

© 2021 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 24: 1-15, 2021.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.390>

Mezquite: una planta alergénica de relevancia clínica en México

Lino Gerardo Batista-Roche y José Ángel Huerta-Ocampo*

Lab. de Bioquímica de Proteínas y Glicanos, CONACYT-Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas #46 Col. La Victoria 83304, Hermosillo, Sonora, México. E.mail: *jose.huerta@ciad.mx

RESUMEN

El mezquite es una planta del género *Prosopis* que se distribuye en áreas desérticas y semidesérticas de México. Su papel ecológico destaca por su capacidad de fijar nitrógeno y de fertilizar los suelos. Las semillas se usan para la alimentación animal y humana debido a sus propiedades nutricionales. Los extractos del mezquite se emplean en la medicina tradicional y farmacológica para el tratamiento de enfermedades crónicas como la diabetes. Sin embargo, la relevancia clínica del mezquite se le atribuye al polen, por la reacción alérgica que causa en las personas principalmente de las zonas desérticas de México. Las condiciones ambientales y atmosféricas influyen en su dispersión y al depositarse en la superficie del polen partículas asociadas a la contaminación ambiental, se incrementa su capacidad alergénica. Aunque varias proteínas alergénicas del polen del mezquite se han inmunodetectado, aún son muy pocas las identificadas, lo que limita el diseño de nuevas estrategias diagnósticas y terapéuticas. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión es presentar lo que se conoce sobre la planta mediante una búsqueda bibliográfica en PubMed y Google Académico de artículos publicados a partir de los años 2000 al 2021, y fuentes relevantes más antiguas que hacen énfasis en la propiedad alergénica del polen del mezquite, y fundamentar la influencia de la contaminación y el cambio climático en la alergenicidad de este polen en México, así como destacar la importancia de identificar las proteínas alergénicas que permitan implementar un diagnóstico y una inmunoterapia alérgeno-específica.

Palabras clave: mezquite, alergia, polen, estudios aerobiológicos

Mesquite: an allergenic plant of clinical relevance in Mexico

ABSTRACT

Mesquite is a plant of the genus *Prosopis*. It is distributed in desert and semi-desert areas. Its ecological role stands out for its ability to fix nitrogen and fertilize soils. The seeds are used for animal and human food due to their nutritional properties. Mesquite extracts are used in traditional medicine and have pharmacological potential in the treatment of chronic diseases such as diabetes. Pollen has clinical relevance due to allergic sensitization mainly in desert areas of Mexico. Environmental and atmospheric conditions influence the dispersal of pollen and its allergenicity is enhanced by the deposition of particles associated with environmental pollution on its surface. Although several allergenic proteins from mesquite pollen have been immunodetected in various studies, very few have yet been identified, which limits the design of new diagnostic and therapeutic strategies. The aim of this review carried out from a bibliographic search in PubMed and Google Scholar (from 2000 to 2021), as well as older relevant sources, is to highlight the allergenic potential of mesquite, emphasizing the effect of pollution and climate change in increasing the allergenicity and abundance of pollen as well as the need to identify allergenic proteins that enable the development of allergen-specific diagnosis and immunotherapy for this clinically relevant pollen.

Keywords: mesquite, allergy, pollen, aerobiological studies.

INTRODUCCIÓN

Los mezquites (*Prosopis* spp.; ID: 3571; NCBI, 2021) son plantas eudicotiledóneas pertenecientes a la familia Fabaceae y al orden Fabales. Este género incluye más de 40 especies localizadas principalmente en regiones áridas y semidesérticas del mundo (NCBI, 2021; **Tabla I**). La palabra mezquite se asocia a la planta *Prosopis juliflora* (Sw), nativa de México, el Caribe, Centro y Sudamérica (Mojica-Guerrero *et al.*, 2013; Castro-Díez *et al.*, 2019). Existen 5 grupos taxonómicos: *Prosopis* y *Anonychium* (Distribución Afroasiática); *Monilicarpa* (Argentina); *Strombocarpa* (Norteamérica y Sudamérica) y *Algarobia* (zonas desérticas y semidesérticas de Estados Unidos, México, la costa Pacífica de Centroamérica, las costas de Colombia, Venezuela, islas del Caribe y desde Ecuador hasta el Sur de Argentina). Sin embargo, la constituida por el género *Algarobia* es la más compleja, en la delimitación de los taxones por efectos de hibridación (Palacios, 2006).

El mezquite es un arbusto o árbol pequeño caducifolio y su altura puede variar de 0.4 a 20 m. Crece en territorios con precipitaciones anuales inferiores a 100 mm y soporta temperaturas por encima de los 40 °C (Mojica-Guerrero *et al.*, 2013). El fruto es en forma de vaina de frijol de 10-20 cm de largo, amarillo-verdoso, aplanado, en forma de racimos caídos. Presenta una corteza oscura y áspera con un tallo verde-marrón sinuoso y torcido. Las espinas se encuentran axiales situadas en ambos lados de los nodos y ramas, con brotes en pares de los laterales de las hojas. Las hojas son generalmente glaucas, bipinnadas y compuestas, con folíolos verde-oscuros (Weber, 2007). Las flores de *Prosopis* son pequeñas (4-6 mm de largo), dispuestas en inflorescencias de varios tamaños y formas. Se encuentran en racimos cilíndricos con forma de espiga y con cerca de 400 flores densamente empaquetadas (Weber, 2007).

Se propone que al menos 19 de las 44 especies del género *Prosopis* son benéficas (Castro-Díez *et al.*, 2019). Tres de las especies más comunes son: el mezquite miel (*P. glandulosa*), el mezquite tornillo (*P. pubescens*) y el mezquite terciopelo (*P. velutina*) que se encuentran al norte de México y sur de los Estados Unidos (Weber, 2007). Tienen vainas con semillas que se utilizan para la alimentación humana, de la fauna silvestre y del ganado (Weber, 2007). Sin embargo, la diferencia es con *P. juliflora* que daña el sistema nervioso central de los animales cuando se usa como la única fuente de sustento alimenticio, especialmente durante condiciones extremas de sequía. Esta intoxicación es por su contenido de alcaloides como la juliprosopina y la juliprosina que afectan a las neuronas motoras y desarrollan lo que se conoce como gliosis (Da Silva, da Silva, e Silva & Costa, 2018). El contenido de proteínas en las vainas del mezquite varía de acuerdo con la especie (9-18%), mientras que los niveles de azúcares se encuentran entre un 15 y 40% (Oduol, Felker, McKinley & Meier, 1986). Estudios con *P. laevigata* indican que la harina de sus semillas es rica en fibra (7.73 g / 100 g) y proteínas (36.51 g / 100 g), siendo la valina el único aminoácido limitante (Díaz-Batalla *et al.*, 2018). Además, la cocción por extrusión de harina de semillas de mezquite es una alternativa para la industrialización de esta leguminosa subutilizada y nutricionalmente valiosa (Díaz-Batalla *et al.*, 2018).

El mezquite también ha mostrado su capacidad farmacológica para combatir el cáncer, la diabetes, el Alzheimer y las infecciones microbianas. Además, sus extractos tienen efectos analgésicos, antihelmínticos, antieméticos, antioxidantes y cicatrizantes debido a su contenido de flavonoides, taninos, alcaloides y compuestos fenólicos (Henciya *et al.*, 2017). Las especies de mezquite más utilizadas con fines medicinales son: *P. cineraria*, *P. africana*, *P. alba*, *P. juliflora*, *P. glandulosa*, *P. nigra*, *P. farcta* y *P. spicigera*. Estas especies se usan en

Tabla I. Clasificación taxonómica del mezquite. Tomado de NCBI, 2021.

Reino	<i>Viridiplantae</i>
División	<i>Streptophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Fabaceae</i>
Sub-familia	<i>Caesalpinioideae</i>
Género	<i>Prosopis</i>
Especies	<i>Prosopis glandulosa</i> ; <i>P. ruscifolia</i> ; <i>P. pallida</i> ; <i>P. reptans</i> ; <i>P. africana</i> ; <i>P. alpacato</i> ; <i>P. articulata</i> ; <i>P. burkartii</i> ; <i>P. caldenia</i> ; <i>P. campestris</i> ; <i>P. castellanosi</i> ; <i>P. cineraria</i> ; <i>P. denudans</i> ; <i>P. elata</i> ; <i>P. farcta</i> ; <i>P. ferox</i> ; <i>P. hassleri</i> ; <i>P. humilis</i> ; <i>P. laevigata</i> ; <i>P. limensis</i> ; <i>P. palmeri</i> ; <i>P. pubescens</i> ; <i>P. rojasiana</i> ; <i>P. rubriflora</i> ; <i>P. ruizlealii</i> ; <i>P. sericantha</i> ; <i>P. spicigera</i> ; <i>P. strombulifera</i> ; <i>P. tamarugo</i> ; <i>P. tamaulipana</i> ; <i>P. torquata</i> ; <i>P. velutina</i>

la medicina tradicional para tratar el asma, conjuntivitis, diarrea, fiebre, gripe, infecciones hepáticas, otitis, dolores pre y posparto, pediculosis, reumatismo y sarna, entre otros (Sharifi-Rad *et al.*, 2019).

Algunos mezquites tienen funciones ecológicas como *P. laevigata* que es un excelente controlador de la erosión y puede fijar nitrógeno, lo que mejora la fertilidad de los suelos (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). Se conoce que el mezquite, al igual que otras leguminosas como el frijol y el maní, fijan el nitrógeno atmosférico en simbiosis con bacterias en sus raíces. Por lo que la incorporación de estas leguminosas arbóreas en los ecosistemas semiáridos permite equilibrar la relación de entrada y salida del nitrógeno (Geesing, Felker & Bingham, 2000). Un estudio realizado por García-Sánchez y colaboradores (2012) mostró que las comunidades de plantas con presencia de *P. laevigata* y *Mimosa biuncifera* tenían más cobertura y diversidad respecto a los sitios con una sola leguminosa. La mineralización de la materia orgánica, carbono, nitrógeno total y fósforo fue mayor en el suelo bajo el dosel de ambas leguminosas que en el suelo desnudo (García-Sánchez *et al.*, 2012). Además, el mezquite actúa como un indicador de la profundidad del manto freático y proporciona alimento y refugio a la fauna silvestre (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014).

