

BASE DE DATOS SOBRE ALMACENES Y FLUJOS DE CARBONO EN LOS MATORRALES Y PASTIZALES XERÓFILOS DE MÉXICO

DATABASE OF CARBON STOCKS AND FLUXES IN DESERT SHRUBLANDS AND GRASSLANDS OF MEXICO

Oscar Briones¹‡, Yareni Perroni², Alejandro E. Castellanos³, Israel Estrada-Contreras², Angelina Martínez-Yrizar⁴, Yolanda Maya⁵, Noé M. Montañó⁶, Numa Pavón⁷ y Enrico A. Yepez⁸

¹Instituto de Ecología, A.C., Carretera Antigua a Coatepec No. 351, El Haya, C.P. 91070, Xalapa, Veracruz, México.

²Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana, Av. de las Culturas Veracruzanas 101, Col. Emiliano Zapata, C.P. 91090, Xalapa, Veracruz, México.

³Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, Blvd. Luis Donaldo Colosio y Reforma, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

⁴Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Colosio y Sahuaripa, C.P. 83250, Hermosillo, Sonora, México.

⁵Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, C.P. 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

⁶Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, C.P. 09340, Ciudad de México.

⁷Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, A.P. 69, C.P. 42000, Pachuca, Hidalgo, México.

⁸Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero Sur 818 Centro, C.P. 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México.

‡Autor para correspondencia: oscar.briones@inecol.mx

RESUMEN

Los matorrales y pastizales xerófilos presentan de relativamente bajo a moderado contenido de carbono en la biomasa y el suelo, pero pueden tener un efecto significativo para contrarrestar el cambio climático al absorber las emisiones de CO₂ de la atmósfera, ya que ocupan más de un tercio de la superficie terrestre global y más de la mitad de México. Con el objetivo de evaluar la contribución de los matorrales y pastizales xerófilos al secuestro y emisión de carbono, se compiló una base de datos con 68 estudios con información sobre los almacenes y flujos de carbono en publicaciones indizadas, no indizadas, tesis, capítulos de libro e informes técnicos. Los estudios se organizaron en los temas: biomasa, productividad primaria, producción de hojarasca, respiración del suelo y descomposición. Todos los estudios localizados se realizaron entre 1980 y 2018 y más del 80% se produjo en el presente siglo. Más de 70% de los estudios fueron artículos revisados por pares y realizados en las Universidades Públicas y Centros Públicos de Investigación. Los estudios sobre biomasa fueron los más frecuentes y, casi el doble, en comparación con los estudios sobre productividad primaria. Aunque la información es escasa, los valores de carbono en la biomasa sitúan a los matorrales y pastizales xerófilos en un lugar intermedio entre los desiertos norteamericanos y el bosque tropical seco. Con base en los resultados observados, se considera necesario y urgente incrementar la inversión en ciencia básica y formación de recursos humanos para acrecentar el conocimiento científico sobre el ciclo del carbono, servicios y sustentabilidad de los ecosistemas. Particularmente, es recomendable profundizar en el conocimiento del contenido, tiempo de residencia y procesos de transferencia del carbono, entre los almacenes del carbono dentro de los matorrales y pastizales xerófilos.

Palabras clave: biomasa; carbono; descomposición; desiertos; hojarasca; productividad; mineralización; respiración del suelo.

ABSTRACT

Xerophilous scrubs and grasslands contain relatively low to moderate carbon content in biomass and soil, but can have a significant effect in counteracting climate change by absorbing CO₂ emissions into the atmosphere, since they occupy more than one third of the terrestrial global surface and more than half of Mexico. A database was compiled with 68 studies with data on carbon biomass reservoirs and flows in indexed, non-indexed publications, theses, book chapters and technical reports. The studies were classified by biomass, primary productivity, litterfall production, soil respiration and decomposition. All local or experimental studies were conducted between 1980 and 2018 and more than 80% occurred in the present century. More than 70% of the studies were articles reviewed by peers and carried out in Public Universities and Public Research Centers. Studies on biomass were the most frequent and almost double compared to studies on primary productivity. Although the information is scarce, the carbon values in the biomass place xerophilous scrubs and grasslands in an intermediate site between the North American deserts and the Dry Tropical Forest. It is necessary and urgent to increase investment in basic science and training of human resources to increase scientific knowledge about the carbon cycle, ecosystem services and sustainability. In particular, it is advisable to deepen knowledge of the content, residence time and carbon transfer processes between the carbon reservoirs of xerophilous scrubs and grasslands.

Key words: biomass; carbon; decomposition; deserts; litterfall; productivity; mineralization; soil respiration.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento del ciclo global del carbono en los matorrales y pastizales xerófilos es muy importante dada su relación con el cambio climático asociado al incremento antropogénico de CO₂ atmosférico (Schlesinger, 1984). Dependiendo de la variación ambiental y los cambios en el uso del suelo, los ecosistemas se pueden convertir en sumideros o fuentes de CO₂ a la atmósfera (Ahlström *et al.*, 2015; Murray-Tortarolo *et al.*, 2016). Los ecosistemas de México, en su conjunto, posiblemente se han comportado como fuente y también como sumidero de carbono en décadas pasadas (Murray-Tortarolo *et al.*, 2016).

