Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM
eISSN: 2448-7279 • DOI: https://doi.org/10.14350/rig.61137 • ARTÍCULOS
Núm. 120 • Agosto • 2026 • e61137
www.investigacionesgeograficas.unam.mx

Conglomerados espaciales del riesgo de plagas de *Trogoderma granarium* asociado a actividades antrópicas en México

Spatial clusters of Trogoderma granarium *pest risk associated with anthropogenic activities in Mexico*

Enrique Ibarra Zapata,* Heriberto Méndez Cortes,** Nancy Villegas Jiménez*** y Carlos Ramón Urias Morales‡

Recibido: 14/01/2026 Aceptado: 10/04/2026 Publicado: 19/05/2026

Resumen. En México, el gorgojo khapra (*Trogoderma granarium*) representa una amenaza latente para granos, semillas y productos secos almacenados, por lo que, se categoriza como una plaga cuarentenaria. Se estimaron los patrones de distribución espacial del riesgo de plagas (RP) de origen antrópico asociado a *T. granarium* considerando sus posibles impactos económicos y afectaciones a la seguridad alimentaria. En un contexto espacial-epidemiológico se identificaron cuatro nodos de alto RP, nueve áreas de alta densidad de hospedantes primarios y una superficie de atención prioritaria de 6867.83 km^2. Nuestros resultados contribuyen a fortalecer la toma de decisiones estratégicas en beneficio de la fitosanidad.

Palabras clave: fitosanidad; gorgojo khapra; riesgo fitosanitario; prevención, República Mexicana.

Abstract. In Mexico, the khapra weevil (*Trogoderma granarium*) poses a latent threat to grains, seeds, and stored dry goods, and is therefore categorized as a quarantine pest. The spatial distribution patterns of anthropogenic pest risk (PR) associated with *T. granarium* were estimated, considering their potential economic impacts and effects on food security. Within a spatial-epidemiological context, four high PR nodes, nine areas of high primary host density, and a priority area of 6,867.83 km^2 were identified. Our results contribute to strengthening strategic decision-making for the benefit of plant health.

Keywords: plant health; khapra weevil; phytosanitary risk; prevention, Mexican Republic.

*Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera San Luis-Matehuala Km. 14.5, Ejido Palma de la Cruz, 78321, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2884-0362 Email: enrique.zapata@uaslp.mx . Autor para correspondencia.
**Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera San Luis-Matehuala Km. 14.5, Ejido Palma de la Cruz, 78321, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9537-9794 Email: heriberto.mendeza@uaslp.mx
***Coordinación de Análisis de Riesgo de Plagas, Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria OIRSA. Calle Ramón Belloso, final pasaje Isolde, Colonia Escalón, San Salvador, El Salvador. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9282-645X Email: nvillagas@oirsa.org
‡ Dirección Regional de Sanidad Vegetal, Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria OIRSA. Calle Ramón Belloso, final pasaje Isolde, Colonia Escalón, San Salvador, El Salvador. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6645-9223 Email: curias@oirsa.org

INTRODUCCIÓN

El gorgojo khapra (*Trogoderma granarium*), un coleóptero de la familia Dermestidae, originario del sureste asiático, se considera, a nivel mundial, una de las plagas más destructivas de granos y semillas (Stibick, 2007). Según el Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA, 2020), es una plaga de alto riesgo debido a que sus hospedantes primarios son cultivos de importancia económica y base de la alimentación humana. Globalmente, *T. granarium* figura entre las cien especies invasoras más temidas, y su estatus fitosanitario "presente" puede generar restricciones comerciales significativas (UF-IFAS, 2024).

En el ámbito global, el comercio internacional es regulado por la Organización Mundial del Comercio (OMC) y se rige por normas obligatorias como el Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (AMS), que dictamina los requerimientos específicos para una sanidad vegetal efectiva, es decir, enfocada en la prevención de daños a plantas cultivables y silvestres por plagas y enfermedades, buscando garantizar la inocuidad agroalimentaria (OMC, 2023). En este contexto, la sanidad vegetal constituye un elemento esencial en el trasiego internacional de productos y subproductos agropecuarios.

T. granarium mantiene presencia oficial en 33 países de África, Medio Oriente y Asia, con distribución restringida en algunos países como Israel, Nigeria, Turquía y Yemen, así como una distribución dispersa en Argelia, Chipre, Siria, Marruecos, Túnez y Zimbabue (EPPO 2024). En México, la plaga se considera "ausente" conforme a la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (IPPC, 2020); sin embargo, está incluida en el Listado de Plagas Reglamentadas (DGSV-SENASICA, 2022), con una clasificación oficial como plaga cuarentenaria, con potencial de ocasionar afectaciones económicas como señala la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 5 (IPPC, 2020).

El gorgojo khapra es una especie polífaga, tiene capacidad de atacar alrededor de 26 especies de productos y subproductos vegetales, incluyendo granos, semillas, especias y frutos secos, así como algunos productos de origen animal deshidratados (IPPC, 2012). Su propagación se favorece principalmente por actividades de carácter antrópico como el transporte y almacenamiento de productos agrícolas, que pueden desencadenar la presencia