Actualmente se desarrollan proyectos para educar a las poblaciones de zonas desérticas y semidesérticas a nivel mundial sobre los beneficios y potencialidades del mezquite. Estas comunidades cuentan con 2.5 billones de personas, la mayor parte en condiciones marginales (González-Carranza, 2021). El proyecto Mezquite financiado por el Fondo de Retos Globales de Inglaterra (GCRF) y dirigido a más de 50 millones de habitantes en pobreza extrema, de México, Tanzania y Kenia, donde prolifera el mezquite tiene como objetivo reverdecer el desierto con plantas resistentes a estas condiciones extremas (González-Carranza, 2021).

La madera del mezquite se puede emplear como combustible y representa un recurso forestal maderable fundamental para los campesinos de zonas áridas y semiáridas del territorio mexicano. Algunas especies como *P. juliflora*, *P. laevigata*, *P. velutina* y *P. pubescens* producen una resina con capacidad emulsificante y encapsulante. Esta resina se usa para fabricar barnices y pegamentos y una goma similar a la goma arábiga, empleada en distintos usos industriales particularmente en alimentos, bebidas y productos farmacéuticos (Mudgil & Barak 2020). Las astillas de la madera de *Prosopis* se están utilizando en el tratamiento del agua para riego (Sosa-Hernández, Viguera-Cortés & Garzón-Zúñiga, 2016). Además, investigaciones recientes ubican al mezquite como un biorremediador de la contaminación ambiental al hiperacumular metales pesados como el cobre en raíces, tallo y hojas, (Singh, Mishra, Sharma & Mishra, 2017; Milla-Moreno & Guy, 2021).-

El polen del mezquite es de tamaño mediano (22-32 μm de diámetro), tricolporado y esferoidal tanto en la vista polar como en la ecuatorial y con una superficie reticulada (Weber *et al.*, 2007). Se ha documentado que el polen de *Prosopis* da lugar a reacciones alérgicas graves en personas susceptibles (Hussain, Shackleton, El-Keblawy, Del Mar Trigo & González, 2020). Los alérgenos del polen son en su mayoría proteínas o glicoproteínas que inflaman el tracto respiratorio mediante dos vías de señalización: la producción de especies reactivas del oxígeno y la ruptura del equilibrio Th1/Th2 (Hosoki, Boldogh & Sur, 2015). La inmunoterapia específica para alérgenos es el tratamiento más efectivo y perdurable en la alergia respiratoria y requiere al igual que el diagnóstico, que los alérgenos estén identificados y bien caracterizados (Larsen, Broge & Jacobi, 2016).

En México el polen del mezquite se encuentra entre los principales grupos polínicos. En un estudio realizado en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León se encontró que el polen de mezquite representa el 2% del polen presente en su atmósfera urbana (Rocha-Estrada, Alvarado-Vázquez, Foroughbakhch-Pournavab & Hernández-Piñero, 2009). Sin embargo, en el territorio mexicano la prevalencia de la alergia respiratoria al polen del mezquite en personas sensibles es de un 21% (Larenas-Linnemann *et al.*, 2014).

A la fecha se han abordado ampliamente las funciones ecológicas, nutritivas y farmacológicas del mezquite. Sin embargo, retomando el caso del polen de reconocida relevancia clínica, se conoce poco sobre las moléculas específicas involucradas en la respuesta alérgica, respuesta que puede potenciarse en medio del contexto actual del cambio climático y la urbanización. De hecho, y como ya se mencionó en un principio, la mayoría de las proteínas involucradas en la sensibilización alérgica al polen del mezquite no se han identificado, aunque se han reportado bandas de proteínas alérgicas mediante *western blot* (Dhyani *et al.*, 2006). Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es presentar la información que se conoce sobre las moléculas alérgicas del polen del mezquite, fundamentar la influencia del ambiente para potenciar su capacidad alérgica y resaltar la importancia de identificar las proteínas alérgicas como fase indispensable para establecer nuevas modalidades diagnósticas y terapéuticas para la alergia a este polen.

METODOLOGÍA

La presente revisión es una actualización a partir de artículos publicados en PubMed y Google Académico de los años 2000 al 2021 y algunas fuentes más antiguas, sobre la alergia que causa el polen del mezquite en México. Por lo que resumimos la información y comparamos los resultados de México, respecto a otros países.

Se realizó una búsqueda en la base de datos del NCBI (National Center for Biotechnology Information), para obtener la

Clasificación Taxonómica actualizada, 2021, del mezquite (**Tabla I**). En la elaboración de las Figuras y datos para las Tablas se utilizaron las siguientes plataformas y programas: Global Biodiversity Information Facility (**Figura 1, Tablas II y IV**); iNaturalist (**Figuras 2 A y B**); Referencias bibliográficas para la elaboración de este artículo (**Figura 3 y Tabla III**); BioRender (**Figuras 4 y 5**).

Relevancia clínica del polen del mezquite

El polen de *Prosopis* es común en el aire donde el árbol está presente y constituye una fuente de reacciones alérgicas como polinosis, rinitis, conjuntivitis y asma (Hussain *et al.*, 2020). El total de registros de mezquite a nivel mundial es de 46,883. El 33% de estos registros corresponden a *P. glandulosa*, seguido por un 12, 9, 8 y 5% para *P. juliflora*, *P. africana*, *P. pallida* y *P. velutina*, respectivamente. El resto se distribuye para las otras especies del género *Prosopis* (GBIF, 2021). En la **Tabla II** se muestran los 10 países con mayor número de registros para mezquite. México y Estados Unidos cuentan con más del 50% de los registros, debido a una mayor distribución y abundancia de esta planta en ambos países respecto al resto del mundo. La sensibilización alérgica de las personas al polen del mezquite se ha reportado para los siguientes países: México (Larenas-Linnemann *et al.*, 2014), Arabia Saudita (AlKhater, 2017), Kuwait (Dowaisan *et al.*, 2000), India (Dhyani *et al.*, 2006; Chogtu, Magaji, Magazine & Acharya, 2017), Qatar (Al-Nesf *et al.*, 2020) y Emiratos Árabes Unidos (Bener, Safa, Abdulhalik & Lestringant, 2002), (**Tabla III**).

En México, los mezquites se encuentran ampliamente distribuidos en el territorio (**Figura 1**). A la fecha suman 5,774

registros (GBIF, 2021). La distribución y abundancia de especies se comporta de manera diferente a otros países, probablemente por procesos de especiación y adaptación a las condiciones ambientales del territorio (Palacios, 2006). Se conoce que el 34% de los registros corresponden a *P. laevigata*, seguido por un 27, 15, 6 y 4% para *P. glandulosa*, *P. juliflora*, *P. articulata* y *P. velutina*, respectivamente (GBIF, 2021), como se muestra en la **Tabla IV**. Los mezquites mexicanos presentan una marcada estacionalidad. Entre marzo a mayo se da el pico de floración, liberándose una mayor cantidad de polen a la atmósfera, por lo que se ha incrementado la observación y recuento de este en los últimos años como un indicio de la proliferación de

Tabla II. Número de registros de árboles de mezquite en los 10 países con mayores reportes de alergias provocadas por el polen de la planta hasta el 10 de octubre del 2021 (GBIF, 2021).

País	Registros	%
Estados Unidos	17,960	38.0
México	5,774	12.3
Argentina	4,137	8.8
Australia	3,339	7.1
Benín	2,568	5.4
Chile	2,309	4.9
Colombia	812	1.7
Brasil	769	1.6
Paraguay	720	1.5
Israel	684	1.4



Figura 1. Ubicación geográfica de registros de árboles de mezquite en México utilizando todos los métodos de anotación disponibles en GBIF. Descargado de GBIF, 2021.

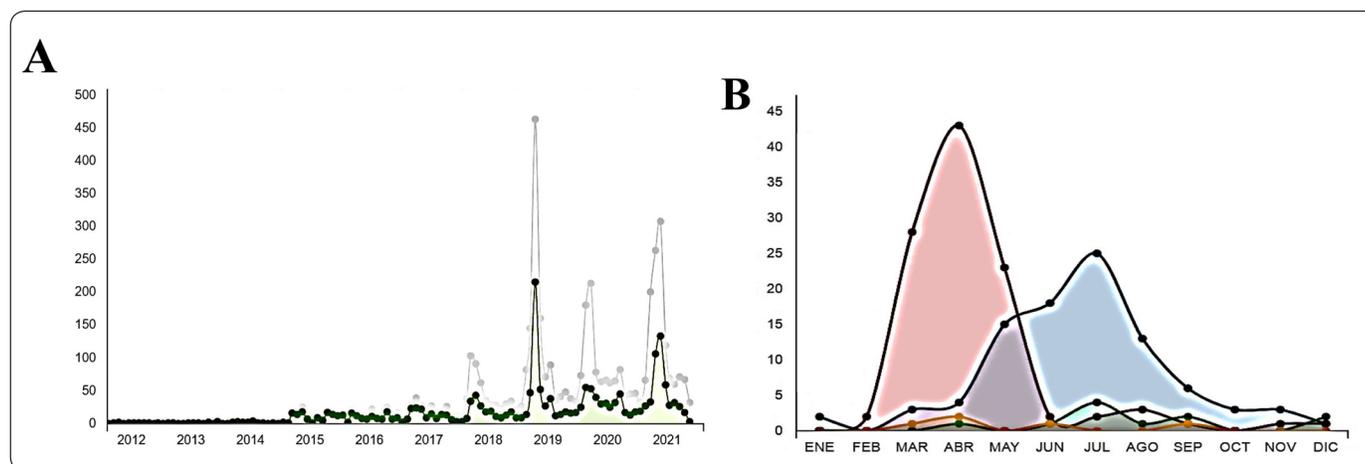


Figura 2. Recuentos observacionales y comportamiento fenológico de árboles de mezquite. (A) Recuentos observacionales de árboles de mezquite en México acumulados en los últimos diez años. Los puntos en verde representan recuentos en donde se identificó el género y especie, los puntos en gris representan recuentos en donde no se definió con certeza la especie. (B) Observaciones fenológicas mensuales de árboles de mezquite (en rosa: floración; en azul: fructificación; en verde: brotes florales y en naranja: no hay floración) para 4,655 registros totales. Gráficos generados en: inaturalist.org (iNaturalist, 2021).

Tabla III. Sensibilización alérgica de la población al polen del mezquite determinada por la prueba cutánea reportada en algunos países y ciudades del Mundo.

