

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

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y MANEJO FORESTAL



**"Análisis de sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas
del matorral espinoso tamaulipeco, México"**

TESIS DE MAESTRÍA

Como requisito parcial para optar al título de:

MAESTRA EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

ING. CYNTHIA GERALDINNE SALAZAR DE LA CERDA

Linares Nuevo León, México

Julio, 2013

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

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y MANEJO FORESTAL

**ANÁLISIS DE SUCESIÓN VEGETAL Y CAPTURA DE CARBONO EN
ÁREAS PERTURBADAS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO,
MÉXICO.**

TESIS DE MAESTRÍA


COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS FORESTALES

COMITÉ DE TESIS



Dr. Javier Jiménez Pérez
Director



Dr. Óscar A. Aguirre Calderón
Asesor



Dr. Eduardo Alanís Rodríguez.
Asesor



Dr. Israel Yerena Yamallel
Asesor Externo

DEDICATORIA

A mi esposo Reynaldo, y a nuestros pequeños hijos: Gabrielle y Leonardo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todos mis allegados, por el gran apoyo recibido para iniciar y concluir un nivel más de estudio, haciendo de éste un maravilloso trayecto.

Al Dr. Javier Jiménez, por brindarme su confianza y imprescindible apoyo desde el inicio de mi carrera, y ahora estrechamente en el desarrollo de la presente investigación; me motiva no defraudarlo.

Al Dr. Óscar Aguirre, por ser magnífico guía dentro de mi formación profesional, además de ser extraordinario ser humano.

Al Dr. Israel Yerena, por contar siempre con su disposición para discutir y resolver planteamientos relacionados con la tesis y sobre todo, por aceptar instruirme en el tema de carbono.

Al Dr. Eduardo Alanís, por su valiosa orientación en el desarrollo de la investigación, así como también por alentarme en momentos críticos.

Muchas gracias a todos y cada uno de los profesores de la Facultad de Ciencias Forestales, dignos de admiración y respeto por igual; aprendí de los mejores.

Y por supuesto, agradezco a todo el personal de la facultad, por su atención y amabilidad.

Gracias a Dios, por brindarme la oportunidad de conocer a mis compañeros de clases y ahora grandes amigos.

ÍNDICE

ÍNDICE	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Particulares	2
1.3 Hipótesis	2
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Sucesión ecológica	3
2.2 Sumideros de carbono y pérdidas de vegetación a nivel mundial.....	4
2.3 Consecuencias de liberación de CO ₂	5
2.5 Sumideros de carbono en el noreste de México	8
3 MATERIALES Y METODOLOGÍA	10
3.1 Localización del Área de Estudio.....	10
3.2 Clima	11
3.3 Geología	11
3.4 Suelos	12
3.5 Vegetación.....	12
3.6 Metodología	14
4 RESULTADOS	20
4.1 Estimación de variables ecológicas en los sitios de estudio.....	20
4.2 Evaluación de estadios de sucesión.....	37
4.3 Productividad de biomasa y contenido de carbono almacenado.....	38
5 CONCLUSIONES	39
LITERATURA CITADA.....	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Trayectorias hipotéticas de un proceso de sucesión secundaria y restauración ecológica.....	6
Figura 2. Localización geográfica del municipio de Linares Nuevo León, México.....	13
Figura 3 Representación gráfica del área de muestreo.	17
Figura 4. Categorías diamétricas de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 10 años).	25
Figura 5. Especies por categorías diamétricas (Estadio 10 años).	25
Figura 6. Categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 10 años).	26
Figura 7. Especies por categorías de altura (Estadio 10 años)	26
Figura 8. Categorías diamétricas de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 20 años).	29
Figura 9. Especies por categorías diamétricas (Estadio 20 años).	29
Figura 10. Categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 20 años).	30
Figura 11. Especies por categorías de altura (Estadio 20 años).....	30
Figura 12. Categorías diamétricas de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 30 años).	33
Figura 13. Especies por categorías diamétricas (Estadio 30 años).	34
Figura 14. Categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 30 años).	34
Figura 15. Especies por categorías de altura (Estadio 30 años)	35
Figura 16. Categorías diamétricas de acuerdo a la densidad de individuos (Área prístina del MET).	37
Figura 17. Especies por categorías diamétricas (Área prístina del MET).	37
Figura 18. Categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Área no perturbada del MET).....	38
Figura 19. Especies por categorías de altura (Área no perturbada del MET).	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de la totalidad de especies muestreadas	24
Tabla 2 Parámetros cuantitativos (Estadio 10 años).	25
Tabla 3. Parámetros ecológicos (Estadio 10 años).	28
Tabla 4. Parámetros cuantitativos (Estadio 20 años).	29
Tabla 5. Parámetros ecológicos (Estadio 20 años).	32
Tabla 6. Parámetros cuantitativos (Estadio 30 años).	33
Tabla 7. Parámetros ecológicos (Estadio 30 años).	36
Tabla 8. Parámetros cuantitativos (Área prístina del MET	37
Tabla 9. Parámetros ecológicos; cuadrantes II, III y IV (Área prístina del MET).	40
Tabla 10. Evaluación de estadios de sucesión.....	41
Tabla 11. Evaluación de productividad de biomasa y contenido de carbono, por estadio de suseción.....	42

RESUMEN

Se evaluó la productividad de biomasa aérea y contenido de carbono almacenado en tres áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco (MET), con historial de uso para agostadero en diferentes estadios de abandono de 10, 20 y 30 años; mismas donde se analizaron atributos ecológicos de la comunidad tales como: abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia (IVI) e índice de diversidad de especies Shannon-Weiner (H'). Para evaluar el desarrollo de la sucesión vegetal en el ecosistema, los resultados fueron comparados con un área prístina del MET. El estudio se llevó a cabo en el municipio de Linares, Nuevo León, México. La especie *Acacia farnesiana*, presentó mayor peso ecológico ($IVI > 50\%$) en las áreas perturbadas, sin embargo, en el área prístina obtuvo el menor (0.98%). Se concluye que el ecosistema del MET tiene una extraordinaria capacidad de regeneración natural y es al cabo de 30 años de abandono que la diversidad de especies en las áreas perturbadas tiende a reestablecerse; se resalta la importancia del ecosistema de tipo "huizachal" como sumidero de carbono, encontrando 1.7, 6.59 y 8.32 ton/ha en los estadios de 10, 20 y 30 años respectivamente.

ABSTRACT

We assessed the biomass productivity and carbon content stored on three disturbed areas of Tamaulipas thorny scrub (MET), with a history of use for rangeland at different stages of abandonment of 10, 20 and 30 years were analyzed them where ecological attributes the community such as: abundance, dominance, frequency, importance value index (IVI) and species diversity index Shannon-Weiner (H'). To evaluate the development of plant succession in the ecosystem, the results were compared with a pristine area of the MET. The study was carried out in the town of Linares, Nuevo Leon, Mexico. The *Acacia farnesiana* species, showed higher ecological weight ($IVI > 50\%$) in disturbed areas, however,

in the pristine area had the lowest (0.98%). We conclude that the ecosystem of the MET has an extraordinary capacity for natural regeneration and after 30 years of neglect that the diversity of species in disturbed areas tend to resettle, it highlights the importance of ecosystem type "huizachal" as a sink for carbon, finding 1.7, 6.59 and 8.32 ton / ha in stages 10, 20 and 30 years respectively.

Key words: carbon storage productivity, ecological,

1 INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas están sujetos a factores que limitan o promueven su desarrollo, tales como: el clima, el suelo o la recurrencia de perturbación natural, mismos que modifican la secuencia de reemplazo de especies en la comunidad, y en la mayoría de los casos se desconocen las posibilidades de recuperación, el tiempo requerido y la tendencia que seguirá la comunidad después de la perturbación (Granados y López, 2000). El presente estudio se centra en el análisis de la sucesión referida a la secuencia de comunidades de plantas que ocupan un lugar a través del tiempo (Kimmins, 2004), después del abandono de un campo arado con fines pecuarios, en tres áreas del matorral espinoso tamaulipeco (MET) ubicadas en el noreste de México. De acuerdo a las cifras del último Inventario Nacional Forestal, el área con cubierta vegetal nativa (sin actividad productiva) del MET cubre una superficie aproximada de 32,188 km², y está disminuyendo a una tasa promedio anual de 600 km²(Navar, 2008). El municipio de Linares Nuevo León, tiene el 58% de superficie ocupada por MET del cual, menos del 1% mantiene áreas prístinas (García y Jurado, 2008); la vegetación está constituida en su mayor parte por el bosque espinoso y el matorral xerófilo (Rzedowski, 1981). Destacan los géneros *Acacia*, *Caesalpinia*, *Ebenopsis*, *Havardia* y *Prosopis* (Estrada y Marroquín, 1988). Estrada *et al.* (2004), dan a conocer a la especie *Acacia farnesiana*, como una leguminosa que impacta por su número y su rapidez de establecimiento en áreas de cultivo abandonadas. Alanís *et al.* (2008), señalan que existen diferencias importantes en la composición florística de ecosistemas con iguales condiciones medioambientales, debido al impacto antrópico, mencionan que el conocimiento de la dinámica y procesos de sucesión de los diferentes ecosistemas, son relevantes para la toma de decisiones en el manejo sustentable de los recursos naturales renovables. La importancia del estudio radica en conocer la condición del ecosistema del matorral espinoso tamaulipeco, a través de la cuantificación de la producción de biomasa y su asociación con la diversidad de especies, así mismo se considera la importancia

del matorral espinoso tamaulipeco, como sumidero de carbono (Yerena *et al.*, 2011).

1.1 Objetivo General

Evaluar la diversidad de especies, productividad de biomasa y contenido de carbono, en el elemento arbóreo y arbustivo de áreas post-ganaderas a lo largo de 30 años de sucesión vegetal.

1.2 Objetivos Particulares

Estimar y evaluar los parámetros ecológicos de Índice de Diversidad (Shannon & Weiner), Abundancia, Frecuencia, Dominancia e Índice de Valor de Importancia del elemento arbóreo y arbustivo en áreas con estadíos de 10, 20 y 30 años de sucesión ecológica, así como también en un área prístina de matorral.

Cuantificar la biomasa aérea y contenido de carbono presente en el elemento arbóreo y arbustivo en áreas con estadíos de 10, 20 y 30 años de sucesión ecológica, y en un área prístina de matorral.

1.3 Hipótesis

A través del tiempo, el elemento vegetal en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, muestra incrementos en las variables de abundancia, dominancia, riqueza, diversidad, biomasa y contenido de carbono.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sucesión ecológica

Sucesión ecológica, es un término aceptado por la mayoría de los ecólogos para identificar a los cambios temporales que se presentan en la estructura, composición taxonómica y las funciones de un ecosistema después de que éste es perturbado (Whitmore, 1978; Pickett y White, 1985; Bazzaz, 1996; Morin, 1999; Laska, 2001; citado por Matínez y García, 2007) (Figura 1).

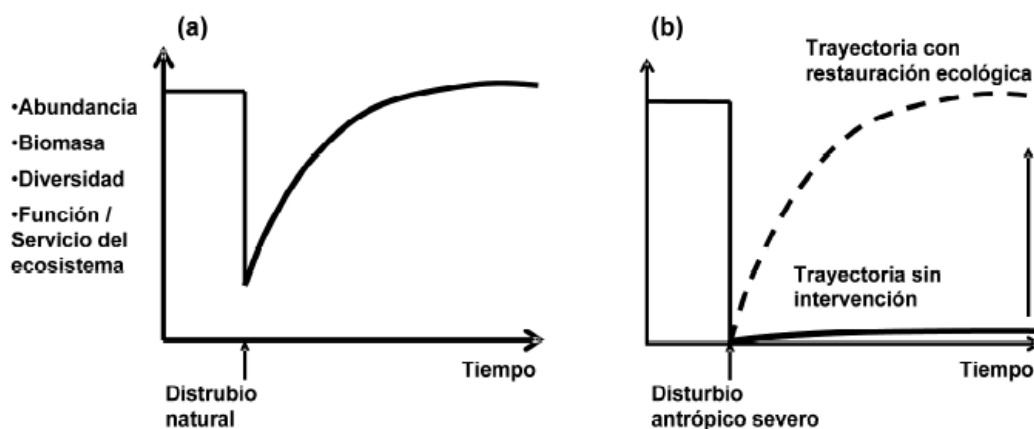


Figura 1. Trayectorias hipotéticas de un proceso de sucesión secundaria y restauración ecológica. (a) después de que el ecosistema sufre un disturbio de magnitud relevante leve, los mecanismos regenerativos y de sucesión secundaria conducen con el tiempo a la recuperación de la estructura, la composición de especies y el funcionamiento del ecosistema original (curva continua), (b) bajo un disturbio de magnitud severa, como los ocasionados por la deforestación y un uso extensivo e intensivo del suelo, la sucesión secundaria es desviada o detenida en un estado diferente del original. En este caso, se requiere de actividad de restauración (flecha vertical) con el fin de reestablecer con el tiempo propiedades del ecosistema original (trayectoria en línea discontinua).

Los cambios ecológicos que sufre el ecosistema en sucesión, así como la velocidad con la que ocurren estos cambios, dependen de las características del disturbio (e.g. extensión, intensidad y frecuencia), la disponibilidad de propágulos regenerativos (como semillas y plántulas de origen local o foráneo), del ambiente biótico (i.e. depredadores, granívoros, herbívoros, patógenos y parásitos entre otros) y de las condiciones abióticas prevalecientes en el sitio perturbado (Grubb, 1985; Pickett y White, 1995; Pickett *et al.*, 1987; citado por Matínez y García,

2007). La historia de uso del suelo es un determinante de la velocidad de regeneración, la biomasa y la composición de la comunidad vegetal sucesional en un campo abandonado. Así, variables tales como fecha de desmonte, frecuencia de cosecha, régimen de fuego, biomasa e identidad de especies exóticas, y la densidad de cabezas de ganado entre otras, pueden afectar la trayectoria sucesional de la vegetación en términos de estructura y composición. (UHI *et al.*, 1988; Chazón *et al.* en prensa; citado por Martínez y García, 2007).