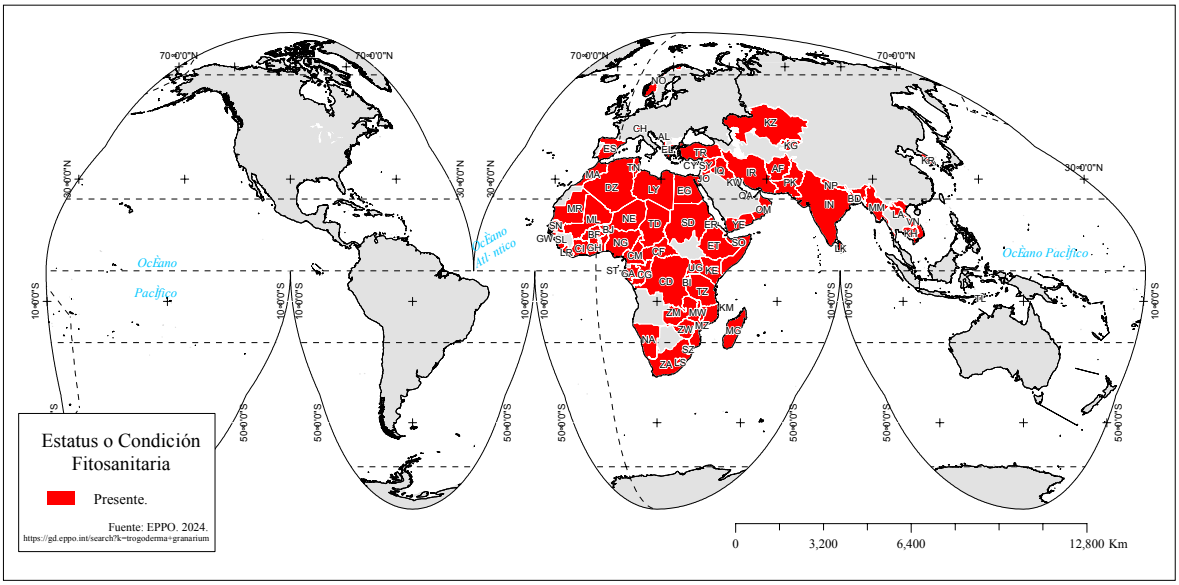


Figura 1. Condición fitosanitaria mundial del gorgojo khapra (*Trogoderma granarium*). Fuente: elaboración propia con datos de EPPO Global Data Base 2025.

de brotes y poblaciones masivas que ocasionan la depreciación comercial de los hospedantes (SENASICA, 2022).

El RP en modalidad antrópica puede derivar de toda actividad humana sobre el medio y la agroindustria. De acuerdo con SEPA (2024), en contexto geoespacial puede analizarse mediante estudios de carácter espacial-epidemiológico, que permiten identificar patrones y tendencias de distribución espacial y con ello, direccionar o establecer estrategias de prevención y mitigación del riesgo. La modelización del RP- antrópico implica el análisis y procesamiento de información cuantitativa derivada del comercio global, del transporte de contenedores y de la movilización de productos, factores que favorecen la posible introducción y dispersión de especies consideradas invasoras como *T. granarium* (McKirdy *et al*., 2019; Bonnamour *et al*., 2021; Eslava, 2023).

Históricamente, la introducción de especies invasoras y exóticas como el gorgojo khapra ha ocurrido como consecuencia de actividades humanas, con impactos significativos en la economía, así como en la sanidad vegetal y ecosistémica (Barrios *et al*., 2014; CONABIO, 2023). Por lo tanto, *T. granarium* como especie, representa una amenaza latente para la seguridad alimentaria en cualquier país productor o importador de granos y semillas, ya que estos, se consideran los principales hospedantes de la plaga y son la base de la seguridad alimentaria y nutricional en muchas regiones; además, a escala global se consideran pilares esenciales de la agricultura (FAO, 2023).

El gorgojo khapra puede completar su ciclo de vida en 26 días a temperatura óptima con un rango térmico oscilante entre 32 y 35 °C; sin embargo, posee la capacidad de prolongarlo hasta 220 días en condiciones desfavorables, sobreviviendo sin alimento por periodos prolongados y ocultándose en contenedores, fisuras o estructuras de almacenamiento (Athanassiou *et al*., 2019; EPPO, 2023). Su dispersión a grandes distancias se produce principalmente mediante el comercio de productos infestados, lo que la convierte en una plaga de alto riesgo para dispersión, introducción y establecimiento en nuevos territorios (IPPC, 2012; CABI, 2020).

Derivado de lo anterior, el objetivo general de la investigación fue estimar los patrones de distribución espacial del RP de carácter antrópico asociado a *Trogoderma granarium* en México, contribuyendo con una base técnico-científica para la planificación de estrategias de prevención y mitigación del riesgo, así como para sustentar las bases que fortalezcan la vigilancia epidemiológica fitosanitaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trata de una investigación observacional y descriptiva que busca establecer relaciones causales entre factores de riesgo y un efecto positivo en el RP-antrópico; además, se considera un estudio ecológico exploratorio que, a partir del análisis de datos, busca generar hipótesis. Este enfoque aplicado en epidemiología espacial pretende incorporar un abordaje transdisciplinario basado en métodos y técnicas del análisis espacial, ciencia de datos y epidemiología, así como la incorporación del componente legal y normativo buscando fortalecer estrategias preventivas en materia de RP.

A nivel mundial, México ocupa el 12°. lugar en producción de alimentos, entre los que destacan hospedantes primarios de *T. granarium* (por ej.). Para el año agrícola 2024 contó con una producción de granos y oleaginosas (maíz, frijol, trigo, arroz, sorgo y soya) de 37 millones 200 mil toneladas, lo que representó un incremento de 2 % respecto a lo reportado en 2018. La modelización de los conglomerados espaciales del RP-antrópico ante el riesgo asociado a *Trogoderma granarium* se abordó desde el enfoque de *Data Science*, a través de un análisis diagnóstico que permite la espacialización cartográfica del RP-antrópico en dos vertientes: descriptiva (para encontrar patrones y perspectivas) y predictiva (para pronosticar tendencias), contribuyendo a fortalecer la toma de decisiones informadas (INSIGHT, 2025).

El procesamiento metodológico de los criterios de análisis se realizó mediante minería de datos, análisis, geoprocesamiento e interpretación de los elementos que permiten estimar el RP-antrópico, a partir de diferentes fuentes oficiales. La minería de datos se realizó a escala nacional, a partir de la

interacción de diferentes bases de datos (BD) que sustentan la modelización del RP-antrópico, las cuales son: C_1: localización de los puertos marítimos, del Sistema Portuario Nacional (SCT 2023), C_2: estadísticas de los puertos de México, del Informe Estadístico Mensual de Movimiento de Carga y Buques (SEMAR 2023), así como C_3, y C_4: Almacenamiento de granos y semillas del Directorio de Unidades Económicas (INEGI-DENUE 2023), considerados criterios esenciales en la estimación del RP conforme a la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) en la NIMF No. 2 "Marco para el Análisis de Riesgo de Plagas"

Posteriormente, se realizó un procedimiento que derivo en la reestructuración de datos originales a diferentes bases de datos espaciales (BDE), en las que de manera cuantitativa se asignó valores en el contexto espacio-dimensional: C_1) Geolocalización de los puertos marítimos, con la asignación de latitud, longitud y altitud conforme al sistema de coordenadas WGS-1984; C_2) Volumen de contenedores de ingreso según puerto marítimo con base en la geolocalización del C_1; C_3) Localización georreferenciada de centros de acopio (según sistema de coordenadas WGS84 como C_1) y C_4) Con la asignación del atributo espacial en volumen de granos y semillas (alimenticios y agropecuarios) en la república mexicana conforme la geolocalización de C_3 (Tabla 1).