País o ciudad	Sensibilización alérgica	Manifestación clínica	Referencias
Emiratos Árabes Unidos	N = 327 (45%)	Asma alérgica	Bener <i>et al.</i> , 2002
Qatar	N = 204 (18.1%)	Asma, rinitis alérgica y dermatitis atópica	Al-Nesf <i>et al.</i> , 2020
Al-Khobar, Arabia Saudita	N = 100 (19%)	Asma alérgica	AlKhater, 2017
México	N = 529 (21%)	Rinitis y conjuntivitis alérgica	Larenas-Linnemann <i>et al.</i> , 2014
India	N = 662 (29.8%)	Rinitis alérgica y asma bronquial	Chogtu <i>et al.</i> , 2017
Kuwait	N = 706 (50.3%)	Rinitis alérgica	Dowaisan <i>et al.</i> , 2000

N = Número total de pacientes analizados, entre paréntesis se representa el porcentaje de pacientes sensibilizados al polen del mezquite.

la planta (**Figura 2 A, B**). En este territorio se han realizado algunos trabajos (la mayoría en la Ciudad de México) que aportan información sobre la sensibilización de la población al polen del mezquite (Martínez-Ordaz, Rincón-Castañeda, López-Campos & Velasco-Rodríguez, 1997; Bedolla-Barajas, Hernández-Colín, Sainz-Hernández & Morales-Romero, 2011; Larenas-Linnemann *et al.*, 2014; Velasco-Medina & Velázquez-Sámamo, 2014; Palma-Gómez *et al.*, 2014; López-Romero, Huerta-Romero & Frías-Mendivil, 2017; Suárez-Gutiérrez, Macías-Garza, López-Ortiz, Fuentes & Álvarez-Cardona, 2019; Calderon-Ezquerro *et al.*, 2018 & Rojas-Méndez *et al.*, 2017) (**Figura 3**).

Varios estudios evidencian la elevada reactividad cutánea al polen del mezquite en distintos estados de la República Mexicana. Por ejemplo, en la Comarca Lagunera (conformada por municipios de los estados de Coahuila y Durango), las

pruebas cutáneas a 101 pacientes con asma mostraron un 57% de sensibilización (Martínez-Ordaz *et al.*, 1997). El 20.4% de pacientes asmáticos (N = 147) en Guadalajara, Jalisco tuvieron una alta sensibilización a los pólenes (Bedolla-Barajas *et al.*, 2011) y se comprobó posteriormente que el 50% de los pacientes adultos con síndrome de alergia oral y polinosis nasal, resultaron sensibilizados principalmente a los aeroalérgenos del polen de *Prosopis* (Bedolla-Barajas, Morales-Romero, Ortiz-Miramontes & Jáuregui-Franco, 2013). Por otro lado, se determinó que el 15% de 142 pacientes que acudieron a la Clínica del Hospital General de la Ciudad de México, fueron positivos a la prueba cutánea en el año 2013 (Velasco-Medina & Velázquez-Sámamo, 2014). En un estudio con 529 pacientes alérgicos provenientes de 6 regiones subtropicales distribuidas en todo el territorio mexicano, el 21% dieron positivo en la prueba cutánea al polen del mezquite (Larenas-Linnemann *et al.*, 2014).

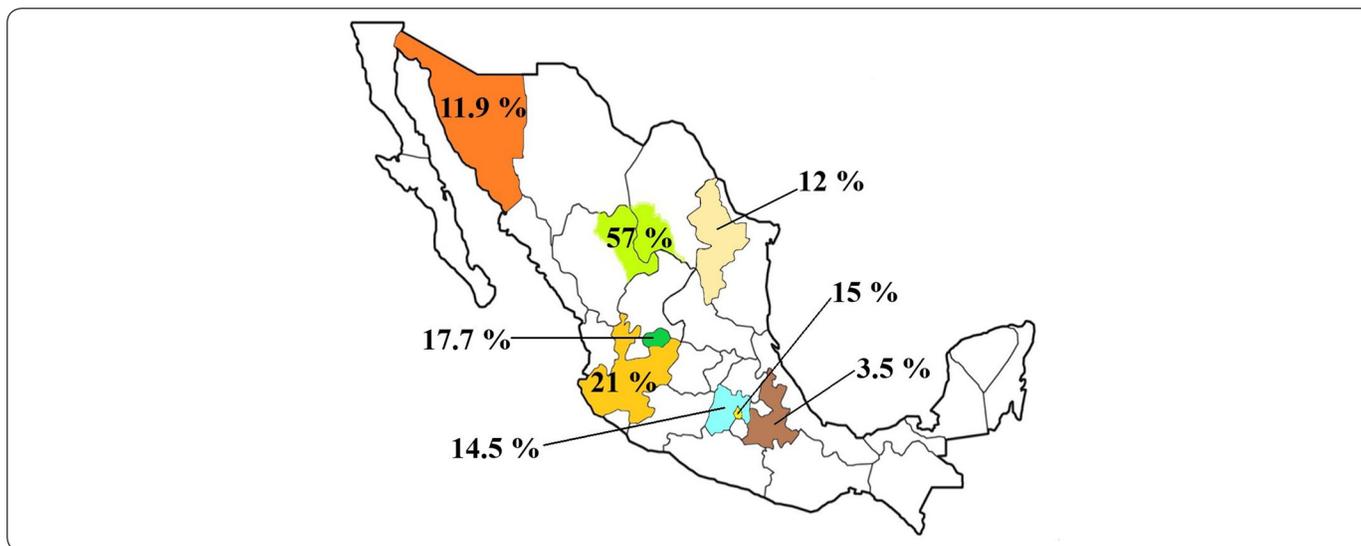


Figura 3. Incidencia de la sensibilización de la población al mezquite en algunos estados de la República Mexicana, según trabajos puntuales: 11.9% en Hermosillo, Sonora; 57% en la Comarca Lagunera situada entre Coahuila y Durango; 21% en Guadalajara, Jalisco; 17.7% en Aguascalientes; 14.5% en el Estado de México, 15% en la Ciudad de México y 3.5% en Puebla. Elaborada a partir de la información recopilada de: López-Romero *et al.*, 2017; Martínez-Ordaz *et al.*, 1997; Palma-Gómez *et al.*, 2014; Calderon-Ezquerro *et al.*, 2018; Velasco-Medina & Velázquez-Sámamo, 2014; Larenas-Linnemann *et al.*, 2014; Suárez-Gutiérrez *et al.*, 2019 y Rojas-Mendez *et al.*, 2017.

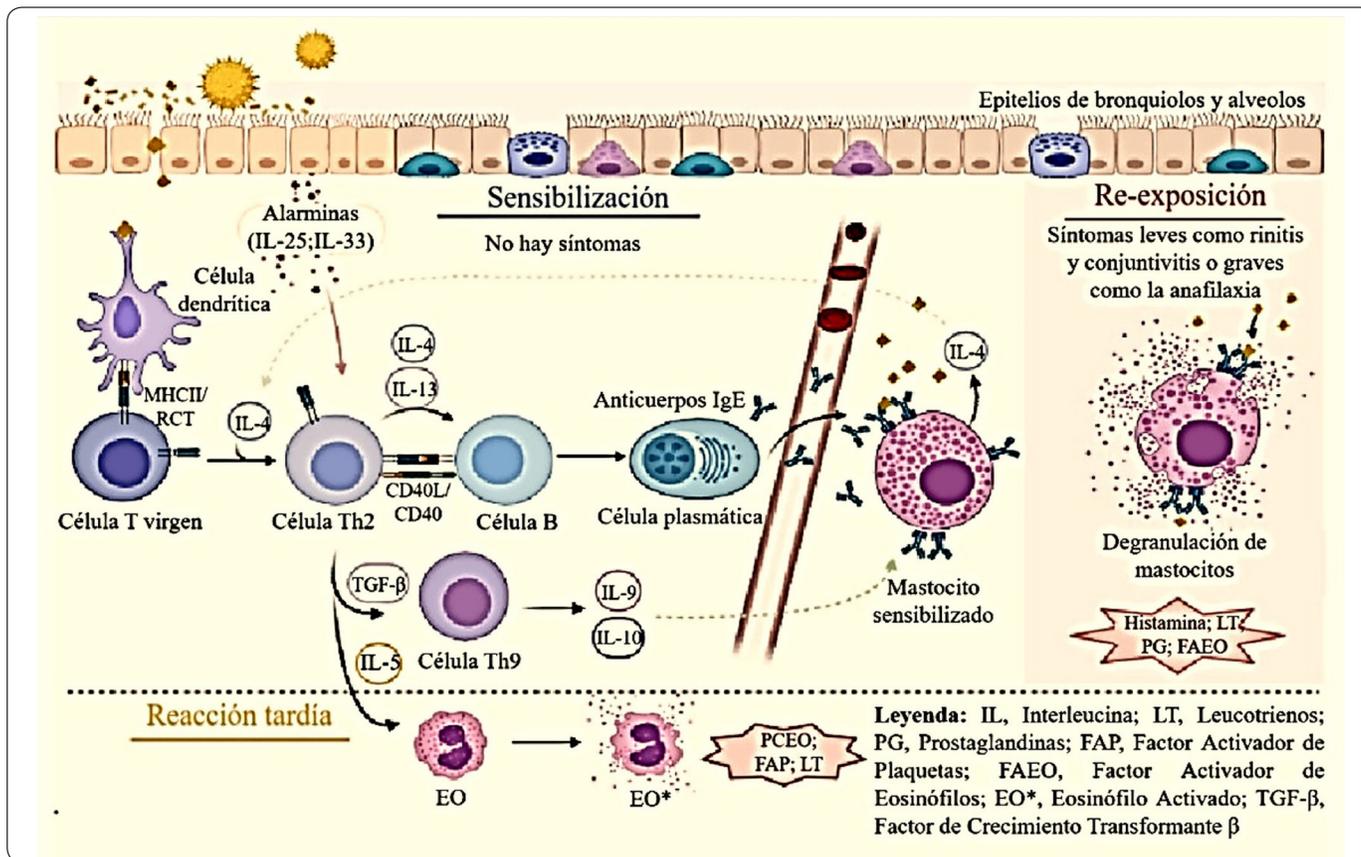


Figura 4. Mecanismo de la alergia al polen mediada por IgE, a partir de las etapas de sensibilización y reexposición de individuos susceptibles al antígeno y la consecuente desgranulación de los mastocitos con la liberación de factores inflamatorios derivados del ácido araquidónico, interleucinas y factores quimiotácticos. Modificada a partir de los elementos del mecanismo reportado por Pichler, 2020.