Odum (1972), citado por Romero (1999) menciona que del número total de las especies en un componente trófico o en una comunidad conjunta, un porcentaje relativamente pequeño suele ser abundante (esto es, estar representado por un gran número de individuos, por una biomasa grande, una gran productividad o alguna otra indicación de “importancia”), y un porcentaje grande es raro (posee pequeños valores de “importancia”). Al paso de las pocas corrientes o dominantes, explican en gran parte la corriente de energía en cada grupo trófico, es el gran número de especies que condiciona, en gran parte, la diversidad de las especies, de los grupos tróficos y de las comunidades enteras. La división entre el número de especies y los valores de importancia (números, biomasa, productividad, etc.) de los individuos se designa como índice de diversidad de especies. La diversidad de especies suele ser baja en los ecosistemas controlados físicamente (esto es, sujetos a factores fisicoquímicos fuertemente limitativos) y alta, en cambio, en los ecosistemas controlados biológicamente.

2.2 Sumideros de carbono y pérdidas de vegetación a nivel mundial

El área total de bosque en el mundo es de aproximadamente 4 mil millones de hectáreas, que corresponde a un promedio de 0.6 ha per cápita. Representan el 31% de la superficie total de la tierra y almacenan alrededor de 289 Gigatoneladas (Gt) de carbono en biomasa. Sin embargo, el cambio de uso de suelo y las pérdidas de vegetación por causas naturales en la última década oscila en 13

millones de hectáreas por año, y una reducción estimada de 0.5 Gt de carbono por año durante el periodo 2005-2010 (FAO, 2010).

2.3 Consecuencias de liberación de CO₂

El cambio climático es causado por exceso de liberación de CO₂ y otros gases de efecto invernadero metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y hidrocarburos (grupo de gases que contienen flúor, cloro o bromo) (Kimmins, 2004).

El término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana (IPCC, 2007).

El impacto del cambio climático proyectado para América Latina hasta mediados del siglo, es referido a la sustitución de vegetación semiárida por vegetación de tierras áridas, así como también a importantes pérdidas de diversidad biológica (IPCC, 2007).

El 6 de junio de 2012, se expide la Ley General de Cambio Climático, misma que señala la importancia por mantener e incrementar los sumideros de carbono como una de las medidas de mitigación (DOF, 2012).

2.4 Impacto antropogénico, fitodiversidad y contenido de carbono en el noreste de México.

Análisis de la sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, México.

Treviño(1996), evaluó los cambios de uso de suelo en el municipio de Linares a través de 21 años. Los resultados preliminares indican que un 60% de la vegetación original ha sido eliminada a favor de actividades agrícolas y ganaderas, originando degradación del suelo, pérdida de diversidad biológica y cambios microclimáticos.

García y Jurado (2008), realizaron una caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares Nuevo León, México; informan que la falta de planeación en el aprovechamiento de los recursos naturales en el municipio, han dado por resultado altos porcentajes de vegetación secundaria, así como también la desertificación del suelo en áreas del matorral espinoso tamaulipeco. Registran que en el año 1994, del 58% del territorio del municipio de Linares cubierto por MET, menos del 1% mantenía áreas prístinas.

Alanís *et al.* (2008), determinaron el efecto de la ganadería extensiva, ganadería intensiva, agricultura tradicional y matarrasa, en la riqueza y diversidad biológica en áreas con 21 años de abandono en el matorral espinoso tamaulipeco; encontraron que áreas con diferente historial de uso silvoagropecuario muestran uniformidad de dimensiones diamétricas y de altura, con una cohorte dominante (estrato III). La riqueza específica del total de las áreas evaluadas fue de 27 especies, donde 24 se presentaron en el área de ganadería, 20 en matarrasa y 19 en agricultura, compartiendo 14 especies. De acuerdo a la diversidad de especies, el área matarrasa no mostró diferencias significativas con agricultura y ganadería, mientras que agricultura y ganadería sí presentaron diferencia, teniendo mayor diversidad el área de agricultura. Pese a que el área de ganadería tiene una mayor riqueza específica presentó menor diversidad, ya que el área se encuentra constituida por escasas especies con alta abundancia y muchas especies con escasa abundancia.

Molina-Guerra *et al.* (2012), efectuaron un estudio sobre la composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso

Análisis de la sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, México.

tamaulipeco del Noreste de México, analizando el efecto de las principales actividades pecuarias bajo diferentes sistemas de manejo 1) pastoreo continuo y 2) pastoreo Savory; y se evaluó la vegetación mediante la estimación de: (1) fitodiversidad, (2) indicadores ecológicos de abundancia (A_r), dominancia (D_r), frecuencia (F_r), e índice de valor de importancia (IVI) y (3) la diversidad α y β . El género que presentó un mayor número de especies fue *Acacia*, se encontró 47% de similitud de acuerdo al coeficiente de Jaccard.

Jímenez *et al.* (2012), realizaron un estudio sobre la diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el noreste de México. El objetivo fue estimar la riqueza de la vegetación leñosa, parámetros ecológicos y cuantificar la diversidad α . Establecieron cuatro sitios de muestreo rectangulares de 250 m² para evaluar la regeneración a mediano plazo. Los resultados mostraron que la comunidad vegetal se regenera adecuadamente después de la actividad pecuaria. El área evaluada presentó una alta riqueza específica (S=19); 2) alta heterogeneidad en la abundancia porcentual de las especies, lo que representa una alta riqueza y diversidad; 3) alta presencia de individuos en las clases diamétricas menores, lo cual muestra un estado de regeneración activo y 4) el género con mayor peso ecológico fue *Acacia*, con un 42% de IVI.

Jiménez *et al.* (2013), evaluaron la regeneración de las especies leñosas en el matorral espinoso tamaulipeco (MET) del noreste de México, en cuatro áreas con distinto historial de uso silvoagropecuario (ganadería extensiva, ganadería intensiva, agricultura tradicional y matarrasa), las cuales regeneraron naturalmente durante un periodo de 21 años (1984-2005). Realizaron un análisis de varianza ANOVA ($P > 0.05$), en el que demostró diferencias significativas para todas las variables a excepción de la altura ($P > 0.05$). El área de ganadería intensiva mostró los valores más bajos de la densidad (1760 ± 704 N/ha), dominación ($6,8$ m²/ha) y diversidad (S = 11). En contraste, el área de ganadería extensiva mostró la mayor densidad (16983 ± 3429 N/ha), dominancia ($26,1 \pm 3,4$ m²/ha) y diversidad (S = 19).

Pequeño *et al.* (2012), realizaron un estudio sobre la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco, mediante el establecimiento de cuatro sitios de muestreo de 40 x 40 m (1600 m²); midieron los árboles y arbustos ≥ 3 cm de diámetro a 10 cm. Utilizaron indicadores ecológicos tales como: abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia, índice de Margalef e índice de Shannon & Wiener. Registraron 3,050 individuos, donde *Vachellia farnesiana* es la especie dominante (46% de IVI), de acuerdo a la distribución diamétrica existe alta presencia de individuos de 3 a 10 cm de diámetro, lo cual muestra un estado de regeneración activo. El área evaluada mostró valores de riqueza $D_{Mg}=1.40$ y de diversidad alfa de $H' = 1.27$. Concluyen que la vegetación leñosa del MET con historial de uso pecuario después de 30 años de abandono se regenera parcialmente, ya que presenta baja riqueza y diversidad de especies.

2.5 Sumideros de carbono en el noreste de México

Rodríguez *et al.* (2009), realizaron estudio sobre la estimación de carbono almacenado en el bosque de pino encino en la reserva de la biósfera “El Cielo”, Tamaulipas. Mediante mediciones dasométricas (altura total, diámetro normal, altura al inicio de copa) calcularon volumen de cada árbol; estimaron biomasa con el modelo de la forma $\beta = a_0 \cdot D^a$ dicho valor se multiplicó por el porcentaje de C obtenido con el equipo Solids TOC Analyzer para cada especie obteniendo la cantidad de C almacenado por árbol, hojarasca y necromasa. Con el modelo se obtuvo para cada especie un coeficiente de determinación (R^2) superior a 0.95. Sin embargo, se estimaron 219.3 t ha⁻¹ de biomasa. Así mismo, se estimó un total de 110 t C ha⁻¹ almacenado de la forma siguiente: en fustes, ramas y hojas se encuentra el 75.3%, en raíces el 15%, en hojarasca el 9% y en los nuevos y la necromasa se encuentra el 0.4 y 0.3% respectivamente. Concluyen que el bosque de pino-encino concentra el mayor número de individuos

en las categorías diamétricas de 5 a 25 cm (más del 90%), entonces se define como un bosque con alto dinamismo y con capacidad prometedora para almacenar cantidades considerables de carbono atmosférico. Es confiable aplicar el modelo de la forma $\beta = a_0 \cdot D^a$ con los parámetros obtenidos para cada especie y sustituyendo el diámetro normal (cm) en la ecuación se puede estimar la biomasa aérea de manera confiable y rápida ($R_2=0.95$) en las especies, para posteriormente estimar el carbono almacenado por los árboles. En el bosque el componente aéreo (fuste, ramas, hojas) cuenta con la mayor cantidad de carbono almacenado (82.9 tC ha^{-1}), el sistema radical tuvo (16.5 tC ha^{-1}) y en la hojarasca se almacenan 9.8 tC ha^{-1} .

Návaret *et al.* (2002), desarrollaron ecuaciones para estimar la biomasa sobre el suelo, en una comunidad de plantas y 18 especies individuales en pie, típicas del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México. Utilizaron procedimientos aditivos en regresión lineal mediante sistemas de informática. Indican que la ecuación lineal específica para cada especie proporcionó 12.5% de mayor eficiencia en la estimación de biomasa, que la ecuación generalizada para la totalidad de las especies de la comunidad del matorral.

Yerena *et al.* (2011), estimaron el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de especies arbóreas del matorral espinoso tamaulipeco, mediante el muestreo en cuatro parcelas rectangulares de 250 m^2 en tres sistemas de uso del suelo: 1) Matorral primario, 2) Agricultura tradicional y 3) Matorras; midieron diámetro ($d_{0.10}$) y altura total (h); cuantificaron la biomasa mediante ecuaciones alométricas. Determinaron que el matorral primario presentó mayor contenido de carbono con $11.70 \text{ MgC ha}^{-1}$ en la biomasa aérea, el valor se reduce drásticamente en los sistemas recuperados con 4.67 MgC ha^{-1} en matorras y 2.98 MgC ha^{-1} en agricultura tradicional. Concluye que el MET tiene un gran potencial como sumidero de carbono, ya que presenta una amplia capacidad de mitigación dada su importante superficie.

3 MATERIALES Y MÉTODOLÓGÍA

3.1 Localización del Área de Estudio

El estudio se realizó en una fracción del matorral espinosotamaulipeco de la planicie costera del golfo en el municipio de Linares, N.L., (Figura 2), situado entre las coordenadas 25° 09' y 24° 33' de la latitud norte, y 99° 54' y 99°07' de longitud oeste, abarcando una superficie total de 4,800 m², y en una altitudde 350 msnm. (Estrada y Marroquín, 1988).

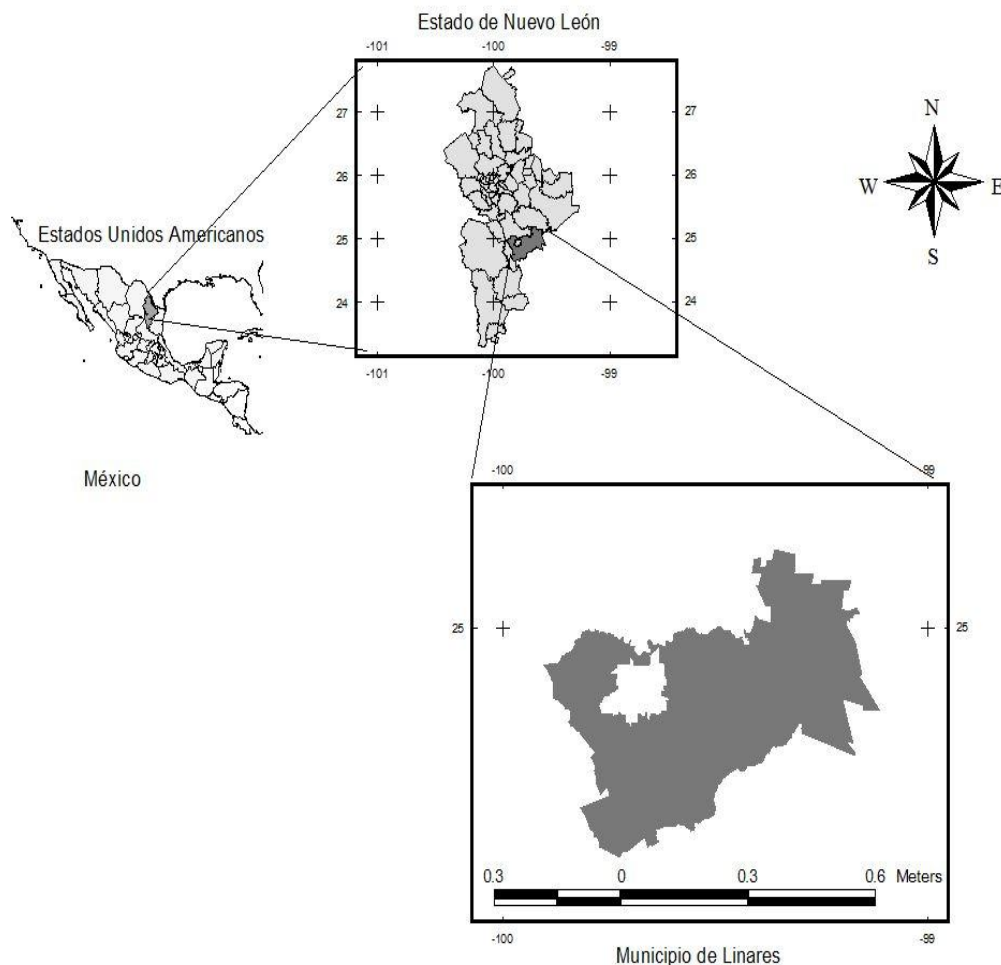


Figura 2. Localización geográfica del municipio de Linares Nuevo León, México.