La integración y análisis de información se realizó en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los softwares ArcMap V 9.1 y GeoDa V.3.3, ya que permiten la integración de diferentes BDE y de acuerdo con García *et al.,* (2018), posibilita generar conocimiento para describir patrones y comportamientos basados en un contexto espacial (geográfico), con el fin de dar soporte en la toma de decisiones estratégicas. Este tipo de abordaje metodológico tiene el potencial de integrar los criterios de riesgo (*Cn*) para descubrir comportamientos y patrones espaciales, realizar predicciones para fortalecer accionabilidad sanitaria ante el RP-antrópico en un territorio donde no se encuentra presente una amenaza agrosanitaria.

Posteriormente, se realizó la representación espacial de la cobertura Shape File (SHP) de C_1 y C_2 mediante el geoprocesamiento de sus respectivas BDE, que integró los atributos de: geolocalización de puertos (nodos de ingreso)/ flujo comercial (volumen de contenedores), considerados Cn esenciales es la estimación de conglomerados espaciales del RP, ya que, la contenedorización por comercio global propicia un incremento sustancial en la aparición de plagas exóticas (Eslava 2023), incluso ejemplares de *T. granarium* han sido interceptados en contenedores en diferentes países (García-Díaz 2018 y SENASICA-DGSV 2023). Por ello, la premisa esencial del RP-antrópico se sustenta en la relación espacial (origen/destino), ya que el flujo comercial representa el medio idóneo en la dispersión de plagas, aún y cuando existe y es obligatoria la aplicación de tratamientos cuarentenarios preventivos en beneficio de la sanidad vegetal global, como establece la NINF No 15, en la que se dictamina

Tabla 1. Variables utilizadas en la modelización del riesgo de plagas-antrópicas ante la amenaza potencial de *Trogoderma granarium* en México 2022.

	Criterios de análisis	Nodos identificados	Contexto de análisis
C_1	Puertos marítimos de ingreso (comercio internacional)	18	E
C_2	Volumen de contenedores	49 488 475	E-D
C_3	Almacenes de semillas de granos alimenticios al por mayor (incluye especies y chiles)	2175	E
C_4	Almacenes al por mayor de semillas para siembra	7593	E-D

E: Espacial; ED: Espacio-Dimensional

Fuente: Secretaria de Marina (2022), https://www.sct.gob.mx/index.php?id=171, Gobierno de México (2022), www.gob.mx/puertosymarinamercante/acciones-y-programas/estadisticas-70565 e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023). https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx

el uso obligatorio de tratamientos cuarentenarios en el embalaje de madera utilizado en el comercio internacional (FAO 2018).

El procedimiento metodológico de C_1 implicó la creación de un SHP puntual a través de la representación cartográfica en el sistema de coordenadas WGS84 con la herramienta "*Display X Y Data*" al agregar datos tabulares de las ubicaciones geográficas (latitud/longitud), que involucró la asignación de campos numéricos y un proceso de estandarización a coordenadas en grados decimales. La validación espacial de C_1 se llevó a cabo mediante la superposición geométrico-cartográfica con los límites administrativos (estatal y municipal), así como con la red nacional de caminos, tomados del INEGI-DENUE (2024), Geoportal CONABIO. (2025a). y Geoportal CONABIO. (2025b). En complemento, para el C_2 se realizó el geoprocesamiento de intersección de BD mediante la herramienta *Spatial Join* que posibilitó la integración de atributos de diferentes con base en metodología de campos homogéneos utilizando la toponimia de cada puerto marítimo (claves oficiales de la Secretaría de Marina (2022) y del Gobierno de México (2022).

El procesamiento de C_3 y C_4 implicó realizar el procedimiento *Display X Y Data* descrito anteriormente, integrando un total de 9,768 registros georreferenciados de sitios catalogados como centros de acopio (almacenamiento de granos y semillas), obtenidos del directorio estadístico nacional de unidades económicas con los atributos de identificación, ubicación y tamaño (INEGI-DENUE 2024). En complemento para los criterios (C_3 y C_4) se modeló el volumen de hospedantes primarios (granos y semillas almacenados) mediante la técnica "*Hotspot"*, o mapa de calor, que representa de manera bidimensional la magnitud de valores dentro de un conjunto de datos, evidenciando la concentración de los criterios de interés, puesto que, en este caso la acumulación de granos y semillas potencializa sitios que favorecen el RP, conforme lo señalado por la DGSV-CNRF (2020).

El geoprocesamiento de los criterios (C_1, C_2, C_3 y C_4), resulta el componente esencial y se considera el soporte del análisis espacial-epidemiológico en la estimación de los conglomerados espaciales del RP-antrópico, lo que permite identificar tres posibles escenarios conforme al análisis de riesgo para plagas cuarentenarias señalado en la NIMF No. 11 (FAO 2006), riesgo de introducción potencial (RIP), riesgo de establecimiento potencial (REP) y el riesgo de dispersión potencial (RDP). Además, como soporte en la delimitación del RP se realizó un análisis geoestadístico, determinando medidas de tendencia central según la distancia euclidiana entre nodos de análisis ($\bar{x}$: media y σ: desviación estándar), realizados y obtenidos del análisis de proximidad, relación y asociación espacial, según los siguientes atributos:

1. Localidades rurales y urbanas (LRU), que permiten estimar la concentración de población tomado de la cobertura SHP de uso de suelo y vegetación series VII (CONABIO 2025c).
2. Radiales fitosanitarios (RFs), que implicó la modelización del área de influencia mediante la herramienta "Buffer" que permiten evidenciar una zona de amortiguamiento considerando los nodos C_1 por comercio internacional a partir de una distancia específica (σ:122 km) .
3. Cuadrantes fitosanitarios (CFs), en escala 1:5,000, concebidos y creado como un marco referencial uniforme para delimitar áreas homogéneas, en este caso de una dimensión (2.9X3.4 km^2), direccionando el posible rumbo dispersión antrópica conforme a vías terrestres federales tomadas de INEGI-CONABIO (2025).