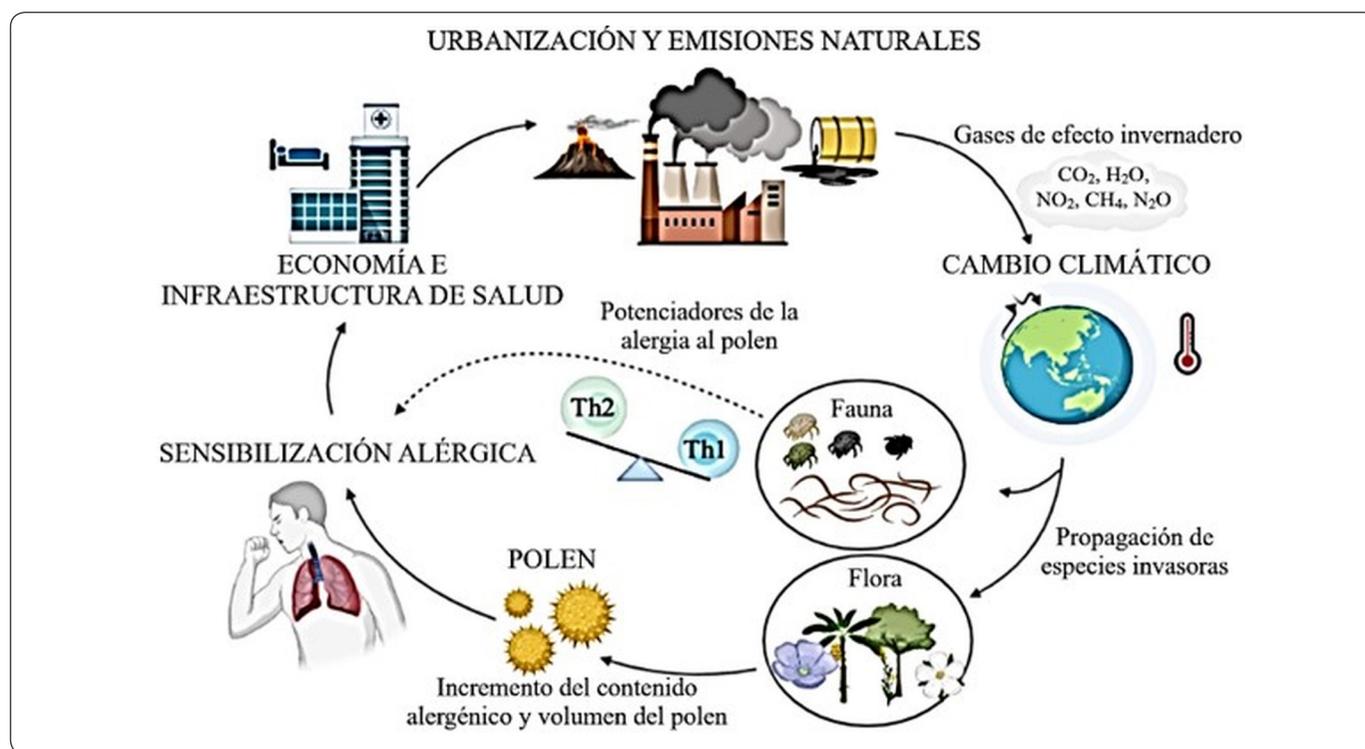


Figura 5. Efecto de las condiciones ambientales en la alergia al polen. La actividad antropogénica y las emisiones naturales generan contaminantes del aire y gases de efecto invernadero que provocan un incremento en la temperatura global. El incremento de la temperatura y del CO₂, afecta a la flora y fauna, con incrementos de su capacidad alergénica y el volumen del polen producido por las angiospermas. Esto conlleva a una mayor sensibilización en los pacientes alérgicos, potenciado por efectos biológicos como las helmintiasis leves. A mayor incidencia de alergias respiratorias mayor consumo de medicamentos con las subsecuentes afectaciones económicas reflejadas en: gastos en infraestructura hospitalaria y acondicionamiento de las zonas urbanas.

Aunque existen pocos estudios sobre la reacción alérgica al polen en México, Palma-Gómez y colaboradores en 2014 evaluaron el impacto que la reforestación en Monterrey, Nuevo León tuvo en la población. Los autores determinaron que un 19% de las pruebas cutáneas con extracto de polen del mezquite fueron positivas en el año 2010, mientras que, en el año 2013, la cantidad disminuyó al 12%, por el incremento de otras especies forestales como el encino (Palma-Gómez *et al.*, 2014). Existen reportes sobre la sensibilización alérgica al mezquite en la población de Hermosillo, Sonora. Esta población sufre la mayor incidencia de enfermedades respiratorias, principalmente asma y por alergias. Un estudio reciente con niños de Hermosillo, en el Hospital Infantil del Estado de Sonora, mostró una alta frecuencia de alérgicos al polen. El 69% eran asmáticos y el otro 14% presentó rinitis alérgica. En este estudio se emplearon 37 extractos habituales para la prueba cutánea y el polen de *P. juliflora* se ubicó entre las fuentes de polinosis más importantes con una sensibilización alérgica del 11.9% (López-Romero *et al.*, 2017). Este resultado es similar al obtenido para la población sonorensis atendida en los servicios de alergia del Instituto Mexicano del Seguro Social durante el invierno, donde un 12% mostró reactividad al polen

de las fabáceas (Ortega-Rosas, Meza-Figueroa, Vidal-Solano, González-Grijalva & Schiavo, 2020).

Un estudio en el Estado de Puebla determinó que el polen de *Quercus rubra* resultó ser el más sensibilizante con un 12.72%, siendo superior a los ácaros del polvo con (4.5-9.25%). Sin embargo, *P. juliflora* fue responsable del 3.5% de reacciones cutáneas positivas (Rojas-Mendez *et al.*, 2017). Un 14.5% de los pacientes atendidos en el Instituto de Oftalmología Conde de Valenciana, provenientes del Estado de México (47.6%), de la Ciudad de México (41.3%) y en menor medida de otros estados (11.1%), dieron reacción positiva al mezquite. La reactividad al polen del mezquite ocupó la posición 10 en importancia de acuerdo con las pruebas aplicadas. Una menor sensibilización al mezquite de (3.2%) se observó entre 502 pacientes pediátricos de (3-17 años) atendidos por primera vez en el periodo de los años 2003-2005, en hospitales de la Ciudad de México, como el Instituto de Oftalmología Conde de Valenciana (N = 285), Centro Médico Nacional Siglo XXI (106), Instituto Nacional de Pediatría (N = 22), Hospital Infantil de México (N = 55) y algunos hospitales privados (N = 34) (Calderon-Ezquerro *et al.*, 2018). Recientemente en Aguascalientes, México, se

Tabla IV. Registros de especies de mezquite en México hasta el 10 de octubre del 2021 (Tomado de: gbif.org).

Especies de Mezquite	Número de registros
<i>Prosopis laevigata</i>	1,954
<i>P. glandulosa</i>	1,568
<i>P. juliflora</i>	840
<i>P. articulata</i>	330
<i>P. velutina</i>	227
<i>P. palmeri</i>	224
<i>P. pubescens</i>	108
<i>P. cinerascens</i>	84
<i>P. tamaulipana</i>	77
<i>P. mayana</i>	51
<i>P. chilensis</i>	24
<i>P. reptans</i>	21
<i>P. yaquiiana</i>	9
<i>P. mezcaltana</i>	2
<i>P. nigra</i>	1
<i>P. farcta</i>	1
<i>P. limensis</i>	1
<i>P. alba</i>	1
Especies no identificadas	251
Total	5,774

evidenció que los alérgenos más abundantes fueron pólenes de pastos (75%), pólenes de árboles (65%) y los ácaros del polvo doméstico (64%). Las pruebas cutáneas se aplicaron en 350 pacientes con 32 extractos alérgicos y el 17.7% de estas fueron positivas al polen del mezquite (*P. juliflora*) (Suárez-Gutiérrez *et al.*, 2019).

Según un trabajo reciente publicado por Velázquez-Sámamo (2021), la frecuencia de reactividad cutánea al polen de *Prosopis* fue del 27.8%, en pacientes alérgicos atendidos en el servicio de Alergia e Inmunología clínica del Hospital General de México. Los pacientes presentaron rinitis alérgica (83%), asma (4%) y rinoconjuntivitis (13%). Esta reactividad cutánea al polen del mezquite es superior a lo reportado por Velasco-Medina y Velázquez-Sámamo (2014), en años anteriores en el mismo territorio y sugiere una tendencia al incremento de las alergias respiratorias por el polen de *Prosopis*. Las variaciones entre las reacciones cutáneas de los estudios en México indican que la incidencia de las alergias por *Prosopis* muestra heterogeneidad territorial según los reportes de López-Romero *et al.*, 2017; Palma-Gómez *et al.*, 2014; Calderon-Ezquerro *et al.*, 2018; Larenas-Linnemann *et al.*, 2014; Suárez-Gutiérrez *et al.*, 2019;

Velasco-Medina & Velázquez-Sámamo, 2014; Velázquez-Sámamo, 2021 y Rojas-Mendez *et al.*, 2017.

Mecanismo molecular de la alergia respiratoria al polen

Se estima que las enfermedades alérgicas afectan hasta un 30% de la población mundial (Terán, Haselbarth-López & Quiróz-García, 2009), y cerca de un 40% de los individuos son alérgicos al polen (Asam, Hofer, Wolf, Aglas & Wallner, 2015). Las alergias respiratorias al polen son reacciones de hipersensibilidad inmediatas, mediadas por la inmunoglobulina E (IgE) (Abbas, Lichtman & Pober, 2010). Usualmente, los granos de polen se depositan en las superficies por la gravedad y se adhieren al tracto respiratorio humano desencadenando la liberación de los alérgenos. Cuando se liberan los alérgenos del polen, las células epiteliales sintetizan moléculas inflamatorias como las alarminas, interleucina 25 (IL-25), IL-33 y la linfopoyetina del estroma tímico (TSLP). Estas moléculas estimulan la producción de citocinas en las células T colaboradoras tipo 2 (Th2) (Lambrecht, Hammad & Fahy, 2019).

