

Perspectiva sobre los incendios forestales en el semidesierto queretano hidalguense, México*

Yazmin Hailen Ugalde de la Cruz**

Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (México)

Beatriz Maruri Aguilar***

Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (México)

María Magdalena Hernández Martínez****

Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (México)

* El texto fue desarrollado en el Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío, entre los meses de marzo y mayo de 2022. El Jardín Botánico es una institución que promueve la conservación *ex situ*, el conocimiento y la educación ambiental acerca de la flora de la zona semiárida queretano hidalguense, en el centro de México, y tiende alianzas y puentes con iniciativas regionales y locales en favor de la biodiversidad de esta zona, como es el caso del Proyecto Geoparque Mundial Unesco Triángulo Sagrado. Esta alianza dio cimiento a la elaboración del manuscrito.

** Maestra en Ciencias Forestales por la Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad Ciencias Forestales (México). Adscrita al Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Entre sus publicaciones recientes se destacan: “Querétaro Semidesert: Cactaceae Imperiled”, publicado en coautoría en *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation*, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00074-X>; y “Botánicos estrategias: palimpsesto taxonómico”, publicado en coautoría en *Boletín Macpalxóchitl*, 2023, 3(2), https://www.socbot.mx/uploads/1/3/1/3/131318769/02_macpalxochitl_feb23_reducido.pdf. Contribución específica en la elaboración del presente artículo: compiló la información, elaboró el manuscrito y participó en la edición.

*** Bióloga por la Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales (México). Adscrita al Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Entre sus publicaciones recientes se destacan: “Querétaro Semidesert: Cactaceae Imperiled”, publicado en coautoría en *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation*, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00074-X>; y “Botánicos estrategias: palimpsesto taxonómico”, publicado en coautoría en *Boletín Macpalxóchitl*, 2023, 3(2), https://www.socbot.mx/uploads/1/3/1/3/131318769/02_macpalxochitl_feb23_reducido.pdf. Contribución específica en la elaboración del presente artículo: estructuró la idea, planeó su ejecución, contribuyó con la compilación de información y fungió como editora.

**** Bióloga por la Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales (México). Adscrita al Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Entre sus publicaciones recientes se destacan: “Querétaro Semidesert: Cactaceae Imperiled”, publicado en coautoría en *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation*, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00074-X>; y “Botánicos estrategias: palimpsesto taxonómico”, publicado

Gerardo de Jesús Aguirre Díaz*****

Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (México)

Emiliano Sánchez Martínez*****

Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (México)

Recibido: 5 de mayo de 2022 | Aceptado: 16 de enero de 2023

<https://doi.org/10.53010/nys4.03>

Resumen. Se efectuó una revisión temática acerca del papel del fuego en las comunidades vegetales de las zonas áridas mexicanas, con énfasis en la denominada *semidesierto queretano hidalguense*. Esta región es hábitat de una gran riqueza biológica, apreciable en su diversidad de comunidades vegetales y endemismos, y está considerada dentro del proyecto Geoparque Mundial Unesco Triángulo Sagrado, en el centro de México. Los recursos empleados fueron bases de datos meteorológicas, cifras acerca de los incendios forestales en el país y en el estado de Querétaro, e información bibliográfica. El fuego no cumple una función necesaria o benéfica para las comunidades vegetales de biomas áridos y semiáridos, cuyo ambiente y estructura propios no facilitan su propagación. Aun así, pueden surgir incendios que dañan severamente a las plantas, a pesar de que algunas de sus adaptaciones las protegen de las temperaturas elevadas.

en coautoría en *Boletín Macpalxóchitl*, 2023, 3(2), https://www.socbot.mx/uploads/1/3/1/3/131318769/02_macpalxochitl_feb23_reducido.pdf. Contribución específica en la elaboración del presente artículo: revisó el texto y propuso ajustes.

***** Doctor en Ciencias (Ph. D.) por la Universidad de Texas en Austin (Estados Unidos) en 1993. Adscrito al Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) - Campus Juriquilla. Sus líneas de investigación son vulcanología, geología, patrimonio geológico, geoconservación y geoparques Unesco. Entre sus publicaciones recientes se destacan: “Graben type calderas: The Bolaños case, Sierra Madre Occidental, Mexico”, publicado en coautoría en *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2021, 417, 107315, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107315>; y, en coautoría, “Sacred Triangle Geopark Project, Querétaro, Mexico”, publicado en *Geoparques, turismo sostenible y desarrollo local*, 2021, pp. 113-137, Unesco-México, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380262.locale=es>. Contribución específica en la elaboración del presente artículo: proporcionó los datos referentes al Proyecto Geoparque Triángulo Sagrado, revisó el texto y propuso ajustes.

***** Ingeniero agrónomo en Producción Vegetal por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Querétaro (México). Director del Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. Sus líneas de trabajo son la conservación de la biodiversidad en jardines botánicos y la propagación de flora nativa del estado de Querétaro. Entre sus publicaciones recientes se destacan: “Querétaro Semidesert: Cactaceae Imperiled”, publicado en coautoría en *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation*, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00074-X>; y “Botánicos estrategas: palimpsesto taxonómico”, publicado en coautoría en *Boletín Macpalxóchitl*, 2023, 3(2), https://www.socbot.mx/uploads/1/3/1/3/131318769/02_macpalxochitl_feb23_reducido.pdf. Contribución específica en la elaboración del presente artículo: revisó el texto y propuso ajustes.

En México, los matorrales xerófilos no forman parte de los ambientes con mayor presencia de puntos de calor, aunque sí sufren pérdidas por fuego, prácticamente cada año. Los datos de los últimos años muestran que los incendios forestales en los municipios que forman parte del semidesierto queretano hidalguense se presentan ocasionalmente y no afectan superficies grandes. El fuego se relaciona de manera natural con la sequía, pero en la región estudiada los registros meteorológicos son insuficientes para determinar que existe una reducción paulatina en el volumen de precipitación anual. Estas circunstancias requieren una estrategia de conocimiento, prevención y manejo de los efectos del fuego en el semidesierto queretano hidalguense, lo que puede traducirse en mejores herramientas y decisiones para su planeación y manejo.

Palabras clave: fuego, geoparque, incendio forestal, matorral xerófilo, México, Querétaro

Perspective on Forest Fires in the Querétaro-Hidalgo Semidesert, Mexico

Abstract. A thematic review was performed on the role of fire in plant communities in Mexican arid zones, with an emphasis on the so-called Querétaro-Hidalgo semidesert. This region is a habitat of vast biological wealth—appreciable in its diversity of plant communities and endemism—and is considered within the Sacred Triangle UNESCO Global Geopark project in central Mexico. The resources used were meteorological databases, figures about forest fires in the country and the state of Querétaro, and bibliographic information. Fire does not fulfill a necessary or beneficial function for plant communities of arid and semiarid biomes whose own environment and structure do not facilitate their propagation. Nevertheless, occasional fires might severely damage plants, even though some of their adaptations protect against elevated temperatures. In Mexico, xerophilous scrubs are not part of the environments with a higher presence of hot spots, although they suffer losses by fire practically every year. Data from recent years show that forest fires in the municipalities that are part of the Querétaro-Hidalgo semidesert occur occasionally and do not affect large areas. Fire is naturally related to drought, but in the region studied, meteorological records are insufficient to determine a gradual reduction in the annual volume of precipitation. These circumstances require a strategy of knowledge, prevention, and management of the effects of fire in the Querétaro-Hidalgo semidesert, which can translate into better tools and decisions for its planning and management.

Keywords: fire, forest fire, geopark, Mexico, Querétaro, xerophilous scrub

Perspectiva sobre os incêndios florestais no semideserto queretano hidalguense, México

Resumo. É feita uma revisão temática sobre o papel do fogo nas comunidades vegetais das regiões áridas mexicanas, com ênfase na denominada “semideserto queretano hidalguense”. Essa região é habitat de uma grande riqueza biológica, apreciável em sua diversidade de comunidades vegetais e endemismos, e é situada dentro do projeto Geoparque Mundial Unesco Triângulo Sagrado, no centro do México. Os recursos utilizados foram bases de dados meteorológicas, números sobre os incêndios florestais no país e no estado de Querétaro, e informações bibliográficas. O fogo não cumpre uma função necessária ou benéfica para as comunidades vegetais de biomas áridos e semiáridos, cujos ambiente e estrutura próprios não facilitam sua propagação.

Ainda assim, podem surgir incêndios que prejudicam gravemente as plantas, apesar de algumas de suas adaptações as protegerem das altas temperaturas. No México, a vegetação xerófila não faz parte dos ambientes com maior presença de pontos de calor, embora sim sofra perdas pelo fogo, praticamente todos os anos. Os dados dos últimos anos mostram que os incêndios florestais nos municípios que fazem parte do semideserto queretano hidalguense são apresentados ocasionalmente e não afetam superfícies grandes. O fogo está relacionado de maneira natural com a seca, mas, na região estudada, os registros meteorológicos são insuficientes para determinar que exista uma redução paulatina no volume de precipitação anual. Essas circunstâncias requerem uma estratégia de conhecimento, prevenção e gestão dos efeitos do fogo no semideserto queretano hidalguense, o que pode ser traduzido por melhores ferramentas e decisões para seu planejamento e gestão.

Palavras-chave: fogo, geoparque, incêndio florestal, vegetação xerófila, México, Querétaro

Introducción

Las zonas áridas y semiáridas mexicanas, situadas principalmente en la porción norte y centro, ocupan el 54% de la superficie nacional (Briones *et al.*, 2018). En el estado de Querétaro se incluye una vasta área árida identificada como zona semiárida queretano hidalguense, región relativamente discontinua del desierto de Chihuahua, dominada por el matorral xerófilo, que alberga un importante número de comunidades vegetales y especies endémicas (Hernández-Martínez *et al.*, 2022; Sánchez Martínez, 2015; Zamudio *et al.*, 1992).

