

Valoración económica de la polinización en México durante el periodo 2003 - 2021

Minella Ramírez Ramírez

Resumen

Las estimaciones del valor de los bienes y servicios de los ecosistemas brindan información relevante para justificar la asignación de recursos hacia la conservación. La polinización es un servicio ecosistémico esencial para el planeta y los seres humanos dada su relación con la subsistencia de una amplia variedad de cultivos, en ese sentido, el presente análisis proporciona una estimación del valor monetario de la polinización animal en México para el periodo de 2003 a 2021. Bajo la metodología de tasas de dependencia (dependency ratio, DR), y con base en las categorías establecidas por Klein et. al. (2007) que captan la contribución de la polinización por insectos en diferentes cultivos (en una escala de cero a uno), se trabajó con información reportada para 214 cultivos en el país, de los cuales, 128 cultivos presentaron una tasa de dependencia de la polinización mayor a cero. Los valores obtenidos refieren que entre el 9% y el 14% de la producción agrícola nacional es vulnerable ante la disminución de los polinizadores. Para el año 2003, la contribución del servicio de polinización representó el 0.22% del PIB Nacional (MXN 48.6 mil MDP), mientras que en el año 2021 la contribución fue equivalente al 0.33% del PIB Nacional (MXN 71.6 mil MDP). Finalmente, con el propósito de identificar si existía correlación entre el Valor Bruto de la Polinización (VBP) y el nivel de marginación municipal, se realizó un análisis estadístico con el coeficiente de correlación de Spearman para los años 2010, 2015 y 2020. Los resultados concluyeron que existe una asociación débil entre las variables.

Palabras clave: valoración económica ambiental, polinización, servicios ecosistémicos, tasas de dependencia, producción agrícola.

Código JEL (*Journal of Economical Literature*) O13, Q56, Q57

Abstract

Estimates of the value of ecosystem goods and services provide relevant information to justify the allocation of resources towards conservation. Pollination is an essential ecosystem service for the planet and human beings given its relationship with the subsistence of a wide variety of crops, in this sense, the present analysis provides an estimate of the monetary value of animal pollination in Mexico for the period of 2003 to 2021. Using the dependency ratio (DR) methodology, and based on the categories established by Klein et. to the. (2007) that capture the contribution of insect pollination in different crops (on a scale from zero to one), we worked with information reported for 214 crops in the country, of which 128 crops presented a rate of dependence on the pollination greater than zero. The values obtained indicate that between 9% and 14% of the national agricultural production is vulnerable to pollinators decline. For the year 2003, the contribution of the pollination service represented 0.22% of the National GDP (MXN \$48.6 billions), while in 2021 the contribution was equivalent to 0.33% of the National GDP (MXN \$71.6 billions). Finally, in order to identify if there was a correlation between the Gross Pollination Value (VBP) and the level of municipal marginalization, a statistical analysis was carried out with the Spearman correlation coefficient for the years 2010, 2015 and 2020. The results concluded that there is a weak association between the variables.

Keywords: environmental economic valuation, pollination, ecosystem services, dependency rates, agricultural production.

JEL classification: O13, Q56, Q57

1. Introducción

La polinización es un servicio ecosistémico esencial para el planeta y los seres humanos dada su relación con la subsistencia de una amplia variedad de cultivos, por lo que es un servicio crítico para el bienestar humano a través de su vínculo con la producción global de alimentos. A nivel mundial, su importancia se ve reflejada por las implicaciones ecosistémicas, económicas y sociales que tendría una disminución o pérdida del proceso de polinización.

1.1 Implicaciones ecosistémicas

La polinización es la transferencia de polen que hace posible la fecundación, y por lo tanto la producción de frutos y semillas. Aunque la polinización puede ser llevada a cabo tanto por vectores bióticos (animales) como abióticos (agua o viento), la gran mayoría de plantas con flores (angiospermas) dependen de los primeros, principalmente de aquella mediada por insectos (FAO, 2014).

Las especies polinizadoras incluyen más de 20,000 especies de abejas, algunas especies de moscas, mariposas, polillas, avispa, escarabajos, tisanópteros, aves, murciélagos y otros vertebrados (IPBES, 2016). Las principales funciones ecológicas de los polinizadores incluyen facilitar la reproducción sexual en plantas y promover su intercambio genético, siendo cruciales para el mantenimiento de la diversidad genética y su evolución, lo que aumenta la cantidad y calidad de los cultivos agrícolas y ayuda a su preservación (SEMARNAT, 2021a).

Es importante considerar que la polinización no es una simple asociación entre una planta y un polinizador, se trata de una compleja red de interacciones en un determinado ecosistema, donde inciden múltiples variables, desde el suelo hasta la biología misma de los polinizadores y sus relaciones ecológicas. Los polinizadores desempeñan funciones clave en la estabilidad y el funcionamiento de muchas redes alimentarias terrestres, ya que las plantas silvestres

suministran una amplia variedad de recursos, en especial alimento y cobijo para muchos otros invertebrados, mamíferos, aves y otros taxones, es decir, se trata de un servicio de regulación, y este tipo de servicios mantienen los procesos y funciones naturales de los ecosistemas al regular las condiciones del ambiente (FAO, 2014).

En el caso particular de México, al ser un país que alberga una muy alta diversidad biológica, como centro de origen y diversificación de cultivos importantes, implica que la polinización es uno de los procesos intrínsecos a esta riqueza (SEMARNAT, 2021a). Estudios señalan que en los bosques tropicales de Mesoamérica, los insectos son responsables de la polinización de más del 95% de los árboles que forman el dosel (Seed and Plant Genetic Resources Service, 2007).

Diversas especies de polinizadores son migratorias, como es el caso de murciélagos, colibríes y mariposas. Para estos polinizadores es muy importante identificar y proteger los corredores naturales que les proveen de néctar y refugio durante el viaje migratorio. Se ha demostrado que especies de murciélagos como *Leptonycteris yerbabuena*, *L. nivalis* y *Choeronycteris mexicana* son polinizadores primarios de tres especies de Agave (*Agave difformis*, *A. garciae-mendozae* y *A. striata*) que además son polinizados de forma secundaria por individuos de la mariposa nocturna, *Erinnyis ello* (Trejo-Salazar et al., 2016; SEMARNAT, 2021a).

1.2 Implicaciones económicas

La contribución de la polinización animal varía sustancialmente entre cultivos y, por lo tanto, entre las economías agrícolas regionales. Muchos de los cultivos comerciales más importantes del mundo se benefician de la polinización animal en términos de rendimiento y/o calidad, al generar una mayor cantidad de alimento por unidad de superficie. Además, en general se trata de productos de exportación líderes (p. ej., café, cacao, almendras, etc.)

proporcionando una mayor ganancia económica por unidad de área que los cultivos no dependientes de polinizadores (Ashworth et al., 2009; Quesada et al., 2012).

En materia de producción de alimentos, los cultivos básicos como el trigo, el maíz y el arroz pueden reproducirse sin la polinización animal. No obstante, con base en datos de la FAO (2022) más de tres cuartas partes de los principales tipos de cultivos alimentarios mundiales dependen en cierta medida de la polinización animal para el rendimiento, entre los que se encuentran diversos tipos de frutas, cultivos oleaginosos, vegetales, por mencionar algunas. Aunque las plantas en sí sobrevivirían, sus rendimientos pueden descender hasta un 90% sin la polinización, esta situación es especialmente grave si tenemos en cuenta que los cultivos que dependen de la polinización son cinco veces más valiosos que los que no la necesitan. Todo ello constituye una enorme aportación en términos de mejores rendimientos (FAO, 2022).

Se han realizado diversas estimaciones que sitúan el valor de los servicios de polinización en 153 mil millones de euros para la agricultura mundial, lo que representó el 9.5% del valor de la producción agrícola mundial en 2005 (Gallai et al., 2009). Estudios más recientes realizados en 2016 por la Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) señalan que su contribución representa entre el 5% al 8% de la producción agrícola mundial actual, con un valor de mercado anual de US\$ 235 mil millones a US\$ 577 mil millones (en dólares de 2015 de los Estados Unidos).

En el caso de México, un estudio realizado por Quesada et al. (2012) reportó que durante el 2010 el valor económico total del servicio de polinización de 103 especies de plantas cultivadas en México fue de 43 mil millones de pesos. Estimaciones más recientes documentadas por INEGI (2021) en el Informe “Cuentas de los ecosistemas de México”, señalaron que el valor monetario a nivel municipal, de la demanda potencial del servicio de polinización representó el 12.09% del valor de la producción agrícola nacional en 2013 y, en promedio, 12.73% entre 2003-2018.

1.3 Implicaciones sociales

Los productos alimenticios dependientes de los polinizadores son importantes contribuyentes a las dietas y nutrición humana saludable, ya que abarcan una amplia gama de cultivos que aportan proporciones importantes de micronutrientes, vitaminas y minerales a la dieta humana (IPBES, 2016). Por ejemplo, el 98% de la vitamina C, el 70% de la vitamina A, el 100% de algunos carotenoides o el 58% del calcio de la dieta humana global proceden de cultivos polinizados por animales (Eilers et al. 2011).

En adición, otros beneficios derivados de este servicio ecosistémico tienen que ver con la obtención de biocombustibles (p. ej., canola y aceite de palma), fibras (p. ej., algodón y lino), materiales de construcción (maderas), medicamentos, instrumentos musicales, artesanías, actividades recreativas y como fuente de inspiración para el arte, la música, la literatura, la religión, las tradiciones, la tecnología y la educación (IPBES, 2016).

