



Revista de la Sociedad Entomológica Argentina
ISSN: 0373-5680
ISSN: 1851-7471
santiago@cepave.edu.ar
Sociedad Entomológica Argentina
Argentina

Mapecto de una posible amenaza para el sector agrícola mexicano: avispon gigante asiático *Vespa mandarinia* (Smith 1852) (Hymenoptera: Vespidae)

IBARRA-ZAPATA, Enrique; AGUIRRE-SALADO, Carlos A.; MIRANDA-ARAGÓN, Liliana; LOREDO-OSTI, Catarina; ESCOTO-RODRÍGUEZ, Martín; RAMÍREZ y RAMÍREZ, Francisco

Mapecto de una posible amenaza para el sector agrícola mexicano: avispon gigante asiático *Vespa mandarinia* (Smith 1852) (Hymenoptera: Vespidae)

Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, vol. 81, núm. 1, 2022

Sociedad Entomológica Argentina, Argentina

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=322070162011>

Mapeo de una posible amenaza para el sector agrícola mexicano: avispon gigante asiático *Vespa mandarinia* (Smith 1852) (Hymenoptera: Vespidae)

Mapping a potential threat to the Mexican agricultural sector:
The Asian Giant Hornet *Vespa mandarinia* (Smith 1852)
(Hymenoptera: Vespidae)

Enrique IBARRA-ZAPATA enrique.zapata@uaslp.mx
Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San
Luis Potosí, México

Carlos A. AGUIRRE-SALADO
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
México

Liliana MIRANDA-ARAGÓN
Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San
Luis Potosí, México

Catarina LOREDO-OSTI
Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San
Luis Potosí, México

Martín ESCOTO-RODRÍGUEZ
Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San
Luis Potosí, México

Francisco RAMÍREZ y RAMÍREZ
Dirección General de Sanidad Vegetal, D.G.S.V. Servicio Nacional de
Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. SENASICA, México

Revista de la Sociedad Entomológica
Argentina, vol. 81, núm. 1, 2022

Sociedad Entomológica Argentina,
Argentina

Recepción: 26 Agosto 2021
Aprobación: 16 Diciembre 2021
Publicación: 31 Marzo 2022

Redalyc: [https://www.redalyc.org/
articulo.oa?id=322070162011](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=322070162011)

Resumen: El avispon gigante asiático representa una amenaza para el sector agrícola global, ya que, es una especie con un comportamiento depredador e invasor que afecta de manera directa a las abejas melíferas (*Apis mellifera*), principales agentes de polinización de frutales, hortalizas y de la producción de semillas. El objetivo de la investigación fue elaborar un diagnóstico espacial del riesgo sanitario asociado a *V. mandarinia* por su posible impacto en el sector agroalimentario mexicano. Para ello, se identificaron los cultivos de importancia económica, agrupados por porcentaje de polinización, y la distribución potencial del avispon gigante asiático mediante el modelo de máxima entropía. El modelo cartográfico de riesgo sanitario resultante permitió identificar superficies con diferentes índices de riesgo sanitario (bajo, medio, alto y muy alto), así como la definición de áreas prioritarias representadas espacialmente en cuadrantes y clúster agroalimentarios en riesgo (conglomerados). Estos resultados se presentan como una herramienta geotecnológica que puede fortalecer la planeación de la vigilancia epidemiológica en México, lo que tiene el potencial de coadyuvar en el establecimiento de estrategias preventivas ante el riesgo sanitario que representa *V. mandarinia* para el sector agrícola mexicano.

Palabras clave: Análisis espacial, México, Polinización, *Vespa mandarinia*, Vigilancia epidemiológica.

Resumen: El avispon gigante asiático representa una amenaza para el sector agrícola global, ya que, es una especie con un comportamiento depredador e invasor que afecta de manera directa a las abejas melíferas (*Apis mellifera*), principales agentes de polinización de frutales, hortalizas y de la producción de semillas. El objetivo de la investigación fue elaborar un diagnóstico espacial del riesgo sanitario asociado a *V. mandarinia* por su posible impacto en el sector agroalimentario mexicano. Para ello, se identificaron los cultivos de importancia económica, agrupados por porcentaje de polinización, y la distribución potencial del avispon gigante asiático mediante el modelo de máxima entropía. El modelo cartográfico de riesgo sanitario resultante permitió identificar superficies con diferentes índices de riesgo sanitario (bajo, medio, alto y muy alto), así como la definición de áreas prioritarias representadas espacialmente en cuadrantes y clúster agroalimentarios en riesgo (conglomerados). Estos resultados se presentan como una herramienta geotecnológica que puede fortalecer la planeación de la vigilancia epidemiológica en México, lo que tiene el potencial de coadyuvar en el establecimiento de estrategias preventivas ante el riesgo sanitario que representa *V. mandarinia* para el sector agrícola mexicano.

Palabras clave: Análisis espacial, México, Polinización, *Vespa mandarinia*, Vigilancia epidemiológica.

Abstract: The Asian giant hornet represents a threat to the global agricultural sector, as it is a species with predatory and invasive behavior that directly affects honey bees (*Apis mellifera*), the main pollination agents of fruit trees, vegetables and seed production. The objective of the research was to develop a spatial diagnosis of the health risk associated with *V. mandarinia* due to its possible impact on the Mexican agrifood sector. For this purpose, economically important crops were identified, grouped by pollination percentage and the potential distribution of the Asian giant hornet was identified using the maximum entropy model. The resulting health risk cartographic model allowed the identification of areas with different health risk indices (low, medium, high and very high), as well as the definition of priority areas spatially represented in quadrants and agri-food clusters at risk (clusters). These results are presented as a geotechnological tool that can strengthen the planning of epidemiological surveillance in Mexico, which has the potential to contribute to the establishment of preventive strategies to address the health risk posed by *V. mandarinia* to the Mexican agricultural sector.

Keywords: Asian Epidemiological surveillance, Giant Hornet, Mexico, Pollination, Spatial analysis.

Abstract: The Asian giant hornet represents a threat to the global agricultural sector, as it is a species with predatory and invasive behavior that directly affects honey bees (*Apis mellifera*), the main pollination agents of fruit trees, vegetables and seed production. The objective of the research was to develop a spatial diagnosis of the health risk associated with *V. mandarinia* due to its possible impact on the Mexican agrifood sector. For this purpose, economically important crops were identified, grouped by pollination percentage and the potential distribution of the Asian giant hornet was identified using the maximum entropy model. The resulting health risk cartographic model allowed the identification of areas with different health risk indices (low, medium, high and very high), as well as the definition of priority areas spatially represented in quadrants and agri-food clusters at risk (clusters). These results are presented as a geotechnological tool that can strengthen the planning of epidemiological surveillance in Mexico, which has the potential to contribute to the establishment of preventive strategies to address the health risk posed by *V. mandarinia* to the Mexican agricultural sector.

Keywords: Asian Epidemiological surveillance, Giant Hornet, Mexico, Pollination, Spatial analysis.

INTRODUCCIÓN

Al contar con una vasta producción de cultivos alimenticios derivados de la agricultura, México es considerado el principal productor de hortalizas y el segundo en cultivo de frutas en América Latina, sólo por debajo

de Brasil (CEDRSSA, 2021). Durante 2019, las actividades agrícolas mexicanas significaron un flujo de inversión extranjera constante por arriba de los 50 millones de dólares con una participación al producto interno bruto de poco más del 2% (Statista, 2021).

A nivel mundial cerca del 75% de cultivos alimentarios dependen de especies como las abejas, mariposas, pájaros, polillas, escarabajos, murciélagos que contribuyen en diferente medida el proceso de polinización, favoreciendo de manera directa la reproducción efectiva de las plantas (FAO, 2021). Sin embargo, las abejas melíferas (Familia *Apidae*) sobresalen por su alta eficiencia, resultando fundamentales en la producción de agroalimentos con un papel determinante en la cantidad y calidad de la producción agrícola.

En décadas recientes diferentes estudios han reportado una disminución en las poblaciones de las abejas melíferas en escala global. El uso excesivo de plaguicidas, la agricultura intensiva, el cambio climático y la introducción de especies exóticas, pueden ser algunas de dichas causas (Heilblum-Robles, 2019). A finales de 2019 existió avistamiento y capturas de ejemplares del avispon gigante asiático (*Vespa mandarinia* Smith) en Columbia Británica, Canadá y en el estado de Washington en EUA (Looney et al., 2020; Wilson et al., 2020; CABI, 2020), generando esto un posible riesgo sanitario en el continente americano.