3.2 Clima

El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973) es (A) C (x') (w'') a (e) correspondiente a un clima extremo semi-cálido – subhúmedo básicamente debido a la posición geográfica en la zona subtropical de altas presiones, con influencia de los vientos alisios húmedos y vientos fríos del norte durante el invierno. La precipitación pluvial oscila entre los 400 y 1850 mm/año, con un valor promedio (1935-1988) de 805 mm con una desviación estándar de 260 mm (Navaret *et al.*, 1994). El promedio anual de la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%. Dicha precipitación se concentra en dos períodos de lluvias estivales (marzo-junio y septiembre-octubre) con un promedio de 560 mm totales. Un período menos lluvioso y extremadamente cálido, llamado canícula o sequía de medio verano, se presenta con frecuencia en los meses de julio y agosto. La mayor pluviosidad acontece en el mes de septiembre con un promedio de 170 mm/mes y la menor se presenta en los meses de diciembre y enero con valores de 20-25 mm/mes. El promedio anual de la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2% (Woerner, 1991). La temperatura promedio anual es de 22.4° C con temperaturas mayores a las 40° C en verano e inferiores a 0° C en invierno, con una oscilación diaria cercana a los 15° C en invierno. El clima de la mayor parte de la región es extremo básicamente a la posición geográfica en la zona subtropical de altas presiones, con influencia de los vientos alisios húmedos y vientos fríos del norte durante el invierno (Cavazos y Molina, 1992).

3.3 Geología

El material parental de los suelos de la región se conforma principalmente por lutitas originadas en el Cretácico Superior desplazadas y perturbadas por movimientos aluviales y coluviales del Pleistoceno y Holoceno, encontrando en la base de los lomeríos gravas de caliche con débil cementación, en la parte media de las mismas, se encuentran lutitas del Cretácico Superior y en las partes altas de las mismas gravas con caliche del Pleistoceno con cementación fuerte (Medina, 1995).

3.4 Suelos

Los suelos de la zona corresponden a un típico vertisol de origen aluvio-coluvial. Este tipo de suelos son arcillosos, medianamente profundos (25-50cm) o muy profundos (> 50cm), con drenaje interno medianamente lento y una pedregosidad de 2 a 25%; rocosidad de 0-10% y se encuentran fuertemente agrietados en estado seco; color oscuro en la parte más plana y rendzina de origen lutitocalichosa de profundidad mediana en los lomeríos; estructura prismática y caracterizados por una uniformidad de color y estructura (Woerner, 1991; Medina-Cortés, 1995). Ambos tipos de suelo se caracterizan por el alto contenido de arcilla y relativo bajo contenido en materia orgánica, con pH moderadamente alcalino (6.8-7.6). Existen deficiencias en nutrientes de nitrógeno y potasio (Foroughbakhchy Heiseke, 1990). Presentan en ocasiones un estrato de endurecimiento (caliche) de textura arcillosa o franco-arenosa. Contienen más de 30% de arcilla a lo largo del perfil, compuesta principalmente de minerales arcillosos expandibles del tipo mectita, la cual provoca una capacidad de intercambio catiónico muy elevada con una capacidad muy alta de almacenamiento de nutrientes disponibles como potasio, calcio, magnesio y ácido nítrico. Se componen de cuatro a cinco diferentes unidades equivalentes a horizontes según su estado de evolución pedogenética.

3.5 Vegetación

El matorral espinoso tamaulipeco es el extremo leñoso del matorral xerófilo que cubre las regiones semiáridas subtropicales. Esta vegetación es nativa de la provincia biótica Tamaulipeco del Reino Biogeográfico Neártico; está constituida por comunidades de matorral y selvas bajas diversas, espinosas y frecuentemente densas (Rodríguez, 1994). Este tipo de vegetación cubre aproximadamente 200,000 km² del noreste de México y el sur de Texas, extendiéndose al Norte hasta el altiplano Edwards (Edwards Plateau) en Texas (Diamond *et al.*, 1987) y al Sur hasta Llera, Tamaulipas y los valles circundantes hacia la estación Zaragoza; al Sureste bordea las estribaciones de la Sierra de Tamaulipas hasta cerca de Aldama y al Oeste limita con la base de la Sierra Madre Oriental y centro de Coahuila (González, 1985). En el ámbito regional esta vegetación abarca el 80% del territorio de Nuevo León y Tamaulipas. Estas asociaciones son extremadamente diversas con respecto a la composición florística (60-80 especies), su densidad (de 14,000 a 30,000 individuos/ha) y altura (HeisekeyForoughbakhch, 1985; Gómez, 2000). El matorral espinoso tamaulipeco se compone de 60-80 especies arbustivas y arbóreas, presentando una amplia variación florística, con una alta diversidad en estructura, asociaciones, densidad y altura (Foroughbackhchy Peñaloza, 1988); y cuenta con tres tipos de matorral: 1) matorral alto subinermes; 2) matorral mediano subinermes; 3) matorral alto espinoso con espinas laterales (Treviño, 1996); los cuales se presentan particularmente en áreas planas y zonas de escasos lomeríos; están caracterizados por especies arbustivas y arbóreas principalmente, espinosas o inermes y por lo general micrófilas, entre las que destacan por abundancia y cobertura: mezquite (*Prosopis laevigata*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*), chaparro amargoso (*Castella texana*), granjeno (*Celtis pallida*), palo verde (*Cercidium macrum*), anacahuita (*Cordia boissieri*), guayacán (*Porlieria angustifolia*), coyotillo (*Karwinskia humboldtiana*), huizache (*Acacia farnesiana*), tenaza (*Pithecellobium pallens*), colima (*Zanthoxylum fagara*), huajillo (*Acacia berlandieri*),

Análisis de la sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, México.

coma (*Bumeliaceastrina*), yuca (*Yuccafilifera*), entre otras (Estrada y Marroquín, 1988; ForoughbakhchyHeiseke, 1990).

3.6 Metodología

3.6.1 Selección de sitios de muestreo.

Se seleccionaron cuatro áreas de estudio: localizadas en el matorral espinoso tamaulipeco, las tres primeras con historial de uso para agostadero, con 10, 20 y 30 años de abandono respectivamente; por último un área prístina del matorral espinoso tamaulipeco.

3.6.2 Muestreo

Se utilizó un diseño de muestreo dirigido, mediante cuatro sitios de muestreo cuadrangulares de 1,200 m² dividido en tres cuadrantes (20 x 20 m). En los cuadrantes I, II y III, se efectuaron mediciones de diámetro y altura, utilizando el vernier digital, la cinta diamétrica y la pértiga respectivamente; se evaluaron únicamente los individuos ≥ 5 cm de diámetro ($d_{0.10}$); se realizaron colectas botánicas para identificar las especies presentes mediante la revisión de literatura.

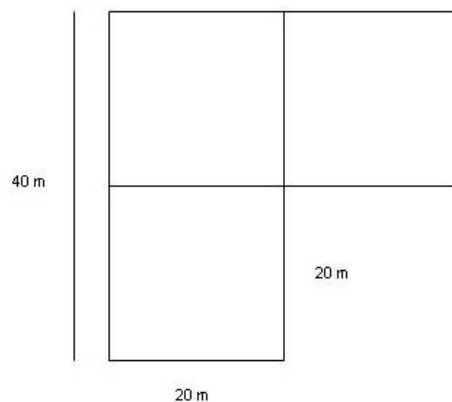


Figura 3 Representación gráfica del área de muestreo.

3.6.3 Parámetros dendrométricos

En los sitios de muestreo se realizó un censo de las especies arbóreas y arbustivas, entendiéndose como árbol aquella planta perenne, de tronco leñoso y elevado, que se ramifica a cierta altura del suelo y tiene copa conformada, generalmente mayor a 3 m. El arbusto es una planta que se diferencia de las hierbas por ser leñosa y difiere de los árboles sobre todo por su altura y, en parte, por estar más ramificada (Harold y Hocker, 1984; Granados y Tapia, 1990).

Se tomaron individuos con diámetro ($d_{0.10}$) mayor a 5 centímetros para tener mayor representatividad de las especies arbóreas y arbustivas, efectuando mediciones dasométricas de altura total (h) y diámetro ($d_{0.10}$). Las variables fueron: número de individuos (N/ha), altura total promedio (h), diámetro promedio ($d_{0.10}$) y área basal (G/ha). Entendiéndose como:

3.6.3.1 Altura (h)

Distancia desde el tocón o base del suelo hasta la extensión máxima de la copa (Harold y Hocker, 1984; Jiménez, 2005). La medición de los individuos menores de 3 m, se realizó de manera directa utilizando cinta métrica y pertigas graduadas; para individuos de porte alto se midió a través del método indirecto que se basa en el principio trigonométrico con el Hipsómetro Blume – Leiss (Jiménez, 2005).

3.6.3.2 Diámetro ($d_{0.10}$)

Esta medición se evaluó a 0.10 m sobre la base, siendo una medida estándar empleada para las especies arbóreas y arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco (Villalón, 1989, 1992; Soto, 1991; Martínez, 1992; Romero, 1999; Gómez, 2000; Ruiz, 2005), para su medición se utilizó un vernier digital en

individuos menores a 16 cm y forcípula para los de mayor talla, dado la forma irregular de los tocones se promedió el diámetro mayor y menor de manera perpendicular entre sí

3.6.3.3 Área basal (G)

El área basal (G) en forma convencional se define como el área de la sección transversal tomada a 1.3 m de altura del fuste, es decir, a la altura del diámetro normal (Jiménez, 2005). Para el presente estudio se tomó el área basal a 0.10 m sobre la base.

Normalmente se expresa por hectárea, mediante la siguiente ecuación:

$$G = \sum_{i=1}^N g_i$$

donde:

g_i = Área basal
del individuo

$$g_i = \frac{\pi}{4} * d_i^2$$

3.6.4 Indicadores ecológicos

Para cada especie se determinó la abundancia, de acuerdo al número de individuos, la dominancia en función al área basal, y la frecuencia con base en su existencia en los sitios de muestreo. Los resultados se utilizaron para obtener un valor ponderado a nivel de taxón denominado Índice de Valor de Importancia (IVI), que adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Magurran, 2004).

3.6.4.1 Abundancia relativa (Ar)

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 , y S la superficie de muestreo (ha).

3.6.4.2 Dominancia relativa (Dr)

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 basal de la especie i y S la superficie (ha).

3.6.4.3 Frecuencia relativa (Fr)

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 y NS el número total de sitios de muestreo.

3.6.4.4 Índice de valor de importancia (IVI)

El índice de valor de importancia (IVI) adquiere valores porcentuales de 0 a 100% y se define como:

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

3.6.4.5 Índice de diversidad de especies Shannon &Weiner (H')

Para estimar la diversidad de especies se utilizó el índice de Shannon &Weiner(H'):

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

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

3.6.5 Cuantificación de Biomasa

La cuantificación de biomasa se realizó mediante una ecuación alométrica específica para el matorral espinoso tamaulipeco tomada de Návaret *al.* (2004).

Análisis de la sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, México.

Para especies del matorral:

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

Donde: B= biomasa total aérea (kg), db= diámetro basal (cm), h= altura total (m).

3.6.6 Estimación de carbono almacenado

La cuantificación de carbono presente en la biomasa viva por encima del suelo (Bss), se realizó en base a la Metodología de la Reserva de Acción Climática, multiplicando los resultados obtenidos de biomasa por el factor 0.45 para toneladas de carbono (IPCC,2007).

4 RESULTADOS

4.1 Estimación de variables ecológicas en los sitios de estudio.

En total, se registraron 22 especies pertenecientes a 13 familias, predominando Leguminosaceae (5) y Fabaceae Lindl. (4); las familias Boraginaceae y Ebanaceae presentaron dos especies respectivamente y las familias restantes se limitan a una especie. El género *Acacia* fue el más representativo con la presencia de *Acacia amentacea* DC., *Acacia farnesiana* (L) Willd., y *Acacia wrightii*; siendo *Acacia farnesiana*, la especie de mayor abundancia contabilizando 717 individuos, lo que representa el 42% de las especies encontradas (Tabla 1)

Tabla 1. Listado de la totalidad de especies muestreadas

No.	Especie	Familia	TOTAL	Ind / ha
1	<i>Acacia farnesiana</i> (L) Willd.	Leguminosaceae	717	1493.75
2	<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	Fabaceae Lindl.	230	479.17
3	<i>Diospyros texana</i>	Ebanaceae	197	410.42
4	<i>Acacia amentacea</i> DC.	Leguminosaceae	187	389.58
5	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst.	Leguminosaceae	67	139.58
6	<i>Cordia boissieri</i>	Boraginaceae	61	127.08
7	<i>Sideroxylon celastrinum</i> (Kunth) T.D. Penn.	Rutaceae	48	100.00
8	<i>Cercidium macrum</i>	Fabaceae Lindl.	36	75.00
9	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Rutaceae	29	60.42
10	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Cannabaceae	26	54.17
11	<i>Ebenopsis ebano</i>	Mimosaceae	23	47.92
12	<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	Rhamnaceae Juss.	20	41.67
13	<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele	Leguminosaceae	20	41.67
14	<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray) Benth.	Rutaceae Juss.	16	33.33
15	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Leguminosaceae	11	22.92
16	<i>Caesalpinia mexicana</i> A. Gray	Caesalpiniaceae	8	16.67
17	<i>Koeberlinia spinosa</i> Zucc.	Koeberliniaceae	5	10.42
18	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Oleaceae Hoffmanns. & Link	3	6.25
19	<i>Yucca filifera</i> Chabaud	Agavaceae	3	6.25
20	<i>Guaiaacum angustifolium</i> Engelm.	Zygophyllaceae	2	4.17
21	<i>Acacia wrightii</i>	Leguminosaceae	1	2.08
22	<i>Leucophyllum texanum</i> Benth.	Scrophulariaceae	1	2.08

Total: 1711

Estadío 10 años

En el estadío de 10 años de abandono, se registraron 230 individuos (479.17 ind/ha) de cuatro especies: *Acacia farnesiana*(195), *Acacia amentacea*(28), *Havardiapallens*(4) y *Zanthoxylumfagara*(3). El diámetro promedio es de 5.73 cm y 3.81 m en altura. Destacan *A. amentaceay A. farnesiana* con valores máximos de 14 cm y 15 cm de diámetro, encontrando mínimos de 5 cm en especies de *H. pallens* y *Z. fagara*;el promedio en altura es de 3.81 m, destaca *A. farnesiana* presentando valores máximos en altura (7.80 m) y el mínimo corresponde a *Zanthoxylumfagara*(3.10 m) (Tabla 2).