Para muchas personas, una buena calidad de vida depende del rol de los polinizadores, como importantes símbolos espirituales y de identidad. Los pasajes sagrados sobre las abejas en diversas culturas del mundo han destacado su importancia para las sociedades humanas durante milenios (IPBES, 2016).

Como muestra de ello, la mayor abundancia, frecuencia, antigüedad y desarrollo de la meliponicultura (crianza de la abeja sin aguijón o abeja melipona, *Melipona beecheii*) se encuentra en América, desde tiempos prehispánicos se pueden encontrar vestigios en casi todo el continente. La abeja melipona es una especie criada por los pueblos mayas desde hace miles de años, mucho de lo que sabemos actualmente acerca de la meliponicultura es gracias a los códices escritos por dicha cultura, principalmente el Códice Madrid o Tro-Cortesiano, en el que se encuentra una sección claramente dedicada a la crianza de las abejas sin aguijón (Arnold et al., 2018).

Las abejas sin aguijón eran concebidas como seres sagrados a los cuales el meliponicultor ofrecía su servicio, ya que representaban un vínculo a través del cual conectaban a su pueblo con la divinidad. Tal fue su importancia en la época prehispánica, que realizaban en su honor entre cuatro y seis ceremonias al año (Arnold et al., 2018; Bacab & Canto, 2020; SADER, 2022c).

Con el paso del tiempo, los conocimientos sobre esta abeja se transmitieron de generación en generación, permitiendo a las comunidades seguir con la crianza de esta especie como actividad económica y medio de subsistencia de muchas comunidades y familias (Bacab & Canto, 2020). Estudios recientes han demostrado las propiedades curativas y antimicrobianas que tiene su miel, y sus derivados como el propóleo, productos empleados en la medicina tradicional indígena (Ramón-Sierra et al. 2016; Caro et al. 2017).

1.4 Crisis de la polinización

Durante las últimas décadas se han documentado efectos negativos sobre la abundancia, la diversidad y la actividad de las poblaciones de diversos polinizadores, como consecuencia de la actividad humana, el deterioro ambiental, la introducción de especies no nativas, la transmisión de enfermedades, la destrucción de su hábitat, la agricultura, el uso de pesticidas, el cambio climático, entre otros factores. Esto, a su vez, supone una amenaza para una gran variedad de especies vegetales (Sosenski & Domínguez, 2018).

El informe de la polinización de la IPBES (2016) fue capaz de extraer de la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) evidencia que documenta el alto riesgo de extinción que enfrentan los polinizadores en el mundo. La evaluación reveló que más del 40% de los insectos polinizadores tienen elevados niveles de amenaza, en especial las abejas y las mariposas. Por otra parte, se estima que el 16.5% de los polinizadores vertebrados (principalmente aves y murciélagos) se

encuentran en peligro de extinción a nivel mundial (porcentaje que aumenta hasta el 30% para las especies insulares).

El declive de polinizadores y sus consecuencias negativas sobre toda la biodiversidad, la producción agrícola y la seguridad alimentaria, son hoy reconocidas por los gobiernos de numerosos países que han establecido estrategias e iniciativas regionales y nacionales. Entre estas iniciativas destacan, la Iniciativa Africana de Polinizadores (API), la Campaña Norteamericana de Protección a Polinizadores (NAPPC), la Iniciativa Europea de Polinizadores (EPI), la Iniciativa Brasileña de Polinizadores (BPI), la Iniciativa Oceánica de Polinizadores (OPI), la Iniciativa Canadiense de Polinización (NESERC-CANPOLIN), la Iniciativa de Insectos Polinizadores del Reino Unido (UK IPI) y la Iniciativa Colombiana de Polinizadores-Capítulo Abejas (ICPA) (SEMARNAT, 2021a).

En México el tema del declive de los polinizadores comienza a ser abordado, como parte del proceso, en 2019 se propuso la elaboración de la Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores (ENCUSP), siendo ésta publicada finalmente en 2021 (SEMARNAT, 2021b). La generación de este tipo de instrumentos de política pública nacional orientados a la conservación de especies polinizadoras representa importantes avances para atender esta crisis.

La presente investigación tiene por objeto generar una aproximación económica de la polinización en México, a través de su vínculo con la producción de cultivos en nuestro país durante el periodo 2003-2021, para identificar patrones en la actividad de los polinizadores y su impacto económico para el país que permitan establecer argumentos del por qué la valoración económica de este servicio es útil para la formulación de políticas públicas, y futuros programas de conservación de los polinizadores y sus hábitats.

2. Revisión de literatura

Dado que la polinización es un servicio ecosistémico del cual dependen los seres humanos, se ha convertido en un ejemplo citado con frecuencia de cómo los servicios ecosistémicos son económicamente valiosos. Lo que permite identificar las principales consecuencias y costos de la pérdida de la polinización animal, incluidas las posibles pérdidas monetarias en la producción agrícola.

El desarrollo de estudios sobre valoración económica de la polinización animal en cultivos funge como herramienta para identificar el estado actual y los riesgos y oportunidades que enfrenta este servicio ecosistémico en México, al cuantificar sus impactos en la seguridad alimentaria y la economía, resaltando así la importancia de incluir el valor monetario de la polinización animal en los análisis de política pública y costo beneficio hacia modelos económicos bajo un esquema más sustentable (Porto, 2020).

La literatura existente sobre valoración económica de la polinización señala que existen distintos métodos para generar estimaciones, los cuales han considerado, entre otras cosas, el valor de mercado de todos o algunos de los cultivos polinizados por insectos y/o animales; o el valor únicamente de la proporción atribuible a las abejas melíferas. Algunos han incluido el valor de los cultivos producidos a partir de semillas de plantas polinizadas por abejas, los cultivos de leguminosas y los productos ganaderos que dependen de ellos.

Con base en INEGI (2021) y Hanley et al. (2015) entre las principales metodologías se encuentran:

1. Método de mercado, donde se estima el precio de mercado de la polinización, al ser una práctica comercial establecida, por ejemplo, en Estados Unidos de América, Canadá y Nueva Zelanda mediante la compra o renta de abejas.
2. Valor monetario total del servicio de polinización, donde el valor monetario es equivalente al valor total de los cultivos polinizados.

3. Valor monetario de la polinización generado a partir de las tasas de dependencia (dependency ratio, DR) de los cultivos polinizados, este método atribuye una parte de la producción agrícola a la polinización de acuerdo con el tipo de cultivo.
4. Valor de reemplazo del servicio de polinización, el cual consiste en estimar los costos de reemplazar con otros medios este servicio. Este método es menos susceptible a las variaciones geográficas o de cultivo y no requiere que se hagan suposiciones con respecto a los niveles de servicio actuales.
5. Función de producción, donde la contribución marginal que tiene el servicio de polinización animal sobre el producto representa el valor monetario de dicho servicio.
6. Los estudios de análisis de rendimiento evalúan los beneficios por hectárea a partir de estudios de campo integrales que dan cuenta del efecto de los beneficios de calidad del mercado, las variaciones de los cultivos, la vida de almacenamiento, así como el efecto sobre la variación de las ganancias de los productores.
7. Otros estudios han ampliado el modelo DR para ilustrar los impactos de los servicios de polinización en el bienestar del consumidor, utilizando técnicas econométricas para calcular las pérdidas en el excedente del consumidor; una medida económica de la disparidad entre el precio pagado por un bien y el precio más alto que el público teóricamente está dispuesto a pagar.

Bajo la metodología de valoración mediante índices de dependencia por cultivo, el estudio realizado por Klein et al. (2007), analizó la información de 137 cultivos en 200 países, y obtuvieron que 87 de los principales cultivos alimentarios mundiales dependen de la polinización animal para la producción de frutas, verduras o semillas, mientras que 28 cultivos no son dependientes de ésta. Sin embargo, dicho estudio remarca que el análisis de producción global brinda una perspectiva contrastante, y sus estimaciones concluyen que el 35% de los cultivos de la producción global dependen de la polinización, 5% aún no está definido, y finalmente, el 60% de la producción global de cultivos restante no depende de la polinización animal.

Con respecto al método de costos de reemplazo, en el estudio realizado por Allsopp et al. (2008) utilizaron factores ajustados de dependencia de insectos y polinizadores controlados para estimar el costo de reemplazar los servicios de polinización controlados y de insectos para la industria de frutas de hoja caduca del Cabo Occidental de Sudáfrica. Usando el polvo de polen y la polinización manual como reemplazos adecuados, obtuvieron valores de oscilan desde \$US 77 millones a \$US 161.2 millones para el caso de la polinización manual, y \$US 292.9 millones para el polvo de polen.

Gallai et al. (2009) realizaron una valoración económica a nivel mundial mediante una función de producción simplificada que integró la razón de dependencia de la producción de los polinizadores para 100 de los principales cultivos de la alimentación humana distribuidos en 7 categorías según la lista de la FAO (2007). Obteniendo así que el valor económico total de la polinización en todo el mundo ascendió a 153,000 millones EUR, lo que representó el 9.5 % del valor de la producción agrícola mundial en 2005. Las hortalizas y las frutas fueron las principales categorías de cultivos dependientes del servicio de polinización, con alrededor de 50,000 millones de euros cada una, seguidas de los cultivos oleaginosos, estimulantes, frutos secos y especias.