Los matorrales y pastizales xerófilos contienen relativamente bajo a moderado contenido de carbono en la biomasa y suelo, pero pueden tener un efecto significativo para contrarrestar el cambio climático al absorber las emisiones de CO₂ de la atmósfera, ya que ocupan más de una tercera parte de la superficie terrestre global (Lal, 2004) y más de la mitad en México (CONAFOR, 2018).

Los matorrales xerófilos de las zonas áridas y semiáridas son las formaciones vegetales más ampliamente distribuidas en México, cubriendo 26.1% y 14.7% de la superficie forestal, respectivamente; mientras que las formaciones de otras superficies forestales, en donde se incluye a los pastizales xerófilos, cubren 11% de la superficie forestal (CONAFOR,

2018). Los matorrales xerófilos cubren grandes extensiones de la península de Baja California y de las planicies y montañas bajas de Sonora, la mayor parte del Altiplano, norte y este de la Sierra Madre Oriental, en las planicies costeras de Tamaulipas y Nuevo León y algunas porciones discontinuas de Hidalgo, Puebla y Oaxaca. Los pastizales xerófilos son frecuentes en las regiones planas del noroeste de Sonora y occidente del Altiplano, desde Chihuahua hasta Jalisco y Guanajuato (INEGI, 2017).

En este trabajo se presenta la documentación de la base de datos de citas bibliográficas, de datos de los almacenes y flujos de carbono en los matorrales y pastizales xerófilos de México documentados en publicaciones indizadas, no indizadas, tesis, capítulos de libro e informes técnicos. En trabajos previos de síntesis se han analizado en Montaña *et al.* (2016) y Briones *et al.* (2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda de los artículos, libros, memorias en extenso, tesis e informes técnicos en las bases de datos de: Web of Science (WoS, Institute for Scientific Information (ISI), <https://apps.woebofknowledge.com>), Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (<http://www.redalyc.org/>), Scientific Electronic Library Online Mexico (<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?lng=es>),

Red Mexicana de Repositorios Institucionales (<http://www.remeri.org.mx/portal/index.html>) y Google Académico (<https://scholar.google.com.mx/>). Las palabras clave utilizadas en español e inglés fueron productividad, biomasa, hojarasca, descomposición, respiración de suelo, mineralización de carbono, desierto, zona árida, México. Los documentos se clasificaron por tipo de publicación: revistas, revistas indizadas en WoS, libros y capítulos de libro, memorias en extenso, informes técnicos, tesis y, tema (biomasa, productividad, hojarasca, respiración del suelo y descomposición). Se capturó la información en bases de datos para su análisis y diagnóstico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A pesar de que cubren más de la mitad del territorio nacional y de la importancia ecológica y económica, los trabajos a escala local y nacional sobre el almacén de carbono en la biomasa vegetal y flujo de carbono en los ecosistemas de matorrales y pastizales xerófilos son sumamente escasos. Se encontraron 68 documentos, sobresaliendo que el 72% fueron artículos revisados por pares anónimos y que más de la mitad correspondieron a publicaciones indizadas en WoS (Figura 1). El resto de los documentos estuvo repartido en capítulos de libro, tesis de licenciatura y posgrado, e informes técnicos.