La posible introducción y establecimiento de *V. mandarinia* podría derivar en una invasión biológica con afectaciones indirectas al componente ecológico y económico de productos agroalimentarios (Detallados en la Tabla 1). Bajo el enfoque “One Health”, esta especie representa un riesgo sanitario compartido al propiciar impactos negativos en el ambiente, la economía y la salud pública (Looney et al., 2020), y de manera indirecta puede traer afectaciones en cultivos agroalimentarios dependientes de la polinización (Agronet, 2020).

Vespa mandarinia es el avispon más grande del mundo y un depredador voraz de abejas melíferas, por su epidemiología, características biológicas y comportamiento. El avispon gigante asiático se considera en la lista de especies invasoras a escala global, ya que, es una especie que posee gran plasticidad genética y alta adaptabilidad a nuevos ambientes (OIRSA, 2021). Es una especie omnívora, principalmente insectívora (SENASICA-SA, 2020), y según Makino (2016), ocupa el rango más alto en la cadena alimenticia de artrópodos dentro de su área de distribución geográfica, con afectaciones directas en las poblaciones de polinizadores.

Su hábitat comprende zonas boscosas y de montañas bajas, donde crea nidos subterráneos (Matsuura y Sakagami, 1973), aunque también puede anidar en troncos y raíces de árboles generalmente secos (Fujiwara et al., 2016). Su ciclo de vida puede variar en virtud de las condiciones ambientales y la disponibilidad de alimento (USDA, 2020). Por ello, se debe tener en cuenta que no se conoce de manera efectiva su comportamiento en América al ser una especie recientemente detectada que, se encuentra en un proceso de adaptabilidad en un nuevo territorio.

Vespa mandarinia es el principal depredador de abejas y una plaga importante de las colmenas (Smith-Pardo et al., 2020). Existe evidencia

que un grupo de 20 a 30 ejemplares pueden causar la muerte de 5.000 a 25.000 abejas en un período entre una y seis horas (Yanagawa et al., 2007). Existen reportes de apicultores en áreas nativas que señalan que entre el 10 y el 20% de las colonias de abejas melíferas sufren cada año daños considerables e incluso que han logrado exterminar una colonia en cuestión de horas (Medina-Medina et al., 2020).

Algunas especies del género *Vespa* se consideran un agente de riesgo en los procesos de polinización (Arca et al., 2014; Rortais et al., 2017). Estas especies se han adaptado a nuevas regiones geográficas demostrando ser factores de riesgo sanitario al actuar como depredadores de poblaciones de insectos nativos, arañas y abejas melíferas (Cini et al., 2018). Algo similar ocurrió con el avispa de patas amarillas (*Vespa velutina nigrithorax* Buysson), que se introdujo de manera accidental en Francia durante 2003, y logró desplazarse rápidamente por el continente europeo dispersándose hasta España y Países Bajos (Villemant et al., 2011; Barbet-Massin et al., 2013).

El riesgo sanitario asociado a *V. mandarinia* radica en que tiende a monopolizar el territorio de abastecimiento de alimento (Medina-Medina et al., 2020). Se considera una avispa eusocial que realiza ataques grupales contra colmenas y otros nidos de avispa, en tres etapas: caza, sacrificio y ocupación (OIRSA, 2020), causando afectaciones a las poblaciones de polinizadores e indirectamente una posible disminución de cultivos agroalimentarios dependientes de la polinización.

La distribución potencial de una especie resulta un componente estratégico en la definición de estrategias preventivas. En este trabajo la estimaremos mediante un modelo de similitud climática (SC), nicho ecológico o máxima entropía, que identifica el ambiente semejante a donde se ha observado la especie (Kery, 2011), y puede considerarse como la probabilidad de presencia de la misma (Royle et al., 2012). Este modelo posee la capacidad de estimar la extensión de hábitat y ha sido aceptado como un método eficiente para determinar una gestión eficaz en el riesgo de plagas exóticas (Dae-hyeon et al., 2018).

El modelado de distribución potencial ha demostrado ser robusto para explorar distribuciones en expansión y predecir distribuciones ambientalmente óptimas, ya que, permite la interacción de variables ambientales que derivan de valores mensuales de precipitación y temperatura (Fick & Hijmans, 2017; Pablo et al., 2019). La distribución potencial de una especie es una representación espacial que, en términos prácticos, contribuye a la definición de estrategias en la detección temprana de plagas exóticas (Robinet et al., 2018). En este estudio se utilizó este modelo para robustecer la estimación del riesgo sanitario de *V. mandarinia* en México, semejante al realizado por Nuñez-Penichet et al., (2020), para la región de Norteamérica.

Un diagnóstico de riesgo sanitario puede proporcionar elementos para elaborar hipótesis de sus posibles impactos, ya que, de acuerdo con Bradshaw et al. (2016), una estrategia basada en evidencia geotecnológica permite coadyuvar en la toma de decisiones ante posibles afectaciones económicas, de prevención, combate y daño asociado a una plaga.

Desde una perspectiva sanitaria, el riesgo asociado al avispon gigante asiático en el continente americano representa una amenaza seria para el sector apícola y agrícola, ya que, su comportamiento depredador puede ocasionar la disminución de las poblaciones de abejas melíferas y nativas, mermando los servicios de polinización necesarios en el sector agrícola (MOA, 2020; UME, 2020). Es decir, puede existir un descenso en las poblaciones de abejas melíferas, consideradas el grupo más importante que interviene en el proceso de polinización, ya que según Potts et al. (2016), esta especie visita más del 90% de los 107 principales cultivos alimentarios en el mundo.

El objetivo de la presente investigación fue elaborar un diagnóstico del riesgo sanitario del avispon gigante asiático bajo un enfoque de epidemiología espacial, con el propósito de coadyuvar en la toma de decisiones en los procesos de vigilancia epidemiológica y de esta manera, proporcionar insumos cartográficos que permitan direccionar estrategias preventivas como medida de protección (técnica y científica) al sector agroalimentario mexicano. El planteamiento de este modelo es fortalecer la toma de decisiones ante el riesgo sanitario asociado al avispon gigante asiático por las posibles afectaciones al sector agroalimentario. Específicamente nos centraremos en las afecciones causadas a cultivos dependientes de la polinización en la República Mexicana, provocados por los hábitos invasivos y de depredación de *V. mandarinia* hacia polinizadores. Nuestro modelo obtenido, se respaldó en la estructuración del territorio como una estrategia de apoyo a los procesos de vigilancia epidemiológica en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

ZONA DE ESTUDIO

De acuerdo con Instituto Nacional de Estadística Geografía e Información (INEGI, 2021), la República Mexicana se localiza en la porción meridional de Norteamérica en el continente americano, colinda al norte con Estados Unidos de América y al sur-sureste con Guatemala y Belice, así como con el Golfo de México y el Océano Pacífico, al este y oeste, respetivamente. Administrativamente se integra por 32 entidades federativas y 2.471 municipios (Fig. 1).

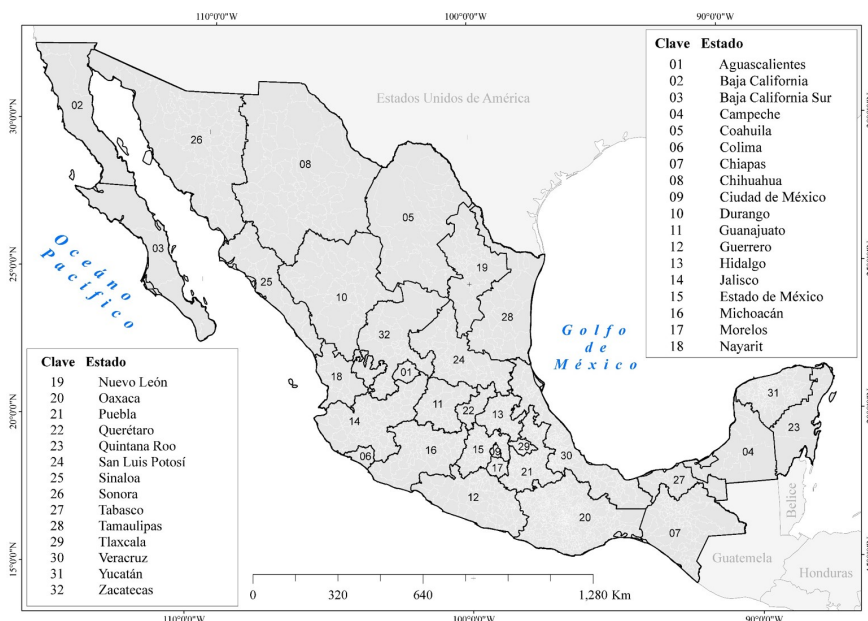


Fig. 1. Conformación territorial de México. Fuente: Elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico Nacional, INEGI
Elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico Nacional, INEGI.

