

Estructura, diversidad y estimación de carbono de un ecotono entre matorral espinoso tamaulipeco y submontano

Structure, diversity and carbon estimation of an ecotone between tamaulipan and submontane thorny scrub

Ana Karen Carranza-Guerrero¹, Eduardo Alanís-Rodríguez^{1*}, Ana María Patiño-Flores¹, Arturo Mora-Olivo², Víctor Manuel Molina-Guerra^{1,3}

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apdo. postal 41, CP. 67700. Linares, Nuevo León, México.

²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Instituto de Ecología Aplicada, División del Golfo 356, CP. 87019. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

³RENAC, S.A. de C.V. Corregidora 102 Nte, Col. Centro. CP. 67700. Linares, Nuevo León, México.

*Autor de correspondencia: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx

Nota científica

Recibida: 21 de marzo 2022

Aceptada: 21 de diciembre 2023

RESUMEN. El ecotono es de gran importancia dado los servicios ambientales que prestan tanto al ambiente como al ser humano. El objetivo fue conocer la estructura y la composición florística en una zona de contacto entre dos tipos de matorrales y conocer además el potencial que tiene como sumidero de carbono. Se determinaron los índices de valor de importancia, distribución vertical de especies, Margalef, Shannon y la diversidad verdadera de Shannon. Además de la biomasa, área total y la concentración de carbono. Se registraron 11 especies de plantas vasculares, la familia mejor representada fue Fabaceae. La especie *Cordia boisieri* tuvo el mayor índice de valor de importancia. La diversidad de la comunidad vegetal fue baja. El área total de copa fue de 4 276.03 m² ha⁻¹, con tres estratos de altura. El carbono almacenado fue de 2.82 Mg ha⁻¹, mientras que la biomasa aérea total fue de 567.15 kg ha⁻¹.

Palabras clave: Composición, disturbio, florística, transición, vegetación.

ABSTRACT. The ecotone is of great importance given the environmental services they provide both to the environment and to human wellbeing. The objective was to know the structure and floristic composition of a contact zone between two types of bushes and also to know the potential it has as a carbon sink. Importance value indices, vertical species distribution, Margalef, Shannon, and true Shannon diversity, as well as biomass, total area, and carbon concentration were determined. Eleven species of vascular plants were recorded, the best represented family was Fabaceae and *Cordia boisieri* was the species with the highest importance value index. The diversity of the plant community is low according to the Shannon index. The total canopy area was 4 276.03 m² ha⁻¹, while the vertical index of species defined three height strata. The stored carbon is 2.82 Mg ha⁻¹, while the total aerial biomass was 567.15 kg ha⁻¹.

Keywords: Composition, disturbance, floristics, transition, vegetation.

Como citar: Carranza-Guerrero AK, Alanís-Rodríguez E, Patiño Flores AM, Mora-Olivo A, Molina Guerra VM (2024) Estructura, diversidad y estimación de carbono de un ecotono entre matorral espinoso tamaulipeco y submontano. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(1): e3322. DOI: 10.19136/era.a11n1.3322.

INTRODUCCIÓN

Los matorrales constituyen las comunidades vegetales características de las zonas áridas y semiáridas de México (CONABIO 2023). Especialmente en la zona norte del país son comunes distintas variantes del llamado matorral xerófilo, de acuerdo con la clasificación propuesta por Rzedowski (2006). Entre los más comunes se encuentran el matorral desértico micrófilo, el desértico rosetófilo, el submontano y el espinoso tamaulipeco (Velázquez-Rincón *et al.* 2023).

Tanto el matorral submontano como el espinoso tamaulipeco, se distribuyen ampliamente en el noreste de México (Alanís-Rodríguez *et al.* 2015a). El primero principalmente en las laderas y lomeríos cercanos a la Sierra Madre Oriental y el segundo a lo largo de la Planicie Costera del Noreste (Alanís-Rodríguez *et al.* 2015b). Aunque ambos pueden llegar a combinarse formando ecotonos que estructural y florísticamente mantienen diferencias importantes como las especies dominantes y su altura total (Mora-Olivo *et al.* 2016).