La zona no está protegida, excepto una sección de su superficie norte que forma parte de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, y un paraje al occidente, establecido como área natural protegida estatal. Recientemente, ha sido tomada en cuenta dentro del proyecto Geoparque Mundial Unesco Triángulo Sagrado, propuesta que conlleva un concepto integrador holístico para la conservación, que incluye la protección del área, la educación e información para sus habitantes y visitantes, y la promoción del desarrollo sustentable (Aguirre Díaz *et al.*, 2021; Centro de Geociencias UNAM, 2021).

Aunque en las zonas de clima árido la ocurrencia de incendios es limitada, principalmente por la baja disponibilidad y discontinuidad del combustible (Briones-Herrera *et al.*, 2019; Rodríguez-Trejo *et al.*, 2019), sí pueden ocurrir incendios cuyos efectos a corto o largo plazo solo están estudiados parcialmente (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2019; Thomas, 1991) y pueden dañar a especies que carecen de estrategias para su sobrevivencia (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2019).

En México, los incendios son cuantificados sistemáticamente cada año por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) y los datos recientes muestran que la superficie de los ambientes áridos queretanos, a excepción de eventos aislados, no es habitual

o constantemente dañada por siniestros (Snidrus, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2017).

En este artículo se revisa la información disponible sobre el fuego y los datos acerca de los incendios forestales en las zonas áridas, haciendo énfasis en el semidesierto que-retano hidalguense, así como en los recursos oficiales mexicanos para su prevención, monitoreo y control.

El fuego en el paisaje mexicano

El fuego es un proceso biofísico que interviene en la distribución de especies y ecosistemas terrestres. Evolutivamente, las interacciones entre el clima, la vegetación y el uso antropogénico de la tierra han determinado las características —como frecuencia, intensidad, patrones de consumo del combustible, extensión espacial y el momento estacional— y los mecanismos de adaptación a los regímenes de incendios (Jardel Peláez *et al.*, 2014; Keeley *et al.*, 2011; Saladyga *et al.*, 2022).

Por su relación con el fuego, los principales tipos de vegetación de México se clasifican en cuatro categorías: los dependientes o adaptados al fuego (evolucionaron bajo los efectos del fuego, que ayuda a mantener su composición, estructura y procesos), que incluyen pinares, encinares, pastizales, varios matorrales, palmares y humedales; los sensibles al fuego (no evolucionaron con la presencia del fuego, así que este los degrada y reinicia la sucesión ecológica), representados por bosque tropical, bosque mesófilo de montaña y manglares; los influenciados por el fuego (comunidades vegetales con especies adaptadas y no adaptadas al fuego), que incluyen el bosque tropical caducifolio y el bosque de galería; y los independientes del fuego (los incendios no cumplen una función benéfica y son altamente lesivos para la comunidad vegetal), donde se encuentran los matorrales xerófilos de zonas áridas y semiáridas, junto a las praderas de altitudes elevadas (Díaz-Hernández *et al.*, 2020; Escamilla Weinmann *et al.*, 2019; Myers, 2006; Rodríguez-Trejo, 2008).

Dualidad del fuego: agente necesario y elemento de disturbio

Se han realizado amplios estudios sobre los efectos negativos del fuego en los ecosistemas; sin embargo, este elemento es parte fundamental de los ciclos y procesos naturales, así como de la expresión de la biodiversidad. En los últimos años, se reconoce su valor como un suceso ecológico que puede regular y modificar funciones y características de la vegetación y el paisaje (Roces-Díaz y Santín, 2021).

Histórica y evolutivamente, el fuego ha sido un proceso generalizado en el sistema terrestre, donde desempeña un papel clave en la composición y distribución de los ecosistemas, y ha sido parte integral de la evolución de flora y fauna que se han adaptado a un régimen particular de incendios (Pausas y Keeley, 2009). Gracias a su presencia se controlan especies exóticas o invasoras, ocurren procesos de saneamiento, disminuye la carga de enfermedades o patógenos, se favorece la poda natural, mejora la fertilidad del suelo, se facilita la regeneración y productividad vegetal (Heikkilä *et al.*, 2010; Humphrey, 1974), y las semillas se hacen visibles y rompen la latencia (He *et al.*, 2019) por mecanismos que incluyen el efecto detergente de las cenizas (Álvarez, 2001). Se han encontrado evidencias de que algunos compuestos orgánicos (karrakinas) derivados de la combustión de la celulosa pueden promover la germinación (Flematti *et al.*, 2004; Keeley y Pausas, 2018), incluso de especies de zonas áridas, *in vitro* (Commander *et al.*, 2009).

Entre los impactos negativos vinculados al fuego están la pérdida de especies vegetales, el aumento de la carga de combustible, la apertura del dosel, el incremento de quemadas sucesivas, los cambios en la estructura de la vegetación (Myers, 2006), la alteración de los procesos sucesionales (Yocom *et al.*, 2022), el desplazamiento de las especies nativas, la pérdida de biodiversidad, las alteraciones en los ciclos de nutrientes, la modificación en la distribución de humedad en el suelo (Killgore *et al.*, 2009), el incremento en la escorrentía y sedimentos en los cuerpos de agua (Villar-Hernández *et al.*, 2022; Myers, 2006) y la propagación de especies invasoras (Yocom *et al.*, 2022). El verdadero problema con los incendios surge cuando su frecuencia supera la capacidad de resiliencia del ecosistema, lo que altera de manera irreversible sus procesos naturales, que son la base de los bienes y servicios ambientales (Del Campo Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010). Otro tipo de afectaciones que traen consigo son la desvalorización recreativa de las zonas afectadas y las pérdidas económicas que esto genera a las comunidades locales que dependen del recurso del paisaje (Semadet, 2022).

Los cambios en la dinámica espacio-temporal del régimen de incendios dependen de factores como el clima, el tipo de combustible, los rayos y la topografía; incluso la sequía puede ser considerada como un elemento impulsor relevante de los incendios forestales (Cisneros-González *et al.*, 2018; Pompa-García *et al.*, 2018) y ha causado desastres ecológicos en los ámbitos local, regional e incluso global. A escala mundial, los regímenes de incendios se han transformado repentinamente debido al cambio climático y las políticas de uso de la tierra que modifican la cantidad de combustible y los patrones de ignición y extinción de incendios (Rogers *et al.*, 2020). Es cierto que la ocurrencia de incendios forestales representa uno de los principales agentes de pérdida de cubierta vegetal. Sin embargo, su supresión inapropiada promueve el incremento de la carga combustible en el suelo y en el estrato vertical, lo que se traduce en la creación de sitios con mayor riesgo potencial (Cisneros-González *et al.*, 2018; Rivera, 2017).

Las comunidades xerófilas y el fuego

Pese a la baja frecuencia y los largos ciclos de incendios en ambientes áridos —gracias a la discontinuidad del combustible y la reducida carga de biomasa—, los incendios forestales se presentan en las comunidades vegetales de zonas áridas y semiáridas, y, en comparación con el resto de los ecosistemas, pueden ocasionar un efecto negativo extremo (Humphrey, 1974), ya que un importante número de especies posiblemente carezcan de estrategias para sobrevivir o hacerles frente. Sin embargo, algunas de las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que las plantas han desarrollado para habitar en regiones áridas (González-Medrano, 2012; Granados-Sánchez *et al.*, 1998), que les son útiles para soportar la sequía, funcionarían para sobrevivir a las altas temperaturas del fuego ($> 70^{\circ}\text{C}$) (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2019).

Ejemplos de estas adaptaciones en las Cactaceae, Agavoideae (Asparagaceae) y Crasulaceae son los siguientes: protección de los meristemos apicales con espinas y pubescencia, y de los meristemos basales con el acomodo de hojas compactas en roseta; aislamiento de sus tejidos vasculares gracias a cortezas gruesas, y elevación de los meristemos apicales sobre gran altura, gracias a la talla propia de varias especies (Thomas, 1991).

En las zonas áridas, el elenco arbustivo también cuenta con mecanismos que le permiten sobrevivir a un incendio, como cortezas gruesas —que protegen el tejido vascular—, copas elevadas de algunas especies —lo que disminuye la probabilidad de ser alcanzadas por el fuego— o la capacidad de generar brotes subterráneos profusos que se originan desde la raíz después de un incendio (Humphrey, 1974; Rodríguez-Trejo *et al.*, 2019). Otras estrategias de supervivencia son el establecimiento de los individuos en refugios o islas con bajo riesgo de incendios, como sitios rocosos con baja densidad de combustible; el crecimiento en grupos densos —donde el perímetro amortigua los efectos del fuego en el grupo—, y el refugio en barreras topográficas o sitios en los que el pastoreo sea alto y, en consecuencia, disminuya la carga de combustible (Thomas, 1991).

Es posible que las plantas de las regiones áridas soporten e incluso evadan un incendio. Sin embargo, el fuego puede llegar a provocar cambios en la composición de la comunidad vegetal, y reemplazar a las que sean más susceptibles al daño por el fuego, como cactáceas, suculentas y arbustivas de cortezas delgadas y tallos resinosos (Gebow y Halvorson, como se citó en Manson *et al.*, 2009; Humphrey, 1974). La verdadera supervivencia o mortalidad de una planta estará determinada por los daños en sus tejidos fotosintético y vascular y, pese a todo, es posible observar la recuperación de individuos sin tejido verde visible durante la época de precipitaciones (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2019). Aunque son escasas las evidencias de la estimación de mortalidad de especies suculentas inmediatamente después de un incendio, se sabe que la alta mortalidad es

el resultado directo de la quema y los daños de las espinas, lo que ocasiona que las plantas sean susceptibles a la destrucción por herbívoros y finalmente mueran (Humphrey, 1974). Thomas (1991) refiere que pueden pasar de uno a seis años para asegurar si un individuo que estuvo en un incendio sobrevivirá.