Tras una fase previa de sensibilización, las personas susceptibles (alérgicas) producen anticuerpos IgE específicos que reconocen a los componentes alérgicos (Abbas *et al.*, 2010). Al ingresar al espacio intersticial los anticuerpos IgE se unen a los receptores de alta afinidad presentes en las membranas de los mastocitos y los basófilos a través de los receptores FcR I y II, sensibilizándolos. La IgE también pasa a la circulación y sensibiliza a los basófilos y a los mastocitos tisulares localizados en la piel, y las mucosas gastrointestinales y pulmonares. En este proceso se generan células B plasmáticas y de memoria productoras de IgE (Lambrecht *et al.*, 2019). Tras la re-exposición al alérgeno antigénico, los anticuerpos IgE unidos a los receptores FcR I y II, de los basófilos y los mastocitos desencadenan su desgranulación (Abbas *et al.*, 2010). El contacto de los mastocitos sensibilizados con el alérgeno incrementa la concentración del calcio intracelular con la liberación consecuente de la histamina, las enzimas y los mediadores inflamatorios provenientes del ácido araquidónico (leucotrienos y prostaglandinas). De esta forma se produce una reacción alérgica inmediata y se incrementa la permeabilidad vascular, la vasodilatación y la contracción del músculo liso. Los factores quimiotácticos liberados durante la respuesta alérgica reclutan células mononucleares, eosinófilos y neutrófilos, que liberan a su vez a otros mediadores inflamatorios que participan en la respuesta tardía de la alergia (Abbas *et al.*, 2010) (Figura 4).

Inmunodetección e identificación de las proteínas alérgicas del polen del mezquite

Diversos estudios han inmunodetectado bandas de proteína mediante *western blot* empleando como antígeno las proteínas del polen del mezquite y los anticuerpos IgE presentes en el suero de los pacientes alérgicos diagnosticados mediante pruebas cutáneas. En uno de ellos se sugiere que el polen del mezquite

contiene al menos 16 bandas de proteínas antigénicas, ubicadas en el rango de 10 a 81 kDa de masa molecular, siendo la fracción más alergénica la de 20 kDa (Dhyani *et al.*, 2006). Mediante la cromatografía de filtración en gel y electroforesis en gel de la poliacrilamida al 7.5%, Thakur & Sharma (1985) descubrieron que la fracción de 20 kDa de un extracto de *P. juliflora* tenía una mayor actividad alergénica. Se han inmunodetectado otras bandas de proteínas alergénicas con masas moleculares de 13, 20, 27.5, 41, 55.5 y 81 kDa (Thakur & Sharma, 1985; Thakur, 1989; Thakur, 1991). En contraste, otros autores al evaluar el suero combinado de 10 individuos alérgicos al polen del mezquite lograron inmunodetectar 13 bandas alergénicas de 11, 16, 17, 18, 20, 27, 30, 36, 44, 56, 64, 71 y 99 kDa (Killian & McMichael, 2004).

En un estudio en la India a partir del suero de 38 individuos sensibilizados al mezquite (*P. juliflora*), en un 80% se inmunodetectaron 16 bandas de proteínas reconocidas por la IgE, con componentes de 24, 26, 29, 31, 35, 52, 58, 66 y 95 kDa (Dhyani *et al.*, 2006). More y colaboradores (2002), demostraron que el humo del mezquite comparte los alérgenos de 66 kDa y 59 kDa presentes en el polen. Los pacientes alérgicos al humo del mezquite y los alérgicos al polen, presentaban IgE específica para ambas bandas de proteínas. Los autores afirman que el humo del mezquite es una causa de rinitis y alergia alimentaria, provocadas por la transferencia de alérgenos desde la madera quemada al medio ambiente y a los alimentos (More, Whisman & Jordan-Wagner, 2002).

Assarehzadegan y colaboradores (2015), encontraron diversas bandas de proteínas reactivas a la IgE del suero de los pacientes en el rango de 20 y 66 kDa. Sin embargo, experimentos de inhibición revelaron una alta reactividad cruzada de los anticuerpos IgE de los pacientes alérgicos entre las proteínas de *P. juliflora* y *Acacia farnesiana*, mostrando que la incubación del suero de los pacientes con extracto de *P. juliflora* a 70 µg / mL es capaz de inhibir por completo la unión de la IgE de los pacientes a las proteínas de 15, 23, 45 y 50 kDa de *A. farnesiana* (Shamsbiranvand, Khodadadi, Assarehzadegan, Borsi & Amini, 2014). Al-Soqeer *et al.*, 2017, inmunodetectaron 18 bandas de proteínas alergénicas con masas moleculares entre 14 y 97 kDa, así como 8 aminas biogénicas en 50 genotipos de *P. juliflora* recolectados en dos regiones de Arabia Saudita.

Existen escasos reportes de alérgenos del mezquite caracterizados y expresados de forma recombinante. La profilina del mezquite (Pro j 2), se caracterizó parcialmente (Thakur, 1989; Thakur, 1991) y expresó de forma recombinante (rPro j 2), mostrando que 17 pacientes alérgicos al mezquite (48.57%) tenían un nivel significativo de IgE específica para rPro j 2 (Ali-Sadeghi *et al.*, 2015). Los ensayos de inmunodetección e inhibición indicaron que rPro j 2 purificada, era similar a la del extracto crudo, es decir, el alérgeno recombinante mostró una reactividad IgE equivalente a la de su contraparte natural (Ali-Sadeghi *et al.*,

2015). Dousti, Assarehzadegan, Morakabati, Khosravi & Akbari (2016) clonaron y expresaron el alérgeno Pro j 1 del polen de *P. juliflora*. Esta proteína que pertenece al tipo Ole e 1, mostró niveles de IgE específica significativos en un 57% de los pacientes. Además, en ensayos de inmunodetección y ensayos inmunoenzimáticos (ELISA) de inhibición, corroboraron la equivalencia antigénica de la forma recombinante con el alérgeno presente en el extracto natural (Dousti *et al.*, 2016). Más recientemente, un alérgeno principal de *P. juliflora* similar a la vicilina de 35 kDa se aisló por cromatografía de filtración en gel. Este alérgeno presenta residuos terminales de glucosa y manosa cruciales para la unión de IgE y para la activación de los basófilos. Ya que se observó una reducción del 40% y 27% en la unión de IgE tras la desglicosilación química y enzimática de la proteína, la desglicosilación también redujo significativamente la activación de los basófilos. Este alérgeno de 35 kDa presenta homología con Lup an 1 y reactividad cruzada con proteínas de leguminosas comestibles como maní y frijol (Arora *et al.*, 2021).

El conocimiento preciso sobre la reactividad cruzada en polen es crucial para el diagnóstico y la formulación de una inmunoterapia adecuada. Dhyani, Arora, Jain, Sridhara & Singh (2007), demostraron mediante pruebas de inmunodetección por inhibición, que los extractos del haba de Lima (*Phaseolus lunatus*), también conocida como frijolito de Cuba, y del mezquite compartían las bandas de proteínas alergénicas de 20, 26, 35, 66 y 72 kDa. En pacientes alérgicos a las proteínas de *P. juliflora*, se demostró mediante un ensayo de ELISA, que 400 mg del extracto de *P. lunatus* inhiben en un 50% la unión de IgE (Dhyani *et al.*, 2007).

En el 2008 se logró purificar la proteína alergénica de 66 kDa de *P. juliflora* y esta se reconoció por prueba cutánea en un 90% de los pacientes alérgicos. La unión de IgE sérica al alérgeno de 66 kDa del extracto de polen de *P. juliflora* fue capaz de inhibir la unión al extracto de la semilla del frijolito de Cuba, así como al mismo extracto del polen de *P. juliflora*. Además, la proteína purificada mostró una estrecha relación alergénica con los pólenes de *Ailanthus excelsa*, *Senna siamea*, *Salvadora persica* y con *P. lunatus*. Esta reactividad cruzada de la proteína purificada sugiere que podría ser útil como herramienta inmunoterapéutica en un esquema basado en componentes moleculares (Dhyani, Singh, Arora, Jain & Sridhara, 2008).

Influencia de las condiciones ambientales en la alergia al polen

Los estudios aerobiológicos son importantes porque permiten establecer los calendarios de incremento del polen, lo cual es de ayuda en el diagnóstico de las alergias a los diferentes aeroalérgenos (Calderon-Ezquerro *et al.*, 2016). En México los estudios aerobiológicos son escasos y gran parte de los trabajos se han realizado en zonas urbanas (Calderon Ezquerro *et al.*, 2018; Calderon-Ezquerro *et al.*, 2016, Bedolla-Barajas *et al.*,

2013; Rocha-Estrada *et al.*, 2009; Moreno-Sarmiento *et al.*, 2016 & Ortega-Rosas *et al.*, 2020). Esto dio lugar a la creación de La Red Mexicana de Aerobiología (REMA), con el objetivo de monitorear de forma continua las partículas biológicas en el aire en diversas áreas del país (Calderon-Ezquerro *et al.*, 2016).

La actividad humana y la industrialización han incrementado la concentración atmosférica de gases con efecto invernadero (CO₂, CH₄) y generado en consecuencia cambios en la temperatura a nivel global (Beggs, 2004). Algunos autores proponen que el incremento de las enfermedades alérgicas es a causa del calentamiento global (Beggs, 2004; Ortega-Rosas *et al.*, 2020) (Figura 5).

Está comprobado que *Prosopis juliflora* es una de las especies invasoras más problemáticas y se expande por las regiones tropicales, áridas y semiáridas del mundo a causa del calentamiento global. Sintayehu y colaboradores (2020), determinaron la idoneidad climática actual y futura para *P. juliflora* en un modelo predictivo y dos escenarios climáticos (RCP4.5 y RCP8.5). Según el estudio en Etiopía se espera que el área invadida por *P. juliflora*, para el año 2050, aumente en ambos escenarios climáticos, en 56 y 64%, respectivamente. Aunque los autores centran la discusión en el riesgo ecológico que representa la proliferación de *P. juliflora*, podemos inferir que la incidencia de las alergias respiratorias a causa del polen de *Prosopis*, se incrementará con la proliferación de *P. juliflora* en los próximos 30 años (Sintayehu *et al.*, 2020). En otro estudio, se evaluó el efecto del cambio climático en la distribución actual y futura de *P. juliflora* a escala global. Los rangos adecuados de expansión para *P. juliflora* aumentaron en todos los escenarios predictivos y México se ubicó entre los diez primeros países con más altos incrementos del hábitat de la planta (Heshmati, Khorasani, Shams-Esfandabad & Riazi, 2019). Por lo que es necesario monitorear el comportamiento de las especies de *Prosopis* y tomar acciones encaminadas a evitar su diseminación.