Tabla 2 Parámetros cuantitativos (Estadío 10 años).

Especie	Diámetro (cm)					Altura (m)				
	x	Sh	Sh%	min	max	x	Sd	Sd%	min	max
<i>Acacia amentacea</i>	6.75	3.26	48.32	5.00	15.00	4.26	0.61	14.26	3.50	5.10
<i>Acacia farnesiana</i>	6.16	1.97	31.93	5.00	14.00	4.13	0.86	20.94	2.00	7.80
<i>Havardia pallens</i>	5.00	0.00	0.00	5.00	5.00	3.75	0.49	13.15	0.86	4.30
<i>Zanthoxylum fagara</i>	5.00	0.00	0.00	5.00	5.00	3.10	0.00	0.00	3.10	3.10
TOTAL:	5.73	1.60	27.92	5.00	15.00	3.81	0.36	9.51	0.86	7.80

La Figura 4 muestra la densidad de individuos por hectárea de acuerdo a las clases diamétricas registradas en el estudio; los datos se dividen en dos grupos, siendo la clase I (5 – 10 cm) la que presenta valores superiores a 400 ind/ha, el segundo grupo se conforma de un pequeño número de individuos con densidad de 25 ind/ha con diámetros por debajo de 15 cm; lo cual indica que el sistema se encuentra en fases iniciales de la sucesión secundaria y que existe un estado de regeneración activo constituido principalmente por las especies *Acacia farnesiana* en un 85.32% seguido de *Acacia amentacea* en un 12.25% (Figura 5).

Categorías diamétricas (Estadio 10 años)

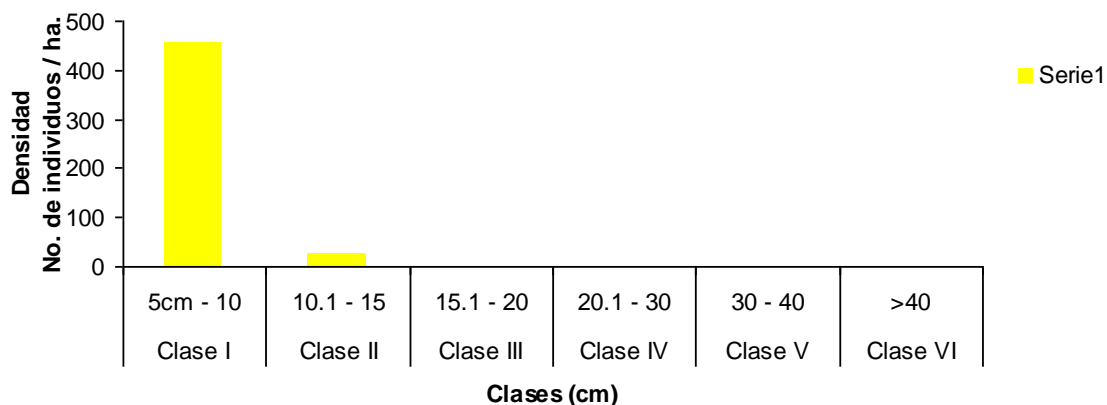


Figura 4. Categorías diamétricas de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 10 años).

Categorías diamétricas (Estadio 10 años)

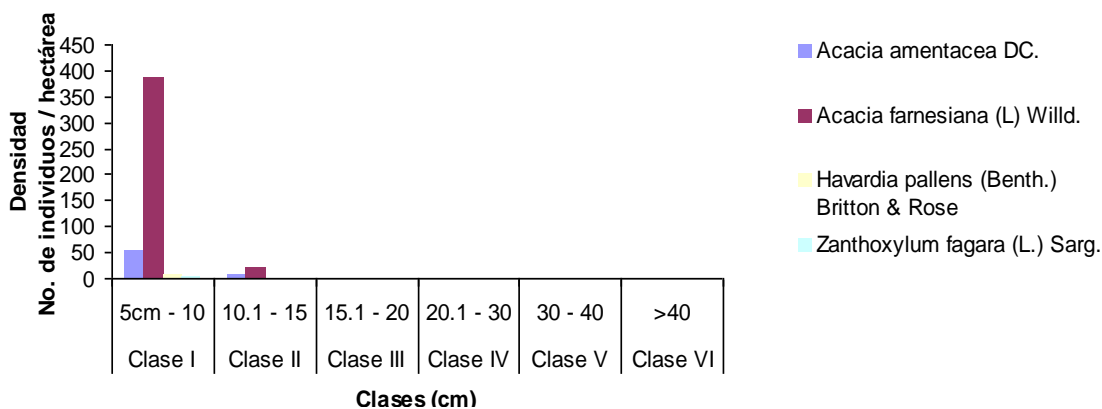


Figura 5. Especies por categorías diamétricas(Estadio 10 años).

En las categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 10 años), se observan tres grupos pertenecientes a las categorías II, III y IV; destacan con 92.2% individuos de porte medio con alturas que oscilan en los 3 a 6 m (densidad de 212 ind/ha), con menor densidad (16 ind/ha) individuos de 1.1 a 3 m, se registran también 2 ind por ha con alturas predominantes arriba de los 6 m (Figura 6).

Categorías de altura (Estadio 10 años)

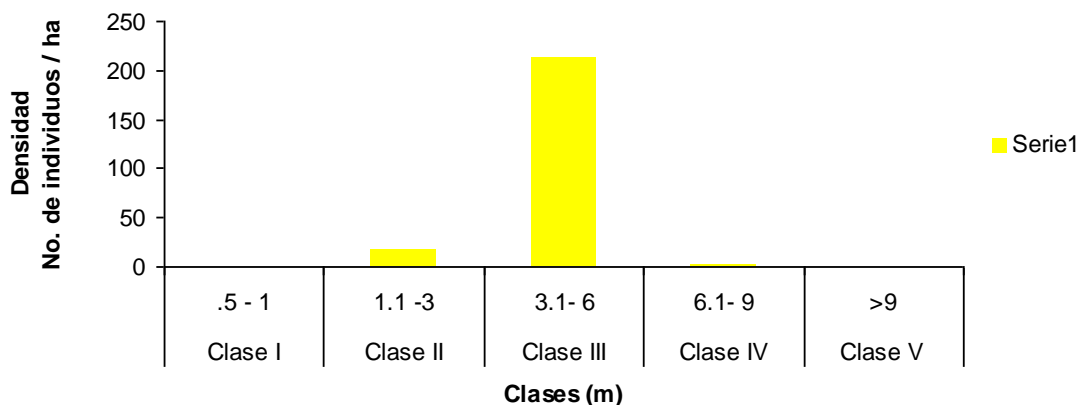


Figura 6. Categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 10 años).

84.7% de la densidad de individuos en el estadio de 10 años, pertenecen a la especie *Acacia farnesiana*; en su mayoría (368.5 ind./ha) son individuos que presentan porte medio (3 a 6 m)(Figura 7).

Categorías de altura (Estadio 10 años)

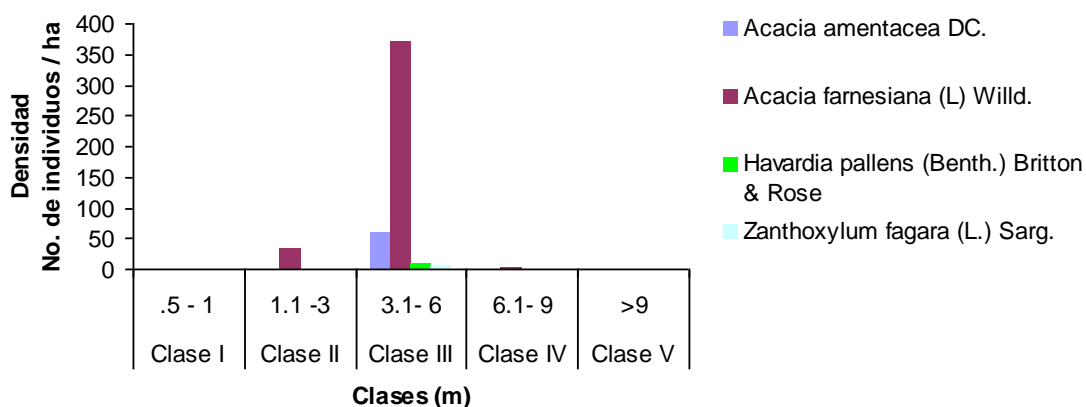


Figura 7. Especies por categorías de altura (Estadio 10 años)

En cuanto a la evaluación de parámetros ecológicos (Tabla 3), la especie *Acacia farnesiana* destaca en abundancia relativa 84.7%, dominancia relativa 86.11%, frecuencia absoluta 100%, por lo tanto el índice de valor de importancia

Análisis de la sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, México.

es más elevado, el cual corresponde a 73.63%; le sigue *Acacia amentacea* con valores de 12.17, 12.01, 50 y 16.39 % respectivamente; la presencia de las dos últimas especies muestreadas: *Havardia pallens* y *Zanthoxylum fagara*, se reduce drásticamente reflejando el 5.06 y 4.92 % del índice de valor de importancia para cada una, esto se debe a que presentan menos de 5 individuos. El índice de diversidad de especies (Shannon & Weiner) en el estadio de 10 años resultó en 0.52, lo cual indica que existe una limitada diversidad de especies, sugiere que el ecosistema es de tipo “huizachal”, ya que *A. farnesiana* es la especie de mayor peso ecológico. Los resultados coinciden con lo dicho por Estrada *et al.* (2004), la especie *Acacia farnesiana*, impacta por su número y su rapidez de establecimiento en áreas de cultivo abandonadas.

Tabla 3. Parámetros ecológicos (Estadio 10 años).

Nombre científico	Total de ind.	Pi	ln pi	pi * ln pi	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		I.V.I.
					Ai	Ar	G	Dr	Fi	Fr	
<i>Acacia farnesiana</i>	195	0.85	-0.17	-0.14	406.25	84.78	1.83	86.11	100	50.00	73.63
<i>Acacia amentacea</i>	28	0.12	-2.11	-0.26	58.33	12.17	0.26	12.01	50	25.00	16.39
<i>Havardia pallens</i>	4	0.02	-4.05	-0.07	8.33	1.74	0.02	0.94	25	12.50	5.06
<i>Zanthoxylum fagara</i>	3	0.01	-4.34	-0.06	6.25	1.30	0.02	0.94	25	12.50	4.92
Total:	230	1.00	-10.66	-0.52	479.17	100.00	2.13	100.00	200	100.00	100.00
			H' =	0.52							

4.1.1 Estadío 20 años

En el estadío de 20 años, se registraron siete especies diferentes con un total de 360 individuos (750 ind/ha), destacando la especie *A. farnesiana* (637.50 ind/ha), seguido de *Prosopis laevigata* (52.08 ind/ha) y *Havardiapallens* (20.83 ind/ha), *Caesalpinea mexicana* (16.67 ind/ha), *Cordiaboissieri* (12.50 ind/ha); *Ebenopsisebano*, y *Heliettaparvifolia* presentan menos de 10 individuos por hectárea. El diámetro promedio es de 7.43 cm, encontrando individuos de *A. farnesiana* con valores máximos de 30 cm, seguidos de las especies: *Ebenopsisebano* (20 cm), *Prosopis laevigata* (17 cm), *Havardiapallens* (10 cm), *Caesalpinea mexicana* y *Cordiaboissieri* presentan 8 cm de diámetro como valor máximo y *Heliettaparvifolia* se encuentra en el rango mínimo con 5 cm de grosor. En altura destaca *Havardiapallens* (8 m), *A. farnesiana* y *E. ebano* presentan semejanza en valores máximos de altura (7 m), así como también *P. laevigata* y *C. mexicana* obtienen 6 m de altura, seguidos de *C. boissieri*, y *H. parvifolia* con 4 m, el promedio general en altura en el estadío 20 años es de 4.80 m (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros cuantitativos (Estadío 20 años).

Especie	Diámetro (cm)					Altura (m)				
	x	Sd	Sd%	min	max	x	Sh	Sh%	min	max
<i>Acacia farnesiana</i>	8.78	4.52	51.44	5	30	5.04	1.09	21.67	2	7
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barn	12	5.89	49.09	7	20	6.33	1.79	28.25	2	7
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bon)	7.28	3.63	49.93	5	17	4.14	1.13	27.25	2	6
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton	6.6	1.84	27.85	5	10	5.97	3.6	60.36	2	8
<i>Caesalpinea mexicana</i> A. Gray	6.88	1.25	18.13	5	8	4.6	1.48	32.2	5	6
<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	5.5	1.22	22.27	5	8	3.5	2.15	61.51	3	4
<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray) Benth	5	x	x	x	5	4	x	x	4	4
Total:	7.43	1.93	25.95	5	30	4.80	0.94	19.52	2	8

Existen cuatro clases de categorías diamétricas, donde la mayor densidad de individuos por hectárea (79.44%) se concentra en la clase I (5 – 10 cm) con 595.83 ind/ha, seguido de la clase II (10.1 – 15 cm) con 93.75 ind/ha, de la clase

III (15.1 – 20 cm) con 8.33 ind/ha, y por último la clase IV (20.1 – 30 cm) con 2.08 ind/ha(Figura 8). Los datos indican que en el estadio de 20 años prevalece la fase inicial de sucesión secundaria y el estado de regeneración continúa activo, la especie *Acacia farnesiana* (L) Willd. se mantiene superior en densidad, presenta 637.5 ind por ha (85.15 %), seguido de *Prosopis laevigata* con 52.08 ind/ha (6.95%) (Figura 9).