Asimismo, los autores estimaron para cada categoría de cultivo a escala regional y mundial la vulnerabilidad de la agricultura mundial frente a la disminución de polinizadores como la relación entre el valor económico de la polinización y el valor total actual de la cosecha. Se presentó una correlación positiva entre la tasa de vulnerabilidad y la disminución de polinizadores y su valor por unidad de producción.

Por otra parte, Giannini et al. (2015) realizaron un estudio en Brasil que consistió en revisar la dependencia de los cultivos de los polinizadores y estimar el valor económico de la polinización por año para cada cultivo a escala nacional considerando la especialización regional, el contexto geográfico y los factores socioeconómicos. Analizaron 141 cultivos y encontraron que 85 dependen de polinizadores. Casi un tercio de estos cultivos tienen una dependencia esencial o grande de los polinizadores. La contribución económica de los

polinizadores asciende al 30% (US\$12 mil millones) del ingreso agrícola anual total de los cultivos. Sin embargo, los autores destacan que no se cuenta con información suficiente sobre la dependencia de los polinizadores con respecto a algunos cultivos importantes, lo que muestra la necesidad urgente de investigación básica en biología reproductiva y ecología de la polinización.

En 2020, Porto et al. examinaron diversas valoraciones económicas a nivel mundial del servicio de polinización de cultivos, así como las inversiones (financiamiento de investigación/subvenciones) y las acciones políticas relacionadas. Los valores globales estimados para este servicio ecosistémico ajustados por inflación en marzo de 2020, oscilan ampliamente entre US\$195 y US\$387mil millones (US\$267–657 mil millones anuales), debido al tipo de metodología, los datos de entrada y un aumento histórico en los costos de producción de cultivos dependientes de polinizadores.

Además, se documentó un aumento en el número de estudios de valoración económica del servicio de polinización en las últimas dos décadas, con un crecimiento sustancial en los últimos cinco años, que representó el 54% de todas las publicaciones. Sin embargo, los autores remarcan la falta de datos sobre cultivos comerciales de importancia regional, esenciales para la seguridad alimentaria de muchos millones de personas, particularmente en los países en desarrollo.

Ahora bien, para el caso de México, la evidencia disponible muestra que el servicio de polinización animal es relevante para la producción agrícola nacional. Según datos publicados por INEGI (2021), el valor monetario, a nivel municipal, de la demanda potencial del servicio de polinización fue de MXN \$50,432 millones de pesos, lo que representó 12.09% del valor de la producción agrícola en 2013.

El cuadro 1 resume los principales resultados identificados durante el proceso de revisión de literatura sobre los estudios de valoración económica de la polinización antes descritos.

Cuadro 1. Revisión de literatura consultada

Autor	Escala y zona de estudio	Metodología	VBP	Observaciones
Klein et al. (2007)	Escala global, información analizada para 200 países.	Índices de dependencia por cultivo	35% de la producción global depende de la polinización. (No señalan cifras económicas)	Se analizaron 137 cultivos a nivel mundial.
Allsopp et al. (2008)	Escala nacional, Sudáfrica	Costos de reemplazo	Polinización manual: \$US 77 millones a \$US 161.2 millones. Polvo de polen: \$US 292.9 millones	Se estudió la industria de frutas de hoja caduca del Cabo Occidental de Sudáfrica
Gallai et al. (2009)	Escala global	Función de producción	153 mil millones EUR (9.5 % del valor de la producción agrícola mundial en 2005).	Se analizaron 100 de los principales cultivos de la alimentación humana. Las hortalizas y las frutas fueron las principales categorías de cultivos dependientes del servicio de polinización, con alrededor de 50,000 millones de euros cada una.
Giannini et al. (2015)	Escala nacional, Brasil.	Índices de dependencia por cultivo	US\$12mil millones (30% del ingreso agrícola anual total de los cultivos).	Destaca la falta de investigaciones sobre DR para cultivos importantes del país.
Porto et al. (2020)	Escala global	Revisión de literatura y recopilación de información	Los valores globales estimados ajustados por inflación en marzo de 2020, oscilan ampliamente entre US\$195 mil millones y US\$387 (US\$267–657 mil millones anuales)	Se documentó un aumento en el número de estudios de valoración económica del servicio de polinización en las últimas dos décadas.
INEGI (2021)	Escala nacional, México.	Índices de dependencia por cultivo	MXN \$50 432 MDP en 2013. Es decir, el 12.09% del valor de la producción bruta agrícola.	La contribución económica del servicio de polinización en promedio entre 2003-2018, fue 0.31% del PIB total.

De groso modo, la estructura de la producción agrícola en los países determina el nivel de contribución económica de este servicio ecosistémico para obtener mejores rendimientos, lo que se traduce en países sujetos a mayor vulnerabilidad que otros en relación con otras variables como el cambio climático, la deforestación, el uso de pesticidas, entre otros.

3. Metodología

La metodología de tasas de dependencia (DR, por sus siglas en inglés) se basa en investigaciones de campo sobre los impactos de los servicios de polinización en el rendimiento (por ejemplo, Klein et al., 2007) y pueden capturar la variación en los beneficios de la polinización por insectos de diferentes cultivos. Como tal, los beneficios marginales de la polinización aumentarán en proporción a la DR.

El enfoque DR ha servido para ilustrar los beneficios de la polinización al destacar las regiones donde la producción total es especialmente vulnerable a la disminución de los polinizadores y para resaltar las áreas donde el gasto en conservación sería más beneficioso. Este enfoque se adoptó en la Evaluación Nacional de Ecosistemas del Reino Unido para medir el valor económico de la polinización para todos los cultivos del Reino Unido en 2007 (Hanley et al. 2015; Gallai, 2009).

De acuerdo con Jaquemin et al. (2017), la estimación del valor de la producción agrícola nacional (PEV), equivale a la sumatoria del precio de producción P_{ij} (MXN/tonelada) por la cantidad producida Q_{ij} de un cultivo $i \in [1, J]$ (función 1). Por lo tanto, el valor económico del servicio de la polinización animal (IPEV) es el resultado del valor de la producción agrícola nacional por la tasa de dependencia de la polinización animal D_{ij} (% obtenido de Klein et al. 2007) (función 2).

La tasa de dependencia D_{ij} refleja la contribución de la polinización animal a la producción de alimentos y corresponde a la pérdida relativa cuantitativa de la producción agrícola como

resultado de la pérdida de los polinizadores. Finalmente, el cálculo del nivel de vulnerabilidad (RV), es la relación entre el valor económico de la polinización animal (IPEV) y el valor económico del cultivo (PEV), el resultado proporciona una medida de la pérdida de la producción relativa potencial atribuible únicamente a la falta de este servicio ecosistémico (función 3) (Gallai, 2009; Jaquemine et al., 2017).

$$PEV = \sum_{i=1}^I P_{ij} \times \sum_{j=1}^J Q_{ij} \quad (1)$$

$$IPEV = \sum_{i=1}^I P_{ij} \times \sum_{j=1}^J Q_{ij} \times D_{ij} \quad (2)$$

$$RV = \frac{IPEV}{PEV} \quad (3)$$

3.1 Tratamiento de los datos (Valor Bruto de la Polinización)

En lo que respecta al presente estudio, como parte del análisis sobre la producción agrícola nacional, se trabajó con información de los cierres agrícolas municipales publicados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)¹ para el periodo 2003 a 2021, que reportó datos sobre el valor de la producción, volumen de producción, rendimiento por hectárea, precio medio rural, modalidad hídrica y ciclo de producción para 435 cultivos en 2,435 municipios de México.

Al realizar el proceso de análisis de la base de datos, se eliminaron aquellos registros que no contenían información o que su volumen de producción era igual a cero, por lo que finalmente se trabajó con información reportada para 214 cultivos, de los cuales, 128 cultivos

¹ SIAP. Producción Agrícola: http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php

presentaron una tasa de dependencia de la polinización mayor a cero (cuadro 2), con base en las categorías establecidas por Klein et. al. (2007):

- Esencial, DR=0.90 a 1.0 (lo que significa que el valor del rendimiento impulsado por la polinización se encuentra entre 90 y 100%);
- Alto, DR=0.4 a 0.9 (40–90% del rendimiento depende de la polinización);
- Modesto, DR=0.1 a 0.4 (10–40% del rendimiento depende de la polinización);
- Reducido, DR=0.01 a 0.1 (1–10% del rendimiento depende de la polinización).