La contaminación del aire es uno de los cambios ambientales más dañinos desde la revolución industrial y se han reportado sus efectos sobre el aumento de los síntomas por sensibilización alérgica (Perdomo de Ponce, 2009). Los agentes contaminantes como el material particulado (PM), las partículas derivadas de diésel y el SO₂, provocan inflamación de las vías respiratorias y estimulan la permeabilidad de las mucosas del sistema respiratorio, favoreciendo la internalización de los antígenos aéreos y su exposición al sistema inmune. Las partículas liberadas del diésel inducen a una inflamación bronquial y pueden modificar las respuestas inmunes aumentando la reactividad alérgica tipo Th2 (Perdomo de Ponce, 2009).

Un trabajo realizado en Irán mostró correlaciones positivas entre las concentraciones diarias de pólenes totales en los períodos de muestreo con las concentraciones de PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ y

SO₂ (Rad *et al.*, 2019). En el Valle de Caracas, Venezuela, se determinó que la concentración de partículas sedimentables (mayores a 60 µm) y el Pb, indicios de contaminación ambiental por diésel, se asocian con el incremento de casos de asma (Perdomo de Ponce, 2009).

Por otra parte, el incremento de la temperatura en respuesta al calentamiento global se asocia al incremento de esporas, pólenes y otras aeropartículas. Consecuentemente esto conlleva a exacerbaciones del asma y rinitis (Ortega-Rosas *et al.*, 2020; Katelaris & Beggs, 2018). El aumento de la temperatura ambiental y las concentraciones de CO₂ también alargan la temporada polínica (Katelaris & Beggs, 2018). Un trabajo con el mezquite miel (*P. glandulosa*) sugiere que este es estimulado preferentemente por altas concentraciones de CO₂ (Polley, Johnson & Mayeux, 1994).

De acuerdo con los hallazgos de Ariano y colaboradores en el 2010, en 30 años se incrementó la producción de polen del olivo en España, probablemente por los períodos de floración más largos como resultado de temperaturas más altas (García-Mozo, Yaezel, Oteros & Galán, 2014). Singer, Ziska, Frenz, Gebhard & Straka, 2005; demostraron, que el alérgeno principal del polen de ambrosía, Amb a 1 se incrementa con el aumento de los niveles de CO₂, aunque no se evidenciaron variaciones en las proteínas totales.

Estas observaciones nos conducen a inferir que en las ciudades más urbanizadas de México donde la contaminación es un problema y existe una variada influencia ambiental, deben evidenciarse asociaciones interesantes entre los recuentos de pólenes, la alergenicidad de los mismos y la incidencia de enfermedades alérgicas. Unos pocos estudios en México apuntan en esta dirección. Calderon-Ezquerro *et al.* (2016) determinaron que en la Ciudad de México, el incremento de la temperatura, el viento y la disminución en las precipitaciones se asociaban a un aumento de las concentraciones de polen atmosférico de *Poaceae*. Moreno-Sarmiento y colaboradores, afirmaron que, en Ciudad Obregón, Sonora, la humedad relativa disminuye el contenido del polen atmosférico, mientras que la temperatura, la irradiación del Sol y el viento en la estación seca aumentan el recuento del polen (Moreno-Sarmiento *et al.*, 2016). Según períodos observados y análisis predictivos hasta el año 2060, los futuros escenarios en el desierto de Sonora muestran un incremento de los días calurosos (Navarro-Estupiñán *et al.*, 2018).

Un estudio aerobiológico en Hermosillo, Sonora, sugiere que la temperatura máxima diaria se correlaciona con una creciente cantidad de polen en el aire para 6 taxones *Poaceae*, *Nyctaginaceae*, *Ambrosia*, *Chenopodiaceae*–*Amaranthaceae*, *Urticaceae* y *Fabaceae*. Además, la humedad relativa y el viento presentan también una correlación para los taxones *Poaceae*, *Nyctaginaceae*, *Chenopodiaceae*–*Amaranthaceae*.

De igual forma en los taxones *Poaceae*, *Chenopodiaceae*–*Amaranthaceae*, *Urticaceae* y *Fabaceae*. Sin embargo, las precipitaciones también influyen en la mayoría de los taxones. Lo anterior nos permite suponer que la dispersión del polen del mezquite se ve favorecida por la temperatura y el viento, y desfavorecida por las precipitaciones. Adicionalmente se detectaron incrementos en las enfermedades alérgicas durante los periodos con mayores índices de polen y esporas (julio-agosto y marzo-abril). El análisis realizado a partir de un total anual de 13,454 casos de personas alérgicas en la ciudad de Hermosillo durante el año 2016 evidenció un máximo de alergias en octubre que se correlaciona con las concentraciones máximas de polen y esporas, de acuerdo con lo determinado en el estudio de Ortega-Rosas *et al.* (2020).

La propiedad alergénica del polen también se ve afectada por las deposiciones de contaminantes en su superficie. En zonas áridas y semiáridas, el cambio climático potencia la emisión y transporte de partículas finas (PM₁₀) y ultrafinas (PM_{2,5}), que se adhieren fácilmente a las superficies de los pólenes y causan la liberación de alérgenos. Un estudio realizado en zonas desérticas de Sonora mostró una correlación entre las variaciones estacionales del polen, las esporas de los hongos, las partículas PM₁₀ y los parámetros meteorológicos con reacciones alérgicas en 150 personas residentes en el territorio. La alta carga estacional de partículas PM en la atmósfera coincide con el incremento de la adhesión de nanopartículas a la superficie del polen. Se evidenció que el polen de las fabáceas (*Prosopis*, *Parkinsonia*, *Caesalpinioideae*) muestra mayor sensibilidad al colapso de la membrana cuando el porcentaje de recubrimiento de su superficie con las nanopartículas ambientales es del 18%. Sin embargo, otros pólenes como *Poaceae* (28%), *Asteraceae* (40%) y *Chenopodiaceae*–*Amaranthaceae* (29%) muestran mayor resistencia al colapso de las membranas. La mayoría de las partículas que cubren la superficie del polen provienen de la contaminación vial por emisiones de automóviles (bromuro, cloro y antimonio), y su dispersión se favorece por los tipos de suelo locales. El contenido más alto de PM₁₀ se evidenció en diciembre con 146 µg/ m³, además se determinó una alta frecuencia de sensibilización positiva al polen con altas cargas de partículas en la atmósfera (Ortega-Rosas *et al.*, 2020).

En conjunto, los resultados indican que las emisiones de polvo provocadas por el clima, la creciente urbanización, la contaminación ambiental por el efecto de industrias, así como el transporte automovilístico, alteran las características fisicoquímicas de la superficie del polen e incrementan su capacidad alergénica, especialmente en el polen de la familia Fabaceae, entre los que se encuentra el mezquite y otras leguminosas del desierto.

CONCLUSIONES

El mezquite es una planta que destaca por sus propiedades nutricionales, ecológicas y farmacológicas. Aprovechar las

cualidades de la planta de forma sustentable puede ser muy útil para el desarrollo de las zonas áridas. Sin embargo, la contaminación ambiental y los factores climáticos pueden incrementar la presencia del polen del mezquite en el ambiente y acrecentar el poder alergénico de esta fuente polínica de relevancia clínica, de la cual, aún son escasas las proteínas identificadas, lo que limita el desarrollo de herramientas terapéuticas. Por lo que los estudios encaminados a la identificación y no sólo detección de las proteínas alergénicas del polen del mezquite, así como de otras fuentes polínicas de relevancia clínica en ambientes desérticos, son clave para desarrollar nuevas modalidades de diagnóstico y tratamiento para las alergias.

AGRADECIMIENTOS

Lino Gerardo Batista Roche agradece el apoyo financiero otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través de la beca (998480) para los estudios de maestría.

REFERENCIAS

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H. & Pober, J. S. (2010). *Cellular and Molecular Immunology* (Philadelphia: W.B. Saunders Company). DOI: 10.1016/b978-1-4160-3123-9.50028-0
- Ali-Sadeghi, H., Khodadadi, A., Amini, A., Assarehzadegan, M. A., Sepahi, N. & Zarinhadideh, F. (2015). Pro j 2 is mesquite profilin: molecular characteristics and specific IgE binding activity. *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*, **33**(2), 90-98. DOI: 10.12932/AP0507.33.2.2015
- AlKhater, S.A. (2017). Sensitization to common aeroallergens in asthmatic children in the eastern region of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Medicine and Medical Sciences*, **5**(2), 136-141. DOI: 10.4103/1658-631X.204876.
- Al-Nesf, M. A., Gharbi, D., Mobayed, H. M., Reena D. B., Mohammed A. R., Taha, S., Tuffaha, A., Adeli, M., Sattar, H. A. & Del Mar T. M. (2020). The association between airborne pollen monitoring and sensitization in the hot desert climate. *Clinical and Translational Allergy*, **10**(35), 35. DOI: 10.1186/s13601-020-00339-6
- Al-Soqeer, A. A., Alsubaie, Q. D., Motawei, M. I., Mousa, H. M., Ahmed, M. & Abdel-Salam, A. M. (2017). Isolation and identification of allergens and biogenic amines of *Prosopis juliflora* genotypes. *Journal of Biotechnology*, **30**, 24-32. DOI: 10.1016/j.ejbt.2017.08.005
- Arora, B., Sharma, S., Gaur, S. N., Jain, V. K., Lavasa, S. & Arora, N. (2021). Identification of a vicilin-like major allergen from *Prosopis juliflora* exhibiting cross-reactivity with legume food allergens. *Molecular Immunology*, **137**, 84-93. DOI: 10.1016/j.molimm.2021.06.023
- Asam, C., Hofer, H., Wolf, M., Aglas, L. & Wallner, M. (2015). Tree pollen allergens-an update from a molecular perspective. *Allergy*, **70**(10), 1201-1211. DOI: 10.1111/all.12696