La modelización del RIP se sustenta en la interacción entre C_1, y C_2, con un procedimiento basado en la relación espacial entre los nodos de posible arribo, y su asociación espacial con el volumen de contenedores, que cartográficamente se representó en un mapa temático de coropletas, que permitió cartografiar los patrones y tendencias del ingreso de contenedores en territorio nacional y se representó de manera cartográfica en tonalidades de cálidas a frías (rojo a azul), es decir, de mayor a menor volumen de contenedores por puerto marítimo de ingreso.

En complemento, el RPE integró los criterios de análisis (C_3 y C_4), lo que permitió estimar

el cálculo de la densidad de área por la técnica "*Hotspot*", que posibilitó identificar la magnitud por unidad de área a partir de la geolocalización de los criterios de interés utilizando una función central para ajustar la superficie a cada elemento espacial, además involucró una relación nodal de los sitios posible ingreso de *T. granarium* (localización/densidad). Como sustento estadístico (C_3 y C_4) se analizó los nodos que fungen como sitios que propician las condiciones óptimas para la plaga, lo cual, implicó realizar un geoprocesamiento de líneas de visión "*lines of sight*" permitiendo definir distancias geoestadísticamente representativa ($\bar{x}$, σ), esenciales para delimitar áreas eficientes en la caracterización del RP antrópico.

Finalmente, el RPD se definió considerando la base espacial de los criterios (C_3 y C_4) y sus atributos, a través de la interacción espacial de los nodos de almacenamiento respecto a los nodos de ingreso (C_1), lo que permitió calcular la posible área de dispersión de la plaga caracterizada mediante el método *Geodésic Planar*, involucrando (localización/distancia/rumbo). Es decir, integro como premisa de análisis, en la dispersión, el rumbo según su orientación en el plano horizontal respecto al meridiano, conforme a la geolocalización de los nodos C1, lo que permite definir territorios aptos para la posible dispersión de la plaga. En complemento, se realizó el análisis de interacción que integró diferentes elementos espaciales: LRU, RF y CF, que pueden coadyuvar al establecimiento o redireccionamiento de estrategias de mitigación del riesgo en la vigilancia dinámica e inspección fitosanitaria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El RP es latente y principalmente asociado al intercambio comercial, algunos autores señalan que la distribución de *T. granarium* se ha expandido en los últimos años con un patrón recurrente, en donde sus intercepciones se han suscitado en los puertos de entrada o ingreso de diferentes mercancías en contenedores, incluso, en embarques que contaron con los adecuados tratamientos cuarentenarios como señala la CIPF. A pesar de que el Gorgojo khapra mantiene una condición fitosanitaria presente en latitudes a una distancia considerable de México, representa una seria amenaza para la producción de granos y semillas en el país, debe ser observado como un RP latente y prioritario, ya que existe un incremento drástico en las intercepciones con el patrón antes señalado (Castañé et al. 2020, USDA 2020 y Eslava 2023).

Modelo cartográfico de riesgo de introducción antrópica

La asociación espacial "localización/volumen" mediante el análisis de nodo de ingreso C_1 y flujo de contenedores C_2 permitió evidenciar que durante el periodo de 2021-2022, existió un total de 18 puertos marítimos (nueve en costas del océano Pacifico y nueve en costas de Golfo de México), con diferentes niveles de RIP, con un ingreso total de 101 441 000 contenedores de los cuales el 48.78 % correspondió a 2021 mediante 17 puertos de ingreso, en complemento el 51.21 % restante fue movilizado durante el año 2022 ingresando por 18 puertos, lo que potencialmente permite evidenciar de manera cuantitativa lo señalado por el SENASICA (2022), donde la potencial vía de introducción de *T. granarium* a la república mexicana, es a través de los contenedores que arriban por vía marítima o que triangula trayectorias de viaje con países con presencia de la plaga.

Se estimó un RIP en cinco rangos (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo), que en orden de prioridad representan el flujo constante de contenedores como un medio idóneo en la dispersión de *T. granarium*: en RIP muy alto se identificó el Puerto de Manzanillo, con el flujo del 42.88 %, en RIP alto el puerto de Lázaro Cárdenas, con el 22.95 %, en RIP medio están el puerto de Veracruz y Altamira con el 14.59 %y el 10.52 % , respectivamente, en RIP bajo en puerto de Ensenada B.C con el 5.3 % y con RIP muy bajo se encuentran doce puertos distribuidos en costas del Pacifico, Golfo y Caribe mexicanos que de manera conjunta representan el 4.12 % del flujo de contenedores. En un contexto nacional, mediante la priorización regional, las costas del Pacífico mexicano pueden considerarse prioritarias para la vigilancia epidemiológica de plaga, ya que cuentan con un índice

de RIP del 0.7204, mientras que las costas del Golfo-Caribe, consideradas secundarias, poseen un índice de RIP del 0.2795 (Figura 2).

Modelo cartográfico de riesgo de establecimiento antrópico

A través de la asociación/interacción de la densidad de hospedantes (C_3 y C_4) y sitios de posible ingreso de la plaga (C_1), se logró identificar 9 áreas focales con un RPE caracterizado en cinco niveles, cartográficamente representado en un mapa de calor "*hotspot*". En orden de prioridad por extensión/nivel de RPE destaca, la porción de costa adyacente al Golfo de México extendiéndose sobre el istmo de Tehuantepec hasta costa del Pacifico, desde el sur de Tamaulipas, este de San Luis Potosí, el estado de Veracruz, este de Puebla, Tabasco, sureste de Guerreo, norte de Oaxaca y este de Chiapas con una extensión estimada en 161 361.92 km^2, de la cual un 8.17 % se encuentra en RPE muy alto-alto, considerándose la región prioritaria para establecer o direccionar estrategia de mitigación del riesgo ante el posible establecimiento del gorgojo khapra (Figura 3).