Cuadro 2. Cultivos dependientes de la polinización en México (tasa de dependencia>0)

Grado de dependencia	Tasa de dependencia	Cultivos
Esencial	90-100%	Achiote, anona, cacao, calabaza, calabaza semilla o chihua, chayote, chilacayote, chirimoya, flor de calabaza, macadamia, maracuyá, melón, melón amargo, sandía, saramuyo, semilla de melón, semilla de sandía y vainilla.
Alto	40-90%	Aguacate, almendra, arándano, capulín, carambolo, cereza, chabacano, cilantro, ciruela, comino, damasco, durazno, frambuesa, guayaba, mango, manzana, marañón, membrillo, nabo, nabo forrajero, nanche, napa, níspero, pak choi, pepino, pera, perón, rosa, rosa (gruesa), rosa (planta), semilla de cilantro, semilla de pepino, shangai-bock-choy, viveros de durazno, viveros de manzana y zarzamora.
Modesto	10-40%	Ajonjolí, algodón hueso, berenjena, café cereza, canola, canola forrajera, coco fruta, colinabo, colza, copra, ebo (janamargo o veza), ebo (janamargo o veza), grano ebo (janamargo o veza) seco, fresa, fresa (planta), girasol, girasol flor, girasol flor (gruesa), girasol forrajero, granada, haba grano, haba verde, higo, mostaza, mostaza forrajera, nopal forrajero, nopalitos, okra (angú o gombo), semilla de berenjena, semilla de canola, semilla de colza, semilla de girasol, semilla de haba, semilla de soya y soya.
Reducido	1-10%	Cacahuate, caimito, chile seco, chile verde, chícharo, cártamo, cártamo forrajero en verde, cítricos, ecualaista, ejote, frijol, frijol forrajero, frijol pelón, guanábana, lima, limonium, limón, limón real, linaza, linaza ornamental, linaza ornamental (manejo), mandarina, naranja, palma africana o de aceite, papaya, rambután, semilla de cacahuate, semilla de chile verde, semilla de chícharo, semilla de frijol, semilla de tomate rojo (jitomate), tamarindo, tangelo, tangerina, tomate rojo (jitomate), tomate verde, toronja (pomelo) y té de limón

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, INEGI (2020) y Klein et al. (2007).

Los resultados del valor bruto de la polinización (VBP) se obtuvieron al multiplicar la tasa de dependencia de cada cultivo por el valor económico de su producción anual. Con el fin de corregir las variaciones económicas entre años, los resultados fueron analizados en términos reales al introducir el índice nacional de precios al productor del sector 111: Agricultura².

Los cultivos dependientes de la polinización, fueron clasificados con base en las principales categorías de acuerdo a la clasificación de la FAO (2020). El cuadro 3 permite identificar a los cultivos oleaginosos y las frutas como los dos principales grupos alimenticios vulnerables a la crisis de la polinización actual, derivado de la amplia variedad de cultivos dependientes de este servicio ambiental.

Cuadro 3. Clasificación de los cultivos que dependen de la polinización en México

Clasificación	Nombre común del cultivo
Frutos secos	Almendra
Cultivos estimulantes	Cacao y café
Espicias	Chile seco y vainilla
Leguminosas	Ejote, frijol, frijol forrajero, frijol pelón, haba (grano) y haba verde.
Vegetales	Berenjena, calabaza, chayote, chícharo, chilacayote, chile verde, flor de calabaza, pepino y tomate verde, jitomate.
Cultivos oleaginosos	Ajonjolí, algodón hueso, cacahuete, canola, canola forrajera, cártamo, cártamo forrajero en verde, colza, girasol, girasol forrajero, linaza, linaza ornamental, linaza ornamental (manejo), mostaza, mostaza forrajera, palma africana o de aceite, soya, semilla de calabaza, semilla de berenjena, semilla de cacahuete, semilla de canola, semilla de chile verde, semilla de chícharo, semilla de cilantro, semilla de colza, semilla de frijol, semilla de girasol, semilla de haba, semilla de melón, semilla de pepino, semilla de sandía.
Frutas	Aguacate, anona, arándano, cereza, chabacano, ciruela, cítricos, coco fruta, damasco, durazno, frambuesa, fresa, granada, guanábana, guayaba, higo, lima, limón, limón real, mandarina, mango, manzana, maracuyá, melón, melón amargo, naranja, papaya, pera, perón, sandía, tangelo, tangerina, toronja, zarzamora.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP y FAO (2020).

² INEGI. Banco de Información Económica. Índice Nacional de Precios al Productor: <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/Estructura.aspx?idEstructura=112001500010&ST=Produccion%20total,%20seg%C3%BAn%20actividad%20econ%C3%B3mica%20de%20origen%20SIAN%202013>

3.2 Análisis geoespacial

Para referir geográficamente la división territorial de México a nivel municipal, se trabajó con el Marco Geoestadístico 2021 de INEGI³, a partir del cual se generaron dos representaciones: la primera, sobre el valor bruto de la polinización animal (en millones de pesos), y la segunda es una representación del índice de marginación normalizado. Ambos análisis se elaboraron para los años de 2010, 2015 y 2020, si bien, es posible representar geográficamente el VBP para cada uno de los años que comprenden el periodo 2003-2021, no es así para la representación del índice de marginación normalizado.

De acuerdo con la CONAPO (2020), sólo se cuenta con información para los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020; sin embargo, sólo fue posible analizar los años de 2010, 2015 y 2020 como consecuencia del cambio técnico-metodológico en la elaboración del índice a partir del cual se utiliza el modelo multivariado *Método de Distancia de Pena Trapero*, también conocido como *método de medición de distancia DP₂*; e introduce el Índice de Marginación Normalizado (IMN), que posibilita la comparación en diferentes niveles de desagregación territorial en función de una amplia gama de variables en un indicador: *DP₂*.

3.3 Índice de Marginación y coeficiente de correlación

Con el objetivo de identificar si existía correlación entre los municipios con mayor VBP y el contexto social de los sitios, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Francia para conocer la distribución del VBP durante los años analizados. La hipótesis nula de esta prueba es que la variable tiene una distribución normal. Si el p-value de la prueba es menor que el nivel de significancia, entonces podemos rechazar la hipótesis nula y concluir que la variable no está distribuida normalmente (Davtyan, 2014). Los resultados señalaron que las muestras no presentaron una distribución normal (p-value<0.05, cuadro 4).

³ INEGI. Marco Geoestadístico 2021.

<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463849568>

Tabla 4. Prueba de normalidad Shapiro-Francia.

Año	Estadístico W	p-value
2010	0.1605	0.00001
2015	0.1709	0.00001
2020	0.1560	0.00001

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la variable del Índice de Marginación Normalizado municipal, se recabó información para los años de 2010, 2015 y 2020, cifras disponibles del Consejo Nacional de Población (CONAPO)⁴. El índice de marginación toma como base la información censal generada en el país por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), precisamente, en los temas de educación, vivienda, distribución territorial e ingresos de la población.

El índice de marginación normalizado se escala a valores relativos con un rango de entre cero y uno, lo cual permite su comparación numérica, dónde 0 equivale a las zonas más marginadas, y 1 las zonas menos marginadas (CONAPO, 2020).

Derivado de la falta de normalidad en la distribución de las muestras, se determinó continuar el análisis con el coeficiente de correlación de Spearman, estadístico no paramétrico basado en un rango para medir la relación monótonica entre dos variables que suelen censarse y no se distribuyen normalmente. De acuerdo con IBM (2020), el coeficiente puede tomar un valor entre +1 y -1, donde:

Un valor de $\rho=1$, significa una perfecta asociación de rango

Un valor de $\rho=0$, significa que no hay asociación de rangos. Si el valor de ρ se acerca a 0, la asociación entre los dos rangos es más débil.

Un valor de $\rho= -1$, significa una perfecta asociación negativa entre los rangos.

⁴ CONAPO. Índices de Marginación en México. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>

Finalmente, los resultados fueron representados en gráficos de dispersión con ajuste lineal para dichos años.

4. Resultados

4.1 Valor Bruto de la Polinización

Se obtuvieron los valores brutos de la polinización para cada municipio, mismos que fueron sumados para obtener el total nacional para cada año (tabla 5). El valor monetario del servicio de polinización atribuido a animales en 2003 fue de MXN 48.6 mil MDP, lo que representó el 9.17% del valor de la producción agrícola nacional para ese año, mientras que para el año 2021, el valor fue MXN 71.6 mil MDP, es decir, si desaparecieran las especies polinizadoras, el 12.56% del valor de la producción nacional es vulnerable. México supera el promedio global establecido por la IPBES (2016), en el que situaban la contribución de la polinización entre el 5% y el 8% de la producción agrícola.

De manera adicional, se obtuvo una medida del VBP por hectárea cosechada, en 2003 el VBP fue de MXN \$2,200 por hectárea, en comparación con MXN \$3,096 por hectárea obtenidos en el año 2021. También se estimó la contribución económica del servicio de la polinización al Producto Interno Bruto⁵. En 2003, la contribución del servicio de polinización representó el 0.22% del PIB, mientras que, para el año 2021 la contribución fue equivalente al 0.33% del PIB.

Los resultados para cada año, se presentan a precios constantes en el cuadro 5, las variaciones anuales en el incremento de los valores se encuentran estrechamente relacionadas con los

⁵ INEGI. (2021). Banco de Información Económica. Producto Interno Bruto (valores a precios corrientes, base 2013): <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=100005000020#D673097>
Los valores de esta serie fueron corregidos con el Índice Nacional de Precios al Productor del sector 111: Agricultura, al igual que lo que se realizó con el valor económico de la producción y el valor bruto de la polinización, con el fin de mantener el análisis a precios constantes.

principales cultivos comerciales destinados a exportación, beneficiados de la polinización animal en términos de rendimiento y demanda internacional, proporcionando una mayor ganancia económica por unidad de área. Este análisis se discute con mayor detalle, posterior al análisis geoespacial.

Es importante señalar que la estimación generada para el país se encuentra sujeta a sesgos, derivado de la falta de información sobre cultivos regionales, así como subestimaciones en las tasas de dependencia de los cultivos, ya que los datos obtenidos de Klein et. al (2007) son en su mayoría sobre diversas especies de abejas, si bien, en el listado se consideran algunos de los cultivos internacionales que involucran el aporte de otras especies como aves, murciélagos y otros insectos, estos se representan en menor cantidad, por lo que se resalta la necesidad de continuar con el desarrollo de análisis con una cobertura más amplia en cuestión de cultivos y especies de polinizadores.