Los matorrales xerófilos, patrimonios para conservar en México y en el estado de Querétaro

Las comunidades vegetales de las regiones áridas y semiáridas de México sustentan una variada vegetación compuesta principalmente por plantas leñosas de porte bajo, así como por plantas suculentas que en conjunto forman matorrales xerófilos (Rzedowski, 1978). Los inventarios florísticos del matorral xerófilo señalan una diversidad de 6852 especies con al menos 2879 endemismos, cifras que lo posicionan en el segundo lugar en riqueza de especies en México (Morales-Garduño *et al.*, 2021; Villaseñor y Ortiz, 2014).

El matorral xerófilo abarca cerca del 30% de la superficie total nacional (70,49 millones de hectáreas) y su amplia distribución comprende desde Baja California a Tamaulipas, el altiplano mexicano y el valle de Tehuacán-Cuicatlán (FAO, s. f.; Morales-Garduño *et al.*, 2021). El conjunto del área se denomina biogeográficamente como *región xerofítica mexicana* (Rzedowski, 2006) y coincide con la distribución de las tres zonas de clima árido y semiárido del país: el desierto de Sonora, el desierto de Chihuahua y la región de Tehuacán-Cuicatlán.

Su distribución altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 3000 m s. n. m., lo que explica su amplia variación entre el clima cálido y el frío extremo. Su temperatura media anual fluctúa entre 12 y 26 °C (Morales-Garduño *et al.*, 2021; Rzedowski, 2006). La precipitación media anual descende por debajo de los 700 mm acumulados anuales —aunque hay zonas que registran valores inferiores a los 100 mm—, y sus largos periodos de sequía abarcan entre 7 y 12 meses por año (Rzedowski, 2006).

Si bien la precipitación pluvial influye en la distribución de la vegetación, otros elementos, como las características topográficas, el substrato geológico y el suelo, intervienen notablemente en su estructura florística (Rzedowski, 2006). El matorral xerófilo puede habitar en un amplio perfil topográfico, aunque generalmente se desarrolla en planicies o superficies con poca pendiente y poca permeabilidad, donde la penetración de humedad es superficial (González-Medrano, 2012).

El estado de Querétaro, con sus 11699 km² (0,6% de la superficie nacional), tiene una notable biodiversidad. Aun cuando no abarca grandes extensiones, la confluencia de la Sierra Madre Oriental con el Eje Neovolcánico y la Mesa Central influye fuertemente sobre la complejidad de la biota (Zamudio *et al.*, 1992); y poco menos de una tercera parte del estado (3300 km²) está dominada por la diversidad xerófita en la región

denominada semidesierto queretano hidalguense. Este territorio se considera afín al desierto de Chihuahua, aunque se encuentra separado de este (Sánchez Martínez, 2015) (figura 1).



Figura 1. Puerta del semidesierto queretano hidalguense, Cadereyta de Montes, Querétaro (México), 2021. Crédito de la fotografía: Yazmin Hailen Ugalde de la Cruz.

El semidesierto queretano hidalguense cuenta con superficie en los estados de Guanajuato e Hidalgo, pero su porción principal se localiza en el estado de Querétaro, donde se distribuye sobre los municipios de Cadereyta, Colón, Ezequiel Montes, Peñamiller, Pinal de Amoles, San Joaquín Tequisquiapan y Tolimán (Hernández-Magaña *et al.*, 2012; Zamudio *et al.*, 1992). Esta porción semiárida es dominada por el matorral xerófilo, cuyas comunidades vegetales se desarrollan entre los 600 y los 2300 m s. n. m., en diferentes tipos de suelos bien drenados, sobre roca madre de origen ígneo, sedimentario o metamórfico, y albergan un importante reservorio de especies endémicas (Sánchez Martínez, 2015). En Querétaro, se distinguen cinco categorías de matorral xerófilo con base en su composición florística y especies dominantes: matorral crasi-caule, matorral micrófilo, matorral rosetófilo, matorral submontano y encinar arbus-tivo (Zamudio *et al.*, 1992) (figura 2).

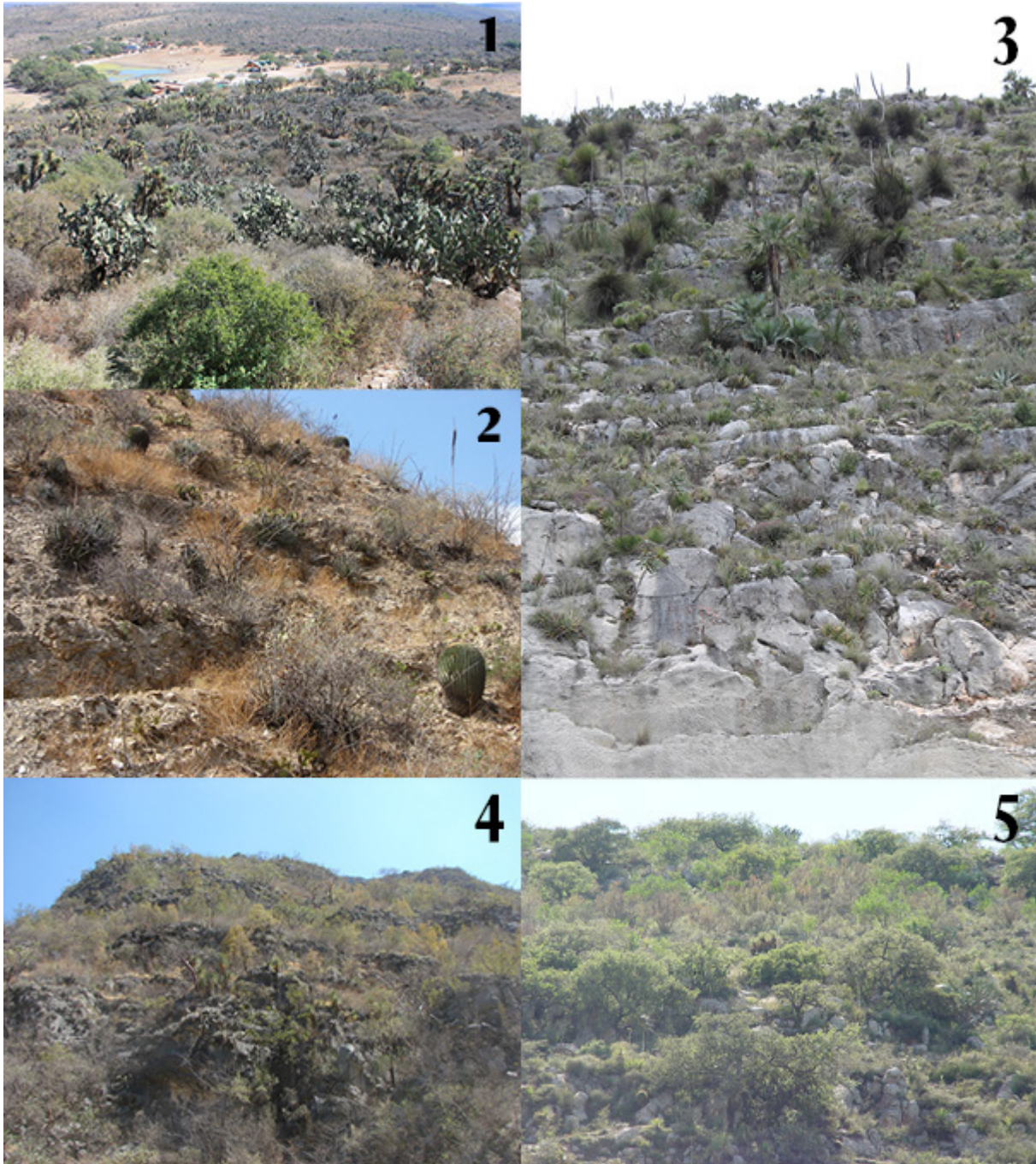


Figura 2. Tipos del matorral xerófilo del semidesierto queretano hidalguense. . 1) Matorral crasicaule en las laderas del Jardín Botánico Regional de Cadereyta. 2) Matorral micrófilo en el Cañón del Paraíso, Cadereyta de Montes. 3) Matorral rosetófilo en la ladera sur de la sierra El Doctor, Cadereyta de Montes. 4) Encinar arbustivo en las cercanías de Xichú, Guanajuato. 5) Encinar arbustivo en Tolimán, Querétaro. *Fuente:* elaboración propia. *Crédito de las fotografías:* acervo fotográfico del Jardín Botánico Regional de Cadereyta (México).

Esta zona del territorio queretano carece de superficie bajo declaratorias oficiales como área natural protegida, pero actualmente existe el proyecto Geoparque Mundial Unesco Triángulo Sagrado, que aspira a ser inscrito en la Red Global de Geoparques de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. El proyecto comprende una superficie de 5533 km² sobre nueve municipios (Centro de Geociencias UNAM, 2021), seis de los cuales forman parte del semidesierto queretano hidalguense. Esta es una oportunidad para la conservación de esta región, clave en la diversidad vegetal árida de México (figura 3).