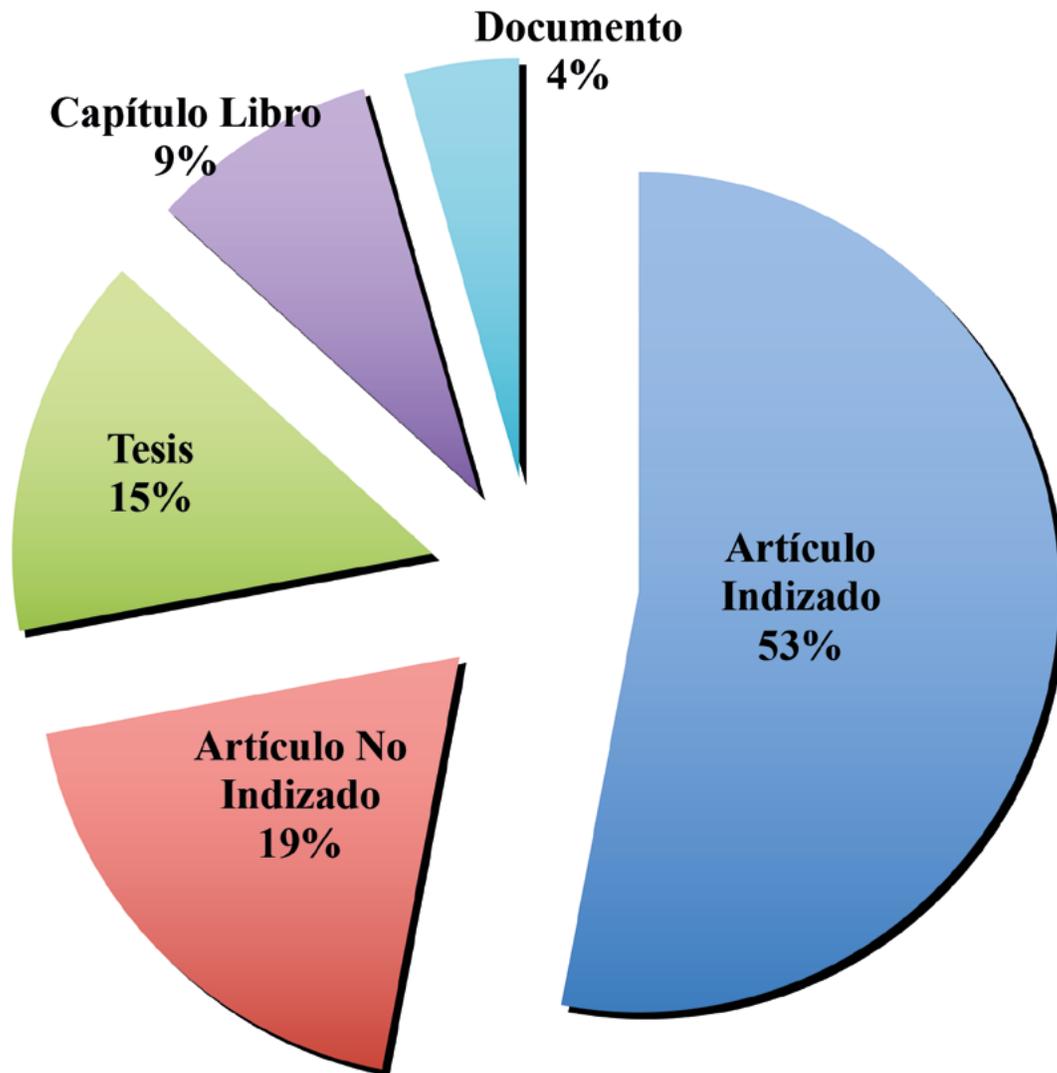


Figura 1. Porcentaje de publicaciones con datos de biomasa, productividad primaria, producción de hojarasca, descomposición y respiración del suelo en los matorrales y pastizales xerófilos de México.

Almacén de carbono

La biomasa vegetal aérea ha sido el almacén de carbono más estudiado en los matorrales y pastizales xerófilos (Figura 2). En los 28 estudios (37%) que han cuantificado la biomasa en estudios locales, 23 tuvieron datos de la parte aérea; mientras que 11 tuvieron información de la biomasa radical. El porcentaje de estudios con información sobre productividad primaria, producción de hojarasca y respiración del suelo fue similar (17-19 %). La cosecha directa de la biomasa de las plantas de una parcela y/o su estimación con ecuaciones alométricas, fueron los métodos utilizados para estimar la biomasa aérea. Recientemente, Perroni *et al.* (2018) compilaron las ecuaciones alométricas para las especies de las zonas áridas y semiáridas que crecen en los matorrales y pastizales de México. El esfuerzo de muestreo en los estudios de la biomasa aérea ha sido muy variable, dado que las estimaciones se basaron en un solo cuadro de 600 m² y, el resto, desde tres hasta 22 cuadros de 25 m² por sitio; mientras que la cuantificación de la biomasa de las raíces se ha basado en la extracción de monolitos y cilindros de suelo (Briones *et al.*, 2018). De acuerdo con la descripción de las condiciones ambientales y/o la presencia de especies características y/o las coordenadas geográficas, fue posible ubicar a los sitios experimentales de los estudios locales en los tipos de vegetación *sensu* INEGI (2017).

El Matorral Desértico Micrófilo fue el ecosistema mayormente estudiado, con 15 sitios localizados en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Hidalgo y Nuevo León, seguido con nueve sitios por el Matorral Espinoso Tamaulipeco, todos en Nuevo León, con cinco sitios por el Matorral Crasicaule en cuatro estados y con tres sitios por el Matorral Submontano, también en cuatro estados (Cuadro 1, Figura 3). El Matorral Desértico Rosetófilo, Bosque de Mezquite y Vegetación de Galería se estudiaron solamente en un sitio. Para los ecosistemas con pastizales xerófilos solamente se encontraron datos de biomasa para cinco sitios. Cabe resaltar que no se localizaron sitios para la estimación de la biomasa en los estados con la mayor extensión de pastizales en México, es decir, en Chihuahua y Durango. Para el Pastizal Natural se encontraron tres estudios con datos de biomasa en Sonora, Coahuila y Jalisco y, solamente un sitio en el Pastizal Gipsófilo y otro sitio para el Pastizal Halófilo, en Coahuila y México (Cuadro 1, Figura 4). La biomasa y el contenido de carbono durante la regeneración natural de los matorrales xerófilos, después del abandono del agostadero o cultivo agrícola, solamente se estimó para una región con Matorral Espinoso Tamaulipeco en el noreste de México y solamente para un sitio con distinta condición de pastoreo en pastizales xerófilos de Jalisco.

Cuadro 1. Número de sitios por clase de vegetación USyV (INEGI, 2017).

USyV	Tipo de Vegetación	Número de Sitios
Carbono y Biomasa		
MDM	Matorral Desértico Micrófilo	15
VG	Vegetación de Galería	1
BM	Bosque de Mezquite	1
MDR	Matorral Desértico Rosetófilo	1
MC	Matorral Crasicaule	5
MSM	Matorral Submontano	3
MET	Matorral Espinoso Tamaulipeco	9
PY	Pastizal Gipsófilo	1
PS	Pastizal Halófilo	1
PN	Pastizal Natural	3

Continuación Cuadro 1...