Cuadro 5. Valor Bruto de la Polinización (2003-2021) a precios constantes (año base 2019).

Año	N municipios	VBP (MDP)	%RV	VBP/ha (miles de pesos)	%PIB
2003	2407	48 654.10	09.17	2 200	0.22
2004	2414	50 721.39	09.56	2 291	0.22
2005	2410	48 211.62	10.34	2 224	0.22
2006	2419	52 179.11	10.35	2 219	0.22
2007	2428	53 276.08	09.87	2 191	0.23
2008	2431	53 558.20	09.47	2 136	0.23
2009	2425	52 614.02	10.65	2 290	0.25
2010	2433	51 533.74	09.98	2 005	0.24
2011	2428	51 726.32	10.65	2 175	0.25
2012	2431	52 988.81	09.68	2 075	0.25
2013	2434	58 346.66	10.77	2 230	0.26
2014	2434	66 742.44	11.39	2 523	0.27
2015	2434	66 891.22	11.34	2 555	0.27
2016	2435	77 609.98	12.83	2 801	0.32
2017	2435	87 698.51	13.75	3 211	0.36
2018	2437	91 757.57	13.62	3 388	0.37
2019	2435	96 334.24	14.19	3 794	0.39
2020	2429	77 110.25	13.26	3 443	0.35
2021	2435	71 688.21	12.56	3 096	0.33

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, INEGI (2021) y Klein et al. (2007).

Para el caso de México, diversos autores (Medellín et. al., 2017; Trejo-Salazar et al., 2016; Kunz et.al, 2011; Arita & Wilson, 1987) destacan el papel que desempeñan los murciélagos en la polinización y control de plagas en una amplia variedad de plantas, particularmente para los agaves que son aprovechados en la producción de tequila, mezcal y pulque. Arita y Wilson (1987) indicaron que la relación entre murciélagos y los agaves es tan fuerte que la desaparición de una amenazaría la supervivencia de la otra.

La producción del tequila y mezcal representa el 1.25% del PIB del sector agrícola nacional (SAGARPA, 2017). Sin embargo, la tasa de dependencia de polinización para los agaves aún no ha sido establecida en la literatura, lo que implicaría un aumento significativo de la contribución del servicio de polinización animal a la economía nacional.

4.2 Análisis geoespacial

Los resultados representados de manera espacial en los mapas de las figuras 1a-3a, distinguen que los valores económicos asociados a la polinización más elevados se encuentran en los municipios: Uruapan, Tancítaro, Peribán, Los Reyes, Ario, Tacámbaro, Salvador Escalante (Michoacán); y Ensenada (Baja California) (Tabla 6). Datos que corresponden con la información presentada en el informe *Cuentas de los Ecosistemas de México* de INEGI (2021).

Por otra parte, en la representación del índice de marginación normalizado (inciso *b* de las figuras 1-3) se presentó una distribución muy heterogénea a nivel nacional.

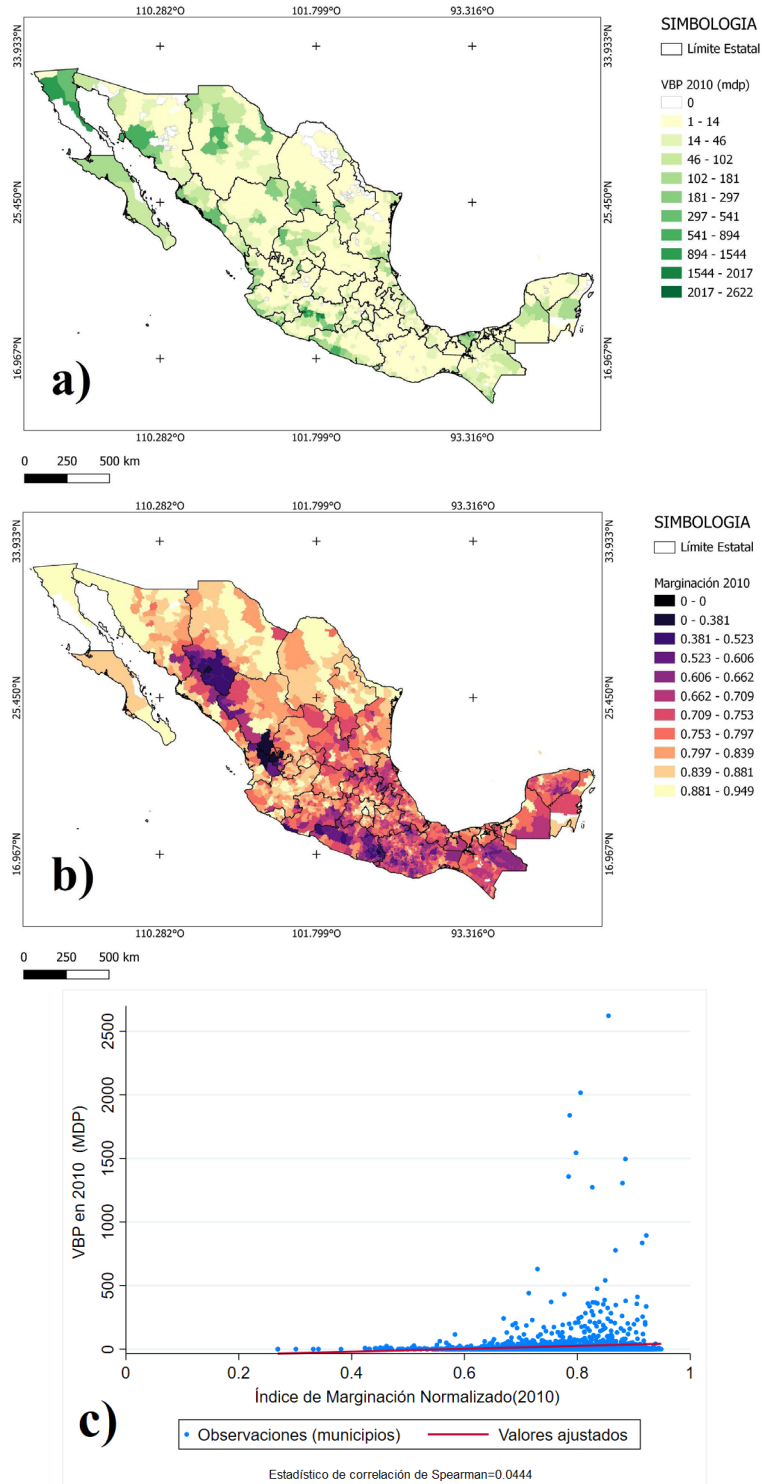
De forma particular, en los municipios con mayor VBP, el índice de marginación normalizado (IMN) fue de muy baja, baja y media marginación (cuadro 6).

Cuadro 6. Listado de los cinco municipios con mayor VBP por año, y su respectivo índice de marginación.

AÑO	Municipio	VBP (MDP)	IMN
2010	Peribán, Michoacán	2 622	0.85 (muy baja)
	Tacámbaro, Michoacán	2 016	0.80 (baja)
	Salvador Escalante, Michoacán	1 838	0.78 (baja)
	Ario, Michoacán	1 544	0.65 (media)
	Ensenada, Baja California	1 495	0.88 (muy baja)
2015	Tancítaro, Michoacán	2 459	0.84 (baja)
	Ensenada, Baja California	2 427	0.91 (muy baja)
	Peribán, Michoacán	2 107	0.88 (baja)
	Salvador Escalante, Michoacán	2 039	0.83 (media)
	Tacámbaro, Michoacán	2,025	0.87 (baja)
2020	Los Reyes, Michoacán	3 394	0.87 (baja)
	Tancítaro, Michoacán	3 234	0.87 (baja)
	Peribán, Michoacán	3 082	0.89 (muy baja)
	Uruapan, Michoacán	2 779	0.91 (muy baja)
	Tacámbaro, Michoacán	2 372	0.90 (muy baja)

