

POBLACIÓN, SERVICIOS ECOSISTÉMICOS, CICLO DEL CARBONO Y POLÍTICAS PÚBLICAS EN LAS ZONAS SECAS DE MÉXICO

POPULATION, ECOSYSTEM SERVICES, CARBON CYCLE AND PUBLIC POLICIES IN THE DRY ZONES OF MEXICO

Oscar Briones^{1†}, Arturo Flores-Martínez², Alejandro E. Castellanos³, Yareni Perroni⁴, Angélica Hernández-Guerrero^{5,6}

¹ Instituto de Ecología, A.C., Carretera antigua a Coatepec No. 351, El Haya, C.P. 91073, Xalapa, Veracruz, México.

² Departamento de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Carpio y Plan de Ayala. Casco de Santo Tomás. C.P. 11340 CDMX. México.

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

⁴ Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana, Av. de las Culturas Veracruzanas 101, Col. Emiliano Zapata, C.P. 91090, Xalapa, Veracruz, México.

⁵ Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ejército Nacional No. 223, Colonia Anáhuac, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11320, CDMX.

⁶ Instituto de Biología, Departamento de Zoología, Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad No. 3000, Copilco Universidad, Coyoacán, C.P. 04510, CDMX, México.

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

RESUMEN

Los ecosistemas secos ocupan más de la mitad del territorio de México, con presencia en la mayoría de las entidades federativas. En este trabajo se reúne la información publicada sobre los bienes y servicios que provee la vasta biodiversidad de estos ecosistemas a más de la mitad de la población mexicana. Los ecosistemas secos proveen de bienes directos (alimentos, medicinas, fibras y energía), así como servicios indirectos a través de la regulación y soporte de los ciclos del agua, carbono y fertilidad del suelo y culturales (turismo y recreación y servicios intangibles y espirituales). La vegetación constituida por matorrales, pastizales y bosques bajos, junto con el suelo, poseen importante capacidad de almacenar carbono, que de otra forma estaría libre en la atmósfera contribuyendo al calentamiento global. Sin embargo, los cambios constantes y sostenidos en el uso del suelo, resultado de las actividades humanas, pueden impactar gravemente la biodiversidad y comprometer la disponibilidad de los servicios de los ecosistemas secos. Enfrentar el cambio climático es un reto básico de la agenda ambiental por lo que deben fomentarse los estudios y análisis que provean metodologías rigurosas que guíen la toma de decisiones y las políticas públicas. Resulta urgente conciliar la conservación y funcionamiento de los ecosistemas secos con las prácticas de mitigación y adaptación al cambio climático que contribuyan al mejoramiento del bienestar de la población.

Palabras clave: *desiertos; cambio climático; México; servicios ecosistémicos; zonas áridas.*

ABSTRACT

Dry ecosystems occupy more than half of the Mexican territory, with presence in most of the federative entities. This study gathers the information published on environmental services that the high biodiversity of the dry ecosystems provides to more than half of the Mexican population. Dry ecosystems offer direct services such as food, medicine, fiber and energy, and indirect services through the regulation and support of the water and biogeochemical cycles, soil fertility, culture, tourism and recreation, and intangible and spiritual services. The vegetation of scrubs, grasslands and low forests together with the soil have an important capacity to store carbon, which would otherwise be free in the atmosphere, contributing to global warming. Changes in land use as well as human activities can seriously impact biodiversity and compromise the availability of dry ecosystem services. Facing climate change is a basic challenge on the environmental agenda and studies and analyzes that provide rigorous methodologies that guide decision-making and public policies should be encouraged. In this way, it is possible to reconcile the conservation and functioning of dry ecosystems with practices of mitigation and adaptation to climate change that contribute to the improvement of the well-being of the population.

Keywords: *arid zones; climate change; deserts; ecosystem services; Mexico.*

INTRODUCCIÓN

Las tierras secas de México, vegetadas por matorrales y pastizales desérticos y bosques bajos, se distribuyen en más de la mitad del territorio nacional. Las regiones secas han provisto de recursos y servicios ambientales a poblaciones dispersas y pequeñas en la prehistoria, hasta las que actualmente se asientan en las casi 192 mil localidades rurales actuales con menos de 2,500 habitantes y las cerca de 650 localidades urbanas, algunas con casi 4.7 millones de personas como en la Zona Metropolitana del Monterrey (INEGI, 2015). Las tierras secas del planeta están caracterizadas por lluvias escasas y variables, suelos pobres en nutrientes y alta variabilidad espacial y temporal de la productividad de sus ecosistemas, lo que vuelve altamente vulnerables las actividades agrícolas y pecuarias que ahí se desarrollan, así como a la población que depende de ellas (FAO, 2004).

Las actividades humanas han alterado directa o indirectamente los almacenes y flujos de carbono (C) y perturbado la composición de la atmósfera global, lo cual está relacionado con el cambio climático global, por lo que es necesario identificar y conocer los procesos biológicos, geológicos y químicos que intervienen en el ciclo del C (Murray-Tortarolo *et al.*, 2016). Los matorrales y pastizales desérticos en México son parte fundamental del ciclo del C debido a que participan liberando o capturando cantidades considerables de este elemento (Briones *et al.*, 2019).

Las predicciones sobre la cantidad y los patrones de distribución de las lluvias en las regiones secas son inciertas, pero la evidencia científica indica que se encuentran entre las que tienen más probabilidades de experimentar mayor estrés debido al cambio climático (IPCC, 2014). México es particularmente vulnerable al cambio climático por su posición geográfica y las condiciones socio-económicas de su población y los impactos proyectados del cambio climático indican que la mayor parte se volverá más seca y sufrirá sequías más frecuentes, particularmente en el norte del territorio (PECC, 2019). Actualmente, el gobierno federal y los gobiernos estatales y municipales enfrentan el desafío de procurar el bienestar de la población, reducir la pobreza y la desigualdad e incentivar el crecimiento económico de las regiones secas. Sin embargo, lo anterior debe realizarse sin que sea a costa de mayor deterioro ambiental, la degradación de los ecosistemas y las unidades productivas y la pérdida de la biodiversidad; todo ello, además, en un escenario acelerado de cambio climático. Dada la urgencia del tema y la escasez de recursos económicos, las políticas y programas que implementen las autoridades de los distintos niveles de gobierno deben ser eficientes y eficaces y, para ello, basarse en el mejor conocimiento posible del funcionamiento de estos ecosistemas (PECC, 2018). En particular las decisiones de las políticas públicas encaminadas a la mitigación del cambio climático basadas en el incremento del secuestro de C por la vegetación y el suelo para amortiguar la liberación de

C a la atmósfera requieren estar basadas en el estudio, análisis y diagnóstico del estado ecológico de los ecosistemas secos del país.

El objetivo de este trabajo es reunir la amplia información publicada y proporcionar una síntesis sobre los bienes y servicios ecosistémicos y la capacidad de almacenamiento de C que proveen los ecosistemas

secos a la población mexicana. Se proporcionan también recomendaciones para el desarrollo de políticas públicas para el fomento de la investigación y formación de recursos humanos que atiendan el déficit de conocimiento sobre las interacciones del ciclo del C y el clima en las regiones secas del país.

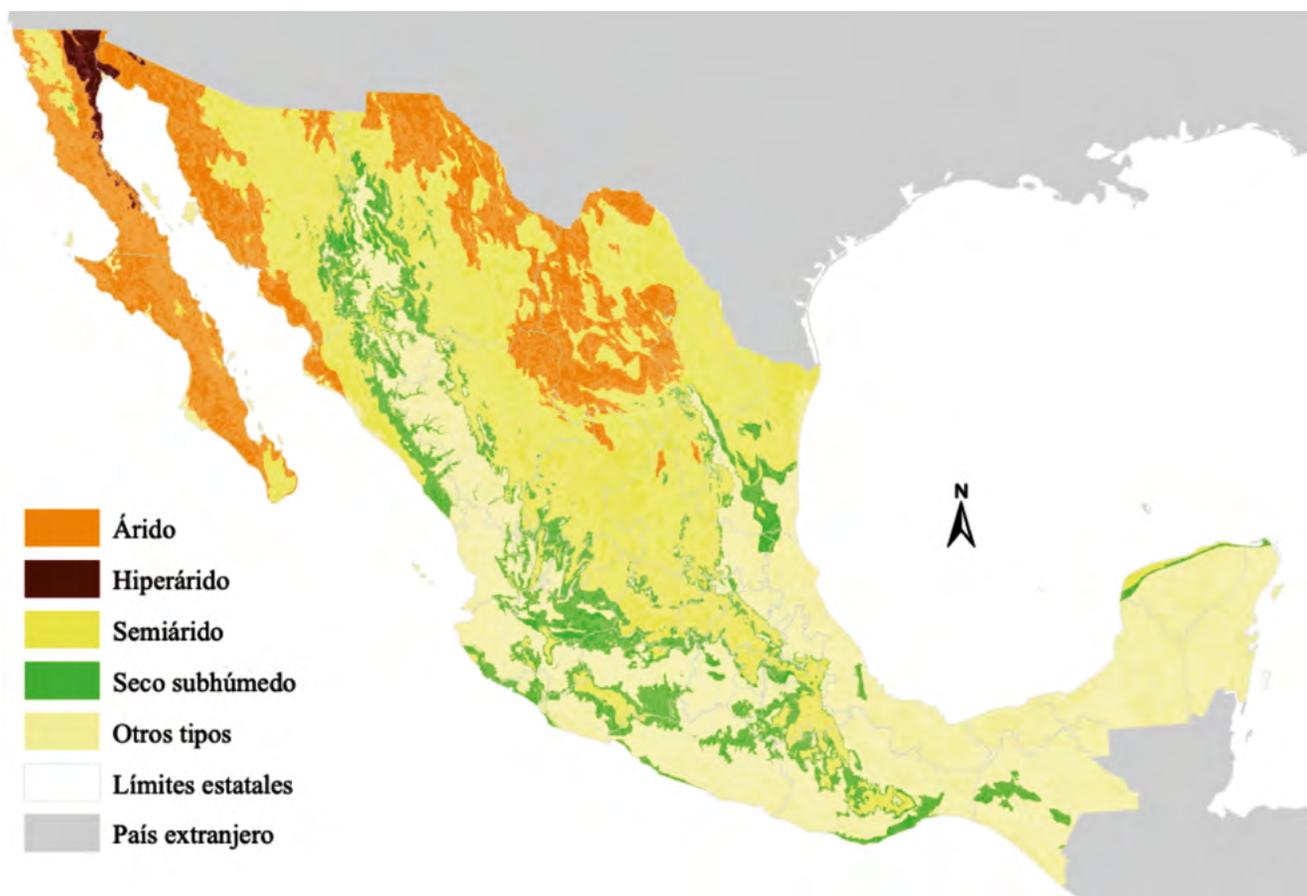


Figura 1. Distribución de las regiones secas en México.