Para dar cumplimiento al objetivo de la investigación, se realizó el modelo cartográfico de riesgo sanitario de *V. mandarinia* que integró los componentes: cultivos agroalimentarios con dependencia a la polinización en 4 rangos (detallados en la Tabla 1), la distribución potencial del avispon gigante asiático, una regionalización por cuadrantes sanitarios y la caracterización de conglomerados (clúster) definidos conforme a la distribución espacial del componente epidémico de la especie.

La polinización es determinante en la calidad de productos agroalimentarios específicamente en sabor, olor, color y valor nutricional (Klein et al., 2007). Para cuantificar cuanto dependen los cultivos de sus polinizadores, se utilizó la agrupación de productos agroalimentarios expresado en porcentaje de polinización de acuerdo a Heiblum-Robles (2019), en la que evidencia cultivos de importancia económica y su porcentaje de polinización, los cuales se agrupan en los cuatro rangos señalados en la Tabla I. El impacto más bajo, un 10% de déficit en la polinización, indica que se puede producir hasta un 10% menos de los cultivos implicados, y de manera extrema, un 100% de dependencia a la polinización indica que sin polinizadores no pueden existir esos productos agroalimentarios.

0 a 10%	11 a 40%	41 a 90%	91 a 100%
Chile	Café	Almendra	Cacao
Papaya	Soya	Pepino	Vainilla
Limón	Algodón	Manzana	Melón
Naranja	Girasol	Aguacate	Sandia
Cacahuete	Fresa	Mango	Calabaza
Frijol	Berenjena	Durazno	Calabacita
Linaza	Higo	Frambuesa	

Tabla I. Grupos de cultivos agroalimentarios del sector agrícola mexicano conforme porcentaje de polinización.

Tomado de Klein, et al., 2007.

Derivado de lo anterior, se realizó una reclasificación espacial de los Cultivos Agroalimentarios del Sector Agrícola Mexicano según Porcentaje de Polinización (en adelante CA-SAM-PP), definiendo los cuatro grupos descritos anteriormente. Para cada grupo, se calcularon las relaciones topológicas a nivel municipal conforme a la superficie sembrada (expresada en hectáreas), lo cual, se obtuvo a partir de los datos oficiales de estadísticas agrícolas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SIAP-SADER, 2018).

La definición espacial se realizó a través de un procedimiento de unión entre relaciones espaciales por medio de la herramienta “Join” utilizado para incorporar atributos entre una base de datos y una cobertura espacial (límite municipal). El proceso involucró la relación por campos semejantes, mediante la utilización de la clave municipal definida por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información. En este caso se consideró, el total de superficie sembrada, los grupos de cultivos de importancia económica según porcentaje de polinización y los límites municipales, enmascarados en la superficie agrícola del continuo nacional de la cobertura de Uso de suelo y vegetación, escala 1:250000 (Serie VI del INEGI 2016; <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>).

El espacio geográfico otorga el soporte para que los aspectos relacionales proporcionen generalidades de las entidades que se analizan (Buzai & Baxendale 2011), identificando desde una perspectiva geométrica, la conexión entre diferentes atributos sobre un territorio específico (Fuenzalida et al., 2015). Las relaciones topológicas (operaciones de tipo lógico) permiten la unión de atributos geográficos (total de superficie sembrada), conforme un límite territorial mediante las relaciones de los elementos en el espacio (límite municipal), lo que permite combinar eficazmente información básica para obtener información derivada y no existente.

El segundo criterio que se estimó fue el modelo distribución potencial de *V. mandarinia*. Para ello, el modelo incorporó datos georreferenciados de las detecciones ocurridas a finales de 2019 en British Columbia y en Blaine en Norteamérica (Looney et al., 2020), como áreas invadidas,

y en Pakistán (Khaliq-Khan et al., 2017) y Japón (Fujiwara et al., 2016) como áreas nativas. La distribución potencial se estimó a través de datos de presencia, expresados en coordenadas geográficas decimales (latitud, longitud) con Datum WGS84 (Ponder et al., 2001; Stockwell & Peterson, 2002). El procesamiento en el software de MaxEnt (Phillips et al., 2004), se inició con el uso de una semilla aleatoria de forma iterativa con un porcentaje del tamaño de la muestra de validación de 0.2. Este proceso se realizó por la asociación espacial entre los sitios de presencia con las variables ambientales de la base global BIOCLIM (Tabla II), en el software MaxEnt v3.3.3e. lo que permitió predecir la distribución probable de la especie (Phillips et al., 2004), siendo las áreas que satisfacen los requisitos del nicho ecológico las que permiten definir parte de la distribución potencial del avispon gigante asiático (Anderson & Martínez, 2004).

	Clave	Variable	Unidad
Temperatura	BIO1	Temperatura media anual	°C
	BIO2	Rango diurno medio (Media mensual (temp máx - temp mín))	
	BIO3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) (× 100)	
	BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar × 100)	
	BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido	
	BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	
	BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)	
	BIO8	Temperatura media del cuarto más húmedo	
	BIO9	Temperatura media del cuarto más seco	
	BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido	
	BIO11	Temperatura media del cuarto más frío	
Precipitación	BIO12	Precipitación anual	Mm
	BIO13	Precipitación del mes más húmedo	
	BIO14	Precipitación del mes más seco	
	BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	
	BIO16	Precipitación del cuarto más húmedo	
	BIO17	Precipitación del barrio más seco	
	BIO18	Precipitación del trimestre más cálido	
	BIO20	Precipitación del cuarto más frío	

Tabla II. Variables macroambientales utilizadas en el modelado de distribución potencial.

A través de la superposición cartográfica mediante una intersección de coberturas se realizó un enmascaramiento con la superficie agrícola nacional (serie VI), lo que permitió delimitar territorialmente las áreas en riesgo sanitario. En complemento, se elaboró una rejilla (o grid) por divisiones de tipo lógicas (Balmaceda, 1973), que es una técnica que posee gran aptitud en la definición y caracterización de territorios estructurados espacialmente (Buzai & Baxendale, (2011).

Finalmente, se realizó la asociación del análisis espacial/epidemiológico y el análisis de clúster, lo que permitió la caracterización espacial del riesgo sanitario (Dal Maso & Montecchio, 2014). El modelo de riesgo sanitario resultante se evaluó mediante el *Índice de Moran* que es una prueba geoestadística que otorga certeza a la continuidad espacial del riesgo sanitario de *V. mandarinia*, permitiendo medir la autocorrelación espacial a partir de la ubicación del riesgo, evaluando si el patrón espacial está agrupado, disperso o aleatorio.

RESULTADOS

El modelado y caracterización de productos dependientes de polinizadores en México identificó 5.141.355 ha de cultivos agroalimentarios susceptibles con cierta dependencia a la polinización (Figs. 2a, 2b, 2c, y 2d). Sin embargo, conforme con la importancia de polinización, el 4,88% de la superficie identificada requiere de una polinización totalmente efectiva (91 a 100%), un 13,50% requiere entre el 41 y 90%, 24,69% entre 11 a 40% y finalmente, más de la mitad de la superficie (57%) requiere de 1 a 10% de la polinización.

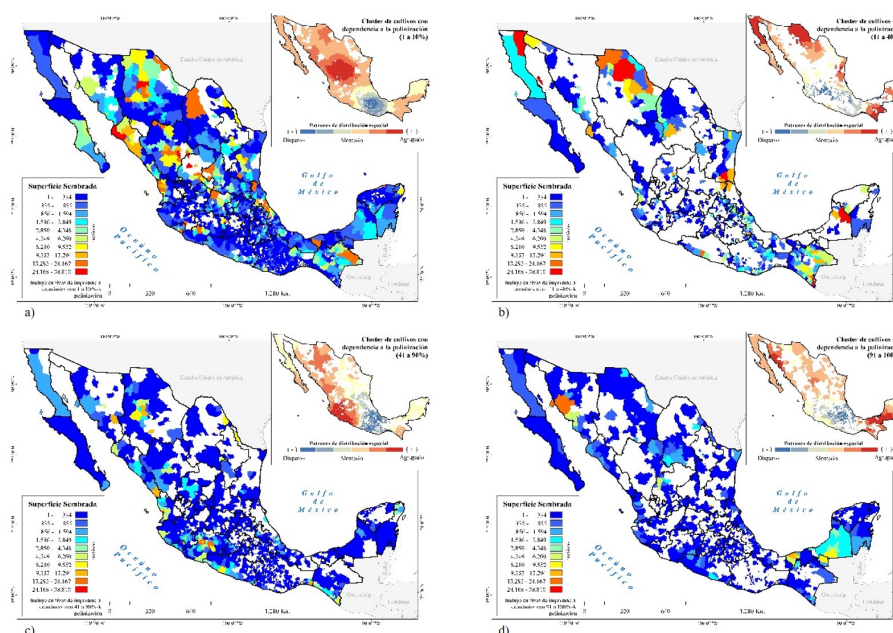


Fig. 2. Distribución espacial de Cultivos Alimenticios del Sector Agrícola en México según Porcentaje de Polinización (CA-SAM-PP). Superficie sembrada (mapa ubicado del lado inferior izquierdo) y conglomerados (mapa de la esquina superior derecha): a) Grupo 1-10%, b) Grupo 11-40%, c) Grupo 41-90% y d) Grupo 91-100%. La representación espacial de la superficie sembrada se refleja en la cartografía mediante una paleta de colores que va de tonalidades de frías a cálidas, es decir, de azul a rojo, representado de menor a mayor densidad respectivamente.