En complemento, como región secundaria se encuentra la porción central del Pacífico mexicano distribuida en los estados de Colima, Michoacán, sur de Jalisco y este de Guerrero en una extensión focal de 75 396.36 km^2, destacando que el 8.35 % se identificó con RPE medio. Asimismo, las siete áreas focales restantes que cuentan con un RPE de medio a muy bajo se deben considerar territorios

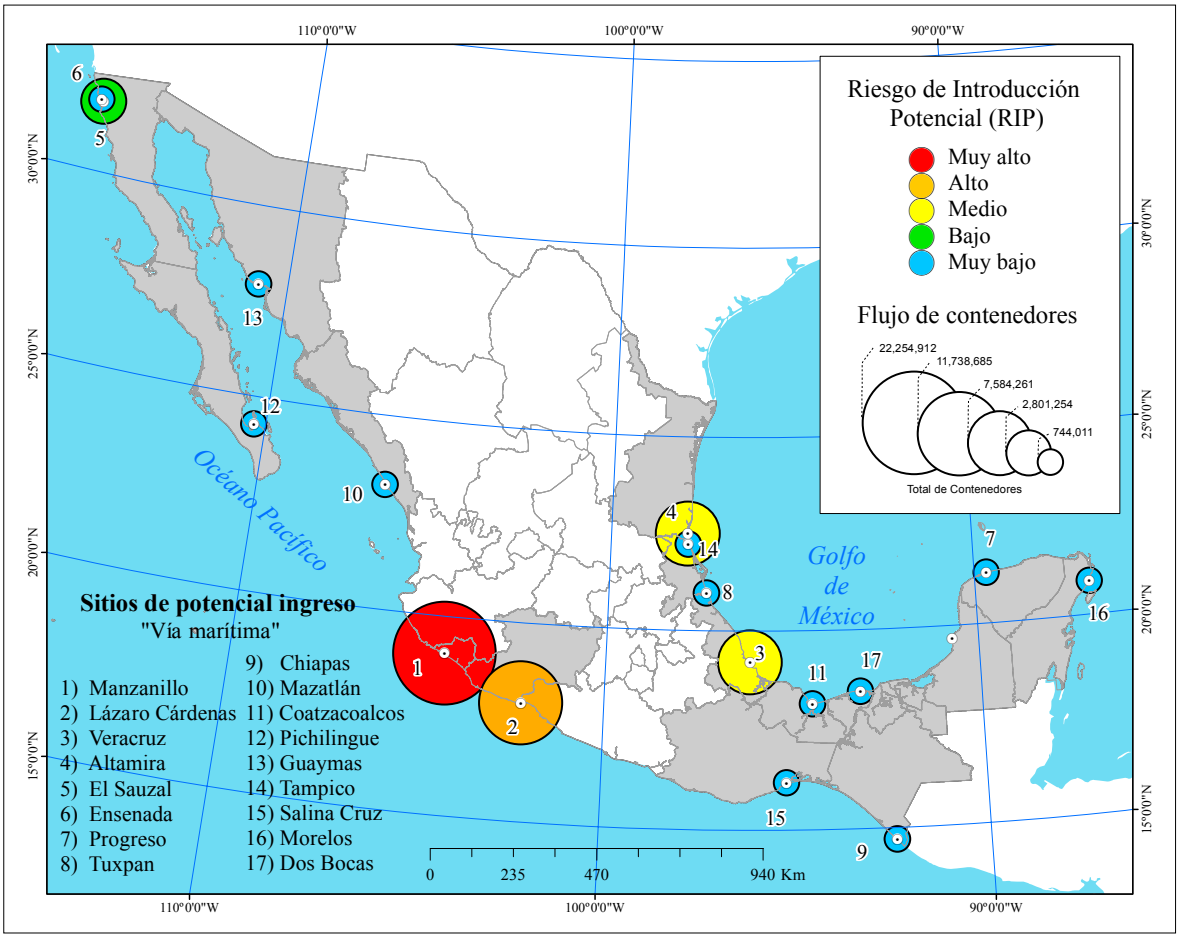
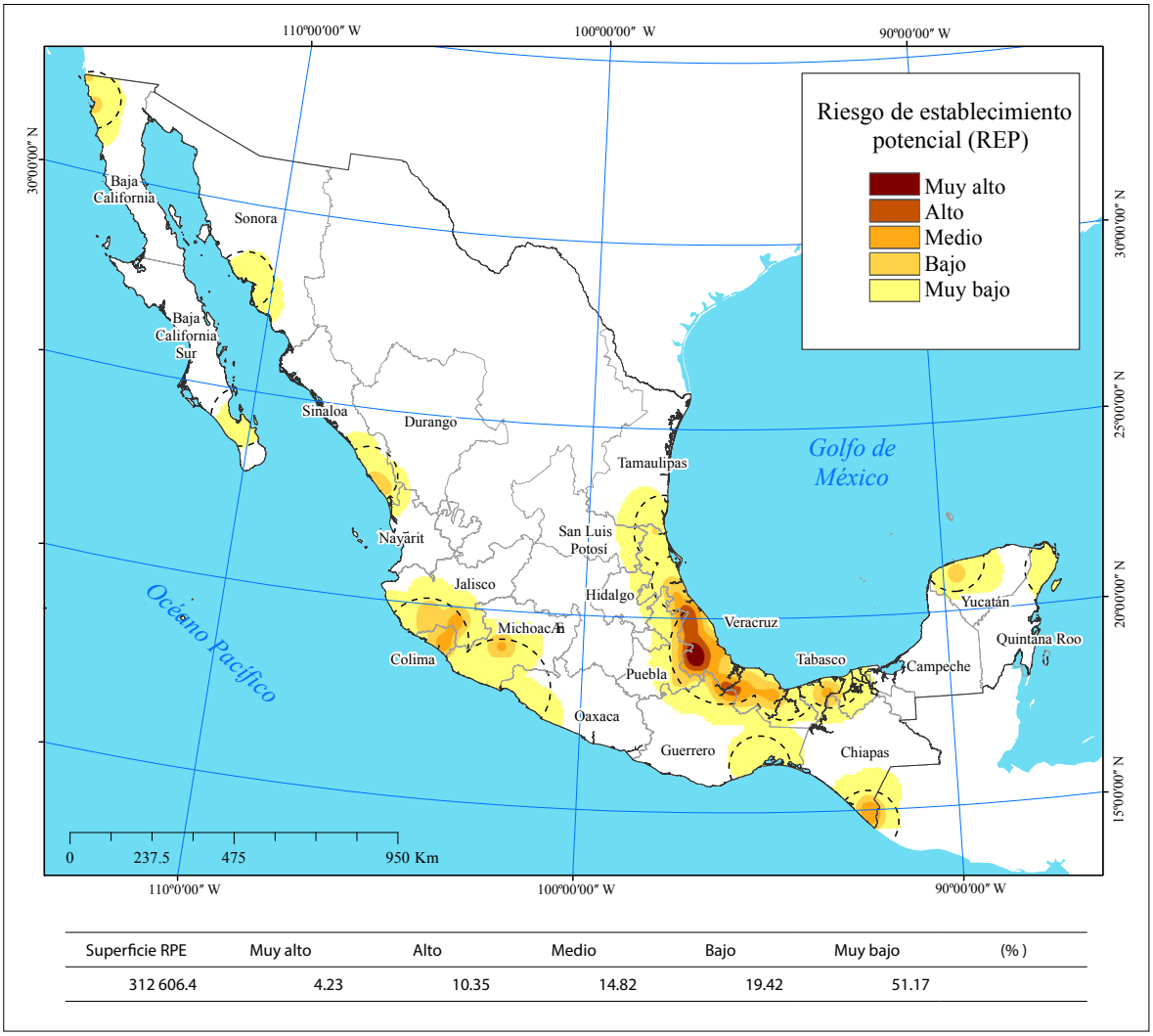