Hojarasca y mineralización

MDM	Matorral Desértico Micrófilo	8
MDR	Matorral Desértico Rosetófilo	1
MC	Matorral Crasicaule	5
MSC	Matorral Sarcocaulo	2
MET	Matorral Espinoso Tamaulipeco	8
PH	Pastizal Halófilo	2

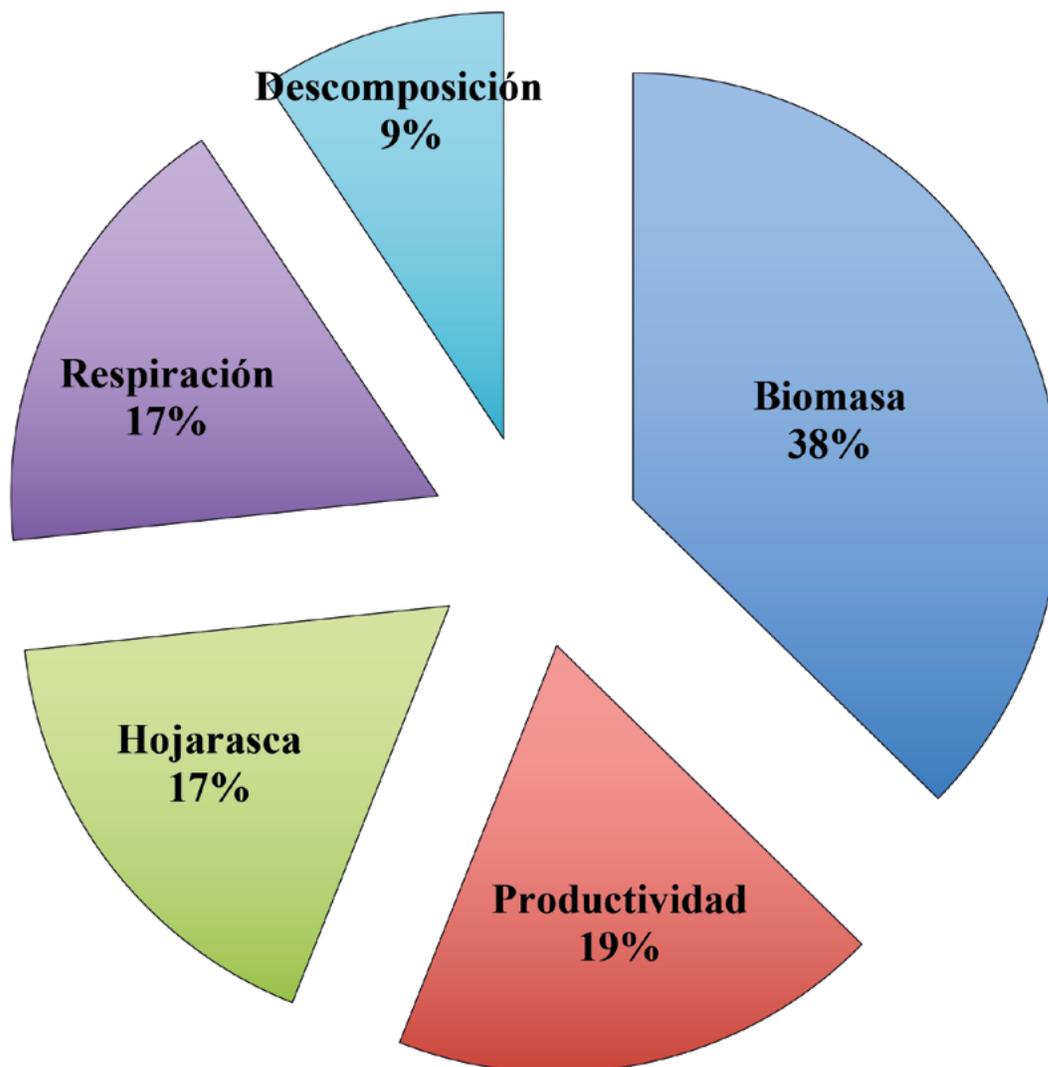


Figura 2. Porcentaje de estudios locales organizados por biomasa, productividad primaria, producción de hojarasca, descomposición y respiración del suelo, en los matorrales y pastizales xerófilos de México.