- Assarehzadegan, M. A., Khodadadi, A., Amini, A., Shakurnia, A. H., Marashi, S. S., Ali-Sadeghi, H., Zarinhadideh, F. & Sepahi, N. (2015). Immunochemical Characterization of *Prosopis juliflora* pollen allergens and evaluation of cross-reactivity pattern with the most allergenic pollens in tropical areas. *Iranian Journal of Allergy, Asthma and Immunology*, **14**(1), 74–82. DOI: 10.1155/2014/409056.
- Bedolla-Barajas, M., Hernández-Colín, D. D., Sainz-Hernández, F. J. & Morales-Romero, J. (2011). Sensibilización a alérgenos en adultos mexicanos con asma; la experiencia en un hospital escuela. *Revista Alergia México*, **58**(3), 133-141. DOI: 10.29262/ram.v64i1.239
- Bedolla-Barajas, M., Morales-Romero, J., Ortiz-Miramontes, L. R. & Jáuregui-Franco, R. O. (2013). Frequency and clinical features of the oral allergy syndrome in Mexican adults with nasal pollinosis. *Revista Alergia México*, **60**(1), 17-25. PMID: 24008065. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=41136>
- Beggs, P. J. (2004). Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clinical & Experimental Allergy*, **34**(10), 1507–1513. DOI: 10.1111/j.1365-2222.2004.02061.x.
- Bener, A., Safa, W., Abdulhalik, S. & Lestringant, G. G. (2002). An analysis of skin prick test reactions in asthmatics in a hot climate and desert environment. *Allergie et immunologie (Paris)*, **34**(8), 281-286. DOI: 10.1007/springerreference_32995
- Calderon-Ezquerro, M. C., Guerrero-Guerra, C., Galán, C., Serrano-Silva, N., Guidos-Fogelbach, G., Jiménez-Martínez, M. C., Larenas-Linnemann, D., López Espinosa, E. D. & Ayala-Balboa, J. (2018). Pollen in the atmosphere of Mexico City and its impact on the health of the pediatric population. *Atmospheric Environment*, **186**, 198–208. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.05.006
- Calderon-Ezquerro, M. C., Guerrero-Guerra, C., Martínez-López, B., Fuentes-Rojas, F., Téllez-Unzueta, F., López-Espinoza, E. D., Calderon-Segura, M. E., Martínez-Arroyo A. & Trigo-Pérez, M. M. (2016). The first airborne pollen calendar and its relationship with bioclimatic factors in Mexico City. *Aerobiología*, **32**, 225-244. DOI: 10.1007/s10453-015-9392-4
- Castro-Díez, P., Vaz, A. S., Silva, J. S., van Loo, M., Alonso, Á., Aponte, C., Bayón, Á., Bellingham, P. J., Chiuffo, M. C., DiManno, N., Julian, K., Kandert, S., La Porta, N., Marchante, H., Maule, H. G., Mayfield, M. M., Metcalfe, D., Monteverdi, M. C., Núñez, M. A., Ostertag, R., Parker, I. M., Peltzer, D. A., Potgieter, L. J., Raymundo, M., Rayome, D., Reisman-Berman, O., Richardson, D. M., Roos, R. E., Saldaña, A., Shackleton, R. T., Torres, A., Trudgen, M., Urban, J., Vicente, J. R., Vilá, M., Ylioja, T., Zenni, R. D. & Godoy, O. (2019). Global effects of non-native tree species on multiple ecosystem services. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, **94**(4), 1477-1501. DOI: 10.1111/brv.12511
- Chogtu, B., Magaji, N., Magazine, R. & Acharya, P. R. (2017). Pattern of allergen sensitivity among patients with bronchial asthma and/or allergic rhinosinusitis in a tertiary care centre of southern India. *Journal of clinical and diagnostic research*, **11**(8), OC01–OC04. DOI: <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/26973.10328>
- Da Silva, V. D. A., da Silva, A. M. M., e Silva, J. H. C. & Costa, S. L. (2018). Neurotoxicity of *Prosopis juliflora*: from natural poisoning to mechanism of action of its piperidine alkaloids. *Neurotoxicity Research*, **34**(4), 878-888. DOI: 10.1007/s12640-017-9862-2.
- Dhyani, A., Arora, N., Gaur, S. N., Jain, V. K., Sridhara, S. & Singh, B. P. (2006). Analysis of IgE binding proteins of mesquite (*Prosopis juliflora*) pollen and cross-reactivity with predominant tree pollens. *Immunobiology*, **211**(9), 733-741. DOI: 10.1016/j.imbio.2006.03.
- Dhyani, A., Arora, N., Jain, V. K., Sridhara, S. & Singh, B. P. (2007). Immunoglobulin E (IgE)-mediated cross-reactivity between mesquite pollen proteins and lima bean, an edible legume. *Clinical & Experimental Immunology*, **149**(3), 517-524. DOI: 10.1111/j.1365-2249.2007.03446.x
- Dhyani, A., Singh, B. P., Arora, N., Jain, V. K. & Sridhara, S. (2008). A clinically relevant major cross-reactive allergen from mesquite tree pollen. *European Journal of Clinical Investigation* **38**(3), 774–781. DOI: 10.1111/j.1365-2362.2008.02020.x
- Díaz-Batalla, L., Hernández-Urbe, J., Gutiérrez-Dorado, R., Téllez-Jurado, A., Castro-Rosas, J., Pérez-Cadena, R. & Gómez-Aldapa, C. (2018). Nutritional Characterization of *Prosopis laevigata* Legume Tree (Mesquite) Seed Flour and the Effect of Extrusion Cooking on its Bioactive Components. *Foods* **7**(8), 124. DOI: 10.3390/foods7080124
- Dousti, F., Assarehzadegan, M. A., Morakabati, P., Khosravi, G. R. & Akbari, B. (2016). Molecular Cloning and Expression of Pro J 1: A New Allergen of *Prosopis Juliflora* Pollen. *Iranian Journal of Allergy, Asthma and Immunology*, **15**(2), 122-131. DOI: 10.5114/ceji.2016.63127
- Dowaisan, A., Al-Ali, S., Khan, M., Hijazi, Z., Thomson, M. S. & Ezeamuzie, C. I. (2000). Sensitization to aeroallergens among patients with allergic rhinitis in a desert environment. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, **84**(4), 433-438. DOI: 10.1016/s1081-1206(10)62277-6
- García-Mozo, H., Yaezel, L., Oteros, J. & Galán, C. (2014). Statistical approach to the analysis of olive long-term pollen season trends in southern Spain. *Science of the Total Environment*, **473**, 103–109. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.11.14.
- García-Sánchez, R., Camargo-Ricalde, S. L., García-Moya, E., Luna-Cavazos, M., Romero-Manzanares, A. & Montaña, N. M. (2012). *Prosopis laevigata* and *Mimosa biuncifera* (Leguminosae), jointly influence plant diversity and soil fertility of a Mexican semiarid ecosystem. *Revista de Biología Tropical*, **60**(1), 87-103. DOI: 10.15517/RBT.V60I1.2365

- GBIF, 2021. Global Biodiversity Information Facility. (15 de octubre de 2021). Descargado de https://www.gbif.org/occurrence/taxonomy?country=MX&taxon_key=2970763
- Geesing, D., Felker, P. & Bingham, R. L. (2000). Influence of mesquite (*Prosopis glandulosa*) on soil nitrogen and carbon development: Implications for global carbon sequestration. *Journal of Arid Environments*, **46**(2), 157–180. DOI: 10.1006/jare.2000.0661
- González-Carrazza, Z. (2021). Report Partners, MediaSpace, The University of Nottingham. DOI: 10.7551/mitpress/9780262034654.003.0025. Recuperado de https://mediaspace.nottingham.ac.uk/media/REPORT%20PARTNERS/1_2kn9b1fj?fbclid=IwAR33g-FHbDDHQOhrK_eHknSTVxS-miQFk7msaWG_3haBxAcNvicbT0j6m4.
- Henciya, S., Seturaman, P., James, A. R., Tsai, Y.H., Nikam, R., Wu, Y. C. & Chang, F. R. (2017). Biopharmaceutical potentials of *Prosopis* spp. (*Mimosaceae*, *Leguminosae*). *Journal of Food Science*, **25**(1), 187–196. DOI: 10.1016/j.jfda.2016.11.001
- Heshmati, I., Khorasani, N., Shams-Esfandabad, B. & Riazi, B. (2019). Forthcoming risk of *Prosopis juliflora* global invasion triggered by climate change: implications for environmental monitoring and risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, **219**(2), 72. DOI: 10.1007/s10661-018-7154-9.
- Hosoki, K., Boldogh, I. & Sur, S. (2015). Innate responses to pollen allergens. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, **15**(1), 79–88. DOI: 10.1097/ACI.0000000000000136
- Hussain, M. I., Shackleton, R. T., El-Keblawy, A., Del Mar Trigo, P. M. & González, L. (2020). Invasive Mesquite (*Prosopis juliflora*), an allergy and health challenge. *Plants*, **9**(2), 141. DOI: 10.3390/plants9020141
- iNaturalist, (2021). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (15 de octubre de 2021). Tomado de <https://www.inaturalist.org/taxa/48060-Prosopis>
- Katellaris, C. H. & Beggs, P. J. (2018). Climate change: allergens and allergic diseases. *Internal Medicine Journal*, **48**(2), 129–134. DOI: 10.1111/imj.13699
- Killian, S. & McMichael, J. (2004). The human allergens of mesquite (*Prosopis juliflora*). *Clinical and Molecular Allergy*, **2**(1), 8. DOI: 10.1186/1476-7961-2-8
- Lambrecht, B. N., Hammad, H. & Fahy, J. V. (2019). The Cytokines of Asthma. *Immunity*, **50**(4), 975–991. DOI:10.1016/j.immuni.2019.03.018
- Larenas-Linnemann, D., Michels, A., Dinger, H., Shah-Hosseini, K., Mösges, R., Arias-Cruz, A., Ambriz-Moreno, M., Barajas, M. B., Javier, R. C., de la Luz Cid Del Prado, M., Moreno, M. A., Almaráz, R. G., García-Cobas, C. Y., García Imperial, D. A., Muñoz, R. G., Hernández-Colín, D., Linares-Zapien, F. J., Luna-Pech, J. A., Matta-Campos, J. J., Jiménez, N. M., Medina-Ávalos, M. A., Hernández, A. M., Maldonado, A. M., López, D. N., Pizano Nazara, L. J., Sanchez, E. R., Ramos-López, J. D., Rodríguez-Pérez, N. & Rodríguez-Ortiz, P. G. (2014). Allergen sensitization linked to climate and age, not to intermittent-persistent rhinitis in a cross-sectional cohort study in the (sub) tropics. *Clinical and Translational Allergy*, **4**, 20. DOI: 10.1186/2045-7022-4-20.
- Larsen, J. N., Broge, L. & Jacobi, H. (2016). Allergy immunotherapy: the future of allergy treatment. *Drug Discovery Today*, **21**(1), 26–37. DOI: 10.1016/j.drudis.2015.07.010.
- López-Romero, C., Huerta-Romero, J. & Frías-Mendivil, M. (2017). Sensibilización a alérgenos en pacientes pediátricos mayores de 2 años en el Hospital Infantil del Estado de Sonora. *Boletín Clínico Hospital Infantil del Estado de Sonora*, **34**(2), 90–96. DOI: 10.1111/j.1398-9995.2011.02728.x
- Martínez-Ordaz, V.A., Rincón-Castañeda, C.B., López-Campos, C. & Velasco-Rodríguez, V. M. (1997). Hipersensibilidad cutánea en pacientes con asma bronquial de La Comarca Lagunera [Cutaneous hypersensitivity in patients with bronchial asthma in La Comarca Lagunera]. *Revista Alergia México*, **44**(6):142-145. PMID: 9477662.
- Milla-Moreno, E. & Guy, R. D. (2021). Growth response, uptake and mobilization of metals in native plant species on tailings at a Chilean copper mine. *International Journal of Phytoremediation*, **23**(5), 539-547. DOI: 10.1080/15226514.2020.1838435
- Mojica-Guerrero, A., Cano-Pineda, A., Morales-Nieto, C., Gran, Blando-Navarrete, J., Rios-Saucedo, J., Martínez-Salvador, M., Martínez-Burciaga, O & Mata-González, R. (2013). Ecología y Usos de Especies Forestales de Interés Comercial de las Zonas Áridas de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias: Coyoacán México. DOI: 10.24850/j-tyca-2017-03-04
- More, D., Whisman, L. B. & Jordan-Wagner, D. (2002). Identification of specific IgE to mesquite wood smoke in individuals with mesquite pollen allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, **110**(5), 814-816. DOI: 10.1067/mai.2002.129034
- Moreno-Sarmiento, M., Peñalba, M. C., Belmonte, J., Rosas, I., Ortega-Nieblas, M. M., Villa-Ibarra, M., Lares-Villa, F. & Pizano-Nazara, L. J. (2016). Urban airborne pollen in a semiarid environment. *Aerobiología*, **32**(2), 363–370. DOI: 10.1007/s10453-015-9401-7
- Mudgil, D. & Barak, S. (2020). Mesquite gum (*Prosopis* gum): Structure, properties & applications - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, **159**, 1094-1102. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.153.
- Navarro-Estupiñán, J., Robles-Morua, A., Vivoni, E., Espíndola-Zepeda, E., Montoya, J. A. & Verduzco, V. S. (2018). Observed trends and future projections of extreme heat events in Sonora, Mexico. *International Journal of Climatology*, **38**(1), 5168-5181. DOI: 10.1002/joc.5719
- NCBI (2021). National Center for Biotechnology Information. (15 de octubre de 2021). Tomado de <https://www.ncbi.nlm>