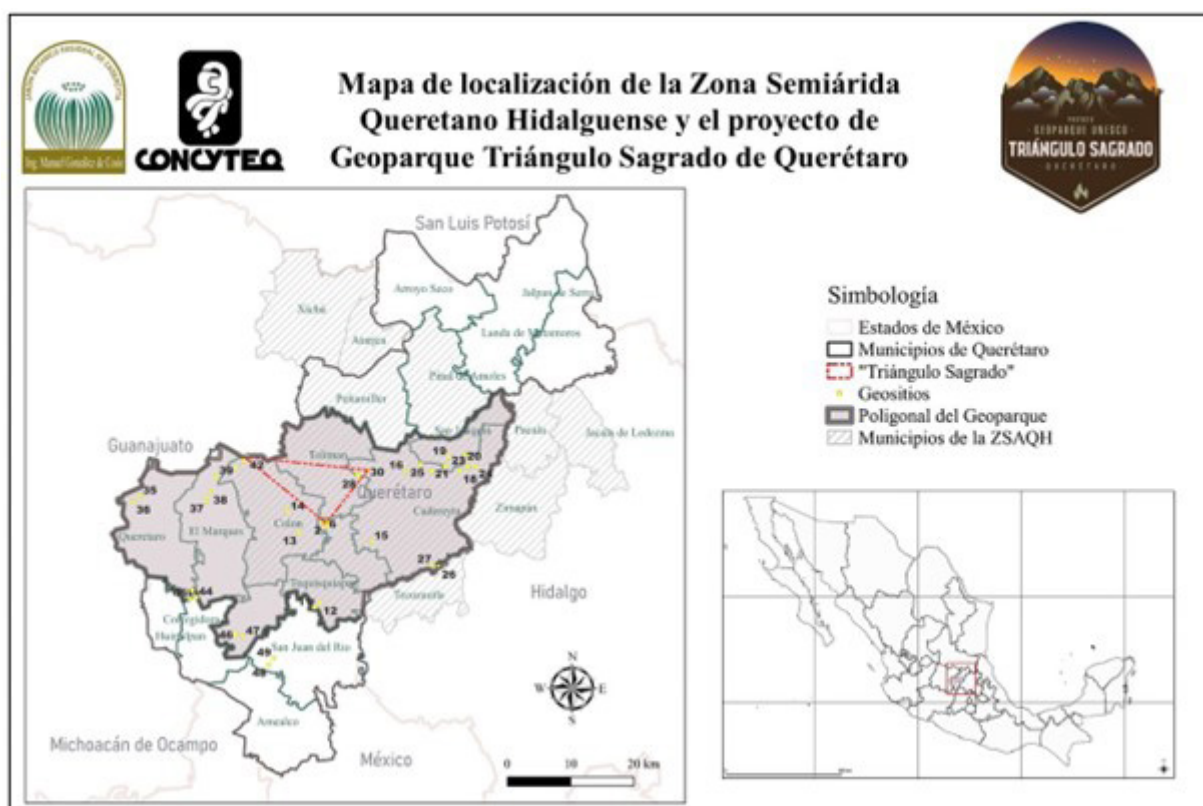


Figura 3. Localización del semidesierto queretano hidalguense en los estados de Guanajuato, Querétaro e Hidalgo, y del polígono del proyecto Geoparque Triángulo Sagrado de Querétaro. *Fuente:* Gerardo de Jesús Aguirre-Díaz; Jardín Botánico Regional de Cadereyta (México).

Las amenazas a los ecosistemas áridos y semiáridos

El deterioro y la fragmentación de los matorrales xerófilos mexicanos han sido cuantificados desde la década de 1970. Se considera que la distribución potencial de estos tipos de vegetación abarcaba entre 60 y 70 millones de hectáreas en el país (FAO, s. f.; Morales-Garduño *et al.*, 2021; Sánchez-Colón *et al.*, 2009); desde entonces, la superficie cuantificable ha presentado disminuciones del orden de millones de hectáreas, principalmente transformadas en terrenos agrícolas y pecuarios. Para 2002, la extensión de

matorrales primarios se estimaba en poco más de 44 millones de hectáreas; 4,6 millones estaban cubiertas por matorrales secundarios, y más de 13 millones, transformadas en terrenos agrícolas y pecuarios (Sánchez-Colón *et al.*, 2009). En los matorrales áridos el cambio de uso de suelo conduce a pérdida de especies, lo cual se traduce en el debilitamiento de la estructura y diversidad de las comunidades vegetales, y daños funcionales en términos ecosistémicos, que a su vez afectan otros procesos, como la formación del suelo (Arriaga, 2009).

Los fenómenos naturales —como sequía, incendios forestales, tormentas tropicales o huracanes— a que pueden estar expuestos los matorrales xerófilos son elementos que forman parte de sus procesos dinámicos. Entre los factores de disturbio más relacionados con los matorrales xerófilos, se encuentran precisamente aquellos de carácter hidrometeorológico —huracanes, inundaciones y sequías— y los incendios forestales. La intensidad y frecuencia de estos fenómenos parecen estar cada vez más asociadas al deterioro ambiental (Manson *et al.*, 2009).

Desde el punto de vista meteorológico, la sequía se presenta cuando la precipitación acumulada durante un cierto lapso es significativamente menor que el promedio de las precipitaciones registradas en el mismo periodo (García *et al.*, 2021). Un estudio de Inegi, Conabio e INE (2007) analizó los efectos de la sequía en las diversas ecorregiones de México durante el siglo XX. Entre sus resultados, se identificó a las zonas áridas y los bosques de encino, la selva baja caducifolia y los matorrales del norte y occidente del país como las unidades ecológicas más afectadas (Manson *et al.*, 2009). Cisneros-González *et al.* (2018) evaluaron la relación entre la sequía y la ocurrencia de incendios en México y encontraron que, sin menoscabo de la influencia de las actividades humanas, los periodos de sequía muestran una relación con la ocurrencia e intensidad de incendios.

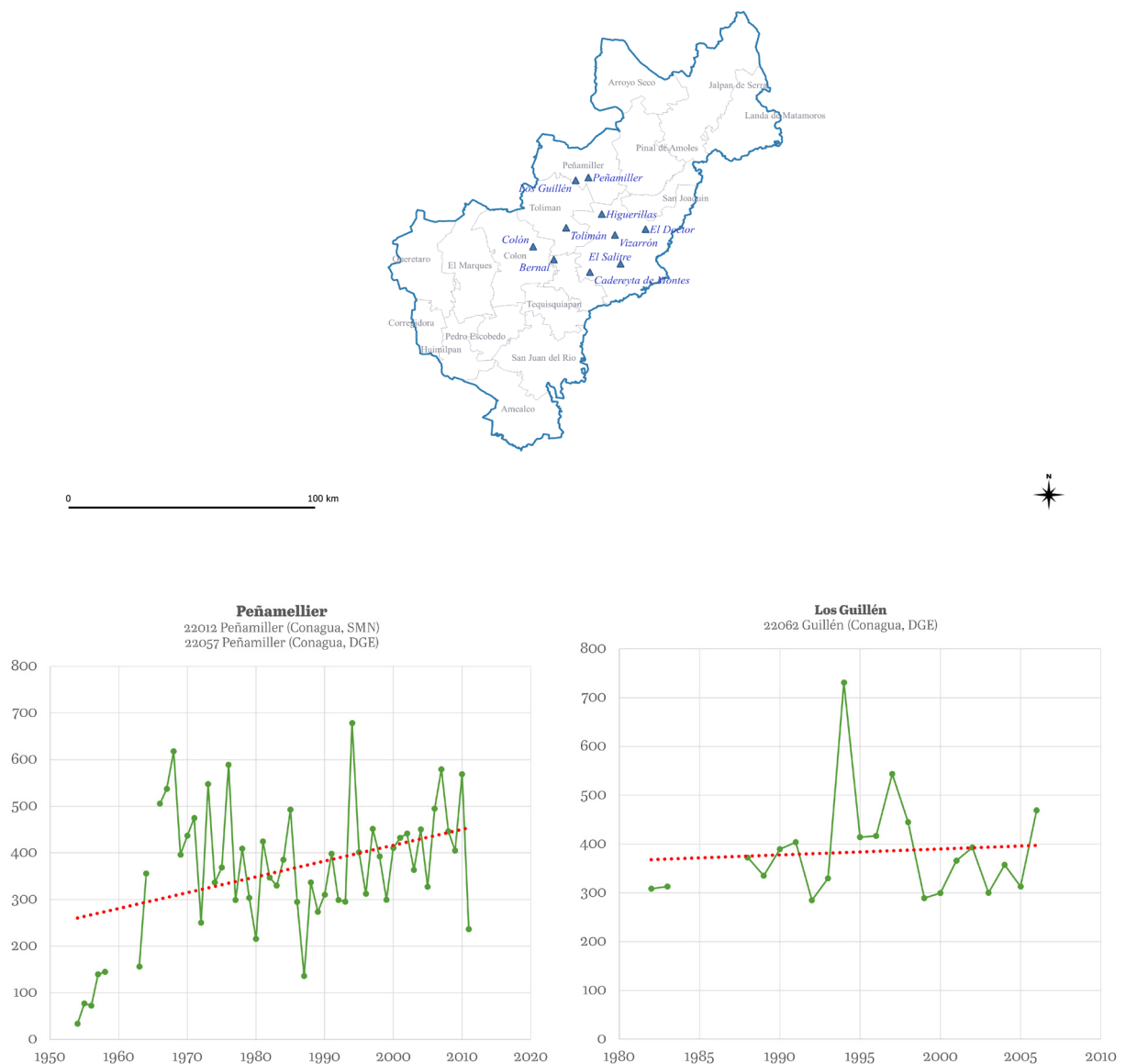
En la porción central del estado de Querétaro, donde se asienta la zona semiárida, los tipos de clima ya se caracterizan por sus bajos valores de precipitación anual (cuadro 1), pero no es posible aseverar que el patrón predominante sea de sequía.