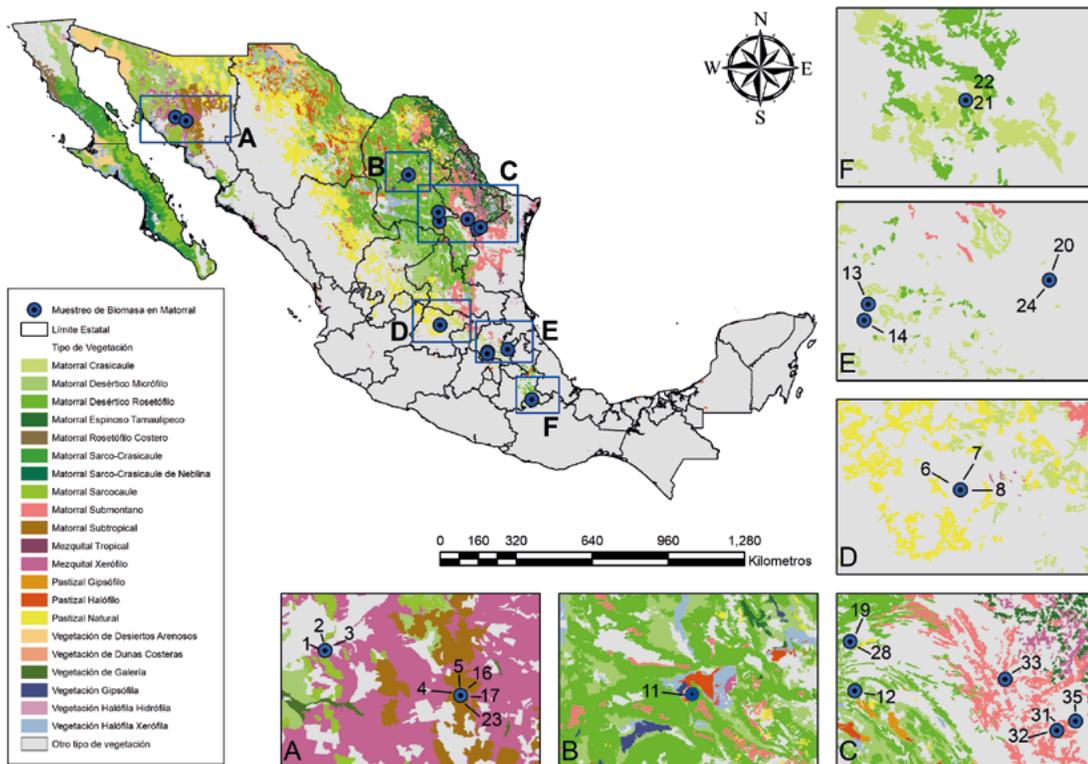


Figura 3. Sitios (círculo azul) en donde se ha registrado la biomasa en los matorrales xerófilos de México.

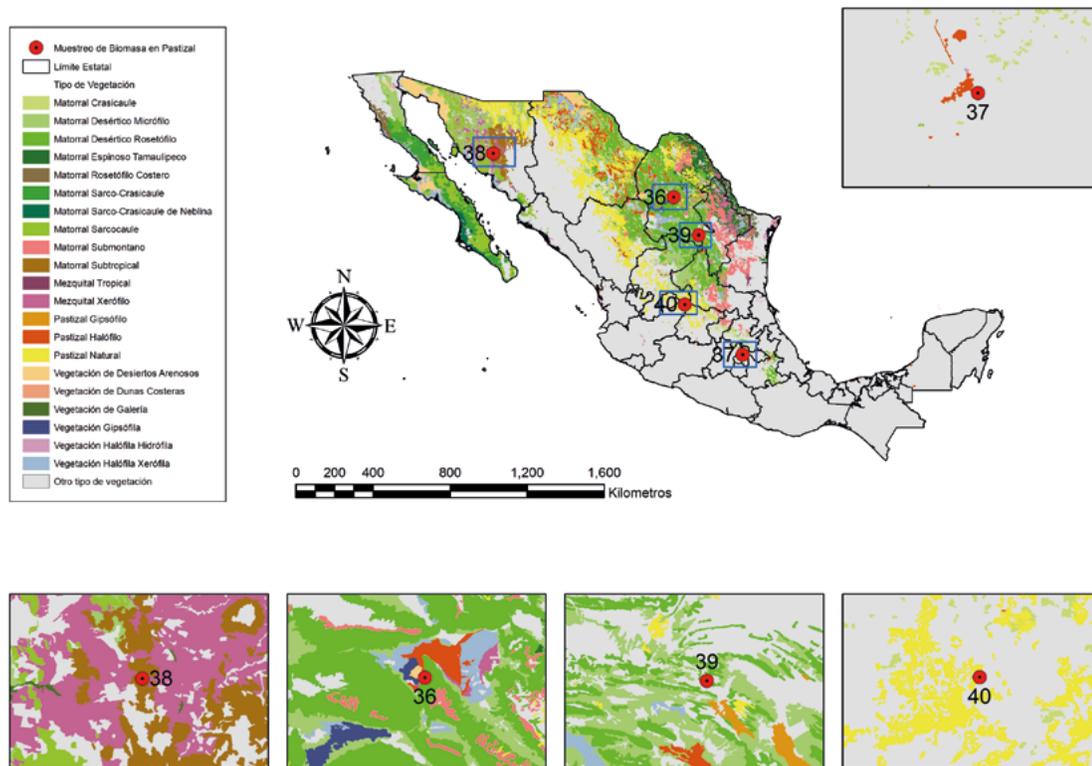


Figura 4. Sitios (círculo rojo) en donde se ha registrado la biomasa en los pastizales xerófilos de México.