Mientras que a nivel global los ecosistemas secos soportan 37% de la población humana (White and Nackoney, 2003), en México el patrón es algo diferente ya que, en 2015, en las zonas secas habitaba el 58.4%

de la población con una densidad de 56 habitantes por km², en comparación con el 41.6% de la población que habitaba en las zonas húmedas y subhúmedas, con una densidad de 75 habitantes por km² (Cuadro 1).



Cuadro 1. Aridez, superficie y población de México.
Índice de Aridez = P/PET (P= Precipitación anual; PET = Evapotranspiración potencial anual).

Tipo Climático	Índice de Aridez	Superficie		Número de habitantes*			Incremento (%)		Población (2010)**	
		(km ²)	(%)	1990	2000	2010	2015	1990-2015	Urbana (%)	Rural (%)
Hiperárido	< 0.05	12 944.6	0.66	601 938	764 602	961 693	1 014 987	59.30	0.97	0.38
Árido	0.05 - 0.20	365 265.3	18.67	5 022 368	6 648 240	8 287 662	9 023 196	55.66	6.50	3.57
Semiárido	0.20 - 0.5	671 694.4	34.33	29 937 897	35 969 690	42 442 592	45 405 367	65.93	42.13	25.95
Seco-subhúmedo	0.5 - 0.65	211 547.7	10.81	11 040 600	12 633 565	14 562 116	15 375 957	71.80	13.43	12.48
Húmedo	> 0.65	670 592.0	34.27	34 595 781	41 401 177	48 196 166	50 455 584	68.57	36.97	57.62
Sin dato	-	24 493.8	1.25	51 061	66 138	89 042	93 660	54.52	-	-
Total	-	1 956 537.7	100.00	81 249 645	97 417 274	114 450 229	121 275 091	67.00	100.00	100.00

*Censos de Población y Vivienda, INEGI.

**Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación (CONAFOR-UACH, 2013).

En muchas zonas desérticas del mundo las tasas de crecimiento poblacional han sido altas (Ezcurra, 2006). En las zonas secas de México ha sucedido algo parecido ya que la población se incrementó 63.2% en el periodo 1990-2015, aunque el incremento fue ligeramente menor al total nacional de 67% (Cuadro 1). Adicionalmente, aun cuando la mayor parte de las localidades en el país son rurales, la población mexicana ha mostrado un proceso acelerado de urbanización. La población rural mexicana cambió

de 11.2 a 27.5 millones de habitantes en las zonas rurales de 1950 a 2015, mientras que la población urbana creció de 14.8 a 92.0 millones de habitantes en el mismo periodo (CONAGUA, 2018). En las zonas secas aproximadamente 63% de la población nacional residió en alguna localidad urbana en el año 2010.

En prácticamente todas las entidades federativas del país se encuentran zonas secas; sin embargo, existen grandes diferencias en la distribución de la superficie ocupada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie cubierta por zonas desérticas en las entidades federativas de México. Unidades en hectáreas (Continuación).

Estado	Hiperárido	Árido	Semiárido	Seco-subhúmedo	Otros tipos
Aguascalientes	0	0	460 123	94 908	6 536
Baja California	1 129 317	4 867 928	1 059 912	16 538	226 953
Baja California Sur	0	6 377 305	595 855	468	480 943
Campeche	0	0	2 535	16 230	5 731 931
Chiapas	0	0	0	633 141	6 697 118
Chihuahua	0	7 058 795	11 077 598	3 233 536	3 371 523
Cd. de México	0	0	35 283	21 896	92 281
Coahuila	0	7 923 096	7 089 953	55 644	89 320
Colima	0	0	1 990	270 866	304 200
Durango	0	1 421 090.90	5 816 475	836 142	4 262 756
Guanajuato	0	0	2 305 270	647 049	110 951
Guerrero	0	0	87 358	1 039 434	5 232 450
Hidalgo	0	0	1 150 780	270 141	661 223
Jalisco	0	0	1 366 535	2 770 621	3 722 328
México	0	0	356 198	292 606	1 586 379

Cuadro 2. Superficie cubierta por zonas desérticas en las entidades federativas de México. Unidades en hectáreas (Continuación).

Estado	Hiperárido	Árido	Semiárido	Seco-subhúmedo	Otros tipos
Michoacán	0	0	555 451	2 072 478	3 231 889
Morelos	0	0	0	166 843	321 054
Nayarit	0	0	56 597	350 233	2 402 005
Nuevo León	0	608 620.70	5 144 235	332 957	330 197
Oaxaca	0	0	1 136 581	1 786 409	6 451 840
Puebla	0	0	1 060 365	826 728	1 543 837
Querétaro	0	0	749 325	176 440	243 293
Quintana Roo	0	0	0	33 575	4 305 381
San Luis Potosí	0	84 754	4 413 002	353 382	1 263 645
Sinaloa	0	486 602	2 203 309	1 659 669	1 386 584
Sonora	151 304	7 552 302	9 488 042	575 071	290 521
Tabasco	0	0	0	0	2 472 403
Tamaulipas	0	0	4 719 046	1 341 372	1 964 593
Tlaxcala	0	0	144 289	197 354	58 080
Veracruz	0	0	60 049	210 807	6 910 088
Yucatán	0	0	303 692	218 564	3 429 542
Zacatecas	0	219 113.6	6 138,124	772 501	397 800
Total	1 280 621	36 599 608	67 577 969	21 273 602	69 579 642

Las zonas hiperáridas solo se localizan en los estados de Baja California y Sonora. Las zonas áridas y secas subhúmedas están ubicadas principalmente en los estados que constituyen la península de Baja California, los fronterizos con Estados Unidos de América (Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas) y los del centro del país (Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí y Sinaloa), en donde cubren más de tres cuartas partes de la superficie estatal. En contraste, las zonas secas tienen presencia marginal en el sureste del país, en los estados de Chiapas, Guerrero y Veracruz, y prácticamente nula en los estados de Campeche, Quintana Roo y Tabasco.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA REGIONES SECAS

Los ecosistemas secos o desérticos constituyen el capital natural que proporciona bienes y servicios de la naturaleza para alrededor de 37% de la población humana en el planeta (White and Nackoney, 2003; Costanza *et al.*, 2014). En México los ecosistemas desérticos proveen de bienes y servicios a 58% de la población (aproximadamente 71 millones de habitantes en 2015; Cuadro 1). Los bienes y servicios de soporte, abastecimiento, regulación y culturales que brindan los ecosistemas de las regiones secas de México son de fundamental importancia para el bienestar, la salud, los medios de vida y la supervivencia de sus habitantes (Figura 2).

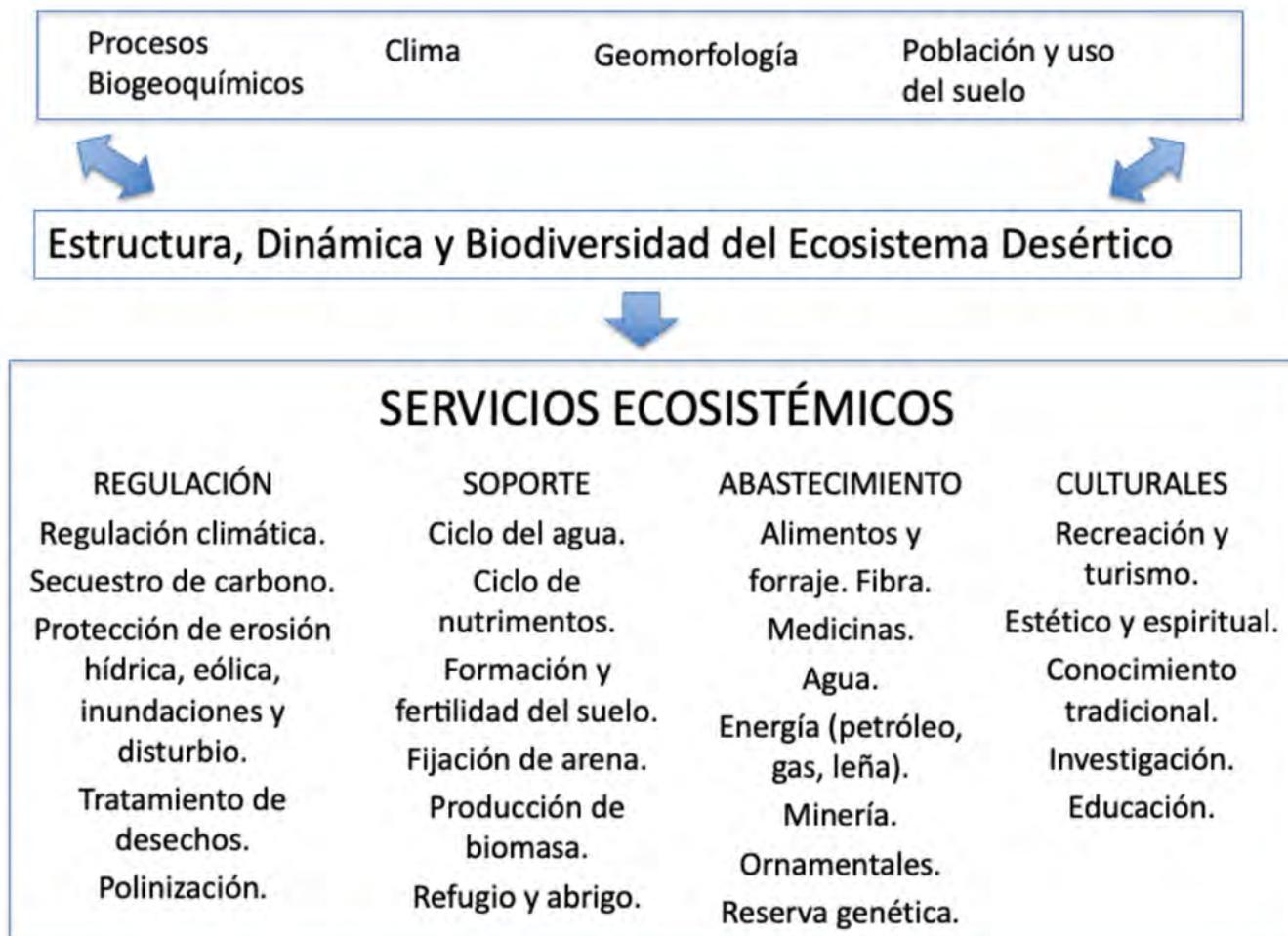


Figura 2. Bienes y servicios de los ecosistemas desérticos e interacción de los elementos del medio ambiente con el ecosistema.