- nih.gov/data-hub/taxonomy/tree/?taxon=35715
- Oduol, P. A., Felker, C. R. McKinley & Meier C. E. (1986). Variation among selected *Prosopis* families for pod sugar and pod protein contents. *Forest Ecology and Management*, **16(1-4)**, 423-431. DOI: 10.1016/0378-1127(86)90038-1
- Ortega-Rosas, C. I., Meza-Figueroa, D., Vidal-Solano, J. R., González-Grijalva, B. & Schiavo, B. (2020). Association of airborne particulate matter with pollen, fungal spores, and allergic symptoms in an arid urbanized area. *Environmental Geochemistry and Health*, **43(5)**: 1761-1782. DOI: 10.1007/s10653-020-00752-7
- Palacios, A. (2006). Los Mezquites Mexicanos: Biodiversidad y Distribución Geográfica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, **41(1-2)**, 99-121. DOI: 10.31055/1851.2372.v54.n2.24371
- Palma-Gómez, S., González-Díaz, S., Arias-Cruz, A., Macías-Weinmann, A., Amaro-Vivian, L. E., Pérez-Vanzzini, R., Gutiérrez-Mujica, J. J. & Yong-Rodríguez, A. (2014). Efectos de la reforestación en la sensibilización al polen de árboles en habitantes de Nuevo León, México. *Revista alergía México*, **61(3)**, 162-167. DOI: 10.29262/ram.v61i3.41
- Perdomo de Ponce, D. (2009). Contaminantes aéreos y sus efectos en pacientes alérgicos del Valle de Caracas. *Gaceta Médica de Caracas*, **117(4)**, 274-313. DOI: 10.47307/gmc
- Pichler, W. J. (2020) Anaphylaxis to drugs: Overcoming mast cell unresponsiveness by fake antigens. *Allergy*, **76(5)**, 1340-1349. DOI: 10.1111/all.14554.
- Polley, H. W., Johnson, H. B. & Mayeux, H. S. (1994). Increasing CO₂: comparative responses of the C4 grass *Schizachyrium* and grassland invader *Prosopis*. *Ecology*, **75(4)**, 976-988. DOI: 10.2307/1939421
- Rad, H. D., Assarehzadegan, M. A., Goudarzi, G., Sorooshian, A., Birgani, Y. T., Maleki, H., Jahantab, S., Idani, E., Babaei, A. K. & Neisi, A. (2019). Do *Conocarpus erectus* airborne pollen grains exacerbate autumnal thunderstorm asthma attacks in Ahvaz, Iran? *Atmospheric Environment*, **213**, 311-325. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.06.010
- Rocha-Estrada, A., Alvarado-Vázquez, M. A., Foroughbakhch-Pournavab, R. & Hernández-Piñero, J. L. (2009). Polen atmosférico de importancia alergológica en el área metropolitana de Monterrey (Nuevo León, México), durante el periodo marzo 2003-febrero 2005. *Polibotánica*, **28**, 191-212. DOI: 10.18387/polibotanica.42.3
- Rodríguez-Sauceda, E. N., Rojo-Martínez, G. E., Ramírez-Valverde, B., Martínez-Ruiz, R., Cong-Hermida, M de la C., Medina-Torres, S. M. & Piña-Ruiz, H. H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Revista Ra Ximhai*, **10(3)**, 173-193. DOI: 10.35197/rx.10.01.e.2014.13.er
- Rojas-Méndez, I. C., Arana-Muñoz, O., López-García, A. I., Rivero-Yeverino, D., Caballero-López, C. G., Papaqui-Tapia, S., Camero-Martínez, H. & Vázquez-Rojas, E. (2017). Frecuencia de reactividad cutánea hacia antígenos inhalables en pacientes con cuadro clínico de enfermedad alérgica [Skin reactivity frequency to aeroallergens in patients with clinical symptoms of allergic disease]. *Revista Alergia México*, **64(1)**, 7-12. DOI: 10.29262/ram.v64i1.185
- Shamsbiranvand, M. H., Khodadadi, A., Assarehzadegan, M. A., Borsi, S. H. & Amini, A. (2014). Immunochemical characterization of acacia pollen allergens and evaluation of cross-reactivity pattern with the common allergenic pollens. *Journal of Allergy*, **2014**: 409056. DOI: 10.1155/2014/409056
- Sharifi-Rad, J., Kobarfard, F., Ata, A., Ayatollahi, S. A., Khosravi-Dehaghi, N., Jugran, A. K., Tomas, M., Capanoglu, E., Matthews, K. R., Popović-Djordjević, J., Kostić, A., Kamiloglu, S., Sharopov, F., Choudhary, M. I. & Martins, N. (2019). *Prosopis* Plant Chemical Composition and Pharmacological Attributes: Targeting Clinical Studies from Preclinical Evidence. *Biomolecules*, **9(12)**, 777. DOI: 10.3390/biom9120777.
- Singer, B. D., Ziska, L. H., Frenz, D. A., Gebhard, D. E. & Straka, J. G. (2005). Increasing Amb a 1 content in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen as a function of rising atmospheric CO₂ concentration. *Functional Plant Biology*, **32(7)**, 667-670. DOI: 10.1071/FP05039
- Singh, S., Mishra, R., Sharma, R. S. & Mishra, V. (2017). Phenol remediation by peroxidase from an invasive mesquite: Turning an environmental wound into wisdom. *Journal of Hazardous Materials*, **334**, 201-211. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.04.007.
- Sintayehu, D.W., Dalle, G. & Bobasa, A. F. (2020). Impacts of climate change on current and future invasion of *Prosopis juliflora* in Ethiopia: environmental and socio-economic implications. *Heliyon*, **6(8)**, e04596. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04596
- Sosa-Hernández, D. B., Viguera-Cortés, J. M. & Garzón-Zúñiga, M. A. (2016). Mesquite wood chips (*Prosopis*) as filter media in a biofilter system for municipal wastewater treatment. *Water Science Journal*, **73(6)**, 1454-62. DOI: 10.2166/wst.2015.595
- Suárez-Gutiérrez, M., Macías-Garza, J. E., López-Ortiz, D. J., Fuentes, B. & Álvarez-Cardona, A. (2019). Sensibilización a aeroalérgenos en pacientes con rinitis alérgica en Aguascalientes, México. *Revista Alergia México*, **66(4)**, 388-389. DOI: 10.29262/ram.v66i4.634
- Terán, L. M., Haselbarth-López, M. & Quiróz-García, D. L. (2009). Alergia, pólenes y medio ambiente. *Gaceta Médica de México*, **145(3)**, 215-222. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/gaceta/gm-2009/gm093f.pdf>
- Thakur, I. S. (1989). Fractionation and analysis of allergenicity of allergens from *Prosopis juliflora* pollen. *International Archives of Allergy and Immunology*, **90(2)**, 124-129. DOI: 10.1159/000235013.
- Thakur, I. S. (1991). Isolation and characterization of two

- antigenic glycoproteins from the pollen of *Prosopis juliflora*. *Biochemistry International*, **23(5)**, 969-978. PMID: 1883404
- Thakur, I. S. & Sharma, J. D. (1985). Isolation and characterization of allergens of *Prosopis juliflora* pollen grains. *Biochemistry International*, **11(6)**, 903-912. PMID: 3937531
- Velasco-Medina, A. A. & Velázquez-Sámamo, G. (2014). Sensibilización al polen de *Casuarina equisetifolia* y *Pinus* spp en pacientes con rinitis alérgica y asma en la Ciudad de México. *Revista Alergia México*, **61(1)**, 9-13. DOI: 10.29262/ram.v61i1.15
- Velázquez-Sámamo G. (2021). [Publicación anticipada]. *Prosopis* spp. en enfermedades alérgicas. *Revista Alergia México*, ISSN 24489190.
- Weber, R. W. (2007). On the cover. Mesquite. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, **98(4)**, A4. DOI: 10.1016/s1081-1206(10)60874-5