Con base en los estudios locales se estimó que el promedio del carbono total almacenado en la biomasa de los matorrales xerófilos fue 16.33 Mg ha⁻¹ (error estandar, e.e. = 2.43, n = 34 sitios), con valores mínimos y máximos de 2.51 Mg ha⁻¹ y de 56.05 Mg ha⁻¹ en un Matorral Desértico Rosetófilo en Chihuahua y en un Matorral Espinoso Tamaulipeco, respectivamente. El almacén promedio del carbono total en la biomasa de los pastizales xerófilos se estimó en 5.73 Mg ha⁻¹ (e.e. = 0.87, n = 4 sitios), con valores mínimos y máximos de 4.72 y 7.95 Mg ha⁻¹ en un Pastizal Halófilo en el Estado de México y en un Pastizal Natural en el estado de Coahuila, respectivamente.

Flujo de carbono

En las escasas estimaciones en los estudios locales de la productividad primaria neta (PPN) de los matorrales y pastizales xerófilos se usó el método de cosechas múltiples de la biomasa. En los, también, muy escasos estudios a escala regional, la PPN ha sido estimada indirectamente con base en modelos con variables climáticas o imágenes de satélite (Briones

et al., 2018). Debido a que los patrones globales de producción de hojarasca son similares a los patrones globales de la PPN (Esser *et al.*, 1982), es posible considerar a la producción de hojarasca como un estimador adecuado de la PPN de los ecosistemas. La transferencia de carbono de la biomasa vegetal al suelo a través de la producción de hojarasca se estimó con trampas de hojarasca en 12 estudios y 16 sitios, en los matorrales xerófilos (Cuadro 1, Figura 5). El Matorral Espinoso Tamaulipeco y el Matorral Desértico Micrófilo fueron los ecosistemas con mayor número de sitios, con ocho y cuatro respectivamente. Los otros matorrales xerófilos en los que se estimó la producción de hojarasca fueron el Matorral Crasicaule, Matorral Sarcocauléscente y Matorral Desértico Micrófilo. Con base en información de estudios locales, Briones *et al.* (2018) determinaron que la producción promedio de hojarasca en las zonas desérticas mexicanas fue de 3.38 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (e.e. = 0.540), con una entrada anual de carbono por hojarasca de 1.27 Mg ha⁻¹ año⁻¹. El Matorral Espinoso Tamaulipeco tuvo la mayor producción de hojarasca en comparación con sitios más secos, como el Matorral Sarcocauléscente en Sonora.

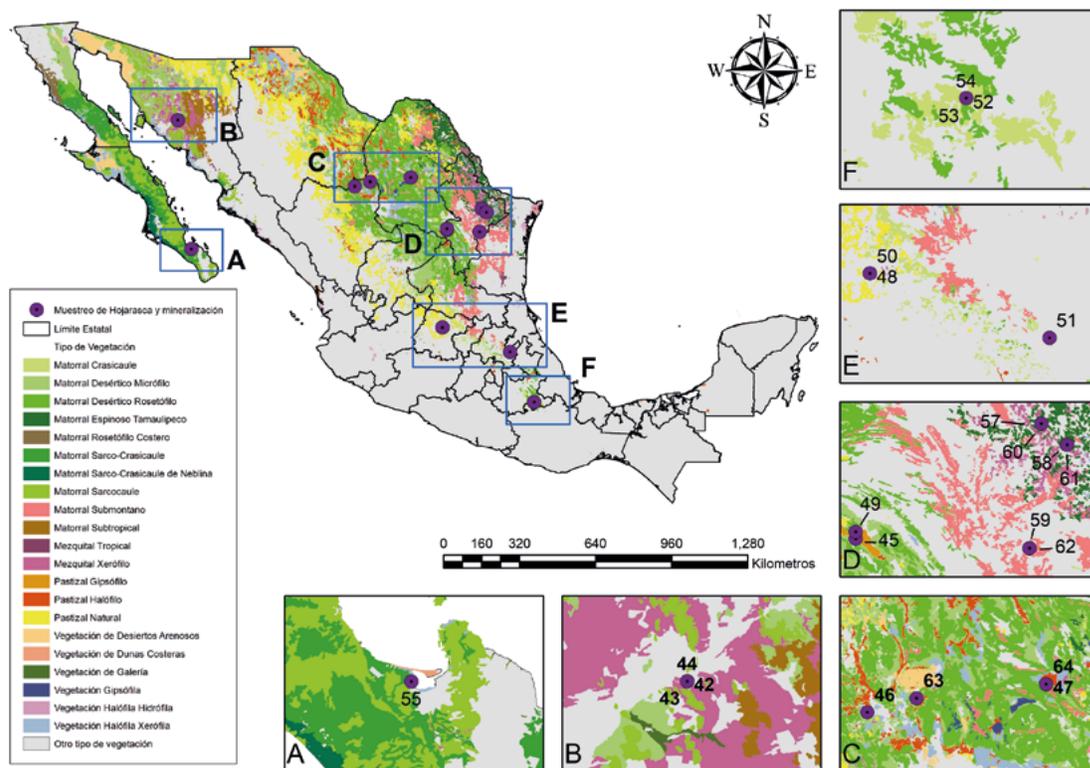


Figura 5. Sitios (círculo púrpura) en donde se ha registrado la producción de hojarasca y mineralización, en los matorrales xerófilos de México.