El modelo cartográfico de productos agrícolas dependientes a la polinización permitió identificar áreas compactas de riesgo sanitario con un patrón de distribución espacial agrupado. El grupo CA-SAM-PP (1-10%) identificó dos conglomerados con la mayor densidad (Fig. 2a) y el grupo CA-SAM-PP (11-40%) cinco conglomerados con la mayor densidad (Fig. 2b). Dentro del grupo CA-SAM-PP (41-90%) se identificaron dos agrupamientos con la mayor densidad (Fig. 2c) y finalmente para el grupo CA-SAM-PP (91-100%) permitió definir dos conglomerados con la mayor densidad (Fig. 2d). Los conglomerados o agrupamientos altamente densos (Figs. 2a, 2b, 2c, y 2d, parte superior derecha de cada mapa), estadísticamente poseen un patrón de distribución espacial agregado, evidenciando superficies existe la mayor concentración de cultivos señalados en la Tabla I.

La distribución potencial de *V. mandarinia* resultó un modelo robusto respaldado en el análisis del área bajo la curva (valor ROC (“Receiver Operating Characteristic”) =0,903; modelo óptimo: $0.7 < \text{ROC} > 1$; Herrick et al., 2013). Estadísticamente el modelo de distribución potencial es equivalente a un proceso de Poisson puntual ponderado (Fithian & Hastie 2013; Royle et al., 2012), es decir, la distribución potencial de *V. mandarina* fue definida por circunstancias restrictivas asociadas de manera positiva al componente térmico.

Ambientalmente, el modelo de similitud climática del avispon gigante asiático respondió a contribuciones térmicas que favorecen la distribución potencial de la especie en un 51,4%. De manera específica las variables con mayor aporte fueron la isothermalidad (BIO3) y el rango anual de temperatura (BIO7), las cuales, caracterizaron el modelo en un 36,5% y 14,9% respectivamente, similar a trabajos previos (Barbet-Massin et al., 2020).

Territorialmente se identificó las áreas ambientalmente óptimas en la distribución potencial de *V. mandarinia* en la Planicie Costera del Golfo e Istmo de Tehuantepec donde existen condiciones ambientales con aptitud media/alta semejantes a las referencias. Además, se identificaron superficies de menor extensión en la Península de Yucatán, Península de Baja California y porciones de la Costa del Pacífico, donde presenta una aptitud ambiental de media/baja que no dejan de representar un riesgo sanitario al identificarse como áreas que ambientalmente tienen el potencial que favorece a la especie (Fig. 3).

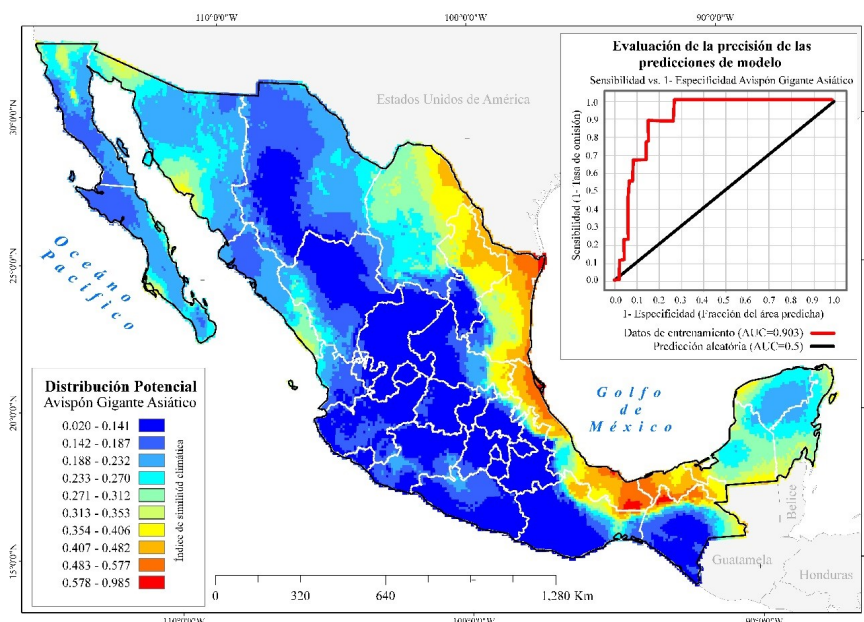


Fig. 3. Distribución potencial del avispon gigante asiático en México, de acuerdo al componente ambiental. En la esquina superior derecha se muestra el análisis del área bajo la curva (AUC).

Finalmente, el análisis de riesgo sanitario con el enfoque espacial epidemiológico permitió caracterizar un diagnóstico en cuatro niveles de riesgo: bajo (Fig. 4), medio (Fig. 5), alto (Fig. 6) y muy alto (Fig. 7).

Riesgo sanitario bajo:

En escala nacional la superficie en riesgo sanitario bajo representa 2.879 millones de hectáreas. Las consideradas prioritarias, se distribuyen en el centro y norte de Veracruz, así como en Tabasco (tonalidades rojas y naranja) fuera de los conglomerados sanitarios identificados, lo que sugiere que son áreas extensas con diversidad de cultivos dependientes de la polinización en un rango del 1 a 10%. El nivel de riesgo sanitario bajo involucró 1.979 municipios que en conjunto aportaron 74,8 billones de pesos mexicanos al valor de la producción del año de referencia, en este nivel de riesgo los cultivos estratégicos son: cacahuete, chile seco, chile verde, frijol (en tres modalidades), limón, limón real, linaza, linaza ornamental, naranja y papaya (SIAP-SADER, 2018).

Regionalmente, en riesgo sanitario bajo se identificaron 1.621 cuadrantes óptimos para realizar estrategias preventivas de vigilancia epidemiológica para *V. mandarinia*, de los cuales 443 se consideran prioritarios. Se identificaron cuatro clúster agroalimentarios con dependencia a la polinización entre 1 y 10%, el de mayor importancia por extensión abarca la mayor parte del estado de Zacatecas, la porción sur-sureste de Durango, el altiplano Potosino y pequeñas porciones del suroeste de Coahuila, norte de Aguascalientes y norte de Jalisco (Fig. 4).

En complemento, existen dos clúster agrícolas secundarios adyacentes al anterior: el de menor extensión abarca la zona centro y altiplano de San Luis Potosí, las porciones sur de Aguascalientes y Zacatecas, así como el norte de Guanajuato y Jalisco, del mismo modo abarcó la porción norte del país desde la parte central de Nuevo León, Sur de Coahuila, norte de Durango, extendiéndose por casi todo Sinaloa hasta la parte Sur de Sonora, y finalmente el cuarto clúster se ubica al norte del estado de Chihuahua (Fig. 4).

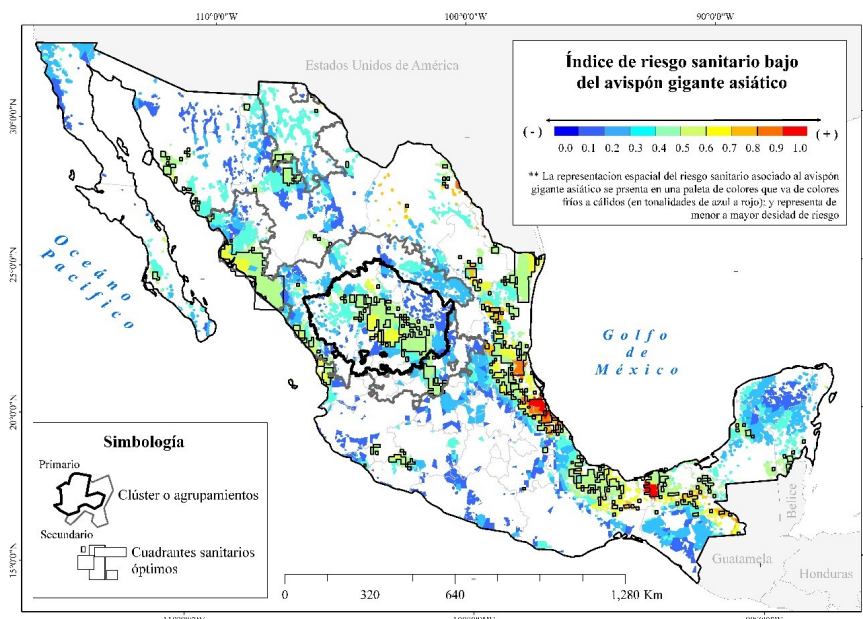


Fig. 4. Modelo cartográfico de riesgo sanitario bajo asociado al avispon gigante asiático y cultivos agroalimentarios con dependencia a la polinización entre 1 y 10%.