Debido a que los ecosistemas secos son entornos de baja productividad primaria anual en comparación con otros biomas (Hadley and Szarek, 1981; Briones *et al.*, 2018a), es común que se perciban como ambientes que contribuyen poco en el aprovisionamiento de bienes y servicios. Sin embargo, aun con la menor cobertura de la vegetación que se observa en estas zonas, su presencia es importante en la regulación del ciclo hidrológico y por los múltiples beneficios que se obtienen de su gran diversidad de especies, muchas de ellas endémicas (Semarnat, 2015). De modo que, la estructura y dinámica de la vegetación en los ecosistemas desérticos son elementos clave en el mantenimiento de los bienes y servicios ecosistémicos (Bidak *et al.*, 2015).

Las funciones y procesos naturales de los ecosistemas secos del país generan múltiples beneficios para el bienestar social y el desarrollo económico. Dichos beneficios pueden ser directos, indirectos, materiales, intangibles y espirituales. La valoración económica de los servicios ecosistémicos aporta información cuantificable para la formulación de políticas públicas que fomenten el desarrollo sostenible, climáticamente resiliente y con bajas emisiones de fuentes de C (INECC, 2020). Sin embargo, la valoración económica de los servicios ecosistémicos de una región no es sencilla porque para muchos de ellos no hay precios observables y los estudios son escasos para México y más aún para los ecosistemas secos (INECC, 2020). Cabe señalar que la percepción de utilidad por la población puede ocasionar diferencias en la valoración para un mismo servicio ecosistémico. Por ejemplo, el servicio de abastecimiento de agua subterránea tuvo un valor máximo de \$1,931,428 MXN ha⁻¹ en la densamente poblada Ciudad de México, mientras que obtuvo un valor de 2 MXN ha⁻¹ en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, en donde la densidad de población humana es extremadamente baja y casi inexistente, aunque su consumo excesivo y las condiciones naturales han llevado a la sobreexplotación del acuífero y la intrusión salina (Almendarez-Hernández *et al.*, 2013; INECC, 2020). En un estudio sobre la valoración económica de los servicios ambientales hidrológicos en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, se encontró que la disponibilidad a pagar por los usuarios por la recarga de agua del manto freático fue de \$5.40 MXN por mes por toma y el valor anual para la zona fue de \$116,640 (Monroy-Hernández *et al.*, 2011), mientras los habitantes del Valle del Yaqui, Sonora, pagarían \$73.00 por mes para restaurar los servicios ambientales proporcionados por el río Yaqui (Ojeda *et*

al., 2008). La pobre valoración dada en el país a los recursos hidrológicos contrasta con la región de Big Bend del Desierto de Chihuahua, ubicada en el sur de Texas y límite norte de Chihuahua y Coahuila, con una superficie de 3,242 km² y cubierta con matorrales xerófilos y bosques desérticos, para la cual se estimó un valor global de los bienes y servicios ecosistémicos de \$1.17 mil millones de dólares americanos anuales, equivalente a \$367 USD ha⁻¹ (Taylor *et al.*, 2018). Los bienes y servicios más evaluados en los ecosistemas mexicanos han sido los de recreación, recursos hídricos y alimentarios, pero muchos servicios importantes de los ecosistemas han pasado desapercibidos, como la polinización, medicamentos, bioenergía y otros (Perez-Verdin *et al.*, 2016). Los principales bienes y servicios ecosistémicos de regulación, soporte, abastecimiento y culturales que brindan los ecosistemas secos en el país se describen a continuación.

Regulación y soporte

Los ecosistemas son unidades funcionales integradas por el conjunto de los seres vivos y los componentes abióticos mediante procesos físicos, químicos y biológicos. La biodiversidad es la base de los servicios de regulación y soporte de los ecosistemas, que incluyen la regulación de los gases atmosféricos que afectan el clima, mantenimiento del ciclo hidrológico, control del flujo de nutrientes (nitrógeno, fósforo) y energía, incluyendo la captura de C a través de la fotosíntesis y su liberación a través de la respiración y descomposición de la materia orgánica, la formación y fertilidad del suelo, así como el mantenimiento de la reproducción de las especies a través de la polinización y la dispersión de semillas (White and Nackoney, 2003). La reserva genética depositada en la biodiversidad facilita la creación de mejores variedades o razas de especies cultivadas a través de cruces controladas, insertando genes o manipulando su expresión para obtener cierto rasgo en los cultivos de interés económico (Perez-Verdin *et al.*, 2016).

México posee una enorme riqueza en los tres niveles de la biodiversidad (ecosistemas, especies y genes) y especies endémicas, por lo que es considerado un país megadiverso. Para nuestro país se ha registrado 10% de las especies de vertebrados y hongos y 9.1% de las especies de plantas vasculares que existen en el mundo. El 46% de las especies de reptiles, 30% de mamíferos, 48% de anfibios, 11% de aves y 50-60% de las plantas vasculares solamente se encuentran en el territorio mexicano (SEMARNAT, 2015).

La flora de los ecosistemas secos de México está constituida por más de 6 mil especies y la proporción estimada de especies endémicas es de 60%, sobresaliendo las regiones de Cuatrociénegas, Coahuila, Río Verde, San Luis Potosí, del Desierto Sonorense en Sonora y Tehuacán-Cuicatlán, Puebla (Rzedowski, 1991; Briones, 1994; Zavala-Hurtado y Monserrat, 2020). La biodiversidad no solo es la base de los servicios de los ecosistemas, sino que también lo es para la agricultura, a la que provee de los servicios de polinización por abejas, avispa, pájaros y murciélagos, fijación de nitrógeno por microbios simbioses el suelo y depredadores naturales que reducen el uso de plaguicidas (White and Nackoney, 2003). Además, la reserva genética depositada en la biodiversidad mantiene y facilita la generación de nuevas variedades y razas de especies cultivadas y de interés económico (Perez-Verdin *et al.*, 2016).

La biodiversidad de los ecosistemas también es importante para la estabilidad y resistencia a perturbaciones como la sequía. De importancia crítica es la conservación de la biodiversidad de los ecosistemas secos de los hábitats ribereños. Aun cuando representan menos del 1% de la superficie de los ecosistemas secos (Scott *et al.*, 2009), los hábitats ribereños mantienen una gran diversidad de especies de plantas y animales y sirven de corredor para muchas especies de plantas, aves y mamíferos (Cornejo *et al.*, 2018; Mendez-Estrella *et al.*, 2017). La conservación de estos ecosistemas, particularmente en las regiones secas del país, debería ser prioritaria en el país, dada la presión de uso y perturbación a la que se encuentran expuestos (Cornejo *et al.*, 2020; Mendez-Estrella *et al.*, 2016). En los sistemas agroforestales de los valles aluviales de las tierras bajas del desierto del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, los usuarios de la tierra mantienen los mezquiales debido a los servicios de regulación de protección contra vientos fuertes y retención de agua y suelo y provisión de sombra, así como culturales de belleza paisajística (Vallejo *et al.*, 2015). La composición de especies vegetales en esta región puede afectar la fertilidad del suelo y las interacciones bióticas de especies asociadas (Perroni-Ventura *et al.*, 2006), por lo que mantener o no mantener especies vegetales específicas puede tener impacto en el funcionamiento del ecosistema y la creación de hábitats (Perroni-Ventura *et al.*, 2010).

La meta de mantener la temperatura global por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de

la temperatura a 1.5 °C, ha obligado a explorar no solo formas de reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero a la atmósfera sino de formas para eliminar el exceso de CO₂ atmosférico. Una de las medidas consideradas es aumentar el servicio de secuestro de carbono, esto es, la absorción y almacenaje de carbono en las plantas y suelo. Esto podría lograrse ya sea conservando los sumideros naturales (por ejemplo, la vegetación) o bien, incrementando la capacidad de los ecosistemas naturales para secuestrar carbono (Squires y Glenn, 1997). Dentro de los ecosistemas terrestres naturales la vegetación boscosa ha recibido mayor atención principalmente por su mayor biomasa aérea, en comparación con los ecosistemas de zonas secas en donde la biomasa subterránea y los flujos de carbono de las raíces al suelo son significativos (Kumar *et al.*, 2006). Mayor detalle sobre este tema se describe en la sección de ciclo del carbono y cambio climático en las regiones secas.