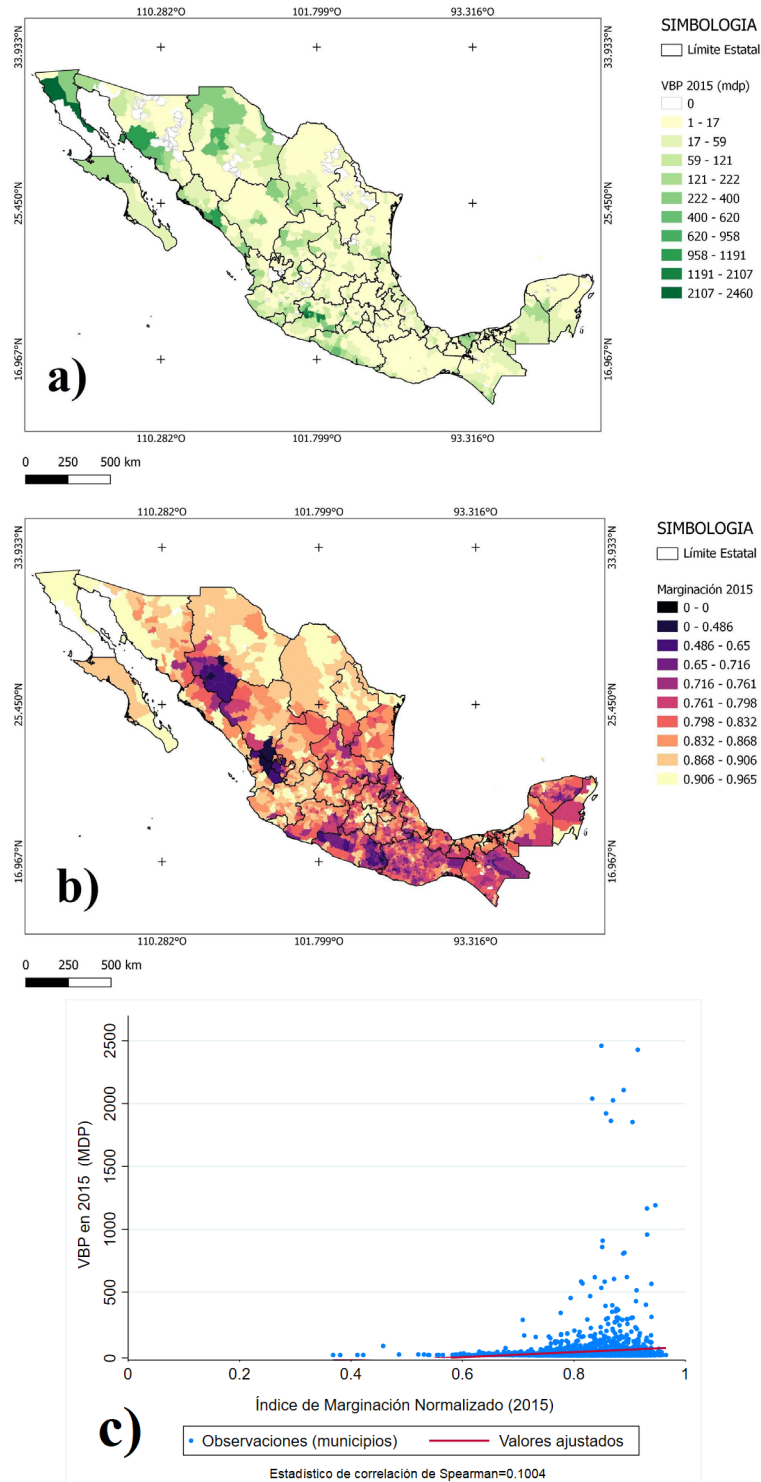
Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP y Klein et al. (2007)

Figura 1. a) Valor Bruto de la Polinización animal en México a nivel municipal en 2010 (millones de pesos)
b) Índice de Marginación Normalizado (IMN) en México a nivel municipal en 2010
c) Gráficos de dispersión y ajuste lineal entre el VBP y el IMN en 2010



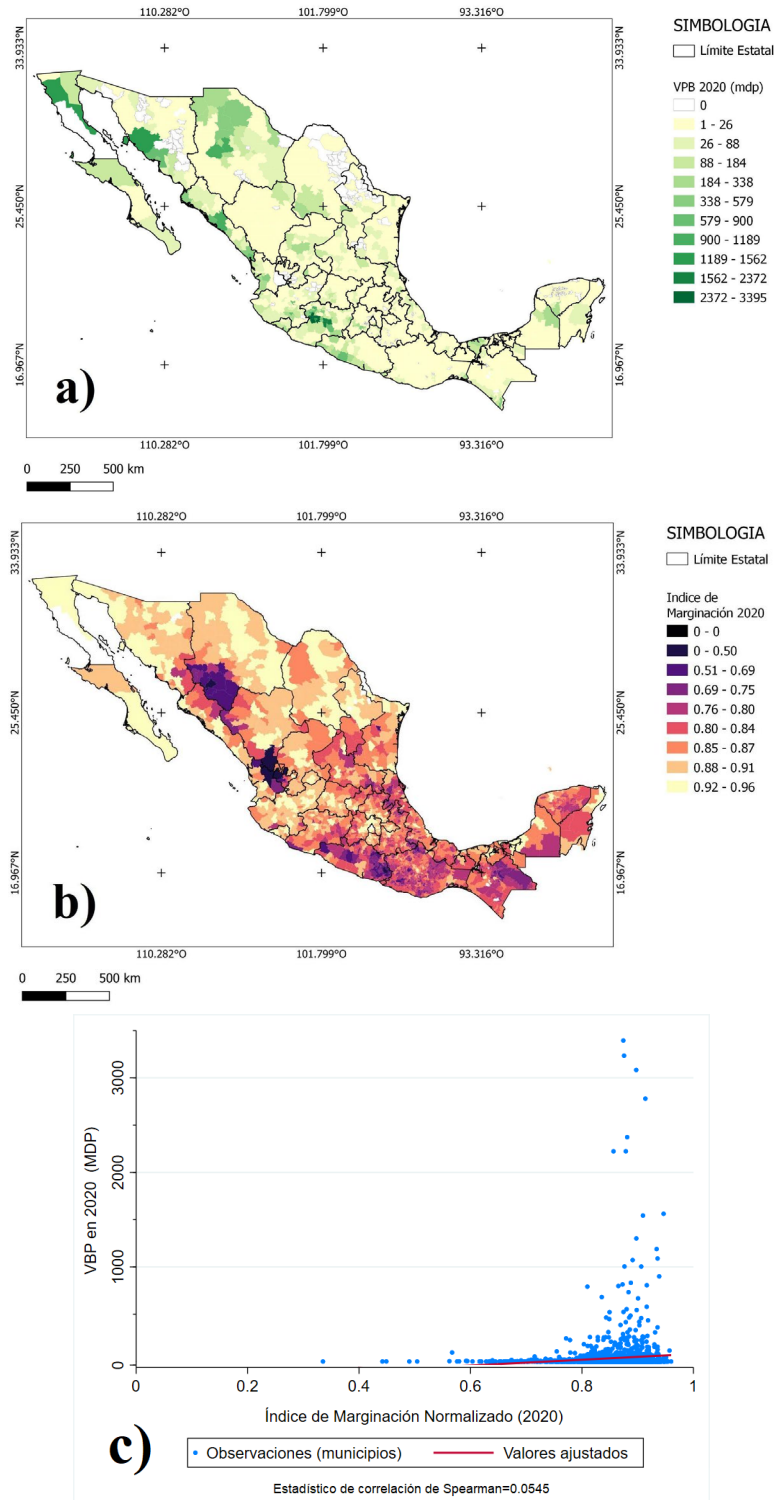
Fuentes: Elaboración propia con datos del SIAP (2010), Klein et al. (2007) y CONAPO (2010).

Figura 2. a) Valor Bruto de la Polinización animal en México a nivel municipal en 2015 (millones de pesos)
b) Índice de Marginación Normalizado (IMN) en México a nivel municipal en 2015
c) Gráficos de dispersión y ajuste lineal entre el VBP y el IMN en 2015



Fuentes: Elaboración propia con datos del SIAP (2015), Klein et al. (2007) y CONAPO (2015).

Figura 3. Valor Bruto de la Polinización animal en México a nivel municipal en 2020 (millones de pesos).
b) Índice de Marginación Normalizado (IMN) en México a nivel municipal en 2020.
c) Gráficos de dispersión y ajuste lineal entre el VBP y el IMN en 2020.



Fuentes: Elaboración propia con datos del SIAP (2020), Klein et al. (2007) y CONAPO (2020).

4.3 Índice de Marginación y coeficiente de correlación

En una primera instancia, con los mapas obtenidos del análisis geoespacial es posible observar que en los municipios con mayor valor bruto de la polinización (inciso *a* de las figuras 1-3), existe menor marginación (inciso *b* de las figuras 1-3). Como se mencionó previamente, la interpretación del índice de marginación señala que los valores cercanos a cero equivalen a mayor marginación (zonas en morado y negro), mientras que, valores cercanos a uno representan menor marginación (zonas amarillas).

Ahora bien, para corroborar este argumento, la hipótesis nula del coeficiente de correlación de Spearman supone que no existe asociación entre las variables. Si el p-value de la prueba es menor que el nivel de significancia, entonces podemos rechazar la hipótesis nula y concluir que sí existe una asociación. Los resultados indicaron que sí existe asociación entre las variables VBP y marginación (p-value<0.05), sin embargo, el estadístico ρ señala que dicha asociación es muy débil, al presentar valores próximos a cero (cuadro 7). La representación gráfica de los resultados se puede consultar en los gráficos del inciso *c* de las figuras 1-3.

Cuadro 7. Coeficiente de correlación de Spearman.

Año	Estadístico ρ	p-value
2010	0.0444	0.0286
2015	0.1004	0.0000
2020	0.0545	0.0072

Fuente: Elaboración propia.

La premisa “*a mayor valor bruto de la polinización, menor marginación*” fue consistente en los municipios con mayor VBP nivel nacional principalmente, como se observa en el Cuadro 6, sin embargo, el comportamiento de estas variables no se mantiene así para el resto del país, donde no es posible identificar un patrón, razón por la cual se obtuvieron correlaciones débiles.

Los valores brutos de polinización más altos a nivel nacional, se encuentran estrechamente relacionados con la producción de tres de los principales productos agrícolas de exportación: el aguacate, las berries (grupo que incluye los cultivos de fresas, frambuesas, zarzamoras y arándanos) y la vid.

