



EL ALMACÉN DE CARBONO EN LOS DESIERTOS DE MÉXICO

Óscar Luis Briones Villarreal*

*Instituto de Ecología, A.C.
Contacto: oscar.briones@inecol.mx

Por las perturbaciones humanas, la concentración global del bióxido de carbono (CO_2) se incrementó de alrededor de 227 partes por millón (ppm) en 1759, a 405 ppm en 2017; es decir, se elevó 46%. El año 2016 fue el primero en el cual la concentración de CO_2 fue superior a 400 ppm. De manera notable, México ocupó el lugar número 11 entre los países emisores de CO_2 a la atmósfera, con 490 megatoneladas (Mt; 1 Mt = 1 millón de toneladas) en 2017. En los últimos 60 años el incremento global en la temperatura del aire ha coincidido estrechamente con el incremento en la concentración de CO_2 .

El CO_2 es el gas atmosférico con mayor efecto invernadero por retener parte de la energía que la superficie terrestre emite por haber sido calentada por la radiación solar. La concentración de CO_2 atmosférico depende del movimiento del carbono entre los almacenes del ciclo del carbono en la biosfera, la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera. El conocimiento de la dinámica del carbono en México es muy importante por su relación con el cambio climático.

La captura de carbono ocurre cuando la vegetación absorbe CO_2 durante la fotosíntesis, almacenando el carbono en la biomasa aérea o subterránea. A través de la fotosíntesis las plantas capturan CO_2 y luz para producir energía, glucosa y otros azúcares y a través de la respiración metabolizan y rompen los azúcares para construir sus tejidos y crecer y regresan el CO_2 a la atmósfera. Tanto la fotosíntesis como la respiración de las plantas están fuertemente determinados por la cantidad y estacionalidad de la lluvia y en consecuencia los ecosistemas desérticos pueden funcionar como sumideros de carbono en años lluviosos, pero como vertederos en años secos.



El potencial de almacenamiento de carbono en la vegetación y los suelos en la mayoría de las zonas áridas y semiáridas es bajo (<225 gigatoneladas de carbono por hectárea $-GtC\ ha^{-1}$; 1 Gt = 1000 millones de toneladas-) en comparación con los bosques tropicales y boreales (300 a 400 $GtC\ ha^{-1}$) (Schlesinger y Bernhardt, 2013; tabla I). Sin embargo, los ecosistemas desérticos son muy importantes para secuestrar el CO_2 atmosférico y contrarrestar el cambio climático por su gran extensión en el planeta (White y Nackoney, 2003). Los ecosistemas desérticos ocupan más de un tercio de la superficie terrestre mundial y más de la mitad del territorio de México, convirtiéndose en grandes reguladores del ciclo del carbono y del clima. A pesar de lo anterior, la evaluación del carbono se ha centrado principalmente en los ecosistemas tropicales y forestales, mientras que los desérticos han sido descuidados.

Los procesos del ciclo de carbono operan a distinta velocidad, pero en general se reconocen dos escalas de tiempo: geológica y biológica (Schlesinger y

Bernhardt, 2013). En la escala biológica el carbono se mueve a una velocidad rápida a través de los organismos en flujos diarios y anuales. El ciclo biológico se manifiesta claramente en el hemisferio norte, en donde la alta actividad fotosintética de las plantas y del fitoplancton causan la disminución del CO_2 atmosférico en la primavera y verano, mientras que la disminución de la fotosíntesis, el incremento en la respiración de raíces y microbios y la descomposición de la materia orgánica del suelo ocasionan el incremento del CO_2 en el otoño e invierno. En el hemisferio sur las oscilaciones atmosféricas de CO_2 están invertidas y son menos marcadas, ya que la vegetación está concentrada hacia los trópicos en donde la variación climática es menor. En la escala geológica el carbono se mueve lentamente entre el suelo, las rocas y el océano y regresa a la atmósfera a través de la actividad tectónica o la disolución de las rocas calizas en un lapso entre 100 y 200 millones de años.