Abastecimiento

En México se han registrado 7,461 especies de plantas útiles, de las cuales 2,168 son comestibles, además el país se considera centro de origen de más de 15% de las especies de plantas más consumidas como alimento en el planeta. La región seca del Valle de Tehuacán-Cuicatlán se destaca por algunos de los registros más antiguos de domesticación de especies y centro de origen del maíz (*Zea mays*) y la calabaza (*Cucurbita pepo*) (Mapes and Basurto, 2020). Sin embargo, debido a que las regiones secas no son propicias para la producción continua de cultivos por la escasa y alta variabilidad en la lluvia, en muchas poblaciones se realizan cultivos de temporal, con su producción dedicada casi totalmente al autoconsumo y comercio local. En las regiones secas se ubican algunas de las regiones agrícolas más extensas que utilizan agua del subsuelo. El abastecimiento de alimentos vegetales que los ecosistemas secos proporcionan en México se caracteriza principalmente por cultivos de trigo, soya, maíz, cebada y sorgo. Otros de menor cuantía son las hortalizas (remolacha, melones, pepinos, berenjenas, lechugas, cebollas, pimientos, papas, calabaza, espinacas, tomates) y forrajeras (heno y nopales) (Rzedowski, 1978; González-Medrano, 2012). También son importantes las plantaciones y recolección en el campo de hojas y frutos de algunas especies importantes como condimento (óregano *Lippia graveolens*, *Lippia berlandieri*; chile *Capsicum* spp.) y de agaváceas para la producción de bebidas

alcohólicas como el mezcal, bacanora, pulque y sotol (*Agave* spp., *Dasyliirion* spp.).

Los frutos dulces y agri dulces de plantas silvestres de las regiones secas han sido suplementos alimenticios importantes. Entre ellos están las tunas y xoconostles (frutos de la tuna, *Opuntia* spp.), y las pitayas (*Stenocereus* spp.), pitahayas (*Hylocereus* spp.), chiotilla (*Escontria chiotilla*) y garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) de cactáceas columnares (Mapes and Basurto, 2020).

En México, los extractos de muchas especies de plantas y de algunos animales, son útiles para tratar múltiples enfermedades y por ello la biodiversidad es esencial para el mantenimiento de la salud humana y de otros animales. Algunos usos dados a las especies de zonas áridas son como: vermífugas, como las flores de estafiate (*Artemisia mexicana*), la corteza del chaparro amargoso o bizbirinda (*Castela tortuosa*), febrífugas, como el tallo del guayacán (*Porlieria angustifolia*) y emenagogos, como la corteza y hojas del chile pájaro (*Citharexylum brachyanthum*) o las hojas del orégano (*Lippia alba*, *Lippia graveolens*); laxantes, como las semillas y raíces de suapatle (*Croton dioicus*) y el fruto de la perilla (*Chiococca alba*) y tónicas, como las hojas y ramas de la damiana (*Turnera diffusa*) y la corteza y ramas del pinacatillo (*Ptelea trifoliata*); analgésicas, como la corteza de la gavia (*Acacia rigidula*) o las inflorescencias de manrubio (*Marrubium vulgare*), y diuréticas, como las hojas y raíces de la hierba de San Pedro (*Tecoma stans*), el tallo de la vara dulce (*Eysenhardtia polystachya*). También se han utilizado en el tratamiento de enfermedades venéreas, como la resina del cuajote colorado (*Bursera fagaroides*), el látex y corteza del sangregado (*Jatropha spathulata*), como astringentes, el tallo y las hojas del guamúchil (*Pithecellobium dulce*) y el fruto del granjeno (*Celtis pallida*) y antirreumática, como la gobernadora (*Larrea divaricata*). Otras especies han sido usadas contra enfermedades de la piel, afecciones pectorales y cardiovasculares, estreñimiento, pasando por sedantes, antirreumáticas, estimulantes, anestésicas, cicatrizantes, vomitivas, abortivas e inclusive afrodisíacas (González Medrano, 2012). En las zonas áridas y semiáridas tradicionalmente se han explotado plantas productoras de fibras (lechuguilla, *Agave lechuguilla*, henequén *Agave fourcroydes*, palma samandoca *Yucca carnerosana*, zamandoque *Hesperaloe funifera*). Otros productos han sido las ceras (candelilla *Euphorbia antisiphilitica*, jojoba *Simmondsia chinensis*) y hule (guayule *Parthenium*

argentatum). Muchas comunidades rurales asentadas en esas regiones dependen del corte de raíces y tallos de especies arbustivas para abastecerse de leña (González Medrano, 2012).

Una gran diversidad de especies de plantas de las zonas secas ha sido utilizada como plantas de ornato debido a la belleza de sus tallos y flores. Es común observar especies con tallos suculentos o semisuculentos de la familia Cactaceae y de los géneros *Agave* y *Yucca* en los espacios urbanos (parques, plazas, jardines) y hogares de muchas ciudades. Algunas especies son producidas en viveros, pero muchas son extraídas ilegalmente de la vegetación original. En una región del desierto del Valle de Tehuacán, Puebla, Paredes-Flores, *et al.* (2007) encontraron que 22% de 288 especies registradas fueron utilizadas con fines ornamentales. Para el estado de Tamaulipas, de las 610 especies de plantas útiles registradas 138 fueron ornamentales y más de 30% provinieron de las regiones semiáridas del estado (Hernández *et al.*, 1991). A pesar de su importancia, la conversión de los ecosistemas a la agricultura, acuacultura y la colecta selectiva de ejemplares para su venta a coleccionistas particulares ha colocado a muchas poblaciones en alto riesgo de desaparecer. Un estudio reciente encontró que 31% de 1,478 especies de cactáceas en el continente americano están amenazadas con peligro de extinción (Goettsch, Hilton-Taylor, Cruz-Piñón *et al.*, 2015). Además de la flora, la fauna ha sido ampliamente utilizada en el abastecimiento alimenticio. Una gran variedad de especies de carnívoros de las zonas secas ha sido cazada por su valor como trofeo de caza y piel, incluyendo zorras (de los géneros *Vulpes* y *Urocyon*), jabalí de collar o javelina (*Pecari tajacu*), venado bura (*Odocoileus hemionus*), venado cola blanca (*O. virginianus*), borrego cimarrón (*Ovis canadiensis*), berrendo (*Antilocapra americana*), puma (*Felis concolor*) y lince (*Lynx rufus*). Pequeñas especies de conejos (*Sylvilagus* spp.) y liebres (*Lepus* spp.), así como las serpientes de cascabel (*Crotalus* spp.) han sido cazadas para consumo de la carne.

La ganadería en sentido amplio se refiere a bovino, cerdos, cabras, ovejas, asnos y gallinas, pero por su desarrollo, extensión e impacto ambiental, la ganadería vacuna ha sido la actividad más importante. Sin embargo, en varias de las regiones secas del país la ganadería caprina extensiva o de libre pastoreo es una fuente considerable de carne, leche y fibra. Con libre pastoreo el ganado vacuno y caprino se ha alimentado de un gran número de especies forrajeras (arbustos,

pastos y herbáceas). Por ejemplo, en la región del Valle de Tehuacán-Cuicatlán cerca de 5 mil hogares (más del 50 % de la población en algunos municipios) crían cabras, que utilizan el 66% de las 2,621 especies de plantas vasculares de la región, de las que el 33% tienen un uso intensivo como forraje (Lira *et al.*, 2009). El ramoneo de especies arbustivas es el componente más importante en la dieta de las cabras. Estos animales pueden consumir una alta diversidad de especies lo que puede inducir un alto grado de disturbio. Por ejemplo, en un matorral desértico el noreste de México, las cabras utilizaron en su dieta 83, 10 y 6% de arbustos, pastos y hierbas, respectivamente, siendo las hojas y ramillas de *Acacia rigidula*, *Leucopyllum texanum*, *Cercidium macrum*, *Celtis pallida*, *Porlieria angustifolia* y *Cordia boissieri* las principales fuentes de alimentación (Ramírez *et al.*, 1993).

En nuestro país la población de ganado bovino ha tenido ciclos importantes y se ha incrementado con diferente velocidad desde la época colonial. La población aumentó en 7% de 2006 a 2015, pasando de 31 a 33 millones de reses, de los cuales el ganado para carne aumentó en 7% y lechero en 10%, respectivamente (SIAP, 2019). Para dimensionar el uso que hace la ganadería de los ecosistemas naturales, de los casi 32 millones de cabezas de ganado bovino del país, 60% se alimenta de libre pastoreo y 18% adicional de pastoreo controlado (INEGI, 2017a). En las regiones áridas y semiáridas de México el uso actual de los recursos naturales renovables es distinto del que hacían los cazadores y recolectores prehispánicos, iniciándose en la época colonial (Ezcurra y Montaña, 1988). En el México colonial las haciendas proveyeron de mulas, caballos y vacas para la actividad principal, que fue la minería (Figura 3).