En el caso del matorral submontano, los elementos leñosos alcanzan hasta 5 m, por lo general son inermes y suelen estar dominados por especies como *Helietta parvifolia*, *Cordia boissieri*, *Diospyros texana*, *Gochnatia hypoleuca* y *Neopringlea integrifolia*. Mientras que el matorral espinoso tamaulipeco es más bajo en su estrato superior (1 a 3 m), y tiene más arbustos espinosos como *Acacia rigidula*, *Celtis pallida*, *Prosopis* spp. y *Opuntia engelmannii* (Rzedowski 2006). Sin embargo, es interesante observar que un contingente de especies se comparte entre sí, por lo que es posible que dos matorrales formen ecotonos que indican la transición de la vegetación desde las zonas planas hasta las faldas de las montañas (Granados-Sánchez *et al.* 2003).

Los matorrales submontanos y espinosos son característicos de la vegetación natural en las regiones cercanas a las zonas montañosas de los estados de Nuevo León y Tamaulipas (Estrada-Castillón *et al.* 2012, Mora-Olivo *et al.* 2016). Las especies que los conforman representan una fuente importante de servicios ambientales ya que contribuyen a la captura de carbono (Petrie *et al.* 2015). Desafortunadamente, este tipo de cobertura vegetal se encuentra frecuentemente impactada por actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería, lo cual ha permitido la presencia de especies indicadoras de perturbación como *Acacia farnesiana* y *Parkinsonia aculeata* (Hernández-Cavazos *et al.* 2023).

Los matorrales submontanos como los espinosos tamaulipecos del noreste de México han sido ampliamente estudiados en diversos aspectos (Alanís-Rodríguez *et al.* 2015a, Reyna-González *et al.* 2021, Patiño-Flores *et al.* 2022). Sin embargo, pocos estudios han hecho énfasis en los ecotonos que se forman al coincidir diferentes comunidades vegetales (Mora-Olivo *et al.* 2016). Por esta razón, el presente trabajo tuvo como objetivo conocer la estructura y la composición florística en una zona de contacto entre dos tipos de matorrales y conocer además el potencial que tiene como sumideros de carbono.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el ejido El Avileño, dentro del municipio de Linares, Nuevo León en las coordenadas 24° 50' 23" LN y 099° 14' 40" LO. La zona tiene una temperatura media anual de 23.5°C (CONAGUA 2010) y una precipitación total anual promedio de 745 mm. El suelo puede ser del tipo calcisol o vertisol (INEGI 2021).

Para la presente investigación se establecieron 10 sitios de muestreo de 200 m², en cada uno se realizó un censo de todos los arbustos con un diámetro basal mayor a 5 cm midiéndoles el diámetro basal, altura total y diámetro de la copa. Las especies fueron determinadas por personal calificado de la Universidad Autónoma de Nuevo León usando la guía de especies características del matorral espinoso tamaulipeco.

Para cada especie, se determinó la abundancia con base en el número de individuos, dominancia en función del área basal y frecuencia por los sitios de muestreo. Con estos resultados se obtuvo el valor ponderado a nivel taxon denominado índice de Valor de Importancia (IVI), el cual adquiere valores porcentuales en una escala de 0 a 100 (Alanís-Rodríguez *et al.* 2020).

La estructura vertical se determinó mediante el índice de distribución vertical de especies (A), este índice presenta valores entre 0 y un valor máximo (A_{max}). Cuando A = 0 sugiere que una sola especie se registra en un solo estrato. A_{max} se logra cuando todas las especies tienen la misma proporción en la comunidad como en los tres estratos (Pretzsch 2009). Para facilitar la interpretación se estima el valor de Arel, el cual adquiere valores porcentuales de 0 a 100, donde valores altos indican que todas las especies tienen la misma proporción en la comunidad como en los tres estratos. El índice representa tres estratos basados en la altura máxima registrada en la comunidad. Estrato I alturas que van del 80 al 100%, el árbol más alto es el 100% y de este se establecen las proporciones para los siguientes árboles, estrato II alturas que van del 50 al 80% y estrato III va del 0 al 50% (Pretzsch 2009).

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p_{ij}$$

$$A_{max} = \ln (S * Z)$$

$$Arel = \frac{A}{\ln (S * Z)} * 100$$

Donde: S = número de especies presentes, Z = número de estratos de altura, P_{ij} = porcentaje de especies en cada zona y se estima mediante la siguiente ecuación: p_{ij} = n_{ij}/N; donde n_{ij} = número de individuos de la misma especie (i) en la zona (j) y N = número total de individuos.