La respiración del suelo se midió en ecosistemas de México en solo dos casos de forma directa y continua en campo y, la mayoría de las veces de forma parcial, atendiendo únicamente a la respiración heterótrofica con métodos de incubación en el laboratorio (Cueva *et al.*, 2016). El flujo microbiano de CO₂ se estimó como la tasa neta potencial de mineralización de carbono (TNPMC), con la técnica de trampas de NaOH (Montaño *et al.*, 2016; Briones *et al.*, 2018). La TNPMC solamente se evaluó en ocho sitios localizados en dos tipos de vegetación con matorrales xerófilos y uno con pastizal xerófilo (Figura 3). La TNPMC se valoró en el Matorral Desértico Microfilo en cuatro sitios localizados en Sonora, Durango, Coahuila y Guanajuato y, en el mismo número de sitios, en el Matorral Crasicaule en Hidalgo y Puebla. La TNPMC se midió en un Pastizal Halófilo en Coahuila. El promedio de la TNPMC del Matorral Desértico Microfilo (14.7 µg C g⁻¹ d⁻¹, n= 4) fue casi la mitad del promedio del Matorral Crasicaule (35.7 µg C g⁻¹ d⁻¹, n= 4), mientras que el sitio de Pastizal Halófilo tuvo el valor más bajo registrado (11.7 µg C g⁻¹ d⁻¹).

El balance de carbono o intercambio neto de CO₂ entre el ecosistema y la atmósfera, determinado por la productividad primaria bruta y la respiración autótrofa y heterótrofa, se monitoreó con técnicas micrometeorológicas o con cámaras estáticas en el Matorral Sarcocaulo en Baja California Sur, Matorral Mediterráneo en Baja California y Matorral Subtropical en Sonora, así como en un pastizal xerófilo en Jalisco (Montaño *et al.*, 2016).

A escala nacional no se encontró ningún artículo científico con estimaciones del almacén y flujo de carbono en los matorrales y pastizales xerófilos de México. Solamente se localizó un informe técnico con estimaciones de CO₂ equivalente en las áreas naturales protegidas de México, incluyendo las que sustentan matorrales xerófilos (Vega-López, 2008). Por otro lado, una fuente importante de información a escala nacional es el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) que realiza la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2018), con mediciones permanentes cada cinco años de la biomasa y el contenido de carbono de los tipos de vegetación *sensu* INEGI (2017). Las unidades de muestreo del INFyS son parcelas de 400 m² para el estrato arbóreo, en donde se registra el arbolado con diámetro normal igual o mayor a 7.5 cm, parcelas de 12.56 m² para el estrato arbustivo, en donde se registran los arbustos representativos de las

zonas áridas y semiáridas y el repoblado de árboles con diámetro normal menor a 7.5 cm y, parcelas de 1 m² para el estrato herbáceo.

Con base en la biomasa estimada a partir de ecuaciones alométricas para 22 409 sitios de aproximadamente una hectárea, en el informe INFyS 2009-2014 (CONAFOR, 2018) se indicó que los matorrales y pastizales xerófilos fueron los ecosistemas con menores contenidos de carbono almacenado en la biomasa aérea, con estimaciones promedio en los matorrales de las zonas áridas de 0.32 (límite inferior 0.23, límite superior 0.41) Mg C ha⁻¹, de 1.55 (1.41, 1.69) Mg C ha⁻¹ y en los pastizales xerófilos y otras áreas forestales de 2.48 (1.98, 2.97) Mg C ha⁻¹. En comparación, el valor estimado promedio de carbono almacenado en la biomasa aérea para los bosques fue 26.5 Mg C ha⁻¹. Sin embargo, CONAFOR (2018) aclaró que los valores de contenido de biomasa y carbono están subestimados debido a que en los muestreos no se consideraron los estratos arbustivo y herbáceo. Como los elementos arbustivo y herbáceo son los preponderantes en los matorrales y pastizales, la subestimación del contenido de carbono en estos tipos de vegetación podría estar acentuada y, por lo tanto, las magnitudes estimadas a escala nacional del contenido de carbono también deben ser tomadas con precaución.

CONCLUSIONES

La mayoría de las investigaciones y registro de datos sobre los almacenes y flujos de carbono en los matorrales y pastizales xerófilos de México fueron realizados por investigadores y estudiantes de licenciatura y posgrado de las Universidades Públicas y Centros Públicos de Investigación. Otra fuente relativamente reciente de información de datos sobre los almacenes y flujos de carbono en los ecosistemas terrestres de México son los inventarios nacionales del uso del suelo, carbono edáfico y biomasa, realizados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

A pesar de la gran diversidad ecológica que sustentan los matorrales y pastizales xerófilos y la extensa superficie que ocupan en México, el contenido y los flujos que determinan el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea y subterránea han sido muy poco estudiados. Aunque el número de publicaciones

es bajo, es posible concluir que los valores de carbono estimados con base en parcelas experimentales sitúan a los matorrales y pastizales xerófilos de México en un lugar intermedio entre los ecosistemas de los desiertos norteamericanos y el bosque tropical seco. Es necesario profundizar en el conocimiento del contenido, tiempo de residencia y procesos de transferencia del carbono, así como conocer el papel de la sequía, CO₂ atmosférico, contenido de nutrientes del suelo y cambio en el uso de suelo en el ciclo del carbono de los matorrales y pastizales xerófilos.