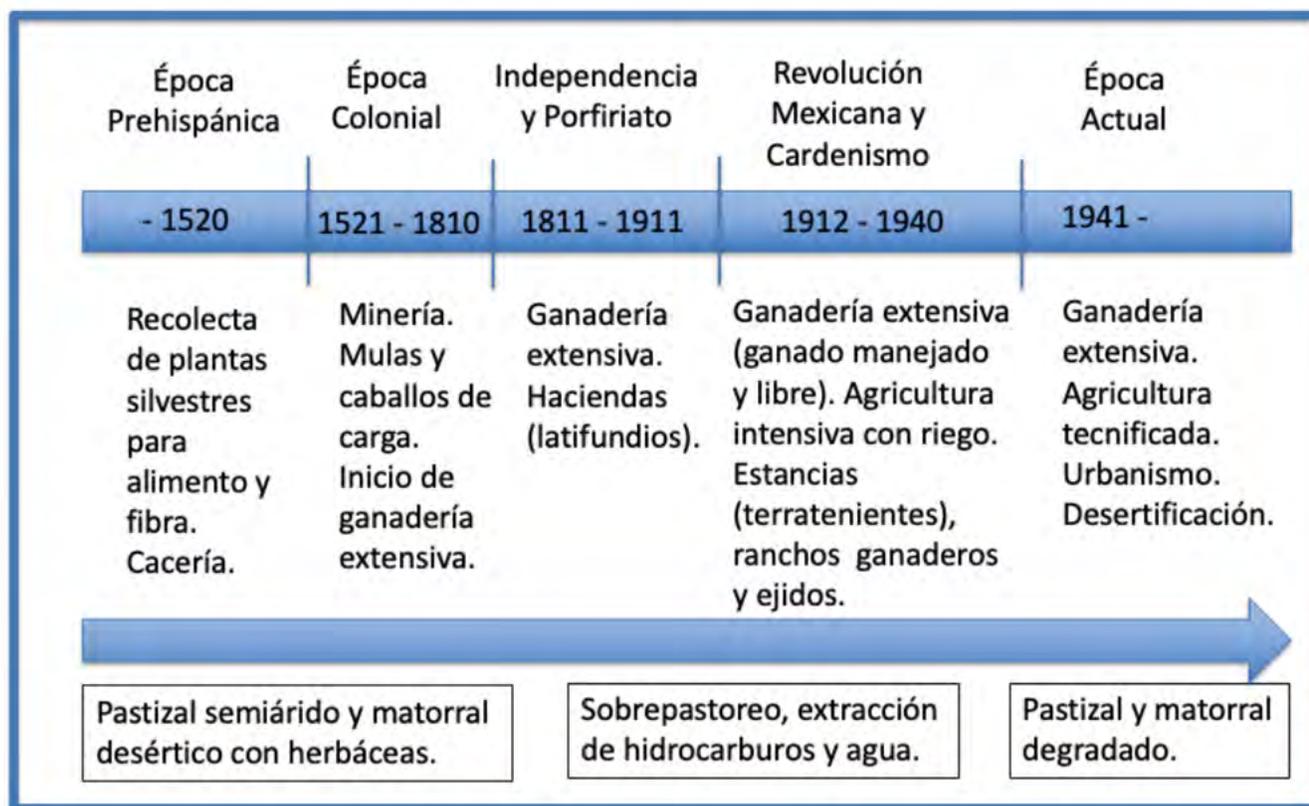


Figura 3. Cambio en las actividades humanas y en la vegetación en las zonas secas de México.

El uso de los agostaderos con un criterio de extracción sin procurar su mantenimiento desde la época colonial y sobre todo desde finales del siglo XX hasta la época actual, ha conducido en extensas regiones de las zonas áridas y semiáridas a la desertificación, erosión, compactación del suelo y deterioro de los recursos naturales, además de propiciar la invasión de especies arbustivas, reducción de la sombra que facilita el establecimiento de las plantas y la pérdida de la productividad de los ecosistemas (Buffington and Herbel, 1965; Ezcurra y Montaña, 1988; Taylor *et al.*, 2017). Más recientemente, la introducción de especies exóticas como forraje en apoyo a la ganadería, ha propiciado la transformación de millones de hectáreas de terreno en los ecosistemas secos del país. Así ha ocurrido con la introducción de zacate buffel *Cenchrus ciliaris* en seguimiento a las políticas de fomento a la productividad del campo en los estados del norte del país (Bravo-Peña *et al.*, 2010; Bravo-Peña y Castellanos, 2013). El zacate buffel es una especie originaria de las zonas tropicales y subtropicales de África, India e Indonesia, con gran plasticidad y capacidad de adaptación e invasibilidad en las comunidades de los desiertos Sonorense y Chihuahuense (Arriaga *et al.*, 2004; Castellanos *et al.*, 2002; Castellanos *et al.*, 2010). Aun cuando los ecosistemas transformados por zacate buffel se encuentran entre los más productivos de las regiones secas de Norte América (Hinojo *et al.*, 2016; Hinojo *et al.*, 2019), la introducción de esa gramínea exótica ejemplifica la necesidad de priorizar las políticas públicas para tomar decisiones que aseguren la sustentabilidad de los bienes y servicios de los ecosistemas secos del país (Bravo-Peña *et al.*, 2010; Brenner, 2010; Castellanos *et al.*, 2010). Sin embargo, cabe señalar que también se han reportado efectos positivos de la ganadería sobre la vegetación, por ejemplo, la dispersión que los animales domésticos hacen de las semillas de numerosas especies de plantas, favoreciendo la germinación de cactus y arbustos (Casas *et al.*, 2016).

El agua proveniente de caudales que cruzan las regiones secas del país es utilizada en la agricultura, pero la competencia cada vez más intensa por este bien escaso ha incrementado las tensiones entre los sectores productivos agrícolas y ganaderos y entre éstos y la población. Por ejemplo, en la región hidrológica administrativa norte, centro y noroeste, la disponibilidad de agua es siete veces menor que la registrada para la región sureste de México (CONAGUA, 2018). El caudal de sus ríos es errático e

intermitente y con marcadas variaciones entre años. En las regiones áridas son comunes los embalses pequeños de almacenamientos de agua o “presones”, que se vacían en años secos y solo en pocos lugares el caudal es mayor y su almacenamiento está regulado por presas que permiten aprovechar el agua durante varios años.

El abastecimiento para la población humana de agua de lluvia y la recarga de acuíferos es muy baja en las regiones secas. Sin embargo, es el agua almacenada en los numerosos acuíferos localizados en las zonas áridas del país lo que mantiene grandes superficies de cultivos de riego, actividades industriales y núcleos poblacionales. El agua subterránea en nuestro país cubre la demanda de un tercio de la superficie total bajo irrigación, 50% de la demanda de la industria, 70% del suministro de las ciudades (aproximadamente 35 millones de habitantes) y de casi la totalidad (5 millones de habitantes) de la población rural (CONAGUA, 2008). Así, de 32 acuíferos sobreexplotados en 1975, se pasó a 105 en 2017. Los casos críticos de acuíferos sobreexplotados se encuentran en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país, en la cuenca del río Lerma (Guanajuato y Querétaro), región de La Laguna (Coahuila-Durango), península de Baja California y en Aguascalientes, Chihuahua, región costera de Sonora y el Valle de México (Halvorson 2003; Torregrosa *et al.*, 2012). De acuerdo con CONAGUA (2018), prácticamente todas las zonas secas del país muestran grados de presión altos sobre el recurso hídrico, con algunos casos extremos como en la región que incluye los estados de Baja California y Sonora, donde se tiene concesionada para extracción el 80% del agua disponible superficial y un volumen superior al 120% de la recarga del agua subterránea.

Los recursos geológicos en los desiertos son importantes y grandes culturas en la humanidad se han valido de ellos en términos de construcción, minería y producción de sal. Las regiones áridas y semiáridas se han destacado por ser fuente de abastecimiento de alta diversidad de minerales y los principales estados mineros del centro y norte del país (Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí) se encuentran en esas regiones. Ha sido notable la extracción de minerales no ferrosos y preciosos, como la plata, oro, zinc, plomo y cobre, así como los minerales industriales yeso, fluorita y caliza. La producción de sal en tierras secas contribuye a la producción de sal y México ocupa el primer y séptimo lugar en Latinoamérica y en el mundo, respectivamente (Armendariz, 2016; AMISAC, 2017).

Las regiones secas han tenido un papel relevante en la generación de energía que puede llegar a ser aún mayor en el futuro inmediato. La cuenca de Burgos en la región semiárida de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas ha aportado volúmenes importantes de petróleo y la cuenca de Sabinas en Coahuila y Nuevo León es el yacimiento más importante de carbón mineral (Armendariz, 2016) y en ambas cuencas, recientemente se encontraron importantes depósitos de gas Shale. La relativamente reciente instalación de parques solares en algunas localidades secas del país prefigura la idea de la utilización de su terreno para la generación de energía eléctrica. El potencial de captación de energía solar y las grandes extensiones deshabitadas sugiere que un servicio importante de los ecosistemas desérticos podría ser la generación de energía solar como fuente alternativa para consumo eléctrico.

Culturales

México es una de las regiones más ricas en lenguas vigentes y diversidad biocultural del planeta (De Ávila, 2008; Casas *et al.*, 2016). Las regiones mesoamericanas y áridoamericanas de México son altamente ricas en elementos biológicos y antropológicos, que han sido una gran fuente de conocimiento tradicional y de técnicas utilizadas en el uso y manejo de los recursos naturales (Camou-Guerrero *et al.*, 2016). El Valle de Tehuacán-Cuicatlán, por ejemplo, es una de las áreas ampliamente reconocidas por los estudios sobre la prehistoria que documentan los orígenes de la agricultura en el Nuevo Mundo (Lira *et al.*, 2009). Tanto la investigación sobre las zonas áridas y semiáridas que se esfuerza por generar conocimiento de ese entorno específico, así como la investigación dentro de los ecosistemas desérticos, han tenido un impacto en la ciencia y educación global. Esto se debe a que ambos tipos de investigaciones se benefician de la atmósfera limpia del desierto, los escasos asentamientos humanos, el clima seco, la escasa cobertura vegetal y, a menudo, la delgada capa de suelo, características que contribuyen a buenas condiciones de conservación, visibilidad y alta detectabilidad de objetos y fenómenos científicamente relevantes (Safriel, 2006). Las zonas áridas y semiáridas son destinos para la recreación al aire libre y turismo por su paisaje peculiar, con mesetas rocosas, valles y montañas para hacer senderismo, ciclismo, acampar y meditar. El ecoturismo en las regiones áridas se ha desarrollado en las últimas décadas y existen muchas opciones de bajo costo para la población. La gente puede

viajar a los ecosistemas desérticos para observar la vida silvestre y las adaptaciones a la aridez de las especies de plantas y animales, muchas de ellas solamente encontradas en zonas geográficas específicas. También puede practicarse la caza cinegética y pesca en embalses y ríos (White and Nackoney, 2003; Seeley, 2006).