Riesgo sanitario medio:

En la república mexicana la superficie en riesgo sanitario medio permitió identificar 1.341 millones de hectáreas, que involucran el ambiente óptimo para el avispon gigante asiático. Esta superficie se distribuyó en 726 municipios, y se obtuvo a partir de la distribución espacial de los cultivos: algodón hueso, berenjena, café cereza, fresa (fruta y planta), girasol, girasol gruesa, higo y soya, que de manera conjunta presentaron un aporte económico estimado de 37,04 billones de pesos mexicanos (SIAP-SADER, 2018).

En escala regional, en riesgo sanitario medio se identifican superficies prioritarias como la ubicada en la región Huasteca que comparten los estados de Tamaulipas, Veracruz y San Luis Potosí (tonalidades rojas y naranja). Así mismo, se identifican 771 cuadrantes óptimos para realizar acciones preventivas de vigilancia epidemiológica, de los cuales 257 se pueden considerar prioritarios. Además, se identifican cuatro clúster agrícolas prioritarios y dos secundarios (Fig. 5).

En orden de magnitud se encuentra el clúster que abarca desde la región huasteca norte y se extiende por la planicie costera del golfo en Veracruz, San Luis Potosí, la porción este de Nuevo León y Tamaulipas (tonalidades de naranja a rojo). Seguida de una extensión en riesgo sanitario medio (tonalidades de amarillo a verde) por el clúster defendido en el norte de Chihuahua y noroeste de Coahuila. Así mismo se ubican los clúster secundarios en el norte de la península de Baja California y otra en la porción central de la Península de Yucatán (Fig. 5).

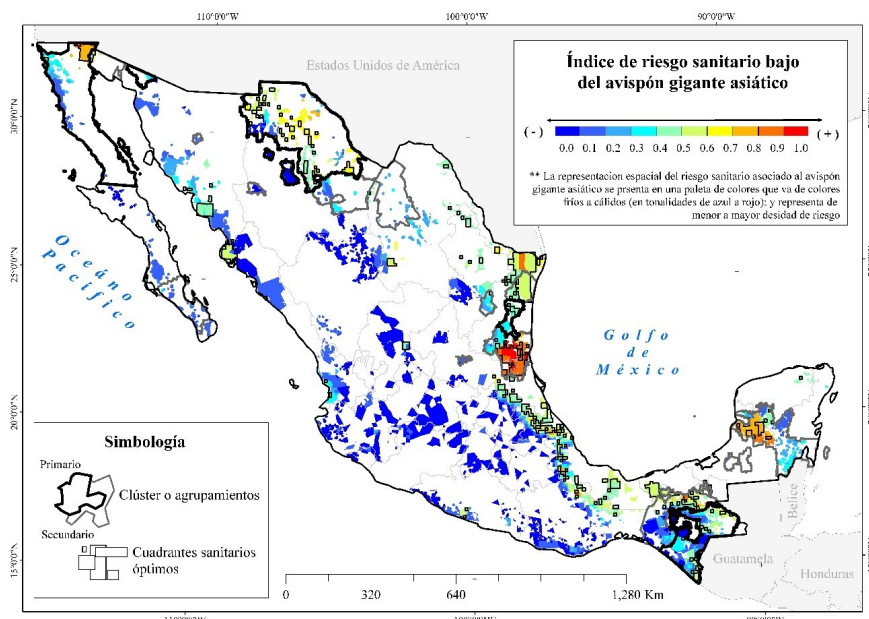


Fig. 5. Modelo cartográfico de riesgo sanitario medio asociado al avispon gigante asiático y cultivos agroalimentarios con dependencia a la polinización entre 11 y 40%.

Riesgo sanitario alto:

En escala nacional riesgo sanitario alto se identificó 638 mil hectáreas con el potencial de favorecer la introducción y establecimiento de *V. mandarinia*, siendo áreas cultivables que necesitan de 41 a 90% de polinización para una producción agroalimentaria efectiva, e involucro los cultivos: aguacate, durazno, frambuesa, mango, manzana y pepino. Dicha superficie se distribuye en 460 municipios, que de manera conjunta aportaron 71,10 billones de pesos mexicanos al PIB agrícola nacional (SIAP-SADER, 2018).

A nivel regional la superficie prioritaria se ubicó en una porción entre Sinaloa y Nayarit (tonalidades rojo) en un clúster agroalimentario secundario. De igual manera, se identificó 1.175 cuadrantes óptimos de los cuales 349 se pueden considerar prioritarios. En complemento, se identificó un clúster prioritario de gran extensión en la región occidente/pacífico y tres secundarios adyacentes a la costa noroeste del Pacífico (Fig. 6).

El clúster prioritario en riesgo alto abarca el centro y norte del estado de Jalisco, Colima, de la porción central a la costa de Michoacán y la porción adyacente de Guerrero donde existen áreas de riesgo sanitario representadas en tonalidades de amarillo a naranja. Los clúster secundarios representan una franja que abarca de Sonora y Chihuahua hasta Guerrero, seccionada en tres porciones, así como al norte el territorio entre Sonora y Chihuahua, en la porción costa del pacífico sur de Sinaloa y sur-sureste de Durango, y la tercera en la porción se ubicó en la región occidente/pacífico adyacente el clúster prioritario en este rango de riesgo sanitario (Fig. 6).

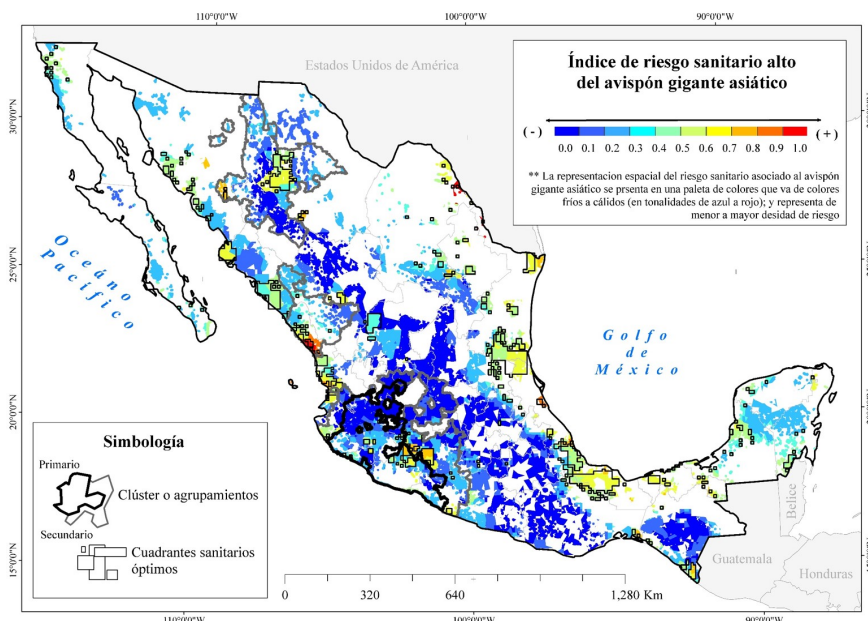


Fig. 6. Modelo cartográfico de riesgo sanitario alto asociado al avispon gigante asiático y cultivos agroalimentarios con dependencia a la polinización entre 41 y 90%.

Riesgo sanitario muy alto:

En escala regional y con el más elevado nivel de riesgo sanitario (muy alto) se identificó una superficie de 236 mil hectáreas, así como 989 cuadrantes óptimos, de los cuales 184 se pueden considerar prioritarios. Cabe señalar que, de manera local los territorios prioritarios se ubican en el oeste de Tabasco (tonalidad roja), así como en porciones del norte de Campeche, Noreste de Tamaulipas y en la costa central del estado de Sonora (tonalidad naranja). Además, en la planicie costera del golfo desde Tamaulipas hasta Campeche existen condiciones de riesgo sanitario muy alto, representado en tonalidades de verde a amarillo. Así mismo en un nivel de riesgo muy alto con menor intensidad (tonalidades de verde a azul agua) se encuentra la costa del Pacífico desde Sonora hasta Nayarit (Fig. 7).