Se calcularon dos índices de diversidad: Margalef (DMg) y Shannon-Wiener (H'). El primero estima la diversidad con base en la riqueza específica de especies, mientras que Shannon-Wiener (H') toma en cuenta la abundancia de las especies (Magurran 1988, Baev y Penev 1995). Las fórmulas se describen a continuación:

$$DMg = \frac{(S - 1)}{\ln (N)}$$

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

$$P_i = n_i/N$$

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

Además, se estimó la diversidad verdadera de orden 1 (1D) mediante el exponencial de Shannon (Jost 2006):

$$1D = \exp(H') = \exp \left[\sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i) \right]$$

Para calcular el carbono almacenado se estimó la biomasa área por medio de la ecuación alométrica desarrollada por Nívar *et al.* 2004 para especies del matorral espinoso tamaulipeco ($r^2=0,80$):

$$BT = 0.026884 + 0.001191 * d2h + 0.044529 * d - 0.01516 * h + (1.025041 + 0.023663 * d2h - 0.17071h - 0.09615 * \ln(h)) + (- 0.43154 + 0.011037 * d2h + 0.113602 * d + 0.307809 * \ln(d))$$

Donde: BT = biomasa aérea total (kg), d = diámetro basal (cm), h = altura total (m). Una vez calculada la biomasa aérea total, la concentración de carbono se determinó con el 45.4% del valor de la biomasa, de acuerdo con Yerena-Yamallel *et al.* (2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron 11 especies arbóreas y arbustivas de cinco familias, siendo Fabaceae la de mayor número de especies con seis seguida por Rutaceae con dos especies. La riqueza específica de 11 especies fue la misma cantidad que lo registrado por Alanís *et al.* (2008) en una comunidad de matorral espinoso tamaulipeco (MET) regenerado después de actividad pecuaria. Esta riqueza de especies es baja comparada con comunidades vegetales del MET y del matorral submontano sin disturbio, donde la riqueza específica suele ser mayor a 20 especies (Mora *et al.* 2013, Canizales-Velázquez *et al.* 2009, Estrada-Castillón *et al.* 2012). Esta baja riqueza específica también fue registrada por Reyna-González *et al.* (2021) y Pequeño *et al.* (2021) quienes evaluaron zonas de ecotono entre matorral espinoso tamaulipeco y submontano, lo que indica que en estas localidades se presentan escasas especies.

La familia que presentó el mayor número de especies fue Fabaceae la cual ha sido reportada en diversos estudios realizados de matorrales en el norte de México, donde indican que es la que presenta el mayor número de especies en comunidades vegetales conservadas, secundarias y restauradas (Estrada *et al.* 2004, Jiménez *et al.* 2013, Marroquín-Castillo *et al.* 2017, Alanís *et al.* 2021). El alto número de especies de la familia Fabaceae se atribuye a la plasticidad ecológica del grupo, que contiene especies con diferentes tamaños de semillas, tipos de latencia, tasas de germinación (Jurado *et al.* 2000), tasas y patrones de crecimiento (Foroughbakhch *et al.* 2014) y tolerancia a la escasez de agua y nitrógeno (Domínguez *et al.* 2013, González-Rodríguez *et al.* 2011).

La comunidad presentó una densidad de 560 individuos ha^{-1} , siendo *Cordia boissieri* la especie dominante con 285 individuos ha^{-1} , seguida por *Havardia pallens* con 105 individuos ha^{-1} .

El área de copa fue de 4 276.03 m² ha⁻¹, mientras que por especie *Cordia boissieri* y *Havardia pallens* sobresalen con el 61% del total para el área. *Cordia boissieri* fue la especie con el mayor IVI con un 41.91%, seguida de *Havardia pallens* 18.43% y *Acacia rigidula* 13.90% (Tabla 1).

Tabla 1. Índice de valor de importancia (IVI) para las especies registradas en el área de estudio.