Las actividades humanas han incorporado nuevos flujos de carbono,

con una influencia significativa en la cantidad de carbono almacenado en los compartimientos del ciclo global del carbono (IPCC, 2019). La extracción de petróleo y consumo de combustibles fósiles, la producción de electricidad, cemento y alimentos y el cambio en el uso del suelo al eliminar la vegetación generan gran cantidad de CO_2 y otros gases de efecto invernadero como metano, bióxido de nitrógeno y ozono, que se almacenan en la atmósfera.

En décadas recientes se han realizado esfuerzos por la comunidad científica y organismos de gobierno para inventariar y sintetizar el conocimiento sobre los almacenes y las transferencias de carbono de los ecosistemas terrestres en México, que permiten entender con mayor detalle las magnitudes de los procesos ecológicos que afectan el ciclo del carbono en los ecosistemas desérticos. El objetivo de este trabajo es resaltar el papel de los ecosistemas desérticos en el contenido del carbono y su importancia en el ciclo del carbono en México.

Tabla I. Contenido de biomasa y carbono en la biomasa y suelo (0-300 cm) en los ecosistemas terrestres (Schlesinger y Bernhardt, 2013).

Ecosistema	Área ($10^6\ km^2$)	Biomasa ($g\ C\ m^{-2}$)	Carbono en biomasa ($10^{15}g\ C$)	Área ($10^6\ km^2$)	Carbono en suelo ($10^{15}g\ C$)
Bosque tropical	17.5	19400	320	24.5	692
Bosque templado	10.4	13350	130	12.0	262
Bosque boreal	13.7	4150	54	12.0	150
Matorral mediterráneo	2.8	6000	16	8.5	124
Sabana/Pastizales	27.6	2850	74	15.0	345
Pastizal templado	15.0	375	6	9.0	172
Desierto	27.7	350	9	18.0	208
Tundra ártica	5.6	325	2	8.0	144
Cultivos	13.5	305	4	14.0	248
Otros	15.5			15.5	
Total	149.3	47105	615	136.5	2345

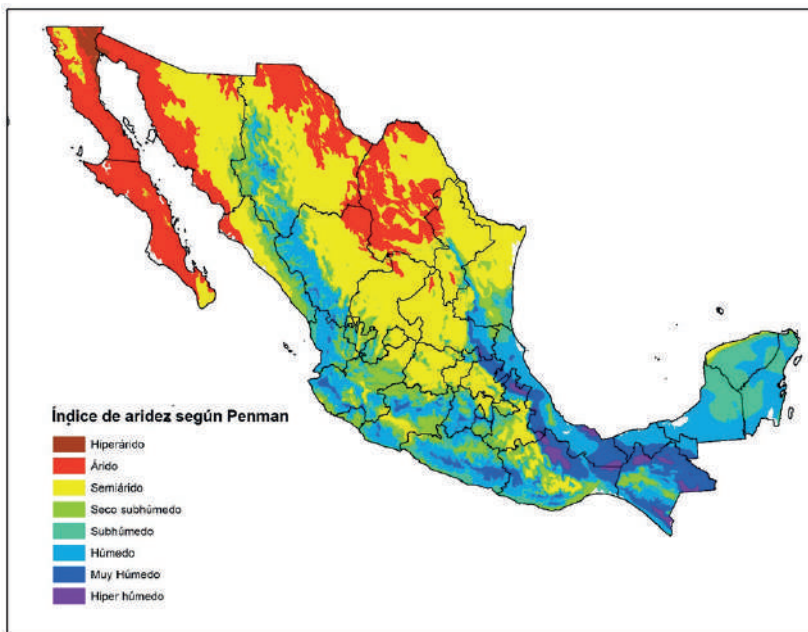


Figura 1. Índice de aridez en México (mapa proporcionado por Arturo Flores Martínez).