Figura 2. Riesgo de introducción antrópica de *Trogoderma granarium* en México.Fuente: Secretaría de Marina (2022) y Gobierno de México (2022).

aptos para fortalecer estrategias preventivas como parcelas centinelas o sitios centinela, trampeo preventivo y direccionar estrategias de vigilancia epidemiológica. De manera general, las áreas focales adyacentes a las costas del Golfo cuentan con un índice de RPE de 0.4840, las adyacentes a las costas del Pacífico con un índice de RPE de 0.4641 y las adyacentes al Caribe mexicano cuentan con un índice de RPE de 0.0519, con especial énfasis en donde se mantengan almacenados cultivos básicos de importancia económica hospedantes de *T. granarium* (Figura 3).

Modelo cartográfico de riesgo de dispersión antrópica

Con la integración geoespacial de (C_1, C_3 y C_4) se logró identificar con categoría muy alta de RDP una extensión de 6867.83 km^2 distribuida en tres estados del occidente de México (Colima, Jalisco y Michoacán), sin embargo, la superficie prioritaria comprende el 29.69 % (2039.14 km^2). En esta región se determinó que existen 2008 LRU de las cuales 3.58 % son de Michoacán, el 16.08 % corresponden al estado de Jalisco y el 80.32 % corresponden a Colima. Conforme la infraestructura



Superficie RPE	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo	(%)
312 606.4	4.23	10.35	14.82	19.42	51.17	

Figura 3. Cuantificación del riesgo potencial de establecimiento antrópico de *Trogoderma granarium* en México. Fuente: Gobierno de México (2022) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023).

vial de la zona se identificó para cada C_1 un RF conforme con una distancia base (σ: 122 km), así como un total de 319 CF en las carreteras federales 98, 80, 54, 110 y 200, cabe señalar que son geoelementos que posibilitan reforzar acciones vigilancia e inspección fitosanitaria, a partir de la relación de proximidad entre nodos de ingreso (C_1) respecto a los centros de acopio (C_3 y C_4) tanto "alimenticios como agropecuarios (Figura 4).

En RPD alta en la posible dispersión de *T. granarium* representó una extensión de 6,178.55 km^2 distribuida en los estados de Michoacán y Guerrero, sin embargo, la superficie prioritaria comprende el 26.49 % (1,631.20 km^2). Se logró determinar la existencia de 772 LUR dentro de la superficie prioritaria, de las cuales 60.49 % corresponden a Michoacán y el 39.51 % al estado de Guerrero. En complemento, se identificaron 370 CF en los que se pueden establecer estrategias de vigilancia dinámica, considerando el eje de carreteras federales 37, 120, 134 y 200; el cálculo de los RF fue definido mediante distancia (σ: 143 km), que consideró la proximidad entre nodos de RIP (Figura 4), cabe señalar que el principal riesgo fitosanitario representa cultivos básicos como granos, cereales, semillas y alimentos almacenados.

En RPD medio representó una extensión de 10,665.47 km^2 distribuida en dos áreas focales: 1) porción territorial aledaña al puerto de Veracruz con el 68.77 % en la porción centro sur