Familia	Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI
		N ha ⁻¹	A rel	m ² ha ⁻¹	Dr _i	Fr	Fr _i	
Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	10	1.79	44.90	1.05	2	5.41	2.75
Fabaceae	<i>Acacia rigidula</i> Benth.	60	10.71	400.78	9.37	8	21.62	13.9
Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	10	1.79	44.90	1.05	2	5.41	2.75
Boraginaceae	<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	285	50.89	2044.30	47.81	10	27.03	41.9
Ebenaceae	<i>Diospyros texana</i> Scheele	15	2.68	158.34	3.70	1	2.70	3.03
Fabaceae	<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele	15	2.68	70.77	1.66	2	5.41	3.25
Zygophyllaceae	<i>Guaicum angustifolium</i> Engelm.	10	1.79	39.53	0.92	1	2.70	1.80
Fabaceae	<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	105	18.75	869.27	20.33	6	16.22	18.4
Rutaceae	<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray ex Hemsl.) Benth.	45	8.04	259.89	6.08	4	10.81	8.31
Fabaceae	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	5	0.89	234.04	5.47	1	2.70	3.02
Fabaceae	<i>Prosopis leavigata</i> (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) M.C. Johnst.	5	0.89	119.44	2.79	1	2.70	2.13
Rutaceae	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	5	0.89	34.76	0.81	1	2.70	1.47
	Suma	560	100	4276	100	37	100	100

A rel= Abundancia relativa, Dr_i= Dominancia relativa, Fr= Frecuencia absoluta, Fr_i= Frecuencia relativa.

La comunidad vegetal presentó una abundancia absoluta de 560 individuos ha⁻¹, valor muy por debajo de los registrados para matorrales con reportes de 3 000 (Canizales-Velázquez et al. 2009, Alanís-Rodríguez et al. 2015a) individuos ha⁻¹. Esta baja abundancia es debido a que en este estudio se consideraron arbustos con diámetro del fuste mayor de 5 cm, mientras en otros estudios se consideran mayor 3 cm (Reyna-González et al. 2021, Pequeño et al. 2021).

La especie que presentó la mayor abundancia absoluta fue *Cordia boissieri* con 285 indiv ha⁻¹. Canizales-Velázquez et al. (2009) y Alanís-Rodríguez et al. (2015a) indican que esta especie presenta valores de abundancia superiores a los 200 indiv ha⁻¹ en el matorral submontano de la Sierra Madre Oriental. La segunda especie con mayor abundancia absoluta fue *Havardia pallens*, especie característica del matorral espinoso tamaulipeco (Alanís et al. 2008, Canizales-Velázquez et al. 2009, Mora et al. 2013, Reyna-González et al. 2021).

La dominancia se obtuvo mediante el área de copa, que fue 4 276 m² ha⁻¹. Al respecto, Mora et al. (2013), Canizales-Velázquez et al. (2009) y Alanís-Rodríguez et al. (2021) evaluaron comunidades del matorral xerófilo del noreste de México, las cuales presentan valores iguales o superiores a los 10 000 m² ha⁻¹, lo que indica que son comunidades con cobertura del 100% y con sobreposición de copas. Los valores bajos de área de copa de la comunidad evaluada podrían estar asociados al igual que la abundancia a que los arbustos que se consideraron fueron los que presentaron un diámetro de fuste mayor de 5 cm, mientras en otros estudios se consideran mayor 3 cm (Reyna-González et al. 2021, Pequeño et al. 2021).

Mediante el índice de distribución vertical (A) se definieron tres estratos de altura. Estrato I (6.5 – 5 m) con 65 individuos ha⁻¹, conformado por *Havardia pallens*, *Diospyros texana*, *Helietta*

parvifolia, *Acacia farnesiana* y *Acacia rigidula*; estrato II (5 - 3 m) donde se encuentran *Acacia farnesiana*, *Acacia rigidula*, *Cordia boissieri*, *Eysenhardtia texana*, *Guaiacum angustifolium*, *Havardia pallens*, *Helietta parvifolia*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis leavigata* y *Zanthoxylum fagara* con 315 individuos ha^{-1} ; estrato III (< 3 m) con 180 individuos ha^{-1} , que incluyó a *Acacia farnesiana*, *Acacia rigidula*, *Cordia boissieri*, *Eysenhardtia texana* y *Helietta parvifolia*. Los valores obtenidos para A fueron de 2.23, Amax 3.49 y Arel de 63.77.

Los valores de A de 2.23, Amax de 3.49 y Arel del 63.77 son menores a los de Sarmiento et al. (2019) con A de 2.88, Amax de 3.93 y Arel del 73% para una comunidad con actividad agroforestal en el matorral espinoso tamaulipeco, pero mayores a los de Mora et al. (2014) con un A de 2.04, Amax de 3.08 y Arel de 53.8% para un matorral desértico micrófilo. Estos resultados indican que la comunidad vegetal presenta dos estratos de altura (medio y bajo) bien definidos y uno (estrato alto) con menos individuos y especies. Los resultados de este estudio y de los dos citados indican que las comunidades vegetales de estos matorrales xerófilos están conformadas por una intermedia e intermedia-alta proporción de especies de arbustos que se encuentran en los tres estratos de altura.