CARACTERIZACIÓN DE LOS DESIERTOS DE MÉXICO

En los desiertos o zonas áridas y semiáridas de México la pérdida de agua por evaporación es mucho mayor que la entrada por la precipitación, la temperatura es extrema y es baja la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo. De acuerdo con el índice de aridez (IA) = P/T , en donde P es la precipitación anual y ET es la evapotranspiración anual, las zonas áridas son regiones con IA menor a 0.65. Las zonas hiperáridas con IA menor 0.05 cubren 0.67%, las áridas con IA entre 0.05 y 0.20 cubren 18.91% y las semiáridas con IA entre 0.20 y 0.50 ocupan 34.77% de los 1,960,189 km² del territorio mexicano. Así definidas, las regiones desérticas de México se localizan principalmente en las porciones norte y centro del país (figura 1).

Los desiertos mexicanos albergan una gran diversidad biológica y cultural, siendo los de mayor extensión el Chihuahuense, Sonorense y Tamaulipeco, mientras los de la Barranca de Metztitlán en Hidalgo, del valle de Tehuacán-Cuicatlán en Puebla y Oaxaca y del valle de Perote en Veracruz son más pequeños y se localizan bajo la sombra orográfica de las montañas (figura 2). La vegetación de los desiertos mexicanos consiste principalmente de matorrales y pastizales xerófilos, compuestos por plantas leñosas de porte bajo, plantas suculentas y gramíneas (Rzedowski, 1978). Los matorrales xerófilos se desarrollan desde el nivel del mar hasta los 2,300 msnm y se caracterizan por una amplia variedad fisonómica, determinada por arbustos y árboles bajos siempreverdes o caducifolios, con tallos leñosos provistos de espinas o sin ellas, por plantas con troncos semisuculentos con hojas delgadas o carnosas arregladas en rosetas y por plantas con troncos suculentos con espinas y sin hojas.

El clima en donde crecen los matorrales xerófilos es cálido, con temperaturas de 16 a 24°C en promedio anual y precipitación total anual entre 100 y 400 mm, aunque pueden presentarse valores hasta de 900 mm. La cobertura vegetal puede oscilar desde 5% en sitios muy secos, hasta 100% en sitios húmedos, pero generalmente la vegetación cubre la mitad de la superficie del terreno. Los pastizales xerófilos se desarrollan en elevaciones entre 1,100 y 2,500 msnm y en regiones con suelos casi siempre ígneos, donde la precipitación total anual oscila entre 300 y 600 mm. Los pastizales xerófilos son más abundantes en las zonas semiáridas que en las áridas y se distribuyen en la mitad norte y occidente de México. Los pastizales xerófilos están dominados por varias especies de gramíneas, además de hierbas y arbustos de diferentes familias, como las compuestas y leguminosas y la cobertura de la vegetación puede ser de 100%. En comparación con las temperaturas del matorral xerófilo, las de los pastizales son más frescas, con medias anuales de 12 a 20°C.

Los ecosistemas desérticos proveen de forraje para la producción de ganado y han sido usados para la extracción de plantas para alimentos, combustible, industria farmacéutica y de cosméticos, material para construcción, fibras, bebidas alcohólicas y medicamentos. Sin embargo, el uso excesivo ha producido el sobrepastoreo, reduciéndose la biomasa y la cobertura vegetal, compactándose el suelo, decreciendo la infiltración e incrementando la escorrentía y la erosión edáfica, que conllevan a la pérdida de carbono.



Figura 2. a) Desierto Chihuahuense y b) desierto del valle de Tehuacán-Cuicatlán.