CICLO DEL CARBONO Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS REGIONES SECAS

El conocimiento del ciclo global del C en las regiones secas o áridas es muy importante debido a su relación con el cambio climático causado por el incremento antropogénico de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico (Chapin *et al.*, 2011). La concentración de CO₂ en la atmósfera se ha incrementado de 280 ppm antes de la revolución industrial a alrededor de 410 ppm en la actualidad (GCP, 2020). Aunque el CO₂ no es el gas de efecto invernadero que más potencial de calentamiento tiene, es el que más contribuye al efecto invernadero y el calentamiento global debido a su concentración en la atmósfera por los volúmenes emitidos. Tanto la vegetación como el suelo de los desiertos y de cualquier ecosistema son sumideros naturales de carbono, debido a que tienen la capacidad de absorber el carbono presente en la atmósfera e incorporarlo en la biomasa de las numerosas especies de plantas, animales y microorganismos, lo que se conoce como “secuestro de carbono” (Murray-Tortarolo *et al.*, 2016). Con este proceso, es posible almacenar C que de otra forma estaría libre en la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global.

Los matorrales y pastizales son la vegetación dominante en las regiones secas y ocupan más de un tercio de la superficie terrestre global (Feng and Fu, 2013). En nuestro país ocupan más de la mitad del territorio (INEGI, 2017b), convirtiéndose por ello en grandes almacenadores y reguladores del ciclo del C y del clima. Los matorrales 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 son frecuentes en las regiones planas del noreste de Sonora y occidente del Altiplano, desde Chihuahua hasta Jalisco y Guanajuato (Rzedowski, 1978). La información experimental sobre el C en el suelo y la vegetación de los matorrales y pastizales de México se ha originado principalmente en instituciones

públicas y la gran mayoría del conocimiento se ha producido en instituciones de investigación y educación superior y el resto en instituciones de gobierno (Montaño *et al.*, 2016; Briones *et al.*, 2018b). En décadas recientes se han realizado esfuerzos a nivel nacional para inventariar los almacenes de C de los ecosistemas terrestres en México por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Programa Mexicano del Carbono, A.C. Los matorrales y pastizales adecuadamente conservados y manejados pueden almacenar cantidades muy significativas de C en la vegetación y en el suelo y pueden ser muy productivos. Por el contrario, la transformación de los matorrales y pastizales a tierras agrícolas y pecuarias puede ocasionar la pérdida de la vegetación y la modificación de la emisión a la atmósfera del CO₂ (Hinojo *et al.*, 2019).

A nivel mundial, se asume que la biomasa consiste en 50% de C, pero en los matorrales y pastizales de México la biomasa consiste en 43.5% de C (Briones *et al.*, 2018a,b). El C total promedio almacenado en la biomasa de los matorrales es 16.3 Mega gramos por hectárea (Mg ha⁻¹), con valores mínimos y máximos de 2.5 Mg ha⁻¹ y de 56.0 Mg ha⁻¹ (n = 34 sitios), mientras que el C total promedio almacenado en la biomasa de los pastizales es 5.7 Mg ha⁻¹, con valores mínimos y máximos de 4.7 y 7.9 Mg ha⁻¹ (n = 4 sitios) (Briones *et al.*, 2018a,b). De acuerdo con la depuración y análisis de la información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2004-2007, el C total almacenado en los matorrales es de 1.28 Mg ha⁻¹, con valores mínimos y máximos de 0.39 Mg ha⁻¹ y 2.64 Mg ha⁻¹, considerando 9,648 registros, mientras que en los pastizales es 1.71 Mg ha⁻¹, con valores mínimos y máximos de 0.25 Mg ha⁻¹ y 4.08 Mg ha⁻¹, considerando 127 registros (Briones *et al.*, 2018a,b). Los valores de C almacenado en los matorrales y pastizales de México los sitúan en un lugar intermedio entre los ecosistemas de los desiertos del mundo (2 a 5 Mg ha⁻¹) y el bosque tropical seco (37 a 117 Mg ha⁻¹). La transferencia de C de la biomasa vegetal hacia el suelo a través de la producción de hojarasca de los matorrales es de 1.27 Mg ha⁻¹ (n = 16 registros) (Briones *et al.*, 2018a). Los ecosistemas ribereños, a pesar de su gran importancia en la regulación y reservorios de C en las zonas secas del país, han sido prácticamente ignorados. Estos ecosistemas almacenan en su porción aérea (33.5 ± 17.1 Mg C ha⁻¹) un orden de magnitud mayor cantidad de biomasa de C que los bosques de mezquite (3.5 ± 2.9

Mg C ha⁻¹) y matorrales desérticos vecinos (2.4 ± 1.8 Mg C ha⁻¹). Si se considera la biomasa por debajo del suelo y el C en el suelo, los ecosistemas ribereños pueden almacenar dos o tres veces (93.1 Mg C ha⁻¹) la cantidad de C que otros ecosistemas vecinos y similares al bosque tropical seco (Mendez *et al.*, 2017). El cambio en el uso de suelo ha ocasionado la pérdida casi total o parcial del C almacenado en la biomasa de los matorrales, pero el ecosistema tiene alto potencial de regeneración natural. Se ha mostrado que la vegetación secundaria ha podido capturar casi 1.3 veces más C aéreo, en comparación con la vegetación original después de 30 años, aunque los matorrales solo recuperaron entre 26% y 40% del C aéreo después de 25 años de regeneración natural (Yerena-Yamallel *et al.*, 2011).

POLÍTICAS PÚBLICAS

Conservar la estructura y función de los ecosistemas y enfrentar el cambio climático son los principales retos de la agenda ambiental del país, por lo que la conservación de los ecosistemas secos y las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático deberían estar íntimamente relacionadas. Las relaciones entre la conservación y políticas de mitigación deben considerar incorporar también las metas de reducción de la pobreza, lograr el crecimiento y mejorar el bienestar material y económico de la población. Tratar de enfrentar cada reto de forma separada no sólo es un error sino también se corre el riesgo de afectarse negativamente entre sí. Programas evidentemente ambientales como la reforestación y el manejo sustentable de bosques pueden y deben contemplar y buscar simultáneamente beneficios sociales y ambientales para impulsar el desarrollo sostenible como factor indispensable del bienestar. De manera similar, los programas de gobierno traducidos en programas públicos encaminados a mejorar la calidad de vida y el bienestar de la población rural podrían planearse para generar también beneficios ambientales, por ejemplo, la absorción y retención de C.

Un elemento importante para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero es la utilización de instrumentos de mercado en México (Gobierno de México. SEMARNAT, 2020). Desde principios de la década de 1990 se han diseñado y desarrollado mecanismos basados en el mercado, ya sea para compensar los impactos ambientales negativos pagando por el daño ambiental que ocasiona la

construcción o funcionamiento de una cierta obra o para monetizar la prestación de servicios ambientales a través de los pagos por servicios ambientales. Sin embargo, implementar esta propuesta como política de gobierno es complicada sobre todo por la cuantificación del valor económico del C. En la práctica, en México se han implementado impuestos a los combustibles fósiles en función de la concentración de C desde 2014 (PECC, 2018). Es importante evaluar la capacidad del país para gestionar sus recursos naturales e invertir en ello, además de generar programas, infraestructura, proyectos integrales, capacitación, organización, redes de monitoreo y estrategias de control y regulación entre los sectores público, privado, productivo e informal con base en la información y el conocimiento científico.

A pesar de su gran importancia, existen grandes vacíos de información sobre la capacidad para secuestrar C por los matorrales y pastizales. Por ejemplo, en sitios con matorrales desérticos constituidos por especies arbustivas con vía fotosintética C₃ que fueron transformados a vegetación sabanoide de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*, especie con vía fotosintética C₄), la señal isotópica de ¹³C mostró cambios muy rápidos en la materia orgánica del suelo, sugiriendo baja capacidad de almacenamiento del C edáfico (Castellanos *et al.*, 2010). Aunque son muy escasos, estudios como el anterior demuestran que para implementar políticas adecuadas para el secuestro de C por la vegetación y así evitar su liberación a la atmósfera, debe incrementarse el apoyo a los programas de investigación y formación de recursos humanos en las instituciones públicas de investigación y de educación superior sobre los recursos naturales, la ecología y el ambiente. Así entonces, se aumentará la capacidad para evaluar los efectos del cambio climático y del cambio en el uso del suelo en el secuestro de C en los ecosistemas secos de México.

Para el fortalecimiento de las políticas públicas sobre el C y el cambio climático en zonas secas de México es recomendable (Briones *et al.*, 2019):

1. Incrementar el apoyo a los programas de investigación y formación de recursos humanos en las instituciones públicas de investigación y educación superior sobre recursos naturales, ecología y medio ambiente.
2. Incrementar el apoyo a los inventarios nacionales sobre el C en la vegetación y suelo de los ecosistemas.
3. Investigar la variación de los flujos y reservorios del C en el sistema suelo-vegetación-atmósfera.

4. Investigar los procesos biogeoquímicos que controlan las variaciones espaciales y temporales de las fuentes y almacenes de C.
5. Investigar la relación entre los ciclos biogeoquímicos del C, nitrógeno y fósforo y su relación con la disponibilidad hídrica.
6. Generar modelos regionales y globales para estimar almacenes y flujos de C y su relación con las magnitudes de la variación en la disponibilidad hídrica en el ecosistema.
7. Desarrollar modelos para favorecer el secuestro de C, a través del manejo de los reservorios y flujos de C.
8. Evaluar los efectos del cambio global (cambio climático, cambio en el uso del suelo, pérdida de biodiversidad y especies invasoras) en el ciclo del C.
9. Implementación de programas de incentivos al sector productivo para la conservación y sustentabilidad de los ecosistemas.
10. Apoyo a la generación de cadenas productivas locales basados en el uso responsable de los recursos naturales y la preservación de los bienes y servicios de los ecosistemas secos.

Con respecto específicamente al diseño de políticas y programas encaminados a aumentar el potencial del secuestro de C por los matorrales y pastizales de las regiones secas y, con ello, amortiguar su liberación a la atmósfera desde los matorrales y pastizales de las zonas áridas, es necesario incrementar el conocimiento científico de:

1. Contenido de C en los tejidos de las especies, materia orgánica muerta y suelo.
2. Relaciones alométricas de tamaño de las plantas y contenido de C.
3. Almacenes de C en la biomasa viva y muerta aérea y subterránea, mantillo y suelo.
4. Transferencia de C por la productividad primaria, hojarasca, descomposición y respiración de los ecosistemas secos.
5. Flujos de C en los ecosistemas secos naturales y manejados del país.