Se obtuvo un valor del índice de Margalef de 2.11. El índice de Shannon-Wiener fue de 1.56, mientras que, la diversidad verdadera fue de 4.75. Los valores obtenidos en los índices de diversidad fueron más bajos a los registrados por Molina et al. (2014), Mora-Olivo et al. (2016), y Alanís-Rodríguez et al. (2021), quienes evaluaron comunidades vegetales xerófilas del noreste de México y registraron valores de Margalef superiores a 3.00, de Shannon mayores de 2.80 y del índice de diversidad verdadera de Shannon superiores a 16.00. Estos valores bajos de los índices de diversidad están asociados a dos factores, por una parte, la baja riqueza de especies y la otra la alta abundancia de una o dos especies y la escasa abundancia del resto de especies (Alanís-Rodríguez et al. 2020).

La biomasa aérea fue de 5 667.15 kg ha^{-1} , el carbono almacenado fue 2.82 Mg ha^{-1} . Las especies que mayor biomasa aérea, así como almacenamiento de carbono fueron: *Cordia boissieri* con 3 511.38 Kg ha^{-1} y 1.65 C Mg ha^{-1} y *Havardia pallens* con 628.54 Kg ha^{-1} y 0.37 C Mg ha^{-1} . Mientras que las que menor almacenamiento presentaron fueron: *Eysenhardtia texana* y *Zanthoxylum fagara* (Tabla 2). El almacenamiento de carbono registrado en el área es menor a lo registrado en otros estudios para el matorral espinoso tamaulipeco, donde se han reportado valores de 47.43, 12.93, 36.75, 44.40, 48.40 y 25 Mg ha^{-1} para áreas de matorral con diferente composición de especies (Návar et al. 2002, 2004, 2008; Yerena-Yamallel et al. 2011 y Patiño et al. 2019). En áreas de plantación de 2 años con especies del matorral espinoso se registraron valores de 2.50 Mg ha^{-1} de carbono y 5.57 Mg ha^{-1} de biomasa total (Patiño et al. 2019), así como en áreas con diferente uso se encontró un almacenamiento de carbono de 4.67 y 2.28 (Yerena-Yamallel et al. 2011) lo cual es similar a lo encontrado en este estudio para un área de ecotono entre el matorral espinoso tamaulipeco y el matorral submontano. Valores muy variados registrados en otras comunidades se debe a la composición de especies, mientras que en otros estudios destacan especies como *Prosopis glandulosa*, *Acacia farnesiana*, *Cercidium macrum* entre otras leguminosas de porte arbóreo y con características dasométricas importantes (Patiño et al. 2019). Mientras que en el área evaluada las especies dominantes fueron *Cordia boissieri* y *Havardia pallens* quienes presentan diámetros y alturas menores a las especies antes mencionadas.

Tabla 2. Características dasométricas, biomasa total (Mg ha⁻¹) y Carbono (Mg ha⁻¹) de las comunidades vegetales del área de estudio.

Especie	Individuos (ha ⁻¹)	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	BT (Kg ha ⁻¹)	CO ₂ (Mg ha ⁻¹)
<i>Acacia farnesiana</i>	10	6.8	2.4	30.62	0.02
<i>Acacia rigidula</i>	60	6.0	3.3	103.86	0.098
<i>Cordia boissieri</i>	285	9.3	3.0	3511.38	1.65
<i>Diospyros texana</i>	15	12.4	6.1	566.55	0.25
<i>Eysenhardtia texana</i>	15	5.2	3.2	0.03	0.01
<i>Guaiaacum angustifolium</i>	10	9.2	3.9	140.18	0.06
<i>Havardia pallens</i>	105	7.1	4.1	628.54	0.37
<i>Helietta parvifolia</i>	45	7.3	4.3	296.99	0.18
<i>Parkinsonia aculeata</i>	5	16.3	5.0	251.67	0.11
<i>Prosopis leavigata</i>	5	13.1	4.1	137.32	0.06
<i>Zanthoxylum fagara</i>	5	5.7	4.8	0.02	0.01
Sumatoria y promedios	560	8.9	4.0	5667.15	2.82