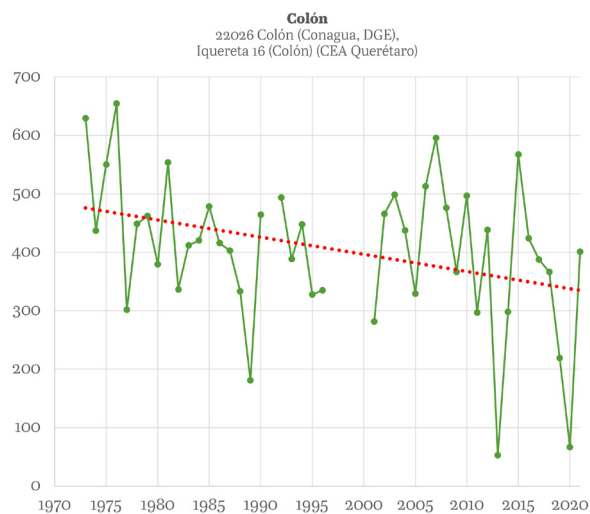
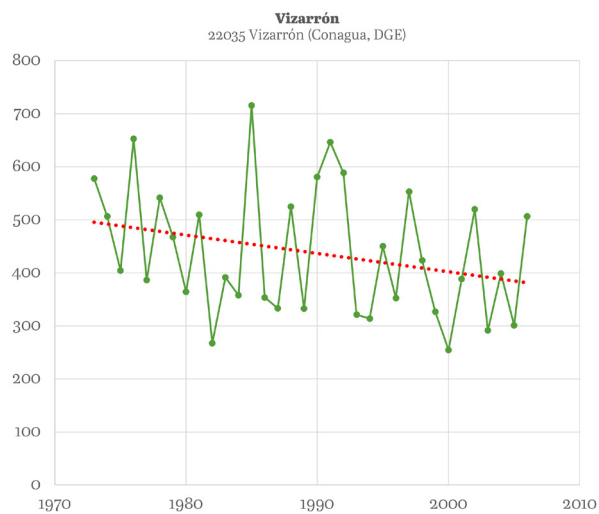
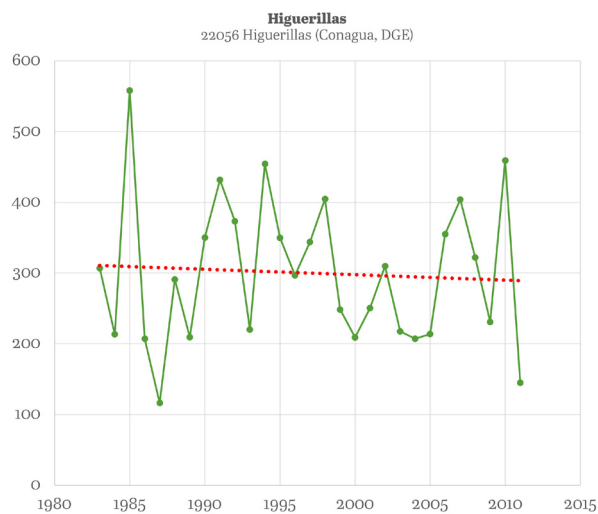
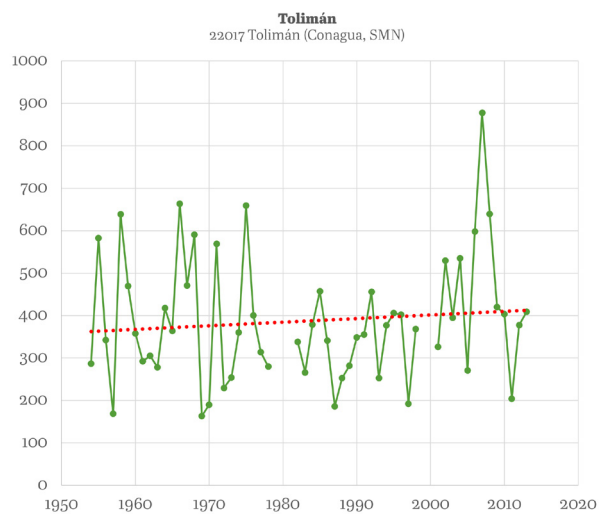
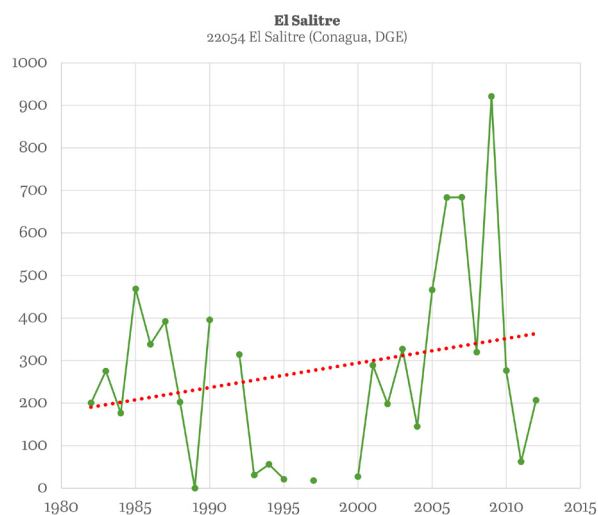
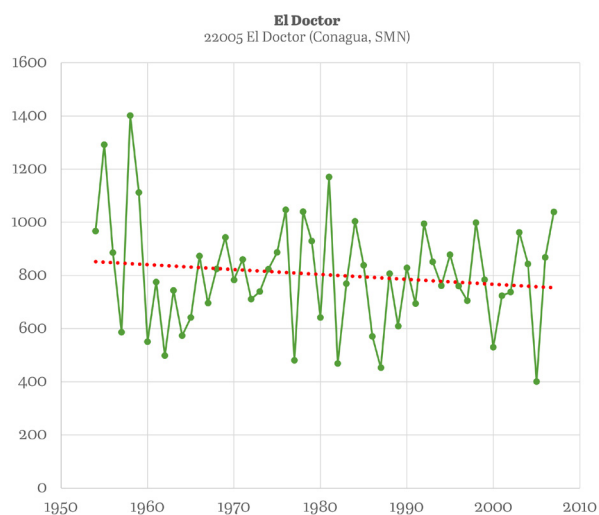
Tipo de clima	Características	Precipitación media anual acumulada (histórico)
BS ₀ hw	Seco semicálido con lluvias de verano	400-500 mm
BS ₁ kw(w)	Semiseco templado con lluvias de verano	500-600 mm

Cuadro 1. Características del clima y precipitación de la zona semiárida de Querétaro, según clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García. *Fuente:* Inegi (1986).

La base de datos climatológica nacional (Clicom, 2023) contiene mediciones acumuladas de la red de estaciones climáticas superficiales, pertenecientes a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y a la Comisión Nacional del Agua (Conagua). En esta

base, dentro de los ocho municipios que comprenden el semidesierto en Querétaro, existen registros de diecinueve estaciones. No obstante, solamente diez cuentan con al menos veinte valores registrados entre 1954 y 2022. Las tendencias lineales (figura 4) no son uniformes. En Peñamiller, Los Guillén, Tolimán y El Salitre aparentan ir al alza; mientras que en El Doctor, Higuierillas, Vizarrón, Colón, Bernal y Cadereyta de Montes, la precipitación, en su conjunto, muestra cierta tendencia a disminuir en las últimas décadas. La información presenta grandes vacíos y solamente cinco años cuentan con observaciones completas —un dato por cada estación climática— ($\approx 7,25\%$). La falta de datos limita su análisis y no permite afirmar que en la región se presenta sequía.





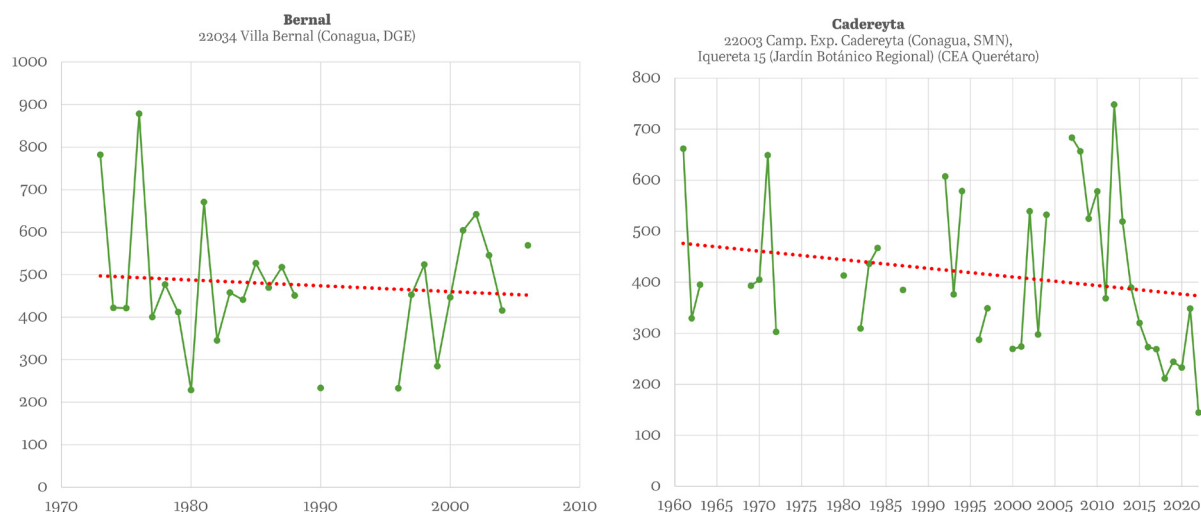


Figura 4. Valores de precipitación media acumulada anual de las estaciones 22012 Peñamiller (Conagua, SMN) y 22057 Peñamiller (Conagua, DGE); 22056 Higuierillas (Conagua, DGE); 22062 Guillén (Conagua, DGE); 22017 Tolimán (Conagua, SMN); 22005 El Doctor (Conagua, SMN); 22035 Vizarrón (Conagua, DGE); 22054 El Salitre (Conagua, DGE); 22026 Colón (Conagua, DGE) e Iquereta16 (CEA Querétaro); 22034 Villa Bernal (Conagua, DGE); 22003 Campo Experimental Cadereyta (Conagua, SMN); e Iquereta15 (CEA Querétaro). *Fuente:* elaboración propia a partir de la base de datos climatológica nacional (Clicom, 2023).