CONCLUSIONES

Los múltiples y diversos bienes materiales y servicios intangibles y espirituales, de soporte, regulación y culturales que brindan los ecosistemas de las regiones secas son de fundamental importancia para el bienestar, la salud, los medios de vida y la supervivencia de casi 60% de la población de México. Sin embargo, las presiones sobre los ecosistemas por la necesidad de producir materiales para una rápida industrialización y alimentos para una creciente población, así como el entorno de cambio climático, están comprometiendo la permanencia, cantidad y calidad de los servicios ecosistémicos en las regiones secas. Por lo anterior, es urgente incrementar para estos ecosistemas el conocimiento del ciclo del C, del papel de la sequía, del incremento del CO₂ atmosférico, de las interacciones del C con sus procesos ecosistémicos y del cambio en el uso del suelo. Además, el conocimiento de los flujos, captación y reservorios del ciclo del C en los ecosistemas secos es de vital importancia como base del diseño e implementación de metodologías rigurosas que permitan el diseño de estrategias y políticas públicas de mitigación y adaptación ante los impactos del cambio climático en México. El estudio del ciclo del C de la vegetación y suelos de las zonas secas que cubren más de la mitad del territorio del país es prioritario para entender las consecuencias del incremento acelerado de la concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecemos los comentarios y recomendaciones de tres revisores anónimos a la primera versión del artículo.

LITERATURA CITADA

- Almendarez-Hernández, M., L. Jaramillo-Mosqueira, G. Avilés-Polanco, L. Beltrán-Morales, V. Hernández-Trejo and A. Ortega-Rubio. 2013. Economic valuation of water in a natural protected area of an emerging economy. Recommendations for El Vizcaino Biosphere reserve, Mexico. *Interciencia* 38(4):245-252.
- AMISAC. 2017. Producción de sal. Asociación Mexicana de la Industria Salinera, A.C., México. <http://www.amisac.org.mx/produccion/> (Consulta: abril 06, 2020).
- Arriaga, L., A. E. Castellanos, E. Moreno and J. Alarcón. 2004. Potential ecological distribution of alien invasive species and risk assessment: A case study for buffel grass in arid regions of Mexico. *Conservation Biology* 18:1504-1514. DOI:10.1111/j.1523-1739.2004.00166.x
- Armendáriz, E. J. 2016. Áreas naturales protegidas y minería en México. Perspectivas y recomendaciones. Tesis Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, A.C. 165 p.
- Bidak, L. M., S. A. Kamal, M. W., A. Halmy and S. Z. Heneidy. 2015. Goods and services provided by native plants in desert ecosystems. Examples from the northwestern coastal desert of Egypt. *Global Ecology and Conservation* 3:433-447. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2015.02.001>
- Briones, O. 1994. Origen de los desiertos mexicanos. *Ciencia* 45: 263-279.
- Briones, O., A. Búrquez, A. Martínez-Yrizar, N. Pavón y Y. Perroni. 2018a. Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. *Madera y Bosques* 24 (Número Especial):1-19. DOI:10.21829/myb.2018.2401898
- Briones, O., Y. Perroni, A. E. Castellanos, I. Estrada-Contreras, A. Martínez-Yrizar, Y. Maya, N. M. Montaña, N. Pavón y E. Yépez. 2018b. Base de datos de carbono en la biomasa de matorrales y pastizales xerófilos de México. *Elementos para Políticas Públicas* 2:200-209.
- Briones, O., Y. Perroni, S. Bullock, A. Castellanos, B. de Jong, M. Estrada-Contreras, F. Paz-Pellat, A. Martínez-Yrizar, Y. Maya-Delgado, N. M. Montaña, N. Pavón, A. S. Velázquez-Rodríguez y E. A. Yépez. 2019. Matorrales y Pastizales. pp. 303-385. En: Paz-Pellat, F., J. M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos y A. S. Velázquez-Rodríguez. (eds.). Estado del Ciclo del Carbono: Agenda Azul y Verde. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México, México.
- Bravo-Peña, L. C. y A. E. Castellanos. 2013. Tendencias del índice de la diferencia normalizada de la vegetación (NDVI) en el estado de Sonora. Implicaciones potenciales sobre el sector pecuario en el contexto del cambio climático. pp. 245-283. En: Aplicaciones de percepción remota y análisis espacial en la evaluación del uso del territorio. Sánchez-Flores, E. y R. E. Díaz-Caravantes (eds.). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Bravo-Peña, L. C., S. Doode-Matsumoto, A. C. Castellanos-Villegas, I. y I. Espejel-Carbajal. 2010. Políticas rurales y pérdida de cobertura vegetal. Elementos para reformular instrumentos de fomento agropecuario relacionados con la apertura de praderas ganaderas. *Región y Sociedad* 22:3-35.
- Brenner, J. C. 2010. What drives the conversion of native rangeland to buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) pasture in Mexico's Sonoran Desert?: The social dimensions of a biological invasion. *Human Ecology* 38:495-505. <https://doi.org/10.1007/s10745-010-9331-5>

- Buffington, L. C. and C. H. Herbel. 1965. Vegetational changes on a semidesert grassland range from 1958 to 1963. *Ecological Monographs* 35:139-164. <https://doi.org/10.2307/1948415>
- Camou, E. 1998. De rancheros, poquiteros, orejanos y criollos: Los productores ganaderos de Sonora y el mercado internacional. El Colegio de Michoacán. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Zamora, México. 314 p.
- Camou-Guerrero, A., A. Casas, A. I. Moreno-Calles, J. Aguilera-Lara, D. Garrido-Rojas, S. Rangel-Landa, I. Torres, E. Pérez-Negrón, L. Solís, J. Blancas, S. Guillén, F. Parra and E. Rivera-Lozoya. 2016. Ethnobotany in Mexico: History, development, and perspectives. pp. 21-39. *In: Ethnobotany in Mexico*. Lira, R., A. Casas and J. Blancas (eds.). Springer.
- Casas, A., J. Blancas and F. Lira. 2016. Mexican ethnobotany: Interactions of people and plants in Mesoamerica. pp. 1-19. *In: Ethnobotany in Mexico*. Lira, R., A. Casas and J. Blancas (eds.). Springer.
- Casas, A., R. Lira, I. Torres, A. Delgado, A. I. Moreno-Calles, S. Rangel-Landa, J. Blancas, C. Larios, L. Solís, E. Pérez-Negrón, M. Vallejo, F. Parra, B. Farfán-Heredia, Y. Arellanes and N. Campos. 2016. Ethnobotany for sustainable ecosystem management: A regional perspective in the Tehuacán Valley. pp. 179-206. *In: Ethnobotany in Mexico*. Lira, R., A. Casas and J. Blancas (eds.). Springer.
- Castellanos, A. E., L. C. Bravo, G. W. Koch, J. M. Llano, D. López, R. Méndez, J. C. Rodríguez, J. R. Romo, T. Sisk y Yanes, G. 2010. Impactos ecológicos por el uso del terreno en el funcionamiento de ecosistemas áridos y semi-áridos de Sonora. pp. 157-186. *En: Diversidad biológica del estado de Sonora, México*. Molina-Freaner, F. y Van Devender, T.R. (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castellanos, A. E., G. Yanes and D. Valdéz-Zamudio. 2002. Drought-tolerant exotic buffelgrass and desertification. pp. 99-112. *In: Weeds Across Borders*. Tellman, B. (ed.). Proceedings of North American Conference. Arizona-Sonora Desert Museum, Tucson, AZ.
- Chapin, S., P. Manson and H. Mooney. 2011. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer Science and Business Media Inc. New York, NY, USA. 511 p.
- CONAFOR. 2018. Comisión Nacional Forestal. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe de Resultados 2009-2014. 1er Edición. 200 p. www.gob.mx/conafor.
- CONAGUA. 2018. Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 306 pp. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- Cornejo-Denman, L., J. R. Romo-Leon, A. E. Castellanos, R. E. Diaz-Caravantes, J. L. Moreno-Vázquez and R. Mendez-Estrella. 2018. Assessing riparian vegetation condition and function in disturbed sites of the arid northwestern Mexico. *Land* 7:13. <https://doi.org/10.3390/land7010013>
- Cornejo-Denman, L., J. R. Romo-Leon, K. Hartfield, W. J. van Leeuwen, G. F. Ponce-Campos and A. E. Castellanos-Villegas. 2020. Landscape dynamics in an iconic watershed of northwestern Mexico: Vegetation condition insights using Landsat and planetscope data. *Remote Sensing* 12: 2519. <https://doi.org/10.3390/rs12162519>
- Costanza, R., R. de Groot, P. Sutton, S. van der Ploeg, S. J. Anderson, I. Kubiszewski, S. Farber and R. K. Turner. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*. 26, 152-1. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- De Ávila, A. 2008. La diversidad lingüística y el conocimiento etnobiológico. *En: Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, pp. 497-556.
- Ezcurra, E. y C. Montaña. 1988. La evolución del uso de los recursos naturales renovables en el norte árido de México. pp: 269-290. *En: Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí I. Ambiente natural y humano*. Montaña, C. (ed.). Instituto de Ecología, A.C.
- Ezcurra, E., 2006. Global deserts outlook. United Nations Environment Programme. 147 p.
- FAO. 2004. Carbon sequestration in dryland soils. Food and Agriculture Organization of The United Nations. <http://www.fao.org/3/y5738e/y5738e00.htm> (Consulta: septiembre 23, 2020).
- Feng, S. and Q. Fu. 2013. Expansion of global drylands under a warming climate. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13:10081-10094. <https://doi.org/10.5194/acp-13-10081-2013>
- GCP. 2020. CO₂ earth. Global Carbon Project, Canada. <https://es.co2.earth/show-co2> (Consulta: septiembre 20, 2020).
- Gobierno de México. SEMARNAT. 2020. Contribución Determinada a nivel Nacional: México. Versión actualizada 2020. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/603401/Contribuci_n_Determinada_a_nivel_Nacional.pdf
- Goettsch, B., C. Hilton-Taylor, G. Cruz-Piñón, *et al.* 2015. High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants* 15142:1-7. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.142>
- González-Medrano, F. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México. 173 pp.
- Hadley, N. F. and S. R. Szarek. 1981. Productivity of desert ecosystems. *Bioscience* 31(10):747-753. <https://doi.org/10.2307/1308782>
- Halvorson, W. L., A. E. Castellanos and J. Murrieta. 2003. Sustainable land use requires attention to ecological sig-