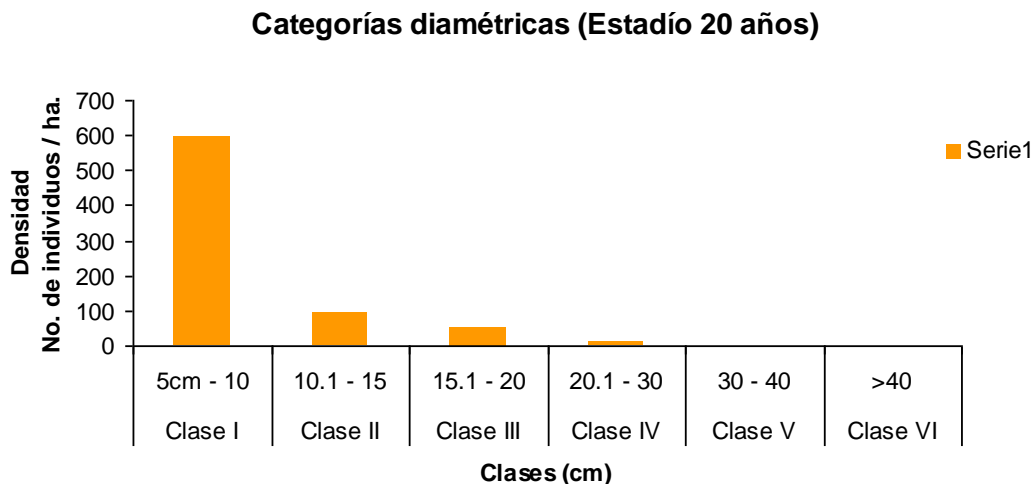


Figura 8. Categorías diamétricas de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 20 años).

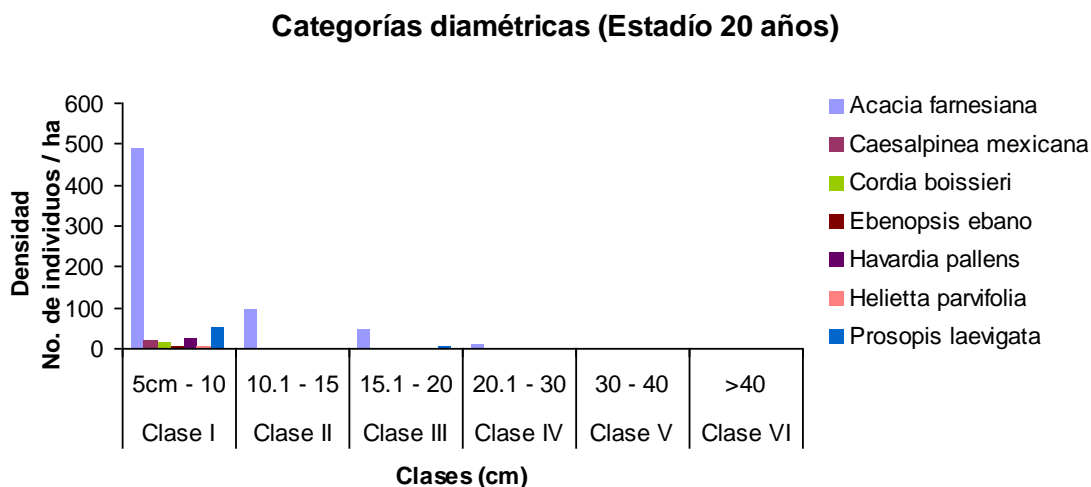


Figura 9. Especies por categorías diamétricas(Estadio 20 años).

En las categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 20 años), se observan tres grupos pertenecientes a las categorías I, II y III; existe escasa densidad de renuevos o regeneración leñosa (66.6 ind/ha) ubicados en la

clase I (.5 – 1 m); sin embargo, destacan con 75.27% individuos de porte bajo con alturas que oscilan en 1.1 y 3 m cuya densidad es de 564.8 ind/ha. Los individuos de la clase III (3.1 - 6 m) presentan un ligero incremento, observando 118.75 ind/ha (Figura 10).

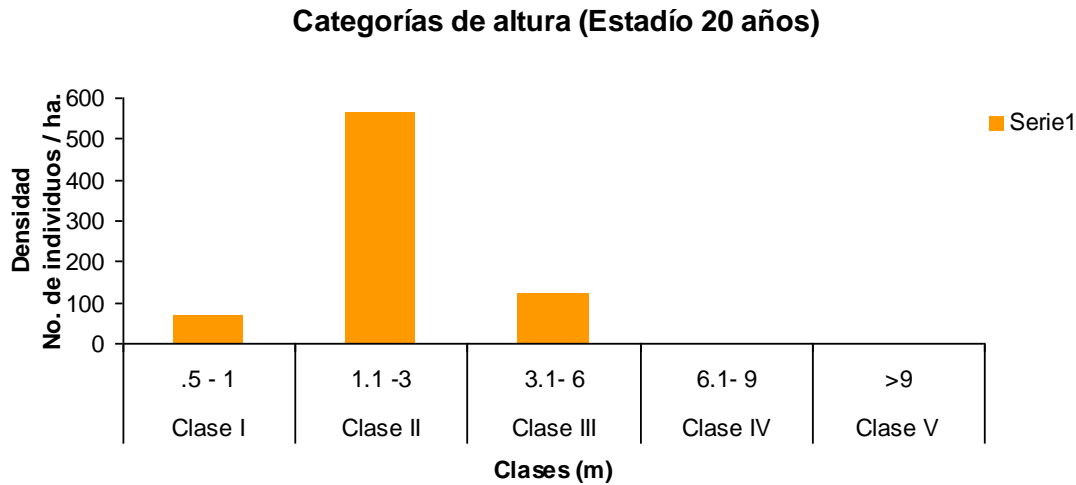


Figura 10. Categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 20 años).

En el estadio 20 años, *A. farnesiana* y *P. laevigata* presentan una densidad de 33 y 31 ind/ha respectivamente de regeneración leñosa; *Acacia farnesiana*, *Caesalpine mexicana*, *Cordiaboissieri*, *Ebenopsisebano*, *Havardiapallens*, *Heliettaparvifoliay* *Prosopislaevigata* conforman el estrato bajo con individuos de 1.1 a 3 m de altura, y por último en el estrato medio se presenta: *Acacia farnesiana*, *Ebenopsisebano*, *Havardiapallens* con individuos de 3.1 a 6 m de altura. (Figura 11)

Categorías de altura (Estadio 20 años)

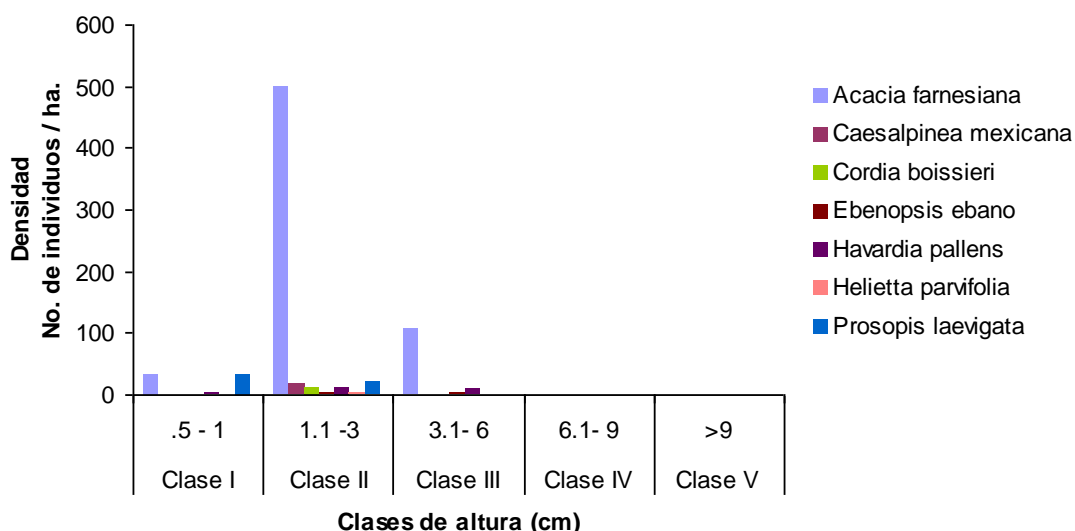


Figura 11. Especies por categorías de altura (Estadio 20 años).

La especie *A. farnesiana*, presenta mayor abundancia relativa (85%), dominancia (92.02) y se encuentra en la totalidad de los sitios de muestreo (100%), en el estadio 20 años obtiene 70.12% en cuanto al índice de valor de importancia; con valores inferiores, le sigue *Prosopislaevigata* con 6.94% de *Ar*, 4.19% *Dr*, presentándose en tres sitios de muestreo, el IVI es de 12.05%. Los valores de las variables estudiadas descienden en las especies restantes, hasta el 3.01% del IVI de *H. parvifolia* (3.01%). El índice de diversidad (Sahannor&Weiner) incrementa doce decimales respecto al estadio de 10 años ($H' = 0.52$), con un valor de 0.64, lo cual indica que a los 20 años de abandono existe baja diversidad de especies de flora, sin embargo el ecosistema refleja una ligera recuperación (

Tabla 5). Contrario a lo mencionado por Jiménez *et al.* (2012) en un estudio de área con historial agrícola a los 21 años de abandono, cuyo índice de diversidad Shannon &Weinner resultó mayor ($H' = 2.27$).

Tabla 5. Parámetros ecológicos (Estadio 20 años).

Análisis de la sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, México.

Nombre científico	Tot. Ind	Pi	ln pi	pi * ln pi	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Índice
					Ai	Ar	G	Dr	Fi	Fr	I.V.I.
<i>Acacia farnesiana</i>	306	0.85	-0.16	-0.14	637.50	85.00	6.80	92.02	100	33.33	70.12
<i>Prosopis laevigata</i>	25	0.07	-2.67	-0.19	52.08	6.94	0.31	4.19	75	25.00	12.05
<i>Havardia pallens</i>	10	0.03	-3.58	-0.10	20.83	2.78	0.09	1.22	25	8.33	4.11
<i>Caesalpinea mexicana</i>	8	0.02	-3.81	-0.08	16.67	2.22	0.06	0.81	25	8.33	3.79
<i>Cordia boissieri</i>	6	0.02	-4.09	-0.07	12.50	1.67	0.04	0.54	25	8.33	3.51
<i>Ebenopsis ebano</i>	3	0.01	-4.79	-0.04	6.25	0.83	0.08	1.08	25	8.33	3.42
<i>Helietta parvifolia</i>	2	0.01	-5.19	-0.03	4.17	0.56	0.01	0.14	25	8.33	3.01
TOTAL:	360	1		-0.64	750.00	100.00	7.39	100		100.00	100.00
				H' =	0.64						

4.1.2 Estadío 30 años

En el estadio de 30 años, se incrementó la riqueza de especies (12), así como también, se encontraron individuos de mayor diámetro y altura; tal es el caso de *P. laevigata* y *A. farnesiana* que presentan 53 cm y 43 cm de grosor respectivamente y alrededor de 8 m de altura máxima. (Tabla 6)

Tabla 6. Parámetros cuantitativos (Estadio 30 años).

No.	Nombre científico	Diámetro (cm)				Altura (m)					
		Prom	S	CV%	min	max	Prom	S	CV%	min	max
1	<i>Prosopis laevigata</i>	9.40	9.03	96.07	5.00	53.00	3.69	1.17	31.71	2.00	8.50
2	<i>Acacia farnesiana</i>	10.75	6.81	63.38	5.00	43.00	4.54	1.06	23.25	1.70	8.10
3	<i>Cercidium macrum</i>	9.91	3.59	36.23	5.00	18.00	4.52	0.71	15.77	3.50	5.30
4	<i>Sideroxylon celastrinum</i>	6.94	3.55	51.10	5.00	15.50	3.56	0.57	16.07	3.00	4.35
5	<i>Acacia amentacea</i>	7.94	2.64	33.32	5.00	13.00	5.16	0.66	12.73	4.40	6.90
6	<i>Parkinsonia aculeata</i>	9.38	2.34	24.97	5.00	13.00	5.30	1.81	34.12	2.00	8.30
7	<i>Zanthoxylum fagara</i>	7.20	3.49	48.51	5.00	13.00	3.34	0.83	24.74	2.00	4.10
8	<i>Celtis pallida</i>	7.00	2.75	39.27	5.00	12.00	3.91	0.84	21.51	3.00	5.30
9	<i>Cordia boissieri</i>	9.00	4.24	47.14	6.00	12.00	3.05	0.07	2.32	3.00	3.10
10	<i>Koeberlinia spinosa</i>	5.40	0.55	10.14	5.00	6.00	2.18	0.36	16.67	1.70	2.50
11	<i>Acacia wrightii</i>	5.00	x	x	5.00	5.00	1.70	x	x	5.00	5.00
12	<i>Diospyros Texana</i>	5.00	x	x	5.00	5.00	3.00	0.44	14.53	2.70	3.50
TOTAL:		7.74	2.40	30.99	5.00	53.00	3.66	0.46	12.66	1.70	8.50

En el estadío 30 años, se despliegan seis grupos de individuos que abarcan la totalidad de categorías diamétricas registradas (Figura 12). Destaca la clase I (5 – 10 cm) con 475 ind/ha de regeneración activa, de manera descendiente le sigue la clase II (10.1 – 15 cm) con 127 ind/ha, la clase III (15.1 – 20 cm) presenta 35 ind/ha, la clase IV (20.1 – 30 cm) 33.3 ind/ha, la clase V (30 – 40 cm) y VI (>40 cm) presentan una densidad de 8.33 ind/ha. Se observa la línea de tendencia exponencial negativa en la densidad de los individuos conforme aumenta el diámetro.