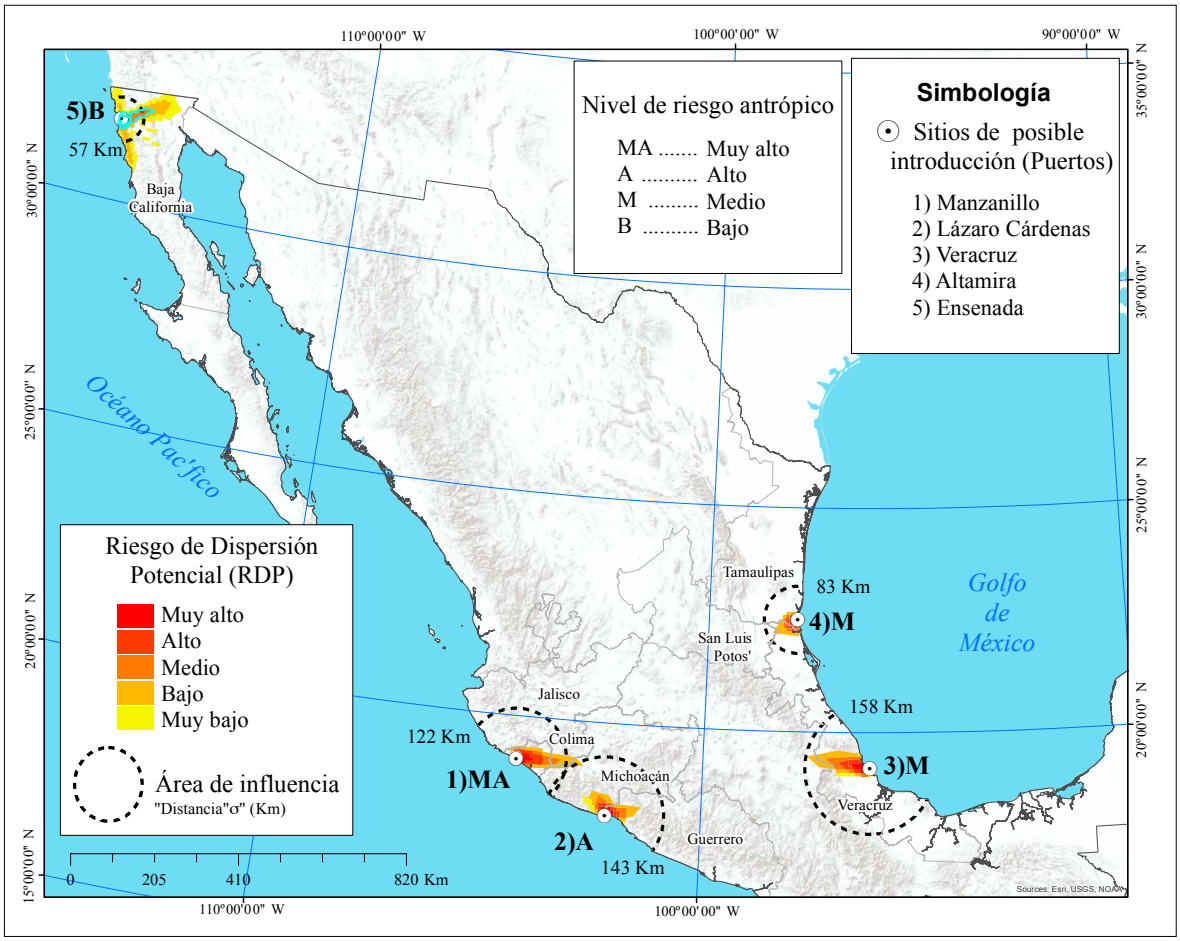


Figura 4. Regiones prioritarias en la posible dispersión de *T. granarium* a la República Mexicana derivadas del riesgo antrópico: 1) RPD Muy alto, 2) RPD Alto, 3) RPD Medio, 4) RPD Medio y 5) RPD Bajo. Fuente: Secretaría de Marina (2022), Gobierno de México (2022) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023).

de Veracruz, y en menor proporción noreste de Puebla, 2) zona adyacente al puerto de Altamira con el 31.22 % en las porciones norte de Veracruz, sur de Tamaulipas y noreste de San Luis Potosí. En las áreas focales existen 2332 y 789 LRU, respectivamente, las cuales responden estadísticamente a las distancias (σ: 158 km y σ: 83 km). Se logró definir la siguiente infraestructura: las carreteras federales 120, 140 y 180, integradas por 902 CF como ejes conectores del puerto de Veracruz (Figura 4), y las carreteras 70, 80 ,120 y 180, con 165 CF en una porción adyacente al puerto de Altamira (Figura 5). Finalmente, en RPD bajo se encontró una extensión de 17 793.25 km² distribuida en el estado de Baja California; el área prioritaria corresponde al 10.13 % (1802.65 km²), en donde existen 4976 localidades (Figuras 4 y 5).

La superficie territorial en RDP antrópica con categoría muy baja se distribuye en 11 891.47 km² en tres conglomerados espaciales, de los cuales 6509.21 km² se localizan en las costas del Pacifico mexicano, distribuidos de manera adyacente y en asociación espacial a los siguientes sitios de RIP poseen la siguiente dimensión de superficie en RPD: Salina Cruz (30.15 %), Guaymas (29.49 %), El Sauzal (18.86 %), Mazatlán (14.44 %), Puerto Chiapas (4.71 %) y Pichilingue (2.34 %). En complemento, existió una superficie de 4,312.7 km² en costas del Golfo de México distribuidos como sigue: Tampico (33.7 Tuxpan