RECOMENDACIONES

Es muy importante apoyar los programas académicos de licenciatura y posgrado de las Universidades Públicas y Centros Públicos de Investigación relacionados con las ciencias ambientales debido a su vocación para generar datos, describir patrones y construir explicaciones sobre el contenido de carbono de los tejidos foliares, caulinares y radicales de las especies; sobre las relaciones funcionales entre el tamaño de las plantas y contenido de carbono y, sobre los almacenes (biomasa viva y muerta aérea y subterránea, mantillo y suelo) y flujos del carbono (productividad primaria, respiración del suelo y descomposición), lo cual permitirá cuantificar los balances de carbono y determinar con mayor precisión la contribución de los matorrales y pastizales xerófilos en el ciclo del carbono a nivel nacional y global.

Así mismo, es muy importante continuar y ampliar la cobertura geográfica y temporal de los inventarios nacionales del uso del suelo, carbono edáfico y biomasa, realizados por las instituciones públicas relacionadas con el ciclo del carbono y sus interacciones, como la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), entre otras, así como apoyar los esfuerzos para la generación de las bases de datos en formatos de fácil y libre consulta.

Es urgente y necesario incrementar el conocimiento científico sobre el ciclo del carbono y los servicios ecosistémicos de los matorrales y pastizales xerófilos, que aporte las bases científicas para el entendimiento del ciclo del carbono y sus interacciones, así como el desarrollo de estrategias estatales y federales para el manejo y sustentabilidad de los ecosistemas y la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

BASE DE DATOS

En seguimiento a la política del Programa Mexicano del Carbono de libre acceso a las bases de datos asociadas con el ciclo del carbono y sus interacciones, así como en soporte de las síntesis nacionales del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres y acuáticos, la base de datos de este trabajo que consiste en 68 referencias organizadas por tipo de estudio, tema y año está disponible en [http:// pmcarbono.org/pmc/bases_datos/](http://pmcarbono.org/pmc/bases_datos/).

RECONOCIMIENTOS

Se reconoce el apoyo del Dr. Claudio Mota en la elaboración de las figuras y cuadros. Se agradecen los comentarios de dos revisores anónimos.

LITERATURA CITADA

- Ahlström, A., M. R. Raupach, G. Schurgers, B. Smith, A. Arneeth, M. Jung, M. Reichstein, J. G. Canadell, P. Friedlingstein, A. K. Jain, E. Kato, B. Poulter, S. Sitch, B. Stocker, N. Viovy, Y. P. Wang, A. Wiltshire, S. Zaehle and N. Zeng. 2015. The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO₂ sink. *Science* 348:895-899.
- Briones, O., A. Búrquez, A. Martínez-Yrizar, N. Pavón y Y. Perroni. 2018. Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. *Madera y Bosques* 24:1-19. DOI:10.21829/myb.2018.2401898.
- CONAFOR. 2018. Comisión Nacional Forestal. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe de Resultados 2009-2014. 1er Ed. 200 pp. www.gob.mx/conafor. (Consulta: noviembre 23, 2018).
- Cueva, A., C. A. Robles Zazueta, J. Garatuza and E. A. Yépez. 2016. Soil respiration in Mexico: Advances and future directions. *Terra Latinoamericana* 34:253-269.
- Esser, G., I. Aselmann and H. Lieth. 1982. Modelling the carbon reservoir in the system compartment "litter". *In: Mitteilungen aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg*. Hamburg University.
- INEGI. 2017. Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000: serie VI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 204 p.
- Lal, R. 2004. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental Management* 33:528-544.
- Montaño, N. M., F. Ayala, S. Bullock, O. Briones, F. García-Oliva, R. García-Sánchez, Y. Maya, Y. Perroni, C. Siebe, Y. Tapia-Torres, E. Troyo y E. A. Yépez. 2016. Almacenes y flujos de car-



bono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: Síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana* 34:39-59. ISSN 2395-8030.

Murray-Tortarolo, G., P. Friedlingstein, S. Sitch, V. J. Jaramillo, F. Murguía-Flores, A. Anav and N. Zeng. 2016. The carbon cycle in Mexico: past, present and future of C stocks and fluxes. *Biogeosciences* 13:223-238.

Perroni, Y., C. Marure, O. Briones, Y. Maya-Delgado y F. Paz-Pellat. 2018. Avances y retos para la estimación de biomasa aérea y subterránea de matorrales y pastizales con base en ecuaciones alométricas. pp. 652-670. En: F. Paz P., A. Velázquez R. y M. Rojo (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México*. Serie: Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono e Instituto Tecnológico de Sonora, México. ISBN 978-607-96490-6-7.

Schlesinger, W. H. 1997. *Biogeochemistry: an Analysis of Global Change*. Academic Press, San Diego.

Vega-López, E. 2008. Valor económico potencial de las Áreas Naturales Protegidas federales de México como sumideros de carbono. *The Nature Conservancy-México*.