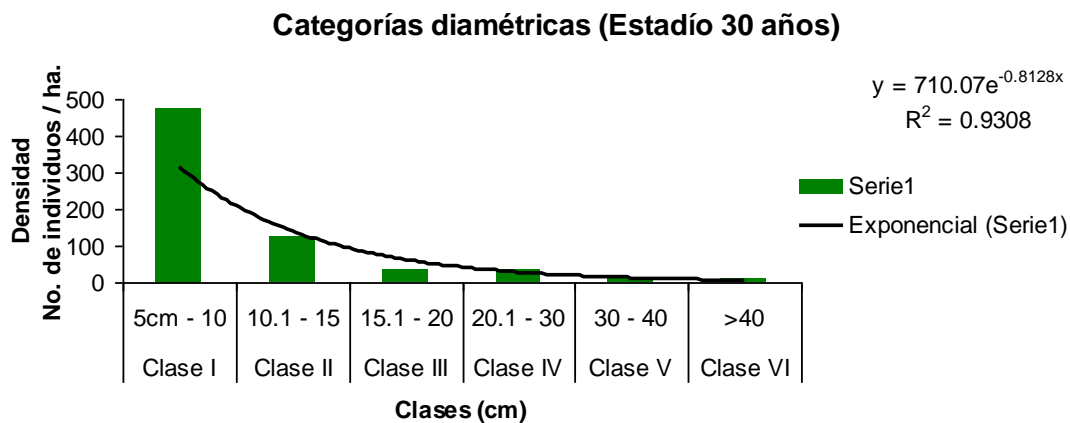


Figura 12. Categorías diamétricas de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 30 años).

La Figura 13 muestra mayor diversidad de plantas en la fase de regeneración natural, ya que se presentan individuos de 5 a 10 cm de diámetro de la totalidad de especies registradas (*A. amentacea*, *A. farnesiana*, *A. wrightii*, *C. pallida*, *C. macrum*, *C. boissieri*, *D. texana*, *K. spinosa*, *P. aculeata*, *P. laevigata*, *S. celastrinum* y *Z. fagara*). Las especies *C. pallida*, *C. macrum*, *C. boissieri*, *P. laevigata* y *S. celastrinum* situados en la clase II (10.1 – 15 cm) conforman el segundo grupo más abundante del estadio de 30 años. *A. farnesiana*, y *S. celastrinum* se presentan en la totalidad de las categorías diamétricas obteniendo una frecuencia relativa del 100%; *A. farnesiana* supera en densidad de individuos de la clase I con 285.4 ind/ha; en la clase II (10.1 – 15 cm) presenta 89.58 ind/ha, los valores se establecen en las clases III (15.1 a 20 cm) y IV (20.1 - 30 cm) con 29.16 ind/ha; en menor densidad se encontraron individuos robustos de las especies *A. farnesiana*, *P. laevigata* y *S. celastrinum* registrados en las clases V y VI, con diámetros de 30 a 40 cm.

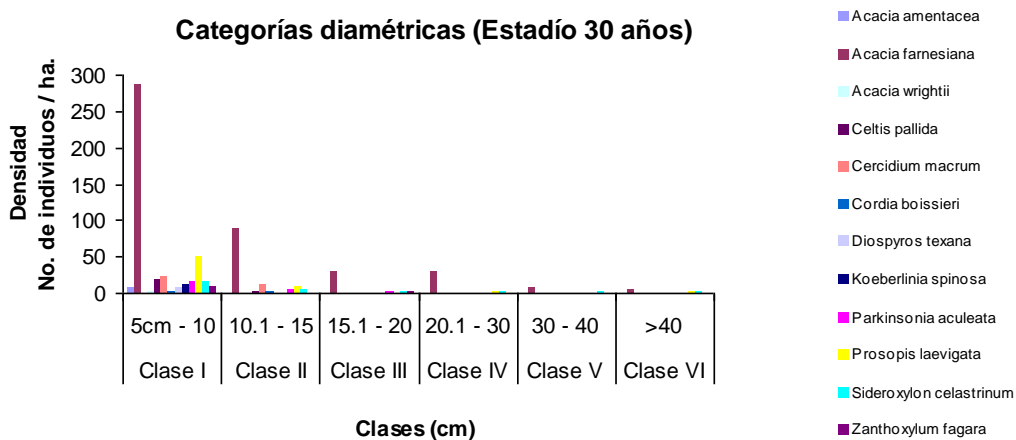


Figura 13. Especies por categorías diamétricas(Estadio 30 años).

El ecosistema presenta tres estratos correspondientes a las clases II, III y IV; la densidad en el estrato bajo es de 91.66 ind/ha; destacan los individuos de porte medio ubicados en la clase III (3.1 a 6 m) con 577.08 ind/ha, ambas clases se encuentran conformadas por la totalidad de las especies registradas en este estadio; el estrato alto presenta 16 ind/ha de las especies: *A. farnesiana*, *P. laevigata* y *Sideroxylon celastrinum* (Figura 14) y (Figura 15).

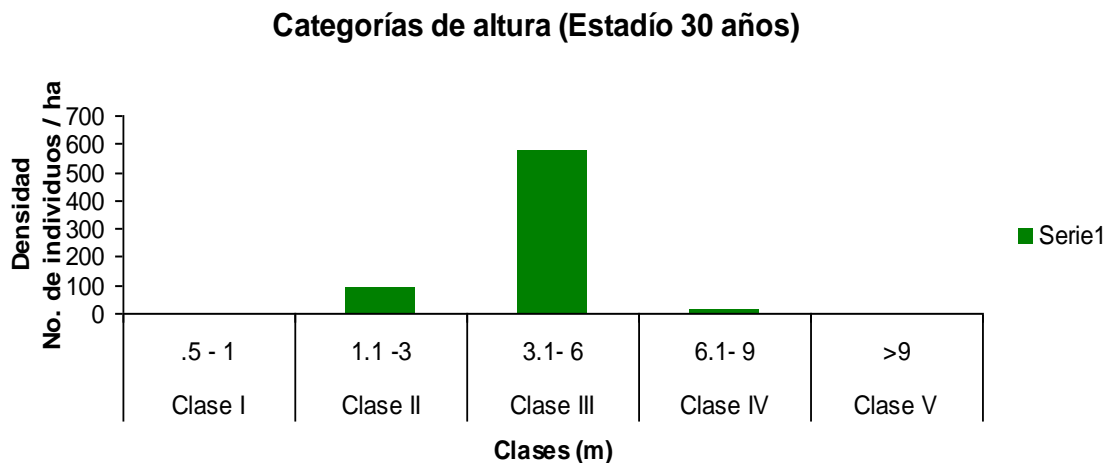


Figura 14. Categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Estadio 30 años).

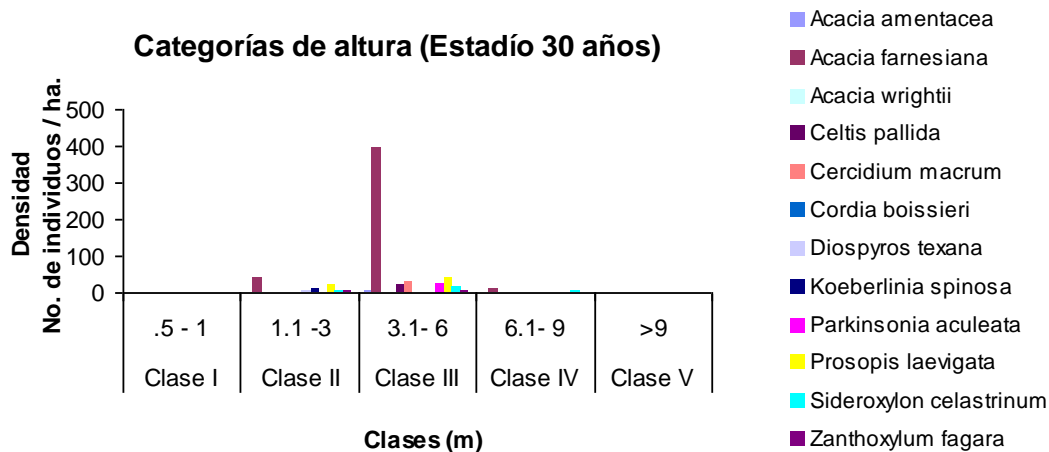


Figura 15. Especies por categorías de altura (Estadio 30 años)

Con total de 668 ind/ha registrados en el estadio de 30 años (

Tabla 7), la especie *A. farnesiana* presenta mayor densidad (443.75 ind/ha) y por lo tanto, destaca en cuanto al índice de valor de importancia (52.38), sin embargo disminuye alrededor del 20% en comparación al valor que presenta en los estadíos 10 y 20 años, debido al incremento en cuanto a la aparición de nuevas especies. *A. farnesiana*, y *Prosopis laevigata*, se localizan en todos los sitios de muestreo obteniendo 100% en frecuencia, el índice de valor de importancia es de 11.15, el resto de las especies presenta valores menores a 6. El índice de diversidad (H') se elevó notablemente obteniendo $H' = 1.34$, lo que refleja una extraordinaria capacidad de recuperación natural del ecosistema al cabo de 30 años, exento de perturbación antropogénica.

Análisis de la sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, México.

Tabla 7. Parámetros ecológicos (Estadío 30 años).

Nombre científico	Total de ind.	Abundancia				Dominancia				Frecuencia		Índice
		Pi	ln pi	pi * ln pi	Ai	Ar	Gi	Dr	Fi	Fr	I.V.I.	
<i>Acacia farnesiana</i>	213	0.66	-0.41	-0.27	443.75	66.36	8.92	75.40	100	15.38	52.38	
<i>Prosopis laevigata</i>	30	0.09	-2.37	-0.22	62.50	9.35	1.03	8.71	100	15.38	11.15	
<i>Acacia amentacea</i>	16	0.05	-3.00	-0.15	33.33	4.98	0.60	5.07	50	7.69	5.92	
<i>Celtis pallida</i>	10	0.03	-3.47	-0.11	20.83	3.12	0.26	2.20	75	11.54	5.62	
<i>Parkinsonia aculeata</i>	16	0.05	-3.00	-0.15	33.33	4.98	0.34	2.87	50	7.69	5.18	
<i>Zanthoxylum fagara</i>	5	0.02	-4.16	-0.06	10.42	1.56	0.13	1.10	75	11.54	4.73	
<i>Sideroxylon celastrinum</i>	9	0.03	-3.57	-0.10	18.75	2.80	0.13	1.10	50	7.69	3.86	
<i>Cercidium macrum</i>	11	0.03	-3.37	-0.12	22.92	3.43	0.26	2.20	25	3.85	3.16	
<i>Cordia boissieri</i>	2	0.01	-5.08	-0.03	4.17	0.62	0.03	0.25	50	7.69	2.86	
<i>Koeberlinia spinosa</i>	5	0.02	-4.16	-0.06	10.42	1.56	0.06	0.51	25	3.85	1.97	
<i>Diospyros texana</i>	3	0.01	-4.67	-0.04	6.25	0.93	0.01	0.08	25	3.85	1.62	
<i>Acacia wrightii</i>	1	0.00	-5.77	-0.02	2.08	0.31	0.06	0.51	25	3.85	1.55	
TOTAL:	321		1.00	-1.34	668.75	100.00	11.83	100.00		100.00	100.00	
			H' =	1.34								

4.1.3 Área prístina del matorral espinoso tamaulipeco

La riqueza en el área prístina es de 18 especies, con promedio de 8.59 cm en diámetro y 4.56 m en altura, distribuidos en 1666.7 ind/ha. Las especies que presentan diámetros mayores a 10 cm son: *Yuccafilifera*(45.60 cm), *Cordiaboissieri*(19.20 cm), *Sideroxyloncelastrinum*(17.06 cm), *Dyospiros texana*(15.17 cm), *Celtispallida*(15.17 cm), *Condaliahookeri*(13.6 cm), *Acacia amentacea*(12.95cm), *Cercidiummacrum*(12.05cm), *Havardiapallens*(10.98cm), *Forestiera angustifolia*(10.98cm), *Eysenhardtia texana*(10.16cm) y *Helietta parvifolia* (10.10 cm). Siendolas de mayor altura (≤ 10 m) *Cercidiummacrum*, *Acacia amentacea* y *Yuccafilifera* (Tabla 8).

Tabla 8. Parámetros cuantitativos (Área prístina del MET).