La estimación del riesgo sanitario muy alto involucró los cultivos: cacao, calabacita, calabaza, calabaza “semilla”, melón, melón amargo, sandía y vainilla distribuidos en 853 municipios que de manera conjunta presentaron un aporte de 15.60 billones de pesos como valor de producción (SIAP-SADER, 2018).

Regionalmente, en riesgo sanitario muy alto se identificaron dos clúster prioritarios y uno secundario, en orden de importancia el primer prioritario se ubicó en el sureste de México en Tabasco y Campeche, circundado por una superficie compacta secundaria, el segundo se ubicó en la costa de Sonora con una porción adyacente al sur y norte del mismo estado. Así mismo, se identificó un clúster secundario en la porción este del estado de Durango con menor extensión territorial. Cabe señalar el riesgo sanitario de *V. mandarinia* muy alto espacialmente coincidió

con la ubicación de los clúster prioritarios óptimos para la vigilancia epidemiología del avispon gigante asiático (Fig. 7).

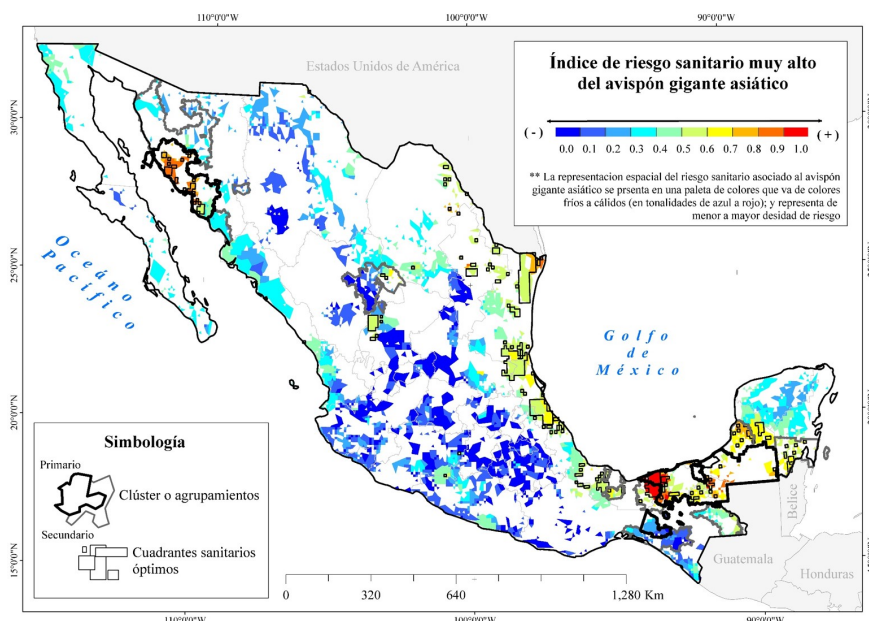


Figura 7. Modelo cartográfico de riesgo sanitario muy alto asociado al avispon gigante asiático y cultivos agroalimentarios con dependencia a la polinización entre 91 y 100%.

Las 5.141 millones de hectáreas con algún nivel de riesgo sanitario (bajo, medio, alto y muy alto) puede favorecer la introducción o establecimiento del avispon gigante asiático. Sin embargo, los 17 clúster definidos mediante la interacción espacial de las condiciones ambientes (mayormente por el factor térmico) y la extensión de cultivos dependientes a la polinización, contó con un patrón de distribución espacial agrupado, siendo áreas consideradas estadísticamente significativas, resultado que se respaldó por una autocorrelación espacial elevada, sustentada en el Índice de Moran (IM), que según el nivel riesgo se obtuvo: (riesgo sanitario bajo, IM: 0.3176), (riesgo sanitario medio, IM: 0.1840), (riesgo sanitario alto, IM: 0.2470) y (riesgo sanitario muy alto, IM: 0.6926). Además, los cuatro niveles de riesgo sanitario presentaron un “z-score” y un “p-value” elevados, lo que indica que existe menos del 1% de probabilidad que el agrupamiento del riesgo sanitario para *V. mandarinia* en los cuatro niveles analizados pueda ser resultado de la casualidad.

DISCUSIÓN

El diagnóstico espacial del riesgo sanitario del avispon gigante asiático permitió identificar superficies óptimas en las que se pueden establecer, realizar o re-direccionar estrategias de vigilancia epidemiología a escala regional y local. Se evidenció el riesgo sanitario en cuatro rangos (bajo, medio, alto y muy alto) expresado de manera espacial mediante un índice de riesgo sanitario, el cual se representó cartográficamente en tonalidades de colores fríos (azul), cuando existe un nivel de riesgo

sanitario mínimo, y por el contrario en tonalidades marrón (rojo) cuando el nivel de riesgo sanitario elevado. El ambiente óptimo para el desarrollo del avispon gigante asiático ante la posible introducción o establecimiento en la República mexicana fue determinado en buena medida por el factor térmico, y las áreas prioritarias para la vigilancia epidemiológica se definieron en asociación con la distribución potencial de *V. mandarinia* y el porcentaje de polinización de cultivos de importancia económica.

De manera específica se identificaron porciones territoriales prioritarias para establecer o direccionar estrategias preventivas ante una posible introducción o establecimiento de *V. mandarinia*, las cuales se denominaron cuadrantes sanitarios que involucran superficie sembrada de cultivos agroalimentarios según porcentaje de priorización. Así como los denominados clúster agroalimentarios se realizaron conforme al patrón de distribución de cada nivel de riesgo sanitario (bajo, medio, alto y muy alto), lo anterior, se realizó mediante la integración de las relaciones interespecíficas de la biología y hábitos del avispon gigante asiático, considerado un agente con potencial devastador para la apicultura y en consecuencia para la agricultura. En un contexto espacial epidemiológico, se identificaron regionalmente 4.556 cuadrantes en riesgo sanitario, de los cuales el 27,34% se pueden considerar cuadrantes prioritarios. Además, fueron definidos 17 clúster sanitarios que epidemiológicamente cumplen con las condiciones que favorecen la introducción o establecimiento de *V. mandarinia*.

Los productos dependientes de polinizadores son en su mayoría frutas, semillas y nueces, que proveen una mayor riqueza nutricional y son fuentes principales de vitaminas A, C, ácido fólico y otros micronutrientes (Potts et al., 2016). Al respecto, en México existen cerca de 5 millones de hectáreas de cultivos con cierto nivel de dependientes a la polinización con un aporte económico de alrededor de 5,1 billones de pesos mexicanos, que de manera indirecta podrían verse afectadas por el comportamiento depredador e invasor del avispon gigante asiático, lo que conllevaría afectaciones en la seguridad alimentaria, así como en la economía apícola y agrícola nacional. Cabe señalar que en cada categoría puede existir repercusiones en la seguridad alimentaria, reflejando una insuficiencia de alimentos como frutas, verduras, semillas y nueces, señaladas en la Tabla I, lo cual puede ser reflejando territorialmente según el nivel de riesgo sanitario expresado en la cartografía (Figs. 4, 5, 6 y 7).

El modelado geoespacial aplicado a problemas sanitarios, ha contribuido en la elaboración de escenarios de riesgo con una perspectiva epidemiológica, espacial y temporal (Photis 2016; Robinet et al., 2018; Lioy et al., 2019). Se puede considerar una estrategia con el potencial de fortalecer la toma de decisiones ante el riesgo que representan las plagas exóticas como el avispon gigante asiático, de manera específica sobre la estimación, determinación y priorización de superficies para llevar a cabo las acciones de vigilancia epidemiológica sanitaria en un área geográfica. Nuestros resultados se presentan como una estrategia para fortalecer las acciones de exploración, trampeo preventivo y colocación de parcelas

centinelas bajo un enfoque preventivo para contrarrestar los posibles efectos adversos que ocasionan las invasiones biológicas.

Bajo el enfoque de “One Health”, las medidas sanitarias deben “Sustentarse en evidencias y principios científicos, tomando en cuenta, cuando corresponda, las diferentes condiciones geográficas y otros factores pertinentes”. Por ello la presente investigación se desarrolló con base en la epidemiología espacial bajo la premisa de que todos los fenómenos desarrollados en el territorio se encuentran relacionados unos con otros (Pesce, 2010; Valera-Bernal, 2012). Esta investigación permitió examinar las conexiones existentes, al considerar sus influencias recíprocas para comprender las causas (epidemiología de la especie) y consecuencias (las posibles afectaciones al sector agrícola) (Rojas-Salazar, 2005; Buzai, 2007).