El área de ecotono entre el matorral espinoso tamaulipeco y matorral submontano evaluada presentó valores bajos de riqueza de especies, abundancia y diversidad respecto a otras comunidades. Referente al carbono almacenado, presentó similitudes con comunidades que han registrado diferentes usos de suelo. Las especies con mayor índice de valor de importancia fueron *Cordia boissieri*, *Havardia pallens* y *Acacia rigidula*.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- 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* 11(1):56-62. https://www.redalyc.org/pdf/402/4_02111110.pdf
- Alanís-Rodríguez E, Mora-Olivo A, Marroquín-de-la-Fuente JS (2020) Muestreo ecológico de la vegetación. Editorial Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 245p.
- Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, González-Rodríguez H, Canizalez-Velázquez PA, Mora-Olivo A, Mata-Balderas JM, Hernández-Salas J (2015a) Composition, structure and diversity of shrublands in central Nuevo Leon, Mexico. *Botanical Sciences* 93(2): 1-11. <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.60>
- Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, Mora-Olivo A, Martínez-Ávalos JG, Mata-Balderas JM, Chávez-Costa AC, Rubio-Camacho EA (2015b) Estructura y diversidad del matorral submontano contiguo al Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. *Acta Botanica Mexicana* 113: 1-19. <https://doi.org/10.21829/abm113.2015.1093>

- Alanís-Rodríguez E, Molina-Guerra VM, Collantes-Chavéz-Costa A, Buendía-Rodríguez E, Mora-Olivo A, Sánchez-Castillo L, Alcalá-Rojas AG (2021) Structure, composition and carbon stocks of woody plant community in assisted and unassisted ecological succession in a Tamaulipan thornscrub, Mexico. *Revista Chilena de Historia Natural* 94: 6. <https://doi.org/10.1186/s40693-021-00102-6>
- Baev PV, Penev LD (1995) BIODIV: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis. Versión 5.1. Pensoft. Sofia, Moscow. 57p.
- Canizales-Velázquez PA, Alanís-Rodríguez E, Aranda-Ramos, Mata-Balderas JM, Jiménez-Pérez J, Alanís-Flores G, Uvalle-Sauceda JI, Ruíz-Bautista MG (2009) Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15 (2): 115-120.
- CONABIO (2023) Matorrales. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/Matorral.html>. Fecha de consulta: 10 de noviembre 2023.
- CONAGUA (2010) Información Climatológica por Estado. Comisión Nacional del Agua. Nuevo León. Sitio web: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=nl>. Fecha de consulta: 11 de febrero de 2022.
- Domínguez GT, González H, Ramírez R, Estrada E, Cantú I, Gómez M, Villarreal J, Alvarado S, Alanís G (2013) Diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco durante las épocas seca y húmeda. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4(17): 106-22.
- Estrada E, Yen C, Delgado A, Villarreal A (2004) Leguminosas del centro del estado de Nuevo León, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 75: 73–85.
- Estrada-Castillón E, Villarreal-Quintanilla, Jurado-Ybarra E, Cantú-Ayala C, García-Aranda M, Sánchez-Salas J, Jiménez-Pérez J, Pando-Moreno M (2012) Clasificación, estructura y diversidad del matorral submontano adyacente a la planicie costera del Golfo Norte en el noreste de México. *Botanical Sciences* 90: 37-52.
- Foroughbakhch R, Hernández-Piñero JL, Carrillo-Parra A (2014) Adaptability, growth and firewood volume yield of multipurpose tree species in semiarid regions of Northeastern Mexico. *International Journal of Agricultural Policy and Research* 2(12): 444-453.
- González-Rodríguez H, Cantú I, Ramírez RG, Gómez MV, Pando M, López JM (2011) Potencial hídrico xilemático en cuatro especies arbustivas nativas del noreste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17: 97–109.
- Granados-Sánchez D, Sánchez-González A (2003) Clasificación fisonómica de la vegetación de la Sierra de Catorce San Luis Potosí a lo largo de un gradiente altitudinal. *Terra* 21: 321-332.
- Hernández-Cavazos MC, Sandoval-García R, Molina-Guerra VM, Alanís-Rodríguez E (2023) Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en el municipio de Linares, Nuevo León. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(2) e3743. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3743>
- INEGI (2021) Carta de edafología. Escala 1: 250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mexico.
- Jiménez J, Alanís E, González MA, Aguirre OA, Treviño EJ (2013) Characterizing regeneration of woody species in areas with different land-history tenure in the Tamaulipan thornscrub Mexico. *The Southwestern Naturalist* 58(3): 299–304.
- Jost L (2006) Entropy and diversity. *Oikos* 113: 363-375.
- Jurado E, Aguirre O, Flores J, Návar J, Villalón H, Wester D (2000) Germination in tamaulipan thornscrub of north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 46: 413–24.
- Magurran AE (1988) *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. New Jersey. 179p.
- Marroquín-Castillo JJ, Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, Aguirre-Calderón OA, Mata-Balderas JM, Rubio-Camacho EA, Chávez-Costa AC (2017) Composición florística y diversidad de un área restaurada post-minería en el matorral espinoso tamaulipeco. *Acta Botánica Mexicana*. 120: 7–20.
- Molina VM, Rechy L, Alcalá A, Marín D, Alanís E (2014) Composición y diversidad vegetal del matorral mediano subinermes del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(5): 111-119.
- Mora CA, Alanís E, Jiménez J, González MA, Yerena JI, Cuellar LG (2013) Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada* 12(1): 29-34.
- Mora CA, Rubio EA, Alanís E, Jiménez J, González MA, Mata, JM, Mora A (2014) Composición y diversidad vegetal de un área de matorral desértico micrófilo con historial pecuario en el Noreste de México. *Polibotánica* 38: 53-66.