- nals. *Environmental Management* 32:551-558. <https://doi.org/10.2307/1308782>
- Hernández, L., C. González y F. González Medrano. 1991. Plantas útiles de Tamaulipas. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica* 62:1-38.
- Hinojo-Hinojo, C, A. E. Castellanos, T. Huxman, J. C. Rodríguez, R. Vargas, J. R. Romo-León and J. A. Biederman. 2019. Native shrubland and managed buffelgrass savanna in drylands: Implications for ecosystem carbon and water fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology* 268:269-278. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.030>
- Hinojo-Hinojo C, A. E. Castellanos, J. C. Rodríguez, J. Delgado-Balbuena, J. R. Romo-León, H. Celaya-Michel and T. E. Huxman. 2016. Carbon and water fluxes in an exotic buffelgrass savanna. *Rangeland Ecology and Management* 69:334-341. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2016.04.002>
- INECC. 2019. Atlas Nacional de vulnerabilidad al cambio climático. 226 p. https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf
- INECC. 2020. Revisión y análisis de documentos sobre valoración económica de los servicios ecosistémicos de México de 1990 a 2019. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/579760/Revisio_n_y_analisis_valoracion.pdf
- INEGI. 2015. Encuesta Intercensal 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- INEGI. 2017a. Encuesta Nacional Agropecuaria 2017, Tabulados. Existencias de ganado bovino por manejo del ganado. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/default.html#Tabulados>
- INEGI. 2017b. 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.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report: Summary for Policymakers. R. K. Core Writing Team, Pachauri and L. A. Meyer, (eds.). Ginebra, Suiza: IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Lira, R., A. Casas, R. Rosas-López, M. Paredes-Flores, E. Pérez-Negrón, S. Rangel-Landa, L. Solís, I. Torres and P. Dávila. 2009. Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany* 63(3):271-287. <https://doi.org/10.1007/s12231-009-9075-6>
- Mapes, C. and F. Basurto. 2020. Biodiversity and edible plants of Mexico. In: *Ethnobotany of Mexico*. Lira, R., A. Casas, and J. Blancas (eds.). Springer. 83-131 pp. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_5
- Méndez-Estrella, R, J. R. Romo-León and A. E. Castellanos. 2017. Mapping changes in carbon storage and productivity services provided by riparian ecosystems of semi-arid environments in northwestern Mexico. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6:298. <https://doi.org/10.3390/ijgi6100298>
- Méndez-Estrella, R., J. R. Romo-León, A. E. Castellanos, F. J. Gandarilla-Aizpuro and K. Hartfield. 2016. Analyzing landscape trends on agriculture, introduced exotic grasslands and riparian ecosystems in arid regions of Mexico. *Remote Sensing* 8:664. <https://doi.org/10.3390/rs8080664>
- 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 carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: Síntesis y perspectivas. *Terra Latinoamericana* 34:39-59.
- Monroy-Hernández, R., R. Valdivia A., M. Sandoval V. y J. E. P. Rubiños. 2011. Valoración económica del servicio ambiental hidrológico en una reserva de la biosfera. *Terra Latinoamericana* 29:315-323.
- 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. DOI:10.5194/bg-13-223-2016
- Ojeda, M. I., S. A. Mayer and B. D. Solomon. 2008. Economic valuation of environmental services sustained by the Yaqui River Delta. *Ecological Economics* 65:155-166. DOI:10.1016/J.ECOLECON.2007.06.006
- Paredes-Flores, M., R. Lira y P. Dávila. 2007. Estudio etnobotánico de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Acta Botánica Mexicana* 79:13-61.
- PECC. 2018. Programa Especial del Cambio Climático 2014 a 2018. *Diario Oficial de la Federación* 28/04/2014.
- Penman, H. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society A* 193:120-146. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>
- Perez-Verdin, G., E. Sanjurjo-Rivera, L. Galicia, J. C. Hernandez-Diaz, V. Hernandez-Trejo and M. A. Marquez-Linares. 2016. Economic valuation of ecosystem services in Mexico: Current status and trends. *Ecosystem Services* 21:6-19 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.003>
- Perramon, E. 2001. La ganadería sonorense y los cambios ecológicos: una propuesta. pp. 108-113. En: *Historia ambiental de la ganadería en México*. Hernández, L. (comp.). Instituto de Ecología, A.C.
- Perroni-Ventura, Y., C. Montaña, y F. García-Oliva. 2006. Relationship between soil nutrient availability and plant species richness in a tropical semi-arid environment. *Journal of Vegetation Science* 17:719-728. DOI 10.1658/1100-9233(2006)17[719:RBS-NAA]2.0.CO;2
- Perroni-Ventura, Y., C. Montaña, y F. García-Oliva. 2010. Carbon-nitrogen interactions in fertility island soil in a tropical semi-arid ecosystem. *Functional Ecology* 24:233-242. DOI 10.1111/j.1365-2435.2009.01610.x

- Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Diario Oficial de la Federación. 12 de julio de 2019 https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019
- Ramírez, R. G., J. G. Saucedo, J. A. Narro and J. Aranda. 1993. Preference indices for forage species grazed by Spanish goats on a semiarid shrubland in Mexico. *Journal of Applied Animal Research* 3:55-66. <https://doi.org/10.1080/09712119.1993.9705953>
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. 432 p.
- Rzedowski, J. 1991. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: Una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* 15:47-64. [http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenes/ABM/ABM.15.1991/acta15\(47-64\).pdf](http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenes/ABM/ABM.15.1991/acta15(47-64).pdf)
- Sánchez Brito, I., M. A. Almendarez Hernández, M. V. Morales Zárate y C. A. Salinas Zavala. 2013. Valor de existencia del servicio ecosistémico hidrológico en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México. *Frontera Norte* 25(50):97-129.
- Safriel, U. 2006. Linkages and the planet – Linkages between deserts and non-deserts. In: *Global deserts outlook*. Ezcurra, E., (ed.). United Nations Environment Programme. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9581>.
- Semarnat. 2015. La biodiversidad Mexicana. En: *Semarnat. El medio Ambiente en México 2013-2014*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/04_biodiversidad/4_1.html.
- Scott, M. L., P. L. Nagler, E. P. Glenn, C. Valdes-Casillas, J. A. Erker, E. W. Reynolds, P. B. Shafroth, E. Gomez-Limon and C. L. Jones. 2009. Assessing the extent and diversity of riparian ecosystems in Sonora, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 18:247-269. DOI 10.1007/s10531-008-9473-6.
- Scott, R. L. and T. E. Huxman. 2005. Comparing ecosystem water and carbon exchange across a riparian mesquite invasion gradient. *Connecting mountain islands and desert seas: biodiversity and management of the Madrean Archipelago II*. In: Gottfried, G. J., B. S. Gebow, L. G. Eskew and E. Carleton (comps.) *Proc. RMRS-P-36*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 320-323.
- SIAP. 2019. *Producción ganadera. Servicio de información agroalimentaria y pesquera, México*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165997/bovino.pdf>
- Seeley, M. 2006. People and Deserts. In: *Global deserts outlook*. Ezcurra, E., (ed.). United Nations Environment Programme. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9581>
- Taylor, N., K. Davis, H. Abad, M. McClung and M. Moran. 2018. Corrigendum to “Ecosystem services of the big bend region of the chihuahuan desert” [*Ecosyst. Services* 27 (2017) 48-57]. *Ecosystem Services* 30:192. DOI:10.1016/j.ecoser.2018.01.013
- Torregrosa, M., R. Domínguez, B. Jiménez, E. Kauffer, P. Martínez, J. L. Montesillo, J. Palerm, A. Román, L. C. Ruelas y E. Zapata. 2012. Los recursos hídricos en México: Situación y perspectivas. En: *Diagnóstico del agua en las Américas*. Jiménez-Cisneros, B. y J. Galizia-Tundisi (eds.). Red Interamericana de Academia de Ciencias, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C. 67. DOI:10.13140/RG.2.1.3103.0163
- UNESCO. 1971. *Map of the world distribution of arid regions*. Map at scale 1:25000000 with explanatory note. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Intergovernmental Programme on Man and the Biosphere. MAB Technical Notes 7. 54 p.
- Vallejo, M., A. Casas, E. Pérez-Negrón, A. I. Moreno-Calles, O. Hernández-Ordoñez, O. Tellez and P. Dávila. 2015. Agroforestry systems of the lowland alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve- an evaluation of their biocultural capacity. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 11:8. DOI:10.1186/1746-4269-11-8
- White, R. and J. Nackoney. 2003. *Drylands, people, and ecosystem goods and services: A web-based geospatial analysis*. World Resources Institute. Washington, DC. 58 pp.
- Whitford, W. G. 2002. *Ecology of desert systems*. Academic Press. 343 p.
- Yerena-Yamalle, J. I., J. Jiménez-Pérez, E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón y E. J. Treviño-Garza. 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* 7:71-77.
- Zavala-Hurtado, A. and J. Monserrat. 2020. Diversity and uniqueness at its best: Vegetation of the Chihuahuan Desert. pp. 1-17. In: *Plant diversity and ecology in the Chihuahuan Desert. Emphasis on the Cuatro Ciénegas Basin*. Mandujano, M.C., I. Pisanty and L.E. Eguiarte (eds.). Springer.