A nivel mundial, México es el principal productor de aguacate, en 2021 generó 2.4 millones de toneladas, lo que representa alrededor del 28% de la producción mundial (FAOSTAT, 2023). En 2022, el SIAP⁶ reportó 243 mil hectáreas cosechadas de aguacate en el país, de las cuales, más del 70% se localizan en Michoacán. Sin embargo, el auge y expansión del aguacate en el estado ha sido vinculado con cambios en el patrón de cultivos que amenazan con la pérdida del bosque templado michoacano y su biodiversidad, así como transformaciones en la organización social; si bien se ha reducido la emigración y la pobreza, los empleos creados son precarios y los beneficios se concentran en unos pocos productores, agronegocios e intermediarios (Toribio-Morales et al., 2019).

También el crimen organizado, atraído por la rentabilidad del cultivo, ha realizado despojos ilegales, basado en la violencia y el temor que impone en las comunidades productoras, ya que están de por medio las elevadas ganancias que genera el aguacate (Toribio-Morales et al., 2019).

Por otra parte, la producción nacional de fresas, frambuesas, zarzamoras y arándanos, productos que en su conjunto son denominados *berries*, se ubican como el principal producto nacional agroalimentario de exportación, con más de dos mil millones de dólares de valor comercial en 2022 (SADER, 2022a). La mayoría de las exportaciones se dirigen a Norteamérica, 90% hacia Estados Unidos y 7% a Canadá, mientras que el restante se dirige hacia 38 países (Sánchez, 2020).

⁶ SIAP. Avance Agrícola: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

En México, la producción de estos cultivos se concentra en cinco estados: Michoacán, Baja California, Guanajuato, Jalisco y Sinaloa. Michoacán se caracteriza por tener el valor de la producción más alto del país, tan sólo en 2016, la producción de las berries representó la segunda actividad económica del estado, con un valor mayor a siete mil millones de pesos (SADER, 2016).

La producción de berries en Michoacán surgió como resultado de la crisis en la industria azucarera hacia finales de los años noventa. En municipios como Los Reyes, Zamora, Salvador Escalante, se rentaban las tierras a empresas agroexportadoras de berries, lo que modificó su organización territorial y social, así, los trabajadores agrícolas que quedaron desempleados en las cosechas de caña de azúcar comenzaron a trabajar en la producción, cosecha y empaque de estos frutos. Actualmente, la mano de obra está conformada en su mayoría por jóvenes varones y mujeres, aunque los primeros se dedican también a trabajar en las huertas de aguacate. En cambio, la zarzamora constituye la única oportunidad de trabajo para las mujeres que representan del 60% al 70% de la mano de obra (Thiébaud, 2011).

Finalmente, con base en el informe *La vid en México*, del Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2017), la vid tiene tres usos en la actualidad. El primero es industrial, es decir, se emplea para la elaboración de vinos de mesa, jugos y derivados; el segundo, es su consumo como fruta (uva fruta), y el tercero es el de uva pasa. México es el undécimo productor mundial de uva pasa y el décimo cuarto en uva de mesa. En la última década, la producción nacional de vino se ha mantenido en torno a los 400 mil hectolitros, cifra que posiciona al país como el vigésimo tercer productor mundial (SADER, 2022b).

Las zonas de Baja California, Zacatecas, Aguascalientes, Coahuila, Querétaro, Chihuahua, Guanajuato, Sonora, San Luis Potosí y Nuevo León, son parte del llamado cinturón mexicano del vino, sin embargo, de todos los estados mencionados, Baja California es sin duda alguna el que mayor producción tiene, con cerca del 80% de la producción nacional de vino (Flores-Gómez et al., 2022).

Es importante destacar que, en los valles de Baja California, la industria vitivinícola coexiste con la comunidad indígena nativa Kumiai. León-Pozo et.al. (2022) han documentado el desarrollo de emprendimientos vitivinícolas nativos que han surgido para atender las propias necesidades de la comunidad. No obstante, los nativos se han enfrentado a diversos desafíos como la falta de infraestructura, el alto costo del proceso productivo, falta de financiamiento, entre otros. El estudio rescata que la participación de los nativos en la industria vitivinícola regional puede ser un vehículo que fortalezca una industria más incluyente, sustentable y con una responsabilidad social significativamente visible.

Si bien, la alta demanda de estos cultivos ha significado grandes desafíos para el sector ambiental, también es posible identificar cambios en la estructura social en las zonas de producción agrícola, lo que podría aparentar una disminución en la marginación de los municipios. Es importante destacar que lo anterior no asegura que sean las comunidades o los productores locales los principales beneficiarios de la contribución económica de la polinización animal.

Bajo este contexto, se remarca la necesidad del desarrollo y establecimiento de políticas públicas que impulsen el cuidado, monitoreo y conservación de las especies animales polinizadoras, así como, la aplicación de prácticas agroecológicas justas que consideren el contexto social de las zonas de producción agrícola. Adicionalmente, es fundamental involucrar y promover el análisis científico en torno al estado actual de los hábitats, abundancia, diversidad y actividad de las poblaciones de especies polinizadoras.

En el caso particular de México, la polinización animal es un servicio ecosistémico esencial, considerando que el país alberga una amplia distribución y abundancia de especies de polinizadores y cultivos, lo que le otorga al sector agrícola mejores y mayores rendimientos que se traducen en un aporte económico considerable a la economía del sector con cifras mayores al promedio mundial, los resultados del presente estudio sugieren que la polinización animal en México contribuye entre el 9% y 14% del valor de la producción agrícola nacional.

Conclusiones

Preservar los hábitats de los polinizadores requiere de una participación multiactor que involucre a la autoridad, para el desarrollo de estrategias de política pública que aseguren la conservación de las especies, y una adecuada gestión de los servicios de la polinización; como organizaciones intergubernamentales que brinden herramientas y una hoja de ruta colaborativa entre países; la academia, para continuar con el fortalecimiento del conocimiento y análisis técnicos más detallados sobre el aporte este servicio ecológico a escala regional; así como la participación de productores agrícolas informados, con el fin de evitar prácticas agrícolas negativas para las especies.

Las buenas prácticas de polinización tienen un papel importante en el mantenimiento de condiciones ambientales óptimas. Se han puesto en marcha diversas iniciativas y esfuerzos a nivel internacional, sin embargo, a pesar de que Latinoamérica concentra la mayor cantidad de cultivos y plantas dependientes de este servicio ambiental, los análisis e iniciativas se encuentran en etapas iniciales.

Es por esta razón, que la conservación de especies de polinizadores ha sido motivo de preocupación y análisis, generando como resultado una serie de investigaciones relacionadas con diversos métodos de valoración económica, a partir de los cuales, fue posible estimar la contribución del servicio de polinización al PIB nacional de México.

Los principales cultivos de exportación en México atraviesan desafíos sociales como resultado de las aceleradas cifras de demanda, siendo los pequeños productores, el sector más vulnerable. Si bien, por el momento la asociación entre el valor bruto de la polinización con el índice de marginación es muy bajo, no se debe ignorar que el grado de cambio en la intensidad de polinización se traduce en cambios en los rendimientos y las cantidades de producción, lo que a su vez significa cambios de precios para productores y consumidores en productos de la canasta básica dependientes de este servicio. Además, en la actualidad los

valores no comerciales de los servicios de polinización no han sido bien definidos en un sentido económico, por lo que aún queda mucho camino por recorrer.

Referencias

- Allsopp, M.H., de Lange, WJ & Veldtman, R. (2008). Valuing Insect Pollination Services with Cost of Replacement. PLoS ONE 3(9): e 3128. doi:10.1371/journal.pone.0003128
- Arita, H.T. & Wilson, D. (1987). Long-nosed bats and agaves: the tequila connection. Bat Conservation. 5(4): 3-5. Consultado en enero de 2023 en: <https://www.batcon.org/article/long-nosed-bats-and-agaves-the-tequila-connection/>
- Arnold, N., Zepeda, R., Vásquez, M. & Aldasoro, M. (2018). Las abejas sin aguijón y su cultivo en Oaxaca, México: con catálogo de especies. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 147 p. Consultado en diciembre de 2022, en: <https://www.ecosur.mx/abejas/wp-content/uploads/sites/4/2018/06/Abejas-sin-aguijo%CC%81n-de-Oaxaca.pdf>
- Ashworth, L., Quesada, M., Casas, A., Aguilar, R., & Oyama, K. (2009). Pollinator-dependent food production in Mexico. Biological Conservation, 142(5), 1050 – 1057. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.016>
- Bacab, A. I. & Canto, A. (2020). La abeja melipona en la cultura maya. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán. 12: 154–158. Consultado en diciembre de 2022, en: https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2020/2020-07-23-Bacab-Canto-La-abeja-melipona.pdf
- Caro A., Moo-Valle H., Alfaro R. y Quezada Euán J.J.G. (2017). Pollination services of Africanized honey bees and native *Melipona beecheii* to buzz-pollinated annatto (*Bixa orellana* L.) in the neotropics. Agricultural and Forest Entomology 19(3): 274-280. . <https://doi.org/10.1111/afe.12206>

- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), 2017. Reporte interno “La vid en México”, Cámara de Diputados, LXIII Legislatura, Ciudad de México, 19 p.
- Consejo Nacional de Población. CONAPO. (2020). Nota Técnico-Methodológica Índice De Marginación Por Entidad Federativa Y Municipio 2020. Consultado en diciembre de 2022, en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/685354/Nota_tecnica_IMEyM_2020.pdf
- Davtyan, A. (2014). GMM Estimation and shapiro-francia normality test: a case study of developing countries. *Studies in Business & Economics*, 9(1).
- Eilers, E.J., Kremen, C., Greenleaf, S.S., Garber, A.K., Klein, A.M. (2011). Contribution of pollinator mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLoS one* 6(6):e2136
- Flores-Gómez, B., Rosales-Soto, A. & Ortiz- Barrera, M. A. (2022). Capítulo 2. Los cambios en la industria vitivinícola mexicana: un acercamiento a la sustentabilidad económica. En Vázquez-Elorza, A., Borrego-Pérez, N., Herrera-García, A.F. & Sánchez-Osorio, E. (Coord.), *La industria vitivinícola mexicana en el siglo xxi: retos económicos, sociales y ambientales*. (pp. 51- 72). México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.
- Food and Agriculture Organization. FAO. (2007). Base de datos estadísticos. Cultivos primarios. Disponible en: <http://faostat.fao.org>
- Food and Agriculture Organization. FAO. (2011). PROTOCOL TO DETECT AND ASSESS POLLINATION DEFICITS IN CROPS: A HANDBOOK FOR ITS USE. Consultado en octubre de 2022, en: <https://www.fao.org/3/i1929e/i1929e.pdf>
- Food and Agriculture Organization. FAO. (2014). Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. Santiago, Chile. 56 p. Consultado en octubre de 2022, en: <https://www.fao.org/publications/card/es/c/5f4ff131-6df9-59df-ba55-4bc9e5c29b29/>

- Food and Agriculture Organization. FAO. (2020). Array of crops used directly for human food following FAOSTAT. Consultado en mayo 2022, en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Food and Agriculture Organization. FAO. (2022). Combinar tradición y ciencia para proteger a los polinizadores. Disponible en: <https://www.fao.org/in-action/blending-tradition-and-science-to-protect-pollinators/es/>
- FAOSTAT. (2023). Producción agrícola mundial. Consultado en marzo de 2023, en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J. & Vaissière, B.E. (2009) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator Decline. *Ecological Economics*, 68, 810–821.
- Giannini, T. C., Cordeiro, G. D., Freitas, B. M., Saraiva, A. M. Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil, *Journal of Economic Entomology*, Volume 108, Issue 3, June 2015, Pages 849–857, <https://doi.org/10.1093/jee/tov093>
- Hanley, N., Breeze, T., Ellis, C. & Goulson, D. (2015). Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps, *Ecosystem Services*, Volume 14, Pages 124-132, ISSN 2212-0416. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.09.013>
- International Business Machines. IBM. (2020). Análisis de potencia de prueba de correlación de Spearman para una muestra. Consultado en enero de 2023, en: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/27.0.0?topic=correlations-power-analysis-one-sample-spearman-correlation-test>
- Intergovernmental Science-Policy Platform On Biodiversity And Ecosystem Services. IPBES. (2016). Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production. Simon G. Potts, Vera Imperatriz-Fonseca, Hien T. Ngo. (Eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3402856>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI (2021). Cuentas de los Ecosistemas de México. Resultados del Proyecto Natural Capital Accounting and Valuation of Ecosystem Services (NCAVES). México, INEGI, 258 pp.
- Jacquemin F, Violle C, Rasmont P, Dufrêne M (2017) Mapping the dependency of crops on pollinators in Belgium. *One Ecosystem* 2: e13738.
<https://doi.org/10.3897/oneeco.2.e13738>
- Klein Alexandra-Maria, Vaissière Bernard E, Cane James H, Steffan-Dewenter Ingolf, Cunningham Saul A, Kremen Claire and Tscharntke Teja. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B*.274303–313. doi:10.1098/rspb.2006.3721
- Kunz, T., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobo, T., & Fleming, T. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals Of The New York Academy Of Sciences*, 1223(1), 1-38. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x
- León-Pozo, A., Robinson-Trápaga, D., Cabrera-Flores, M. & Collins García, R. (2022). Capítulo 16. Emprendimientos vitivinícolas en comunidades indígenas nativas: una visión de desarrollo incluyente para los valles de Baja California. En Vázquez-Elorza, A., Borrego-Pérez, N., Herrera-García, A.F. & Sánchez-Osorio, E. (Coord.), *La industria vitivinícola mexicana en el siglo xxi: retos económicos, sociales y ambientales*. (pp. 481- 508). México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.
- Medellín, R., Eguiarte, L., & Trejo, R. (2017). El Tequila y el murciélago: ¡Todos somos Leptonycteris! *Revista Oikos*. 2(19), Instituto de Ecología UNAM. Consultado en enero de 2023 en:
<http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/articulos/plantas-arvenses/8-articulos/302-el-tequila-y-el-murcielago>
- Porto, R.G., de Almeida, R.F., Cruz-Neto, O. et al. (2020). Pollination ecosystem services: A comprehensive review of economic values, research funding and policy actions. *Food Sec.* 12, 1425–1442 <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01043-w>
- Quesada, M., Rosas, V., Letelier., L., Rodríguez., H., Ashworth, L., Aguilar, R., Martén, S., Balvino., F., Bastida, J., Sánchez, G. (2012). Informe final del proyecto” Evaluación

de los impactos del cambio climático en polinizadores y sus consecuencias potenciales en el sector agrícola en México”.

Ramón-Sierra J., Hau-Yama N., Magaña-Ortiz D., Chan-Rodríguez D., Ruiz-Ruiz J., y Ortiz-Vázquez E. (2016). Antimicrobial activity of honey produced by native stingless bee *Melipona beecheii*. In: Ortiz Vázquez E.L., Ruiz Ruiz J.C., Magaña Ortiz D.I. y Ramon Sierra J.M. (Eds.). *Stingless bee's Honey from Yucatan: Culture, traditional uses and nutraceutical potential*, pp. 109– 120. Nova Science Publishers, Inc.

Sánchez, S. (2020). Las berries mexicanas buscan nuevos mercados ante retos del T-MEC y Covid-19. *Revista Forbes*. Consultado en mayo de 2023, en:

<https://www.forbes.com.mx/las-berries-mexicanas-buscan-nuevos-mercados-ante-retos-del-t-mec-y-covid-19/>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. SADER. (2016). Michoacán el Productor Número uno en Berries en el País: Sagarpa Michoacán. Consultado en mayo de 2023, en: <https://www.gob.mx/agricultura/7Cmichoacan/articulos/michoacan-el-productor-numero-uno-en-berries-en-el-pais-sagarpa-michoacan>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. SADER. (2022a). Aumentó 8.78 % exportación de frutillas mexicanas a 38 naciones y se ubican como el principal producto agroalimentario de exportación. Comunicado de prensa. Consultado en mayo de 2023, en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/aumento-8-78-exportacion-de-frutillas-mexicanas-a-38-naciones-y-se-ubican-como-el-principal-producto-agroalimentario-de-exportacion>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. SADER. (2022b). Destaca Organización Internacional de la Viña y el Vino potencial de México en el mercado mundial para los siguientes años. Comunicado de Prensa. Consultado en marzo de 2023, en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/destaca-organizacion-internacional-de-la-vina-y-el-vino-potencial-de-mexico-en-el-mercado-mundial-para-los-siguientes-anos#:~:text=%C2%B7Con%20base%20en%20los%20datos,y%20262%20millones%20de%20hectolitros>

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. SADER. (2022c). Melipona beecheii, "la abeja sagrada maya". Consultado en diciembre de 2022, en:
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/melipona-beecheii-la-abeja-sagrada-maya>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Agave tequilero y mezcalero mexicano. Gobierno de México. Consultado en noviembre de 2021 en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257066/Potencial-Agave_Tequilero_y_Mezcalero.pdf
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. (2021a). Diagnóstico. Situación actual de los polinizadores en México. Primera Edición. México. Consultado en octubre de 2022, en:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/629650/Diagnostico_calidad_med ia.pdf
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. (2021b). Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores. ENCUSP. Consultado en diciembre de 2022, en:
<https://www.gob.mx/agricultura/documentos/estrategia-nacional-para-la-conservacion-y-uso-sustentable-de-los-polinizadores-encusp>
- Seed and Plant Genetic Resources Service. (2007). Pollinators: Neglected biodiversity of importance to food and agriculture. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. FAO. Rome. 10 pp.
- Sosenski, P., & Domínguez, C. A. (2018). El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 89(3), 961-970. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2168>
- Thiébaud, V. (2011). Paisajes rurales y cultivos de exportación. Valle de Los Reyes, Michoacán. *Trayectorias*, vol. 13, núm. 32, enero-junio, 2011, pp. 52-70. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México.
<https://www.redalyc.org/pdf/607/60722782003.pdf>
- Toribio-Morales, M., Ramírez-Miranda, C., y Núñez-Vera, M. (2019). Expansión del agronegocio aguacatero sobre los territorios campesinos en Michoacán. *Eutopía*.

Revista de Desarrollo Económico Territorial, 16(12), 51–72. <https://doi.org/10.17141/eutopia.16.2019.411>

Trejo-Salazar, L., Suro-Piñera, D. & Medellín, R. (2016). Save Our Bats, Save Our Tequila: Industry and Science Join Forces to Help Bats and Agaves. *Natural Areas Journal* 36(4):523-530. Consultado en noviembre de 2021 en: https://www.researchgate.net/publication/309018902_Save_Our_Bats_Save_Our_Tequila_Industry_and_Science_Join_Forces_to_Help_Bats_and_Agaves