- Mora-Olivo A, Alanís-Rodríguez E, Marroquín-Castillo JJ, Sarmiento-Muñoz TI, Martínez-Ávalos JG, Garza-Ocañas F, Torres-Castillo JA (2016) Structure and diversity of a submontane scrub Community in Tamaulipas, Mexico. *Interciencia* 41(11): 769-773.
- Návar J, Mendez E, Dale V (2002) Estimating stand biomass in the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Annals of Forest Science* 59: 813-821.
- Návar J, Mendez E, Graciano J, Dale V, Parresol B (2004) Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 59: 657-674.
- Návar J (2008) Carbon fluxes resulting from land-use changes in the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Carbon Balance and Management* 3: 6 <https://doi.org/10.1186/1750-0680-3-6>.
- Patiño AM, Alanís Rodríguez E, Molina Guerra VM, González Rodríguez H, Jurado E, Aguirre Calderón OA (2019) Almacenamiento de carbono en la reserva ecológica de Ternium en Pesquería, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(54): 39-57.
- Patiño-Flores AM, Alanís-Rodríguez E, Molina-Guerra VM, Jurado E, González-Rodríguez H, Aguirre-Calderón OA (2022) Estructura y diversidad de especies leñosas del matorral espinoso tamaulipeco en una reserva ecológica del noreste de México. *e-CUCBA* (18)9: 1-11.
- Pequeño MA, Alanís E, Molina VM, Chávez-Costa A, Mora A (2021) Estructura y diversidad de un matorral dominado por *Helietta parvifolia* (A. Gray ex Hemsl.) Benth. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(63). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.762>
- Petrie MD, Collins SL, Swann SM, Ford PL, Litvak ME (2015) Grassland to shrubland state transitions enhance carbon sequestration in the northern Chihuahuan Desert. *Global Change Biology* 21(3): 1226-1235.
- Pretzsch H (2009) *Forest dynamics, growth and yield. From measurement to model.* Springer-Verlag. Berlín Heidelberg, Alemania. 664p.
- Reyna-González Á.M, Soto-Borrego PS, Alanís-Rodríguez E, Molina-Guerra VM, Chávez-Costa A (2021) Estructura y diversidad del matorral xerófilo en el noreste de México. *Polibotánica* 51: 107-122.
- Rzedowski J (2006) *Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504p.*
- Sarmiento-Muñoz TI, Alanís-Rodríguez E, Mata-Balderas JM, Mora-Olivo A (2019) Estructura y diversidad de la vegetación leñosa en un área de matorral espinoso tamaulipeco con actividad pecuaria en el noreste de México. *Ciencia UAT* 14(1): 31-44.
- Velázquez-Rincón R, Alanís-Rodríguez E, Patiño-Flores AM, Mora-Olivo A, Delgadillo-Villalobos JA (2023) Composición de especies vegetales en un matorral desértico rosetófilo del norte de Coahuila, México. *CienciaUAT* 17(2): 37-51.
- Yerena-Yamallel JI, Jiménez-Pérez J, Aguirre-Calderón OA, Treviño-Garza EJ (2011) Concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2): 283-291.