No.	Nombre científico	Diámetro (cm)					Altura (m)				
		x	Sh	Sh%	min	max	x	Sd	Sd%	min	max
1	<i>Yucca filifera</i>	36.63	15.19	41.45	19.10	45.60	5.23	3.00	57.37	3.50	8.70
2	<i>Cordia boissieri</i>	10.43	3.73	35.74	1.00	19.20	4.36	0.89	20.39	1.90	6.00
3	<i>Sideroxylon celastrinum</i>	8.61	3.31	38.47	5.01	17.06	4.37	1.51	34.51	2.60	6.30
4	<i>Dyospiros texana</i>	7.86	2.95	37.56	5.00	15.17	5.02	1.04	20.71	2.70	7.60
5	<i>Celtis pallida</i>	6.22	2.42	38.93	5.00	14.59	4.45	0.83	18.64	3.80	6.00
6	<i>Condalia hookeri</i>	9.18	3.43	37.40	5.69	13.06	4.60	1.77	38.44	3.00	7.10
7	<i>Acacia amentacea</i>	5.89	2.10	35.65	5.00	12.95	4.34	1.14	26.34	2.10	9.00
8	<i>Cercidium macrum</i>	7.31	2.71	37.01	1.00	12.05	5.06	1.68	33.29	4.00	10.43
9	<i>Havardia pallens</i>	6.03	1.25	20.81	5.00	10.98	4.93	0.90	18.17	2.80	7.10
10	<i>Forestiera angustifolia</i>	8.09	2.21	27.25	6.75	10.64	4.60	0.26	5.75	4.40	4.90
11	<i>Eysenhardtia texana</i>	6.72	1.62	24.08	5.00	10.16	5.00	1.19	23.85	1.30	7.90
12	<i>Helietta parvifolia</i>	6.77	1.61	23.77	1.00	10.10	4.67	0.95	20.30	3.50	6.80
13	<i>Zanthoxylum fagara</i>	6.34	2.17	34.20	5.03	8.24	4.69	1.63	34.79	3.20	6.00
14	<i>Ebenopsis ebano</i>	5.73	2.28	39.88	5.02	8.09	4.17	0.79	18.91	2.70	5.30
15	<i>Acacia farnesiana</i>	8.05	0.04	0.44	8.01	8.08	4.45	0.13	2.97	4.30	4.55
16	<i>Prosopis laevigata</i>	2.60	2.26	87.01	5.27	7.62	4.39	0.57	13.10	3.32	5.20
17	<i>Leucophyllum texanum</i>	7.10	X	X	7.10	7.10	4.30	X	X	4.30	4.30
18	<i>Guaiaacum angustifolium</i>	5.04	1.70	33.71	5.01	5.06	3.45	0.07	2.05	3.40	3.50
TOTAL:		8.59	3.26	37.99	1.00	45.60	4.56	0.71	15.61	1.30	10.43

La Figura 16 muestra que el 85.5 % de la espesura del área prístina del matorral se conforma principalmente por individuos de las 18 especies registradas, cuyo diámetro es menor a 10 cm, el resto de los individuos se divide en las dos clases siguientes obteniendo un máximo de 20 cm de grosor; cabe señalar que se encontró un individuo de la especie *Yuccafilifera* con diámetro prominente igual a 43 cm (Figura 17).

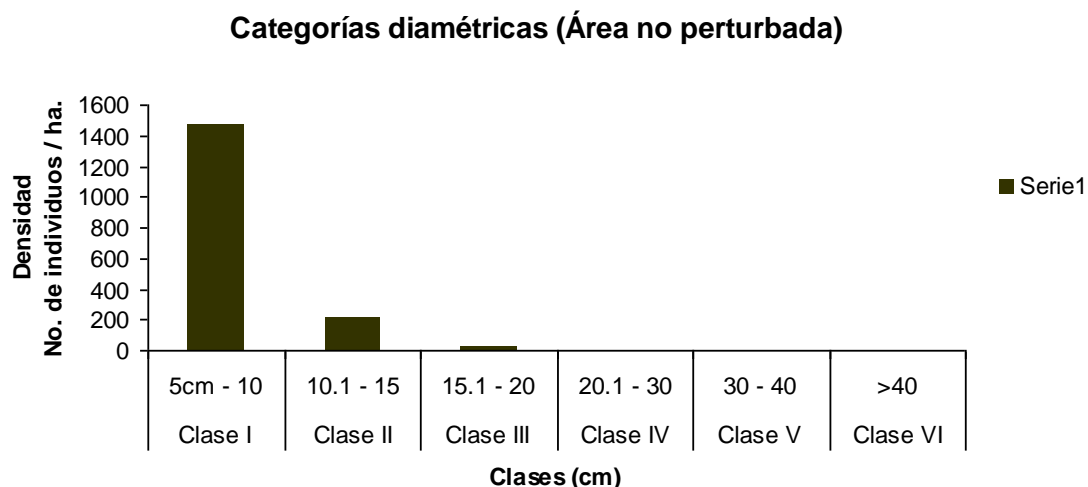


Figura 16. Categorías diamétricas de acuerdo a la densidad de individuos (Área prístina del MET).

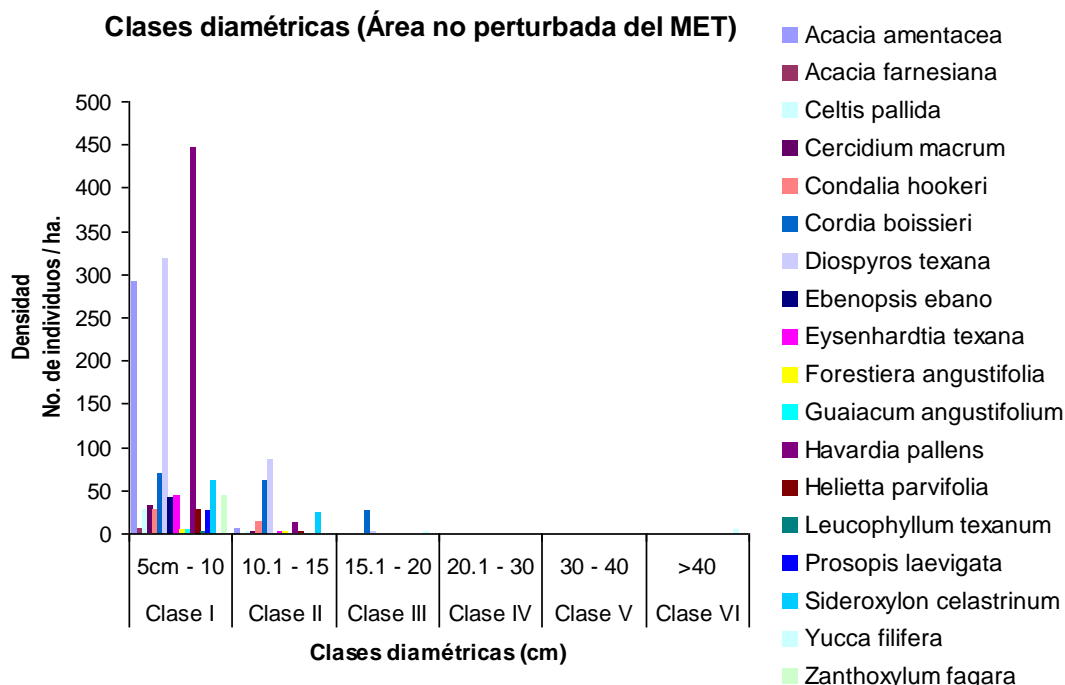


Figura 17. Especies por categorías diamétricas (Área prístina del MET).

El dosel del área prístina se divide en tres estratos (Figura 18); la Clase II (1.1 a 3 m) se conforma de las especies *A. farnesiana*, *C. hookeri*, *C. boissieri*, *E. ebano*, *E. texana* y *S. celastrinum*; predominan individuos de porte medio de 3.1 a 6 m de altura pertenecientes a la totalidad de especies registradas; en la clase III (6.1 a 9m) prevalece la presencia de *C.hookeri*, *D.texana*, *E. texana*, *H.pallens*, *H.parvifolia* y *Y.filifera* (Figura 19).

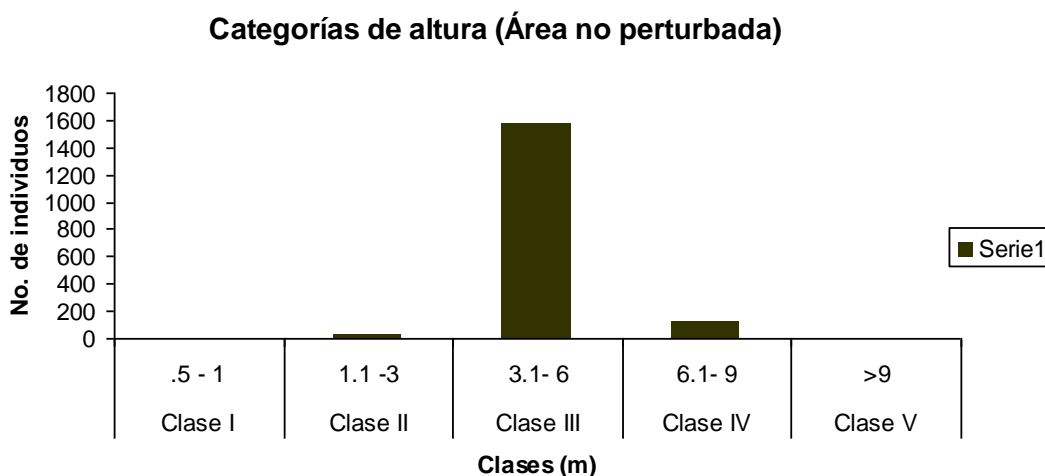


Figura 18. Categorías de altura de acuerdo a la densidad de individuos (Área no perturbada del MET).

Análisis de la sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, México.

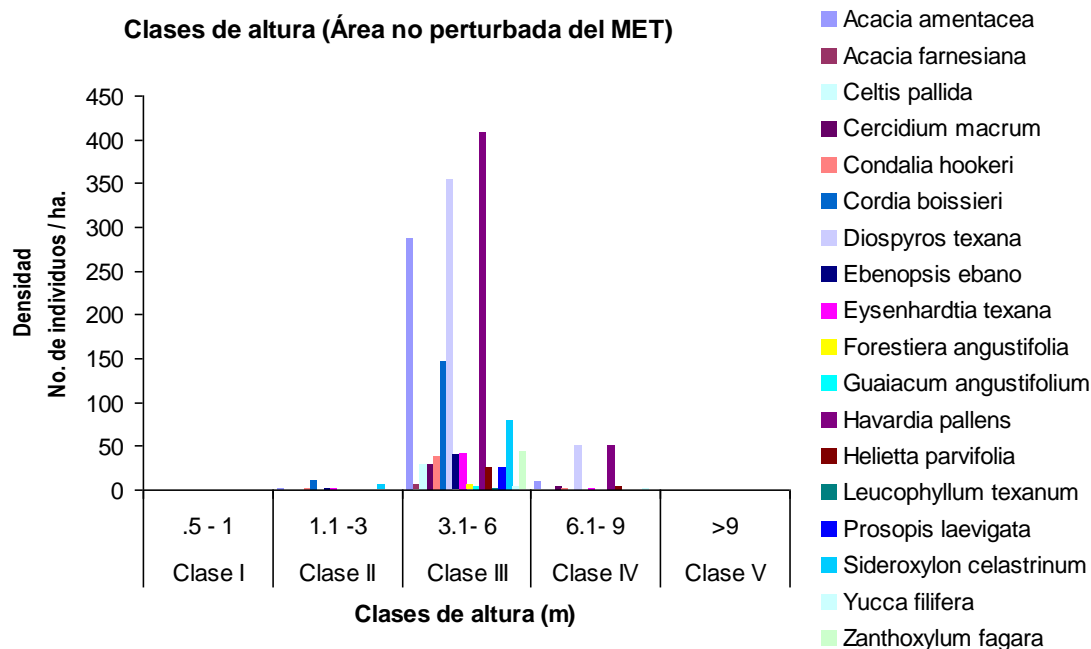


Figura 19. Especies por categorías de altura (Área no perturbada del MET).

En el área prístina del MET, la especie con mayor índice de valor de importancia o peso ecológico es: *D. texana* (20.24) (Tabla 9), similar a lo encontrado por Jiménez *et al.*(2012), en estudio realizado en un área con historial de uso agrícola.

Además de *D. texana*, se registraron especies de elevado peso ecológico: *H. pallens*(17.14), *A. amentacea*(12.31), *C. boissieri*(10.62) y *S. celastrinum* (10.62); mismas que presentan abundancia absoluta mayor a 50 ind/ha, así como los valores más altos en dominancia relativa (*Dr*); respecto a la frecuencia absoluta (*Fi*), las tres primeras especies antes mencionadas incluyendo *S. celastrinum* y *Z. fagara*, se encontraron con mayor frecuencia (100%) en los sitios muestrados. En el rango inferior del *IVI* se observan las especies *A. farnesiana*(.98) y *P. laevigata*(1.56). El área presenta un índice de diversidad (Shannon &Weiner) igual a 2.08, lo cual se considera que existe heterogeneidad normal en cuanto a diversidad de especies en el matorral espinoso tamaulipeco.

Análisis de la sucesión vegetal y captura de carbono en áreas perturbadas del matorral espinoso tamaulipeco, México.

Tabla 9. Parámetros ecológicos;(Área prístina del MET).

Nombre científico	Tot. Ind	Pi	ln pi	pi * ln pi	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Índice
					Ai	Ar	G	Dr	Fi	Fr	
<i>Diospyros texana</i>	194	0.24	-1.42	-0.34	404.17	24.25	2.75	27.39	100	9.09	20.24
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	220	0.28	-1.29	-0.36	458.33	27.50	1.49	14.84	100	9.09	17.14
<i>Acacia amentacea</i> DC.	143	0.18	-1.72	-0.31	297.92	17.88	1	9.96	100	9.09	12.31
<i>Cordia boissieri</i>	53	0.07	-2.71	-0.18	110.42	6.63	1.85	18.43	75	6.82	10.62
<i>Sideroxylon celastrinum</i> (Kunth) T.D. Penn.	41	0.05	-2.97	-0.15	85.42	5.13	0.77	7.67	100	9.09	7.30
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	21	0.03	-3.64	-0.10	43.75	2.63	0.19	1.89	100	9.09	4.54
<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	20	0.03	-3.69	-0.09	41.67	2.50	0.35	3.49	75	6.82	4.27
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	3	0.00	-5.59	-0.02	6.25	0.38	0.7	6.97	50	4.55	3.96
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele	20	0.03	-3.69	-0.09	41.67	2.50	0.18	1.79	75	6.82	3.70
<i>Cercidium macrum</i>	16	0.02	-3.91	-0.08	33.33	2.00	0.16	1.59	75	6.82	3.47
<i>Celtis pallida</i> Torr.	14	0.02	-4.05	-0.07	29.17	1.75	0.13	1.29	50	4.55	2.53
<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray) Benth.	14	0.02	-4.05	-0.07	29.17	1.75	0.12	1.20	50	4.55	2.50
<i>Ebenopsis ebano</i>	20	0.03	-3.69	-0.09	41.67	2.50	0.15	1.49	25	2.27	2.09
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.)	12	0.02	-4.20	-0.06	25.00	1.50	0.09	0.90	25	2.27	1.56
<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	3	0.00	-5.59	-0.02	6.25	0.38	0.06	0.60	25	2.27	1.08
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	3	0.00	-5.59	-0.02	6.25	0.38	0.03	0.30	25	2.27	0.98
<i>Guaiacum angustifolium</i> Engelm.	2	0.00	-5.99	-0.01	4.17	0.25	0.01	0.10	25	2.27	0.87
<i>Leucophyllum texanum</i> Benth.	1	0.00	-6.68	-0.01	2.08	0.13	0.01	0.10	25	2.27	0.83
TOTAL:	800	1		-2.08	1666.67	100	10.04	100		100	100
				H' =	2.08						

4.2 Evaluación de estadíos de sucesión.

Los datos en la

Tabla 10, muestran que la diversidad de especies se incrementa a través del tiempo, en áreas de matorral que fueron desmontadas para utilizarlas con fines pecuarios.