El modelo cartográfico de riesgo sanitario puede considerarse una herramienta tecnológica con el potencial de fortalecer las acciones de prevención ante la posible introducción, establecimiento y dispersión de especies consideradas invasoras, como el avispon gigante. Nuestros resultados otorgan un sustento técnico/científico que permite coadyuvar en el fortalecimiento de estrategias en el control y manejo de plagas exóticas, al explicar su variabilidad y la capacidad de dispersión (Tapia-Rodríguez et al., 2020). Sumado a esto, este tipo de enfoques ha contribuido en la evaluación de la incidencia de plagas y enfermedades transfronterizas (Márquez-Pérez et al., 2018) y es utilizado en la definición de clúster de riesgo fitosanitario (Rivera-Martínez et al., 2020).

La biología y hábitos de la especie resultan elementos esenciales en la estimación del riesgo sanitario, incluso, puede fortalecer el desarrollo de estrategias fito/zoosanitarias y de salud pública (Safni et al., 2018). De manera particular permiten coadyuvar en el control de plagas agrícolas (van den Eynde et al., 2020), así como fortalecer los sistemas de pronóstico de plagas y enfermedades en materia de especies exóticas (Islam, 2018). De acuerdo con Hutchinson (1957) es vital integrar los requisitos para la sobrevivencia de la especie, que en Biología de la Conservación se denomina el nicho ecológico, es decir, la distribución potencial de la especie.

Nuestro modelo cartográfico de riesgo sanitario de *V. mandarinia* tiene el potencial de robustecerse con la integración de otros criterios o variables en la definición de la probabilidad de introducción, establecimiento o dispersión de la especie. De acuerdo con Norderud et al. (2021), es pertinente realizar modelos con mayor definición espacial, lo cual se puede enriquecer con elementos muy puntuales como: el hábitat óptimo para anidación (biomasa forestal) y la proximidad con nodos comerciales (puertos marítimos con arribo de cargueros transcontinentales), que son elementos que incrementan el riesgo de introducción del avispon gigante asiático a México y de manera general al continente americano.

CONCLUSIÓN

Los problemas sanitarios deben estudiarse bajo una perspectiva integradora, ya que los organismos exóticos interactúan en un nuevo ecosistema. Por tanto, es primordial diseñar y aplicar estrategias con base en investigación científica que permita fortalecer la implementación de estrategias en la prevención, control y erradicación de problemas fito-zoosanitarios y de salud pública. Los modelos cartográficos de riesgo sanitario de *V. mandarinia* (bajo, medio, alto y muy alto) obtenidos en esta investigación presentan una mejora en la resolución espacial empleada, respecto a modelos previos publicados a nivel continental. Por lo que, se lograron identificar áreas territorialmente más detalladas para fortalecer las acciones preventivas ante una posible introducción, establecimiento o dispersión en la República Mexicana.

Los territorios o superficies identificados en algún nivel de riesgo sanitario (bajo, medio, alto o muy alto) puede considerarse un insumo técnico/ científico con el potencial de coadyuvar en el establecimiento o ubicación de estrategias en la red de vigilancia epidemiológica del avispon gigante asiático en territorio mexicano. Sin embargo, es pertinente considerar otros criterios esenciales en la epidemiología del avispon gigante asiático, como la temporalidad de los cultivos estratégicos asociados a los cuatro rangos de polinización (1-10%; 11-40%; 41-90% y 91-100%). Incluso es primordial considerar la ubicación geográfica (proximidad) respecto a los sitios de ingreso de mercancías procedentes donde *V. mandarina* se encuentra presente (puertos, aeropuertos y puntos fronterizos).

REFERENCIAS

- Agronet (2020) Avispones gigantes ponen en riesgo ecosistemas. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Avispones-gigantes-ponen-en-riesgo-ecosistemas.aspx>.
- Anderson, R.P. & Martinez-Meyer, E. (2004) Modeling species geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation*, **116**, 167-179.
- Arca, M., Papachristoforou, A., Mougél, F., Rortais, A., Monceau, K., Bonnard, O., Tardy, P., Thiéry, D., Silvain, JF. & Arnold, G. (2014) Defensive behaviour of *Apis mellifera* against *Vespa velutina* in France: Testing whether European honeybees can develop an effective collective defence against a new predator. *Behavioural Processes*, **106**, 122-129.
- Balmaceda, R.R.C. (1973) Geografía Regional: Teoría y Aplicación. Estrada. Buenos Aires.
- Barbet - Massin, M., Rome, O., Muller, F., Perrard, A., Villemant, C. & Jiguet, F. (2013) Climate change increases the risk of invasion by the Yellow-legged hornet. *Biological Conservation*, **157**, 4-10.
- Barbet-Massin, M., Salles, J.M., & Courchamp, F. (2020). The economic cost of control of the invasive yellow-legged Asian hornet. *NeoBiota*, **55**, 11-25..

- Bradshaw, C.J.A., Leroy, B., Bellard, C., Roiz, D., Albert, C., Fournier, A., Barbet-Massin, M., Salles, J.M., Simard, F. & Courchamp, F. (2016) Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nature Communications*, ., 12986.
- Buzai, G.D. (2007) Dilemas de la relación Geografía-SIG entre la disciplina, la interdisciplina y la transdisciplina”. *GeoFocus*, ., 5-7.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. (2011) Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- CABI (2020) Compendio de especies invasoras. *Vespa mandarinia* (avispon gigante asiático). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/35294260#tosummaryOfInvasiveness>
- CEDRSSA (2021) Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria <http://www.cedrssa.gob.mx/>.
- Cini, A., Cappa, F., Petrocelli, I., Pepiciello, I., Bortolotti, L. & Cervo, R. (2018) Competition between the native and the introduced hornets *Vespa crabro* and *Vespa velutina*: a comparison of potentially relevant life-history traits. *Ecological Entomology*, **43**, 351-362.
- Dae-hyeon, B., Sunghoon-Jung. & Wang-Hee, L. (2018) Review of CLIMEX and MaxEnt for studying species distribution in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, **11**, 325-333.
- Dal Maso. E & Montecchio, L. (2014) Risk of Natural Spread of *Hymenoscyphus fraxineus* with Environmental Niche Modelling and Ensemble Forecasting Technique. *Forest Research*, ., 1000131.
- FAO. 2021. Es hora de apreciar la labor de los polinizadores. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1129811/>.
- Fick, S.E. & Hijmans, R.J. (2017) WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, **37**, 4302-4315.
- Fithian, W. & Hastie, T. (2013) Finite-Sample Equivalence of Several Statistical Models for Presence-Only Data. Department of Statistics Stanford University. *Annals of Applied Statistics*, ., 1917-1939.
- Fuenzalida, M., Buzai, G.D., Moreno-Jiménez, A. & García de León, A. (2015) “Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones”. 1ra ed., Santiago de Chile: Editorial Triángulo.
- Fujiwara, A., Sasaki, M. & Washitani, I. (2016) A scientific note on hive entrance smearing in Japanese *Apis cerana* induced by pre-mass attack scouting by the Asian giant hornet *Vespa mandarinia*. *Apidologie*, **47**, 789-791.
- Heiblum-Robles, A. (2019) Abejas: Insectos polinizadores. Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión. Las abejas son insectos que generan beneficios ecológicos y económicos al mismo tiempo. https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCyTU_19-031.pdf.
- Herrick K.A., Huettmann, F. & Lindgren M.A. (2013) A global model of avian influenza prediction in wild birds: the importance of northern regions. *Veterinary Research*, **13**, 44:42.
- Hutchinson, G. E. (1957) Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, **22**, 415-427.