Una evaluación de Conabio efectuada entre 2003 y 2007 determinó que los matorrales áridos en el centro de México —identificados dentro de la ecorregión “lomeríos y planicies del interior con matorral xerófilo y bosque bajo de mezquite”— no forman parte de los ambientes con mayor presencia de puntos de calor, aunque sí pudieron haber recibido afectaciones por fuego hasta en un 3,2% de su superficie (Manson *et al.*, 2009). Posteriores actualizaciones (2005-2015) (Cisneros-González *et al.*, 2018) han encontrado que, si bien el número de incendios que ocurren al año en México es aleatorio, la distribución sigue un cierto patrón espacial, con sitios de alta concentración de puntos de calor en las sierras Madre Oriental y Occidental y el Eje Neovolcánico. La zona semiárida del estado de Querétaro se sitúa, precisamente, en la región de transición entre estas dos últimas provincias fisiográficas.

En cuanto a incendios forestales, los registros del Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF) permiten conocer la superficie de afectación del área forestal en el estado de Querétaro durante los últimos 50 años. De acuerdo con el SNIF, los años 1998, 2011 y 2017 han sido los más críticos a escala nacional en ese lapso. Coincidentemente, 1998 ha sido el año en el que la mayor superficie del estado de Querétaro ha sufrido incendios: 17524 hectáreas (1,5%) (Conafor, 2022) (figura 5).

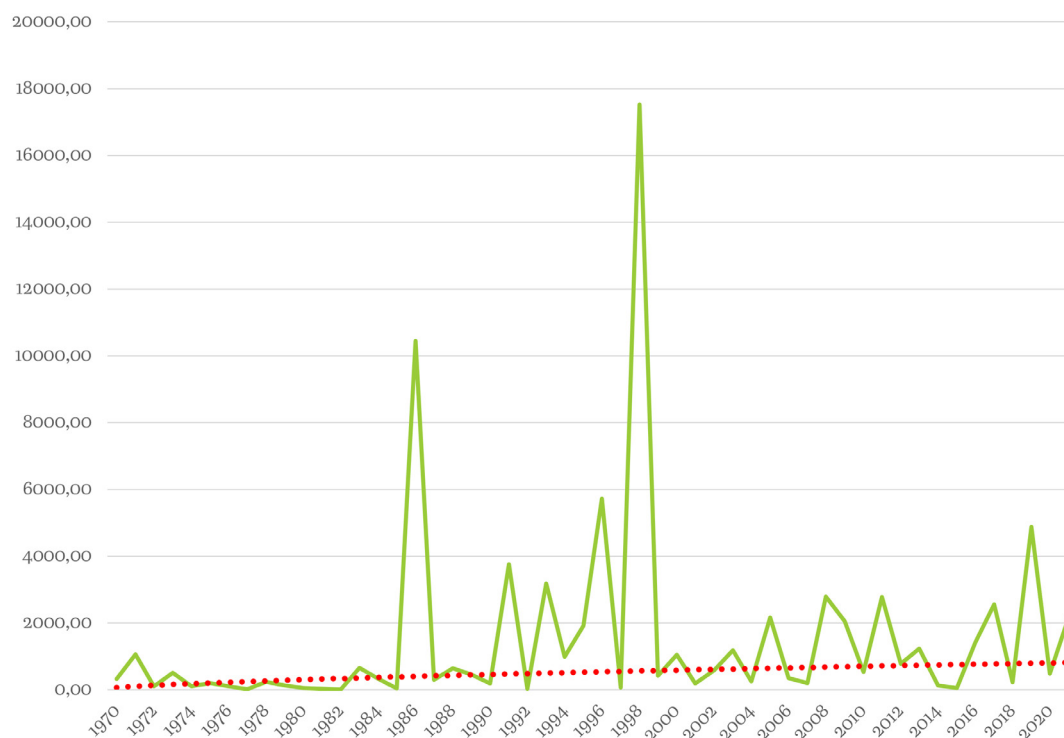


Figura 5. Superficie del estado de Querétaro afectada por incendios entre 1970 y 2021 (hectáreas).
Fuente: elaboración propia con base en los datos del Sistema Nacional de Información Forestal - SNIF (Conafor, 2022).

En Querétaro existen datos acerca de los incendios forestales a escala municipal. Los eventos están catalogados por tipo de superficie afectada: arbolado (renuevos o arbolado adulto) y no arbolado (matorrales y/o arbustos, y pastizales). En los años recientes, seis de los siete municipios de la zona semiárida de Querétaro experimentaron incendios que, en su mayoría, se han atribuido a causas humanas. Sin embargo, la proporción que estos eventos suelen representar, dentro de la superficie estatal cuantificada por año, es pequeña, en comparación con el número y la superficie de eventos que ocurren en el municipio de Querétaro, el más poblado de la entidad (figura 6).

De estos incendios, un evento de 2009 en Tequisquiapan afectó 90 hectáreas; los demás representan superficies menores a 50 (Snidrus, 2006, 2008, 2009, 2011, 2012 y 2013).

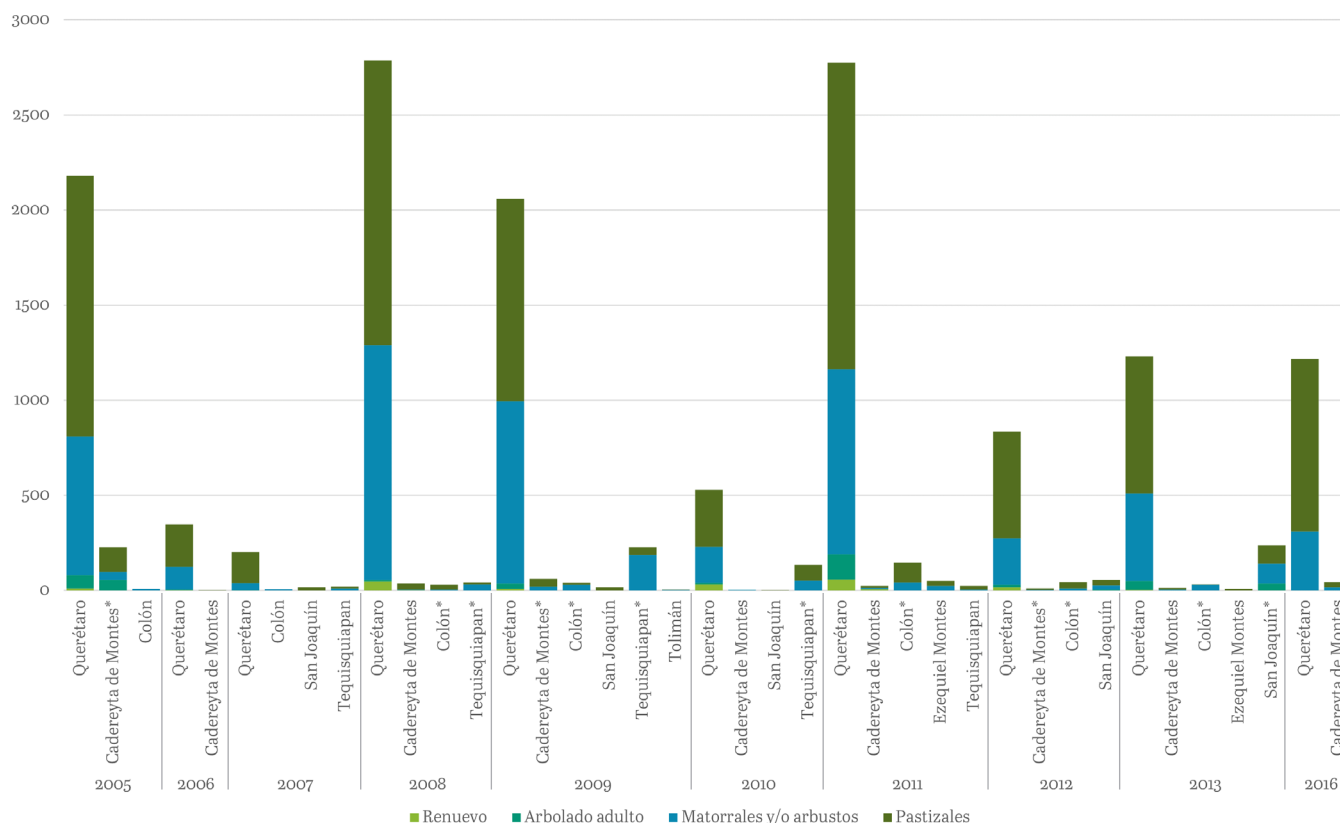


Figura 6. Incendios forestales por tipo de superficie afectada en los municipios de la zona semiárida del estado de Querétaro (2005-2016). *Al menos parte de los siniestros fueron cuantificados en zonas áridas.
Fuente: elaboración propia con base en los datos de Snidrus (2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2017).

El Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático ha determinado que los municipios con los niveles de riesgo más altos por incendios, en orden descendente, son: Cadereyta, El Marqués, San Juan del Río, Corregidora, Pedro Escobedo, Tequisquiapan y Querétaro. Estos municipios abarcan una superficie de 51000 hectáreas, de la cual el 29% (15035) es superficie forestal. El programa también ha hecho proyecciones a 20 y 50 años, que señalan que la superficie con incendios forestales será de 17562 y 20391 hectáreas, respectivamente (Suzán Azpiri *et al.*, 2014).

