tamaulipeco del noreste de México. *Ciencia UAT*. 6: 42-47.

Rodríguez R., J. Jiménez, O. Aguirre y E. Treviño. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL*. 11:179-188.

Roncal S., L. Soto, J. Castellanos, N. Ramírez y B. de Jong. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *INTERCIENCIA*. 7:200-206.

SEMARNAT. 2006. Atmosfera. Consultado el 24 de julio del 2011.
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/06_atmosfera/cap6.html

SEMARNAT. 2008. Cambio climático y ozono. Consultado el 24 de julio del 2013.
http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/sniarn/pdf/yelmedioambiente/version_2008/6_cambio_climatico_ozono_v08.pdf

Yerena I., J. Jiménez, O. Aguirre y E. Treviño. 2011. Concentración de carbono en la biomasa aérea del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17: 283-291.

CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que el SAF evaluado conserva los servicios ecosistémicos de riqueza específica, diversidad y captura de carbono, ya que estas variables presentan similitud estadística ($p < 0.05$) con el área de referencia. Sin embargo, nuestros resultados muestran que el cambio del uso de la tierra para producción pecuaria modifica la composición y estructura de la vegetación. El grado del efecto ocasionado en la vegetación está determinado por el tipo de impacto humano presentado y posteriormente la duración del tiempo de descanso del ecosistema en el cual se ven involucrados procesos naturales y en algunos casos las secuelas del mismo impacto involucrado. Esto puede sugerir que el uso humano de la tierra a largo plazo no conduce automáticamente a una pérdida de especies y de la degradación del hábitat; no obstante, esto no quiere decir que escoger métodos de producción que involucren destruir el ecosistema, explotarlo hasta que ya no sea productivo y al cabo de unos años verlo regenerado sea la mejor opción de producción, debido al largo tiempo requerido para su recuperación, por ello es necesario optar por métodos de producción menos destructivos con el ambiente y que además consideren los aspectos sociales, económicos y ecológicos.

BIBLIOGRAFÍA

Araújo M. R., Navarrete D. A. y Mateo J. J., 2015. Riqueza de especies en huertos caseros de tres municipios de la región Otomí Tepehua, Hidalgo, México. Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 405 p.

Botero J. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de Carbono. Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. FAO. 2003. Consultado el 25 de julio del 2013. <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s07.htm>

Casanova L.F., Petit A.J., Solorio S.J., 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(1): 5-118.

Concha J. Y., Alegre J. C. y Pocomucha V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de theobroma cacao I. En el Departamento de San Martín, Perú. Ecol. apl. 6: 1-2

FAO. 2007. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Pagos a los agricultores por servicios ambientales. Agricultura 38. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 255 p.

Kanninen M. 2003. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. FAO. Consultado el 24 de julio del 2013. <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s09.htm>

Moreno A.I., Toledo V., Casas C., 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. Bot. Sci. 91(4): 375-398.

Murgueitio E. 2000. Sistemas agroforestales para la producción ganadera en Colombia. Fundación CIPAV. Pp 11.

Paruelo M. J., Guerschman J. y Verón S.R., 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Facultad de Agronomía, UBA. Ciencia hoy 15(87): 14-23.

Roncal S. M., Soto L., Castellanos J.; Ramírez N. de Jong H.J. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de Carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. Interciencia. 33(3): 200-206.

Sarmiento T. I, Alanís E., Mata J. M., Jiménez J. y Treviño E. J., 2015. Caracterización del arbolado de un sistema pastoril-silvícola del matorral submontano, México. Ciencia UANL 18(72): 54-61.

Scales B. y S. Marsden. 2008. Biodiversity in small-scale tropical agroforests: a review of species richness and abundance shifts and the factors influencing them. Environmental Conservation 35(2): 160-172

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Sin fecha. Sistemas agroforestales. Ficha 8. Responsable Gerardo López. Pp 8.

Secretaría de Manejo de Recursos Naturales. 2006. Atmosfera. Consultado el 24 de julio del 2011.
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/06_atmosfera/cap6.html

Secretaría de Manejo de Recursos Naturales. 2008. La degradación de los suelos en México. Capítulo 3. 12/03/13

Shibu J. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. Agroforest Systems. 76:1–10