- INEGI. 2021. Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>.
- Islam, W. (2018) Plant disease epidemiology: Disease triangle and forecasting mechanisms in highlights. *Hosts and Viruses*, ., 7-11.
- Kery, M. (2011) Towards the modelling of true species distributions. *Journal of Biogeography*, 38, 617-618.
- Khaliq-Khan, A., Rafique Khan, M., Ather Rafi, M. & Qasim, M. (2017) Wasp fauna of (Eumeninae, Vespinae and Polistinae) of district Poonch, Azad Jammu and Kashmir (Pakistan). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, .,1587-1590.
- Klein, M.A., Vaissière, E.B., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, A.S., Kremen, C. & Tscharntke, T. (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society*, 274, 303-313.
- Lioy, S., Manino, A., Porporato, M., Laurino, D., Romano, A., Capello, M. & Bertolino, S. (2019) Establishing surveillance areas for tackling the invasion of *Vespa velutina* in outbreaks and over the border of its expanding range. *NeoBiota*, 46, 51-69.
- Looney, C., Spichiger, S.E., Salp, K., van Westendorp, P., Wojahn, R. & Cena, J. (2020) *Vespa mandarinia* in the Pacific Northwest - Initial responses to an invasion by the world's largest hornet. Washington State Department of Agriculture (WSDA), Olympia WA, British Columbia Ministry of Agriculture. <https://www.researchgate.net/publication/342610876>
- Makino S. (2016) Post-hibernation ovary development in queens of the Japanese giant hornet *Vespa mandarinia* (Hymenoptera: Vespidae). *Entomological Science* 19, 440-443. <https://doi.org/10.1111/ens.12205>.
- Márquez-Pérez, F.J., Flores-Sánchez, J.L., Rodríguez Mejía, L., Márquez Gómez, J., Michereff, S.J., Ancona, V., Robles-Bermúdez, A. & Domínguez-Monge, S. (2018) Progress and spatial pattern of Huanglongbing in Persian lime in Nayarit, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, ., e351.
- Matsuura, M., & Sakagami, S. (1973). A bionomic sketch of the giant hornet, *Vespa mandarinia*, a serious pest for Japanese apiculture. *Journal of the Faculty of Science Hokkaido University Series VI: Zoology*, 19, 125-162. [https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/27557/1/19\(1\)_P125-162.pdf](https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/27557/1/19(1)_P125-162.pdf).
- MOA. (2020). Maryland Department of Agriculture. Disponible en: <https://news.maryland.gov/mda/press-release/2015/03/24/usda-provides-nearly-100000-for-maryland-surveys-that-protect-agriculture-plants-from-pests-diseases/>.
- Medina-Medina, L.A., Quezada-Euán, J.J.G. & Vandame, R. (2020) Panorama general sobre el avispon gigante asiático (*Vespa mandarinia*) y riesgos de su posible introducción a México. <https://bit.ly/3hWCTVa>.
- Norderud, D.E., Scott, L., Powell, R.K. & Peterson, D. (2021) Risk assessment for the establishment of the Asian giant hornet (*Vespa mandarinia*) in the Pacific Northwest. DOI: <https://doi.org/10.1101/2021.02.01.429186>
- Núñez- Penichet, C., Osorio-Olvera, L., Gonzalez, V.H., Cobos, M.E., Jimenez, L., de Raad, D.A., Aljkishe, A., Contreas-Diaz, R.G., Nava-Bolaños, A., Utsumi, K., Ashraf, U., Adeboje, A., Townsed- Peterson, A. & Soberon J. (2021) Geographical potential of the world's largest hornet, *Vespa*

- mandarinia* Smith (Hymenoptera: Vespidae), worldwide and particularly in North America. *PeerJ*, ., e10690.
- OIRSA (2020) Guía técnica Avispa Gigante Asiática (*Vespa mandarinia* Smith, 1852). <https://sag.gob.hn/dmsdocument/5418>.
- OIRSA (2021) Evaluación de Riesgo sobre las posibles vías de introducción del Avispon gigante asiático (*Vespa mandarinia* Smith, 1852) a la región del OIRSA. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, San Salvador, El Salvador.
- Pablo, M., Giovanni, L., Santilli, G., Huang, W and Zappacosta, D. (2019) "Maxent Model Application For Tree Pests Monitoring," IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 6664-6667, doi: 10.1109/IGARSS.2019.8898056.
- Pesce, F. (2010) La dicotomía cuantitativa/cualitativa en el método de las ciencias geográficas. <http://repositorio.cfe.edu.uy/handle/123456789/626>.
- Phillips, S.J., Dudík, M. & Schapire, R.E. (2004) A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*. <https://bit.ly/3hTFZt5>.
- Photis, Y.N. (2016) Disease and Health Care Geographies: Mapping Trends and Patterns in a GIS. *Health Science Journal*, **10**, 1-8.
- Ponder, W.F., Carter, G.A., Flemons, P. & Chapman, R. R. (2001) Evaluation of museum collection data for use in biodiversity assessment. *Conservation Biology*, **15**, 648-657. <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1523-1739.2001.015003648.x>
- Potts, S.G., Vera, I.F., Hien, T.N., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J. & Vanbergen, A.J. (2016) Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, **540**, 220-229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>.
- Rivera-Martínez, R., Ramires-Davila, J.R., Martínez-Quiroz, M. & González-Huerta, A. (2020) Spatial modeling of *Bactericera cockerelli* Sulc. nymphs on husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) using of geostatistical technique. *Biotechnia*, **22**, 142-152.
- Robinet, C., Darrouzet, E. & Suppo, C. (2018) Spread modelling: a suitable tool to explore the role of human-mediated dispersal in the range expansion of the yellow-legged hornet in Europe. *International Journal of Pest Management*, **65**, 258-267.
- Rojas Salazar, T. (2005) Epistemología de la Geografía: una aproximación para entender esta disciplina. *Terra Nueva Etapa*, **21**, 141-162.
- Rortais, A., Arnold, G., Dorne, J.L., More, S.J., Sperandio, G., Streissl, F., Szentes, C. & Verdonck, F. (2017) Risk assessment of pesticides and other stressors in bees: Principles, data gaps and perspectives from the European Food Safety Authority. *Science of the Total Environment*, **587**, 524-537.
- Royle, J.A., Chandler, R.B., Yackuli, C. & Nichols, J.D. (2012) Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only data for modelling species distributions. *Methods in Ecology and Evolution*, ., 545-554.
- Safni, I., Subandiyah, S. & Fegan, M. (2018) Ecology, Epidemiology and Disease Management of *Ralstonia syzygii* in Indonesia. *Frontiers in Microbiology*, ., 419.

- SENASICA-SA. (2020) Análisis de Riesgo rápido sobre la probabilidad de ingreso a México del avispon gigante asiático (*Vespa mandarinia*) a partir de la presencia del espécimen en Estados Unidos y Canadá. Dirección General de Salud Animal https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment_data/filer/data/589044/Vespa_mandarinia_actualizacion_nov_2020.pdf.
- SIAP-SADER. 2018. Producción Agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Smith-Pardo, A.H., Carpenter, J.M. & Kimsey, L. (2020) The Diversity of Hornets in the Genus *Vespa* (Hymenoptera: Vespidae; Vespinae), Their Importance and Interceptions in the United States. *Insect Systematics and Diversity*, ., 2.
- Statista. (2021) Global No1, Business. Data Platform. <https://www.statista.com/search/?q=bananas>.
- Stockwell, D.R.B. & Peterson, A.T. (2002) Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling*, **148**, 1-13.
- Tapia-Rodríguez, A., Ramírez-Dávila, J.F., Figueroa-Figueroa, D.K., Salgado-Siclan, M.L. & Serrato-Cuevas R. (2020) Spatial analysis of anthracnose in avocado cultivation in the State of Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology*, **38**, 132-145.
- UME. (2020). University Minnesota Extension. <https://blog-yard-garden-news.extension.umn.edu/2020/05/what-you-need-to-know-about-invasive.html>.
- USDA. (2020) Protecting Pollinators from A New Threat – First-Ever U.S. Sightings of Asian Giant Hornet. United States Department of Agriculture (USDA). <https://www.usda.gov/media/blog/2020/06/22/protecting-pollinators-new-threat-first-ever-us-sightings-asian-giant-hornet>.
- Valera-Bernal, J. (2012) Los principios del método geográfico. <https://web.archive.org/web/20130711215812/http://www.contraclave.es/geografia/principios%20metodo%20geografico.pdf>
- van den Eynde, R., Van Leeuwen, T. & Haesaert, G. (2020) Identifying drivers of spatio - temporal dynamics in barley yellow dwarf virus epidemiology as a critical factor in disease control. *Pest Management Science published*. DOI 10.1002/ps.5851.
- Villemant, C., Barbet-Massin, M., Perrard, A., Muller, F., Gargominy, O., Jiguet, F. & Rome, Q. (2011) Predicting the invasion risk by the alien bee-hawking Yellow-legged hornet *Vespa velutina nigrithorax* across Europe and other continents with niche models. *Biological Conservation*, **144**, 2142–2150.
- Wilson, T.M., Takahashi, J., Spichiger, S.E., Kim, I. & van Westendorp, P. (2020) First reports of *Vespa mandarinia* (Hymenoptera: Vespidae) in North America represent two separate maternal lineages in Washington State, U.S. A; and British Columbia, Canada. *Annals of the Entomological Society of America*, **113**, 468-472.
- Yanagawa, Y., K. Morita, T. Sugiura, Y. Okada. (2007) Cutaneous hemorrhage or necrosis findings after *Vespa mandarinia* (wasp) stings may predict the occurrence of multiple organ injury: A case report and review of literature. *Clinical Toxicology*, **45**, 803-807.

Notas de autor

enrique.zapata@uaslp.mx