Un factor adicional dentro de las amenazas a los matorrales del semidesierto queretano hidalguense es su fragmentación y colindancia con zonas de pastizal —natural o inducido—, tipo de vegetación muy inflamable, que suele ser objeto de quema con fines de limpieza y expansión de la frontera agrícola (Martínez Domínguez y Rodríguez Trejo, 2008). Aunque en estos pastizales la riqueza de especies exóticas invasoras tiende a ser baja, algunas pueden ser muy abundantes. En los matorrales se han citado ejemplos de especies invasoras (gramíneas) que alteran el régimen de incendios en un proceso cíclico de realimentación hierba/fuego (Underwood *et al.*, 2019). Un ejemplo clave es *Melinis repens* (Willd.) Zizka (Poaceae), pasto rosado o pasto carretero. La especie es originaria

de Sudáfrica y, durante las últimas décadas, se ha extendido a lo largo de caminos y carreteras del centro de México, desde donde ha invadido ambientes naturales, como los matorrales xerófilos (Gómez Sánchez y Salinas Soto, 2011). *M. repens* tiende a secarse durante el estiaje, lo que incrementa el riesgo de que se inicie un incendio forestal que favorecerá su rebrote (Lavandera Barreras *et al.*, 2019; Melgoza *et al.*, 2014). Entre mayor sea su abundancia, existe una probabilidad más alta de elevar la frecuencia de incendios, con lo que las especies leñosas disminuyen y la dinámica de la vegetación posincendio puede resultar gravemente alterada (Underwood *et al.*, 2019).

La prevención, el monitoreo y el control de incendios en México

La prevención, el combate y el control de incendios forestales forman parte de la política de desarrollo forestal, contemplada en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable mexicana (2003), cuyas acciones están encabezadas por la Conafor, que trabaja de manera coordinada con los estados, municipios y otras instituciones, como el Sistema Nacional de Protección Civil (Sinaproc). Adicionalmente, grupos académicos llevan a cabo investigaciones sobre el tema y difunden métodos cualitativos para pronosticar, cuantificar y evaluar impactos de incendios forestales.

A lo largo de los años, México ha desarrollado un Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales, entre cuyos objetivos se mencionan “la salvaguarda de la vida de las personas y la protección de los ecosistemas forestales, sin olvidar la función ecológica del fuego en los mismos” (Conafor, 2022, s. p.). En su documento Programa de Manejo del Fuego, se reconoce que “la comunidad científica considera que los ecosistemas dependientes del fuego que han estado expuestos a incendios durante miles de años, ahora se queman menos que en el pasado, debido a que la gente y las políticas de supresión excluyen el fuego directa e indirectamente, lo que está contribuyendo a la degradación de este tipo de sistemas ecológicos” (Conafor, 2020, p. 5).

A pesar de esta aseveración, el programa tiene una fuerte orientación a la detección, cuantificación y estimación de efectos, y a la mitigación de incendios forestales originados por actividades humanas. No existen cifras acerca de los incendios de origen natural en el SNIF y tampoco hay información derivada del seguimiento de los denominados *efectos de segundo orden* o sucesión ecológica del ecosistema dañado.

A través de la Conafor y las entidades federativas, el programa impulsa el desarrollo de capacidades básicas y especializadas para los combatientes de incendios. Desde 2014, la oferta de capacitación especializada se ha incrementado en 225% a escala nacional (Conafor, 2022).

Por su parte, varios grupos académicos de instituciones mexicanas y extranjeras desarrollan métodos de evaluación de diferentes aspectos de los incendios forestales en México, como sus efectos, su relación con el clima, su comportamiento, su riesgo potencial, y aun sus efectos en la calidad del aire, empleando técnicas que incluyen sistemas de información geográfica, fotointerpretación, percepción remota e imágenes satelitales y modelos geoestadísticos, entre otros (Villers Ruiz y López Blanco, 2004). Los trabajos se han llevado a cabo en áreas forestales, áreas naturales protegidas e incluso en zonas urbanas.

Conclusiones: integrar el conocimiento en favor del manejo del fuego

En el semidesierto queretano hidalguense los incendios forestales son eventos aislados. Es necesario ahondar en su observación y estudio para aseverar si sus biomas son dependientes del fuego y si se encuentran bajo efectos de un descenso en los valores de precipitación.

Como muchos de los siniestros cuantificados en México, los incendios suelen tener su origen en actividades humanas. Esta circunstancia requiere una estrategia de conocimiento, prevención y manejo de los efectos del fuego que identifique las relaciones y patrones existentes entre los fenómenos meteorológicos, la intensidad de la sequía, nuevos puntos de calor en el semidesierto queretano hidalguense e, incluso, la expansión de especies invasoras con alto potencial inflamable. Actualmente, los registros meteorológicos carecen de la continuidad y uniformidad necesaria como para determinar si las lluvias de la región están disminuyendo.

Considerando que algunos autores establecen que el lapso para evaluar la supervivencia de la vegetación de zonas áridas a un incendio forestal es entre uno y seis años, también es posible establecer un programa de monitoreo y evaluación enfocado en cartografiar y estudiar la dinámica ecológica de los sitios del semidesierto queretano hidalguense cuya vegetación natural haya sufrido deterioro por fuego en los años recientes, incluyendo el rastreo y estudio de las especies exóticas invasoras.

Por otra parte, el manejo del paisaje como un recurso múltiple —hábitat de la naturaleza, proveedor de servicios ambientales, sitio de establecimiento de culturas y comunidades, reservorio de riqueza biológica y geológica— requiere introducir en su planeación el conocimiento de los pobladores originarios acerca del fuego y sus prácticas de control. Este componente puede contribuir a fortalecer sus capacidades y la toma de decisiones, sin menoscabo del trabajo coordinado que realicen las dependencias federales y estatales que encabezan el sector forestal y el manejo de incendios. En este sentido, el proyecto Geoparque Mundial Unesco Triángulo Sagrado, con su

concepto integrador para la conservación, puede contribuir con acciones de protección a la naturaleza y educación de la sociedad.

La vegetación de zonas áridas y semiáridas ha evolucionado hacia una flora rica y distintiva que presenta formas de crecimiento especializadas, en muchos casos únicas. El semidesierto queretano hidalguense contribuye, con su rica diversidad de comunidades vegetales y especies endémicas, a la riqueza de la flora mexicana. Este es un buen motivo para conocer y atender los riesgos que pueden llegar a enfrentar durante un incendio forestal, hacer uso de las herramientas tecnológicas apropiadas y apuntalar iniciativas multidisciplinarias para la conservación.

Referencias

- Aguirre Díaz, G., Capra Pedol, L. y Vázquez Alarcón, G. V. (2021). Sacred Triangle Geopark Project, Querétaro, Mexico. En Unesco México, *Geoparques, turismo sostenible y desarrollo local* (pp. 113-137). Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380262.locale=es>
- Álvarez Martínez, J. (2001). *Dinámica sucesional tras el abandono y recuperación del matorral mediante pastoreo controlado: experiencia en un sector de la montaña de León* [tesis doctoral]. Universitat de Lleida. <http://hdl.handle.net/10803/8331>
- Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales: un enfoque multiescalar. *Investigación Ambiental*, 1(1), 6-16.
- Briones, O., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Pavón, N. y Perrini, Y. (2018). Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. *Madera y Bosques*, 24, 1-19. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401898>
- Briones-Herrera, C. I., Vega-Nieva, D. J., Monjarás-Vega, N. A., Flores-Medina, F., López-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., Carrillo-Parra, A., Pulgarín-Gámiz, M. Á., Alvarado-Celestino, E., González-Cabán, A., Arellano-Pérez, S., Álvarez-González, J. G., Ruiz-González, A. D. y Jolly, W. M. (2019). Modeling and mapping forest fire occurrence from aboveground carbon density in Mexico. *Forests*, 10(5), 402. <https://doi.org/10.3390/f10050402>
- Centro de Geociencias UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2021). *Proyecto Geoparque Mundial Unesco Triángulo Sagrado*. <https://tellus.geociencias.unam.mx/index.php/geoparque-queretaro/#geoparque>
- Cisneros-González, D., Zúñiga Vásquez, J. M. y Pompa García, M. (2018). Actividad del fuego en áreas forestales de México a partir de sensores remotos y su sensibilidad a la sequía. *Madera y Bosques*, 24(3), 1-11. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431687>
- Clicom. (2023). Base datos climatológica nacional (Clicom) del Cicese (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California). <http://clicom-mex.cicese.mx/mapa.html>
- Commander, L. E., Merritt, D. J., Rokich, D. P. y Dixon, K. W. (2009). The role of after-ripening in promoting germination of arid zone seeds: a study on six Australian species. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(4), 11-421. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.01009.x>

- Conafor (Comisión Nacional Forestal). (2020). Programa de Manejo del Fuego 2020-2024. Coordinación General de Conservación y Restauración, Gerencia de Manejo del Fuego. <https://idefor.cnf.gob.mx/documents/829/download>
- Conafor (Comisión Nacional Forestal). (2022). Sistema Nacional de Información Forestal/ Incendios. <https://snif.cnf.gob.mx/incendios/>
- Del Campo Parra-Lara, A. y Bernal-Toro, F. H. (2010). Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. *El Hombre y la Máquina*, (35), 67-81.
- Díaz-Hernández, D., Rodríguez-Laguna, R., Rodríguez-Trejo, D. A., Acevedo-Sandoval, A. y Maycotte-Morales, C. (2020). Dinámica de la regeneración de *Pinus montezumae* posterior a un incendio y a quema prescrita. *Botanical Sciences*, 99(1), 58-66. <https://doi.org/10.17129/botsci.2634>
- Escamilla Weinmann, M., Almeida Leñero, L. y Giménez de Azcárate, J. (2019). Las comunidades tropicales del volcán Popocatepetl, México, y su relación con el medio. En F. Gómez Mercado y J. F. Mota Poveda (eds.), *Vegetación y cambios climáticos*. Universidad de Almería.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (S. f.). Ecosistemas áridos o semiáridos. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/236721/Capitulo_8.pdf
- Flematti, G. R., Ghisalberti, E., Dixon, K. W. y Trengove, E. D. (2004). A compound from smoke that promotes seed germination. *Science*, 305(5686), 977. <https://doi.org/10.1126/science.1099944>
- García Jiménez, F., Fuentes Mariles, O. y Matías Ramírez, L. G. (2021). Definición de sequías. En *Sequías* (pp. 5-7). Serie Fascículos. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana; CNPC; Cenapred. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/8-FASCCULOSEQUAS.PDF>
- Gómez Sánchez, M. y Salinas Soto, P. (2011). Gramíneas invasoras del área metropolitana de Querétaro. *Extensión Nuevos Tiempos*, 4(25), 32-37.
- González-Medrano, F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. y Gama-Flores, J. L. (1998). Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 4(1), 169-178.
- He, T., Lamont, B. B. y Pausas, J. G. (2019). Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews*, 94(6), 1983-2010. <https://doi.org/10.1111/brv.12544>
- Heikkilä, T. V., Grönqvist, R. y Jurvelius, M. (2010). *Fire: A necessary evil. Wildland fire management. Handbook for Trainers*. FAO. <https://www.fao.org/3/i1363e/i1363e.pdf>
- Hernández-Magaña, R., Hernández-Oria, J. G. y Chávez, R. (2012). Datos para la conservación florística en función de la amplitud geográfica de las especies en el semidesierto queretano, México. *Acta Botánica Mexicana*, (99), 105-139. <https://doi.org/10.21829/abm99.2012.22>
- Hernández-Martínez, M. M., Golubov-Figueroa, J., Mandujano-Sánchez, M. C., Maruri-Aguilar, B., Ugalde-de la Cruz, Y. H. y Sánchez-Martínez, E. (2022). Querétaro semidesert: Cactaceae