46

CONTENIDO DE CARBONO EN LOS DESIERTOS DE MÉXICO

La determinación de la biomasa de un ecosistema permite estimar los almacenes de carbono en la vegetación y el flujo potencial de éste hacia la atmósfera y suelo. En los ecosistemas terrestres la biomasa viva en tallos, hojas y raíces, y la materia orgánica del suelo son los principales almacenes de carbono. La producción de hojarasca y raíces muertas, la descomposición de la materia orgánica y la respiración de las raíces y microbios son los flujos principales en la transferencia del carbono entre los almacenes. Todos los procesos biológicos del ecosiste-

ma están soportados por la entrada de energía a través de la fotosíntesis de los organismos autótrofos, por lo que es fundamental entender los factores abióticos y biológicos que la regulan. La escasez de agua es la restricción más fuerte para la producción de biomasa y carbono en los ecosistemas desérticos, pero la deficiencia en nitrógeno y el bajo contenido de carbono orgánico son, también, factores importantes.


La mayoría de las investigaciones y registros de datos sobre el ciclo del carbono en los ecosistemas desérticos de México ha sido realizada por investigadores y estudiantes de licenciatura y posgrado de universidades y centros públicos de investigación. A pesar de la importancia del ciclo del carbono, los trabajos a escala local y nacional sobre los almacenes de carbono en la biomasa y en el suelo y sobre el flujo de carbono entre esos almacenes y la

atmósfera en los ecosistemas de matorrales y pastizales son sumamente escasos (Briones *et al.*, 2018).

De acuerdo con los trabajos realizados en parcelas experimentales, el carbono total promedio almacenado en la biomasa de los matorrales desérticos es 16.3 megagramos por hectárea (Mg ha^{-1} ; $1 \text{ Mg} = 1,000,000 \text{ gramos}$) en 34 sitios estudiados, con valores mínimos de 2.5 Mg ha^{-1} en un matorral desértico rosetófilo en Chihuahua y máximos de 56.0 Mg ha^{-1} en un matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México. En los matorrales, aproximadamente 66% del carbono está almacenado en la parte aérea, en comparación con la biomasa subterránea.

Aunque solamente se han realizado cuatro estudios experimentales y por ello es difícil describir el patrón, el carbono total promedio almacenado en la biomasa de los pastizales desérticos es 5.7 Mg ha^{-1} , con valores mínimos y máximos de 7.95 Mg ha^{-1} en un pastizal halófilo en el Estado de México y 4.72 Mg ha^{-1} en un pastizal natural en el estado de Coahuila, respectivamente. A diferencia de los matorrales, los pastizales distribuyen proporcionalmente la misma cantidad de carbono entre la biomasa aérea y subterránea.

Con la información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2004-2007 y la aplicación de ecuaciones matemáticas que relacionan la morfología de las plantas con la biomasa y contenido de carbono, se estimó que el carbono total almacenado en los matorrales es 1.28 Mg ha^{-1} , con valores mínimos y máximos de 0.39 Mg ha^{-1} en la vegetación de dunas costeras y 2.64 Mg ha^{-1} en el mezquital, considerando 9648 registros. El carbono total almacenado en los pastizales es 1.71 Mg



ha⁻¹, con valores mínimos y máximos de 0.25 Mg ha⁻¹ en el pastizal gipsófilo y 4.08 Mg ha⁻¹ en el pastizal natural, considerando 127 registros. La diferencia en las estimaciones del carbono almacenado en los matorrales y pastizales con base en la información del INFyS y los datos de las parcelas experimentales probablemente se debió a la posible inclusión de matorrales altos y densos como componentes del bosque tropical seco y por lo tanto no fueron contabilizados como vegetación desértica, así como por las diferencias en las aproximaciones metodológicas para la estimación de la biomasa aérea y subterránea (Briones *et al.*, 2019).

Sea por las estimaciones de las parcelas experimentales o de los datos del INFyS, los valores de carbono almacenado en la biomasa sitúan a los ecosistemas de los desiertos de México en un lugar intermedio entre el promedio mundial de los desiertos (2 a 5 Mg ha⁻¹) y el bosque tropical seco (37 a 117 Mg ha⁻¹).