En el estadío de 10 años de abandono se cuantificaron 230 individuos de cuatro especies, cuya área basal es 2.13 m², el valor del índice de Shannon y Weiner $H' = 0.52$, indica que existe una limitada diversidad y sugiere que el ecosistema es de tipo “huizachal”, ya que *A. farnesiana* es la especie de mayor peso ecológico; coincide con Estrada *et al.* (2004) mencionan que el huizache, invade estas áreas en cortos periodos de tiempo (3-5 años).

En el estadío de 20 años, se registro de manera ascendente la cantidad de individuos (360), el número de especies (7), el área basal (7.39 m²) así como el valor de $H' = 0.64$, el cual indica que el ecosistema presenta baja diversidad de especies, sin embargo se observa una ligera recuperación.

En el estadío de 30 años, se cuantificó menor cantidad de individuos, sin embargo el número de especies incrementó a doce, dado que se encontraron individuos más robustos en cuanto al diámetro se estimó 11.83 m² de área basal, y se obtuvo $H' = 1.34$, lo que refleja una extraordinaria capacidad de recuperación natural del ecosistema.

En el área prístina del matorral espinoso tamaulipeco, se evaluaron 800 individuos de dieciocho especies, estimando 10.04m² de área basal, se considera que existe heterogeneidad normal en cuanto a diversidad de especies, ya que se obtuvo $H' = 2.09$.

Tabla 10. Evaluación de estadíos de sucesión

Estadío	No. Especies	Ind/ha	G (m ²)	H'
10	4	479.17	2.13	0.52
20	7	750	7.39	0.64
30	12	668.75	11.83	1.34
MET	18	1666.76	10.04	2.09

4.3 Productividad de biomasa y contenido de carbono almacenado.

De acuerdo a la evaluación de productividad de biomasa y contenido de carbono por estadío de sucesión (Tabla 11), muestra que el estadío de 10 años obtuvo 3.79 ton/ha de biomasa y 1.7 ton/ha de carbono almacenado, representa el porcentaje menor (17.81%) respecto al área prístina del MET; en el estadío de 20 años, existe un notable incremento en biomasa 14.64 ton/ha y 6.59 ton/ha de carbono almacenado; a los 30 años de abandono la biomasa se eleva alrededor de 4 toneladas, obteniendo 18.49 ton/ha de biomasa y 8.32 ton/ha de carbono almacenado. El área de matorral no perturbada presenta 21.28 ton/ha de biomasa aérea y 9.58 ton/ha de carbono almacenado, dado que los individuos registrados en esta área presentan 6.94 cm de diámetro promedio y 4.52 m de altura promedio, ya que se encuentran en mayor competencia.

Con el análisis de varianza se determinó que existen diferencias significativas entre los contenidos de carbono de los estadíos ($P < 0.0001$). En la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) se determinó que el estadío de 10 años es estadísticamente diferente y con un valor menor al contenido de carbono de las otras áreas; los estadíos de 20 y 30 años, así como el área prístina del matorral espinoso tamaulipeco mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí.

Tabla 11. Evaluación de productividad de biomasa y contenido de carbono, por estadio de sucesión.

Estadio	Biomasa (kg)	Carbono	Biomasa (ha)	Carbono (ha)	Biomasa Ton/ha	Carbono Ton/ha	Agrupación Tukey
10 años	1817.34	817.8	3786.12	1703.76	3.79	1.7	a
20 años	7031.68	3164.26	14649.33	6592.2	14.65	6.59	b
30 años	8875.24	3993.86	18490.09	8320.54	18.49	8.32	b
MET	10215.41	4596.94	21282.11	9576.95	21.28	9.58	b

Los resultados contenido de carbono en el área prístina (9.58 ton/ha), se muestran similares a lo registrado por Yereña *et al.* (2011), ya que obtuvo 11.70 ton/ha en área de matorral primario.

5 CONCLUSIONES

La diversidad de especies se incrementa a través del tiempo en áreas de matorral que fueron desmontadas para utilizarlas con fines pecuarios y posteriormente abandonadas.

- El estadio con 10 años, presentó $H' = 0.52$, indica que existe una limitada diversidad de especies y sugiere que el ecosistema es de tipo “huizachal”, ya que *A. farnesiana* es la especie de mayor peso ecológico ($IVI = 81.58\%$).
- El estadio de 20 años, el valor de $H' = 0.64$, indica que el ecosistema presenta baja diversidad de especies. El IVI de *A. farnesiana* disminuyó a 70.40% ; se observa una ligera recuperación en el ecosistema.
- El estadio de 30 años, obtuvo $H' = 1.34$, lo que refleja una extraordinaria capacidad de recuperación natural del ecosistema. Continúa el descenso del IVI de *A. farnesiana*, ya que en este estadio presentó 52.38% .
- En el área prístina del matorral espinoso tamaulipeco, obtuvo $H' = 2.08$. por lo cual se considera que existe heterogeneidad normal en cuanto a diversidad de especies. *A. farnesiana* presentó 0.98% de IVI contrario a lo ocurrido en las áreas perturbadas donde destacó por su dominancia.

Referente al contenido de carbono en la biomasa aérea de las especies del MET, se obtuvieron 1.7 ton/ha de carbono en el estadio de 10, aumentando a 6.59 ton/ha en el estadio de 20 años, y 8.32 ton/ha en el estadio de 30 años; el área prístina presentó 9.58 ton/ha . Los resultados denotan la importancia del ecosistema “huizachal” como sumidero de carbono, ya que del primero al segundo estadio de sucesión, la productividad incrementó 74% , 10.86 tonB/ha y 4.89 tonC/ha .

Mediante el incremento observado de las variables de abundancia, dominancia, riqueza, diversidad, biomasa y contenido de carbono en los estadios sucesionales, la hipótesis es aceptada.

LITERATURA CITADA

- Alanís, E., J. Jiménez, O. Aguirre, E. Treviño, E. Jurado y M. González. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL*. 11(1):56-62.
- Diamond, D., Riskind, D., Orzell, S., 1987. A framework for plant community classification and conservation in Texas. *Texas Journal of Science* 39: 202-221.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2012. Nueva Ley DOF 06-06-12. Ley General de Cambio Climático.
- Estrada, E. y F. Marroquín. 1988. Leguminosas de Nuevo León: Sinopsis de las especies de Linares. Reporte Científico No. 9, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N. L. México. pp. 2-3.
- Estrada, E., C. Yen, A. Delgado y J. Villarreal. 2004. Leguminosas del centro del estado de Nuevo León, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*. 75(1):73-85.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA por sus siglas en inglés). 12p.
- Foroughbakhch, R. y D. Heiseke. 1990. Manejo silvícola del matorral: raleo, enriquecimiento y regeneración controlada. Reporte científico, FCF-UANL. 19:1-41.
- Foroughbakhch, R. y R. Peñaloza. 1988. Introducción de 10 especies forestales en el matorral del noreste de México. Reporte Científico No. 8, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N. L. México. 33 p.
- García, J. y E. Jurado. 2008. Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares N.L., México. *Ra Ximhai*. 4(1): 1-21.
- Gómez, A. 2000. Evaluación de áreas forestales de matorral utilizando un inventario multifásico. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N. L. México. 62 p.
- Gómez, A. 2000. Evaluación de áreas forestales de matorral utilizando un inventario multifásico. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N. L. México. 62 p.
- González, M. 1985. El límite sur de la provincia biótica tamaulipeco. II Simposio Internacional sobre la provincia biótica tamaulipeco, U.A.T. y U.N.A.M., Resúmenes. 7 p.

- Granados, D. y G. López. 2000. Sucesión ecológica. Dinámica del ecosistema. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Granados, D., Tapia, R. 1990. Comunidades vegetales. Universidad Autónoma de Chapingo. Colección de cuadernos Universitarios No. 19. pp. 27, 93-94.
- Harold, W., Hocker, Jr. 1984. Introducción a la Biología Forestal. Agt editor, S.A. Primera edición en español. México. pp 125-142.
- Heiseke, D. y R. Foroughbakhch. 1985. El matorral como recurso forestal: evaluación de dos tipos de matorral en la región de Linares, N. L. Reporte científico, FCF-UANL. 1:1-33.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza. pp. 21- 40.
- Jiménez, J. 2005. Manual de Dendrometría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Jiménez, J., E. Alanís, J. Ruiz, M. González, J. Yerena y G. Alanís. 2012. Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el noreste de México. Revista Ciencia UANL. 15(2):66-71.
- Jiménez, J., E. Alanís, M.A. González, O.A. Aguirre, E.J. Treviño y P.A. Canizales. 2013. Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thorn scrub, Mexico". The Southwestern Naturalist. in press.
- Kimmins, J. 2004. Forest Ecology. 65.p.
- Magurran, A. 2004. Measuring Biological Diversity. Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishing Company. Oxford, UK, pp. 256.
- Martínez, J. 1992. Evaluación de cuatro metodologías de inventario para *Prosopis laevigata* en el municipio de Linares, Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, U. A. N. L. Linares, N. L. pp 49-50.
- Martínez, M. y X. García. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas, Boletín de la Sociedad Botánica de México, junio, año/vol. Sup. Número 080. Sociedad Botánica de México A.C. Distrito Federal, México. pp. 69-84
- Medina, C. 1995. Fitodiversidad en relación al tamaño de fragmentos remanentes de matorral, en Linares, N. L. México. Tesis de

Licenciatura.Facultad de Ciencias Forestales, U. A. N. L. Linares, N. L. pp 1-6.

- Molina-Guerra, V.M., M. Pando-Moreno, E. Alanís-Rodríguez, P.A. Canizales-Velázquez, H.González-Rodríguez y J. Jiménez-Pérez. 2012. Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*.en prensa.
- Návar, J. 2008. Carbonfluxesresultingfromland-use changes in theTamaulipanthornscrub of northeasternMexico. *Carbon Balance and Management*, 3: 6 Doi 10.1186/1750-0680-3-6.
- Návar, J., Cavazos, T., Domínguez, P. 1994. Los balances hidrológicosmensuales con tres probabilidades de precipitación en el estado de NuevoLeón. *Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra. U.A.N.L.*
- Návar, J., E. Méndez and V. Dale. 2002. Estimating stand biomass in the tamaulipanthornscrub of northeastern Mexico. *Sciences*.pp 813-821.
- Návar, J., Mendez, E., Graciano, J., Dale, V. and Parresol, B. 2004.Biomass equations for shrub species of Tamaulipanthornscrub of northeastern Mexico.*Journal of AridEnvironments*, 59: 657-674.
- Pequeño, M., E. Alanís, J. Jiménez, M. González, J. Yerena, G. Cuellar y A. Mora. 2012.Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Ciencia UAT*. 24(2): 48-53.
- Rodríguez, R. 1994. Análisis de la fitodiversidad (Sinusias: arbórea y arbustiva)de dos comunidades de matorral espinoso tamaulipeco en Linares, NuevoLeón, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas,Universidad Autónoma de Nuevo León. 113 p.
- Rodriguez, R., J. Jiménez, O. Aguirre, E. Treviño y R. Razo. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*. 5:317-327.
- Romero, G. 1999. Caracterización ecológica y definición de esquemas de muestreo en el Matorral Espinoso Tamaulipeco del Noreste de México. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León.

- Romero, G. 1999. Caracterización ecológica y definición de esquemas de muestreo en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Tesis de Maestría, F.C.F., U.A.N.L. México. 65 p.
- Ruiz, L. 2005. Caracterización estructural del matorral espinoso tamaulipeco. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 87-93
- Rzedowski, J. 1981. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432
- Soto, A. 1991. Elaboración de una tarifa volumétrica para mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. Ex Willd.) en el Municipio de Linares, N. L. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. pp 18 - 26.
- Treviño, E., Akca, A., Návar, J., Jiménez, J., Aguirre O. 1996. Detection of land use change by satellite imagery in the municipality of Linares, Nuevo León México. Mem. of the Fifth International Conference on Desert Development the endless frontier. Texas Tech University. Lubbock, Texas.
- Villalón, H. 1989. Ein Beitrag zur Verwertung von Biomasseproduktion und deren Qualität für die forst- und landwirtschaftliche Nutzung des Matorrals in der Gemeinde Linares, N. L., Mexiko. Tesis doctoral. Georg-August-Universität Göttingen. pp 106-108.
- Villalón, H. 1992. Peso específico básico aparente y humedad de la madera de 26 especies del Matorral del Noreste de México. Reporte científico No. 28. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. pp 1-5.
- Woerner, M. 1991. Los suelos bajo vegetación de matorral del noreste de México descritos a través de ejemplos en el Campus Universitario de la U. A. N. L., Linares, N. L. Reporte Científico No. 22. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, N. L. México. pp 1-9.
- Yerena, J., J. Jiménez, E. Alanís, O. Aguirre y E. Treviño. 2011. Contenido de carbono en la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de suelo, en el matorral espinoso tamaulipeco. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 7(2): 1-77.