- imperiled. *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation*, 932-947. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00074-X>
- Humphrey, R. R. (1974). Fire in the desserts and desert grassland of North America. En T. T. Kozlowski y C. E. Ahlgren (eds.), *Fire and ecosystems* (pp. 365-400). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-424255-5.50016-X>
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (1986). *Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del estado de Querétaro*. Inegi.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) e INE (Instituto Nacional de Ecología). (2007). *Ecorregiones de México nivel IV* [escala 1:1 000 000].
- Jardel Peláez, E., Pérez Salicrup, D. y Alvarado, E. (2014). *Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: guía de campo*. Comisión Nacional Forestal.
- Keeley, J. E. y Pausas, J. G. (2018). Evolution of “smoke” induced seed germination in pyroendemic plants. *South African Journal of Botany*, 115, 251-255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2016.07.012>
- Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J. y Bradstock, R. A. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*, 16(8), 406-411. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.04.002>
- Killgore, A., Jackson, E. y Whitford, W. G. (2009). Fire in Chihuahuan desert grassland: Short-term effects on vegetation, small mammal populations, and faunal pedoturbation. *Journal of Arid Environments*, 73(11), 1029-1034. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.04.016>
- Lavandera Barreras, G., Gil León, M. E., Tecumshé Mojica Zárate, H. y Arvizu Valencia, R. A. (2019). Presencia de flora exótica en el sitio Ramsar ecosistema arroyo verde Sierra de Álamos río Cuchujaqui, Sonora México. *Revista Conrado*, 15(70), 95-101. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/1111>
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. (2003). *Diario Oficial de la Federación*, 25 de febrero de 2003.
- Manson, R. H., Jardel Peláez, E. J., Jiménez Espinosa, M., Escalante Sandoval, C. A., Martínez Ramos, M., Asbjorsen, H., Contreras Martínez, S., Rodríguez Trejo, D. A., Santana, E., Arreola Muñoz, A., Sánchez-Cordero, V., Magaña Rueda, V. y Gómez Mendoza, L. (2009). Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En *Capital natural de México* (vol. II, *Estado de conservación y tendencias de cambio*, pp. 131-184). Conabio. http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II03_Perturbaciones%20y%20desastres%20naturales_Impactos%20sobre.pdf
- Martínez Domínguez, R. y Rodríguez Trejo, D. A. (2008). Los incendios forestales en México y América Central. En A. González-Cabán (coord.), *El Segundo Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección contra Incendios Forestales: una visión global* (pp. 767-779). Departamento de Agricultura de los EE. UU., Servicio Forestal. https://www.fs.usda.gov/psw/publications/documents/psw_gtr208es/psw_gtr208es.pdf
- Melgoza Castillo, A., Balandrán Valladares, M. I., Mata-González, R. y Pinedo Álvarez, C. (2014). Biología del pasto rosado *Melinis repens* (Willd.) e implicaciones para su aprovechamiento

- o control. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(4), 429-442. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v5i4.4015>
- Morales-Garduño, L., Solano, E., Villaseñor, J. L. y Montañó-Arias, G. (2021). Panbiogeografía de los matorrales de la región xerofítica mexicana. *Botanical Sciences*, 99(3), 611-627. <https://doi.org/10.17129/botsci.2773>
- Myers, R. L. (2006). *Living with fire. Sustaining ecosystems & livelihoods through integrated fire management*. The Nature Conservancy. https://www.un-redd.org/sites/default/files/2022-08/Integrated_Fire_Management_Myers_2006.pdf
- Pausas, J. G. y Keeley, J. E. (2009). A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience*, 59(7), 593-601. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>
- Pompa-García, M., Camarero, J. J., Rodríguez-Trejo, D. A. y Vega-Nieva, D. J. (2018). Drought and spatiotemporal variability of forest fire across México. *Chinese Geographical Science*, 28(1), 25-37. <https://doi.org/10.1007/s11769-017-0928-0>
- Rivera Huerta, H. (2017). *Modelo de riesgo eco céntrico para un programa de incendios forestales, caso de estudio: Parque Nacional San Pedro Mártir* [tesis de doctorado no publicada]. Universidad Autónoma de Baja California.
- Roces-Díaz, J. V. y Santín, C. (2021, 19 de agosto). Los incendios no siempre son el enemigo: cómo beneficia el fuego a los ecosistemas y los humanos. *The Conversation*. <https://theconversation.com/los-incendios-no-siempre-son-el-enemigo-como-beneficia-el-fuego-a-los-ecosistemas-y-los-humanos-161960>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). Fire regimes, fire ecology, and fire management in México. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 37(7), 548-556. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.548>
- Rodríguez-Trejo, D. A., Pausas, J. G. y Miranda-Moreno, A. G. (2019). Plant response to fire in a Mexican arid shrubland. *Fire Ecology*, 15, 11. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0029-9>
- Rogers, B. M., Balch, J. K., Goetz, S. J., Lehmann, C. E. y Turetsky, M. (2020). Focus on changing fire regimes: interactions with climate, ecosystems, and society. *Environmental Research Letters*, 15(3), 030201. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d3a>
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Saladyga, T., Palmquist, K. A. y Bacon C. M. (2022). Fire history and vegetation data reveal ecological benefits of recent mixed severity fires in the Cumberland Mountains, West Virginia, USA. *Fire Ecology*, 18, 19. <https://doi.org/10.1186/s42408-022-00143-6>
- Sánchez-Colón, S. A., Flores-Martínez, I. A., Cruz Leyva, I. A. y Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causa humanas. En *Capital natural de México* (vol. II, *Estado de conservación y tendencias de cambio*, pp. 75-129). Conabio. http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/IIo2_Estado%20y%20transformacion%20de%20los%20ecosistemas%20terrestres.pdf
- Sánchez Martínez, E. (2015). *El Jardín Botánico Regional de Cadereyta: un espacio visual y contextual para la flora de Querétaro*. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro.

- Semadet (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial). (S. f.). *Plan de manejo del fuego para el estado de Jalisco. Términos de referencia*. https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/259_terminos_de_referencia_pmf-jal.pdf
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2006). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_2006
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2007). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_2007
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2008). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_2008
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2009). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_2009
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2010). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_2010
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2011). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_2011
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2012). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_2012
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2013). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_2013
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2014). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_estadistico_2014
- Snidrus (Programa Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). (2017). *Anuario estadístico del sector rural del estado de Querétaro*. Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Querétaro. México. https://issuu.com/sedeagro/docs/anuario_estadistico_2017

- Suzán Azpiri, H., Cambrón Sandoval, V. H., García Rubio, O. R., Guevara Escobar, A., Luna Soria, H. y González Sosa, E. (eds.). (2014). *Elementos técnicos del programa estatal de acción ante el cambio climático-Querétaro. Síntesis impresa del libro electrónico*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Thomas, P. A. (1991). Response of succulents to fire: a review. *International Journal of Wildland Fire*, 1(1), 11-22. <https://doi.org/10.1071/WF9910011>
- Underwood, E. C., Klinger, R. C. y Brooks, M. L. (2019). Effects of invasive plants on fire regime and postfire vegetation diversity in an arid ecosystem. *Ecology and Evolution*, 9(22), 12421-12435. <https://doi.org/10.1002/ece3.5650>
- Villar-Hernández, B. J., Pérez-Elizalde, S., Rodríguez-Trejo, D. A. y Pérez-Rodríguez, P. (2022). Análisis espacio temporal de la ocurrencia de incendios forestales en el estado mexicano de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74):120-144. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1274>
- Villaseñor, J. L. y Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (división Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, S134-S142. <https://doi.org/10.7550/rmb.31987>
- Villers Ruiz, L. y López Blanco, J. (eds.). (2004). *Incendios forestales en México. Métodos de evaluación*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.atmosfera.unam.mx/wp-content/uploads/2021/09/Incendios-forestales.pdf>
- Yocom, L. L., Jennes, J., Fulé, P. Z. y Thode, A. E. (2022). Fire severity in reburns depends on vegetation type in Arizona and New Mexico, U.S.A. *Forests*, 13(11), 1957. <https://doi.org/10.3390/f13111957>
- Zamudio, S., Rzedowski, J., Carranza, E. y Calderón de Rzedowski, G. (1992). *La vegetación del estado de Querétaro*. Instituto de Ecología, A. C.; Centro Regional del Bajío.