La producción de hojarasca compuesta principalmente por hojas y tallos muertos que caen al suelo ha sido utilizada como estimador de la productividad primaria neta (PPN) de un ecosistema. La PPN es la energía capturada por la fotosíntesis en la biomasa vegetal y disponible para el ecosistema. Como los patrones globales de producción de hojarasca son similares a los patrones globales de la PPN, es posible considerar la producción de hoja-

rasca como un estimador de la PPN de los ecosistemas. Debido a que la PPN mundial estimada para los desiertos a nivel global es 2.5 Mg ha⁻¹año⁻¹ y a que la transferencia de carbono de la biomasa vegetal hacia el suelo a través de la producción de hojarasca de los matorrales es de 3.38 Mg ha⁻¹, los desiertos mexicanos tienen una productividad mayor a la reportada para los desiertos del mundo (Briones *et al.*, 2018).

En los desiertos de México el carbono edáfico es 45 a 90% de la biomasa (Montaño *et al.*, 2016). En los matorrales, el carbono orgánico del suelo fluctúa de 2.1 Mg ha⁻¹ en Sonora a 72 Mg ha⁻¹ en Tamaulipas, mientras que en los pastizales el carbono edáfico varía entre 2.8 Mg ha⁻¹ en Coahuila a 80 Mg ha⁻¹ en Jalisco.

El cambio en el uso de suelo ha ocasionado la pérdida del carbono almacenado en la biomasa de los matorrales, pero se ha observado que esos ecosistemas tienen alto potencial de regeneración natural. Aunque los estudios son escasos, se ha podido mostrar que los matorrales sólo recuperaron entre 26 y 40% del carbono aéreo después de 25 años de regeneración natural. En contraste, también se ha mostrado que la vegetación secundaria tiene alto potencial para secuestrar carbono. Un matorral regenerado pudo capturar casi 1.3 veces más carbono aéreo, en comparación con la vegetación original después de 30 años (Briones *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Aunque la información es relativamente escasa, los valores de carbono sitúan a los ecosistemas desérticos mexicanos en un lugar intermedio entre los desiertos del mundo y el bosque tropical seco. Debido a que los ecosistemas desérticos ocupan más de 60% del territorio mexicano, el estudio del ciclo del carbono en los desiertos de México es necesario para entender el papel que tienen actualmente en contribuir o disminuir el acelerado incremento de concentración de CO₂ y los otros gases de invernadero en la atmósfera.

A pesar de su gran importancia, existen grandes vacíos de información sobre el ciclo del carbono en los desiertos de México. Para acrecentar el conocimiento científico sobre el ciclo del carbono y transitar hacia un modelo de desarrollo sustentable con una economía baja en carbono en las regiones desérticas de México y en el resto del país, es necesario incrementar sustancialmente la inversión en ciencia y la formación de recursos humanos.

REFERENCIAS

- Briones, O., Perroni, Y., Bullock, S., *et al.* (2019). Matorrales y pastizales. En: Paz-Pellat, F., J.M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos, *et al.* (Editores). *Estado del ciclo del carbono: agenda azul y verde. Programa Mexicano del Carbono*. Texcoco, Estado de México, México. 303-385 pp. Disponible en: <http://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/eccm.php>
- Briones, O., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., *et al.* (2018). Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. *Madera y Bosques*. 24: 1-19. Disponible en: <http://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/e2401898>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Draft: 07-08-2019. 41 pp. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/sr2_background_report_final.pdf
- Montaño, N.M., Ayala F., Bullock, S.H., *et al.* (2016). Almacenes y flujos de carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana* 34:39-59. Disponible en: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/issue/view/12>
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México. Limusa*. 432 pp. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Schlesinger, W.H., y Bernhardt, E.S. (2013). *Biogeochemistry: An analysis of global change*. 3rd edition. Elsevier. 503 pp.
- White, R.P., y Nackoney, J. (2003). *Drylands, people, and ecosystem goods and services. A Web-based geospatial analysis*. World Resources Institute. 58 pp. Disponible en: <http://pdf.wri.org/drylands.pdf>