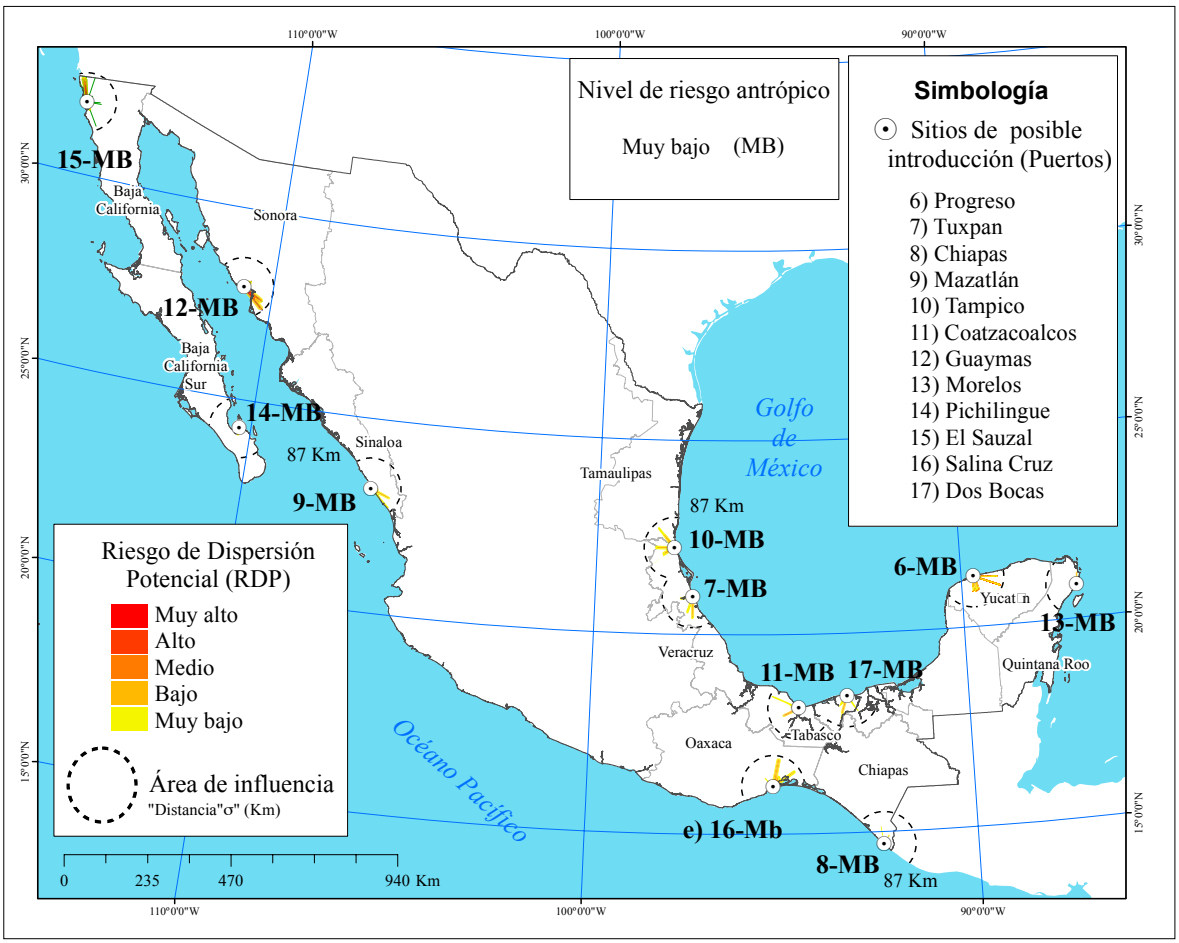


Figura 5. Regiones secundarias en la posible dispersión de *T. granarium* a la República Mexicana derivada del riesgo antrópico. Fuente: Secretaría de Marina (2022), Gobierno de México (2022) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023).

(24.79 %), Coatzacoalcos (20.94 %) y Dos Bocas (20.52 %) y, finalmente, el conglomerado del Caribe mexicano con una superficie de RPD muy bajo estimada en 1069.56 km^2 distribuida en 86.03 % en Puerto Progreso y el 13.96 % en Puerto Morelos (Figura 5).

En términos generales, y de manera prioritaria, los conglomerados cuentan con el siguiente índice de RPD de 0.5473 para las porciones ubicadas en las costas del Pacífico, un índice de RPD de 0.3626 para territorios localizados en las costas del Golfo de México y las porciones territoriales situadas en las costas del Caribe mexicano poseen un índice de RPD de 0.0899. A pesar de catalogarse en un RPD muy bajo, deben considerarse superficies prioritarias en segundo grado.

CONCLUSIONES

La implementación de métodos y técnicas de análisis espacial-epidemiológico, bajo un enfoque transdiciplinario, representa una herramienta prometedora para fortalecer la respuesta ante amenazas de carácter agrosanitario. Particularmente, la modelización de riesgos fitosanitarios (RIP, REP y RDP) contribuyen a mejorar la accionabilidad en el ámbito de la sanidad vegetal, al integrar variables biológicas, ambientales y antrópicas dentro del entorno de los SIG, así mismo, este enfoque se sustenta en criterios técnico-científicos, alineados al marco normativo de la CIPF, lo posibilita robustecer la toma de decisiones estratégicas en fitosanidad.

En relación con el RIP, se identifican tres nodos de prioridad nacional en la región del Pacifico mexicano y dos nodos secundarios en la porción central del Golfo de México, adicionalmente, se identifican doce nodos de importancia fitosanitaria vinculados a l posible arribo de la plaga en territorio nacional. Respecto al REP, se estima que aproximadamente el 15.9 % de territorio nacional podría considerarse prioritario para el establecimiento o re-direccionamiento de la vigilancia epidemiológica preventiva, incluyendo la implementación de sitios centinela (permanentes) en zonas adyacentes a los nodos de posible intercepción de la plaga.

El abordaje propuesto posibilita generar un diagnóstico territorial-epidemiológico que identifica patrones espaciales y posibles escenarios de riesgo fitosanitario, en este caso asociados *T. granarium*. No obstante, la capacidad predictiva de la modelización depende en gran medida de la calidad, resolución y actualización de los datos de entrada, asi como de los supuestos adaptados en su construcción, por lo que los resultados deben interpretarse considerando dichos factores y sus márgenes de incertidumbre.

Finalmente, este enfoque metodológico puede constituir una base técnico-científica relevante para el diseño de planes de contingencia orientados a minimizar el riesgo fitosanitario (en este caso de índole antrópico) asociados al gorgojo khapra. No obstante, una implementación efectiva, requiere complementarse con procesos de validación en campo y monitoreo periódico realizado por el organismo nacional de protección fitosanitaria.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores expresamos que no existe ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS

Athanassiou, C. G., Philips, T.W. y Wakil, W. (2019). Biology and Control of the Khapra beetle, *Trogoderma granarium*, a major Quarantine Threat to Global Food Security, An-*nual Review of Entomology*, 64, 131-148. https://doi.org/10.1146/annurev-to-011118-111804

Barrios, Y., G. Born-Schmidt, A.I. González, P. Koleff, y R. Mendoza. (2014). Análisis de riesgo, herramienta para prevenir invasiones biológicas. En R. Mendoza y P. Koleff (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México* (pp. 77-84). CONABIO. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/01/Especies-acu%C3%A1ticas-invasoras-en-M%C3%A9xico.pdf

Bonnamour, A., Gippet, J. M. W., y Bertelsmeier, C. (2021). Insect and Plant Invasions, Follow Two Waves of Globalization. *Ecology Letters, 24*(11), 2418-2426. https://doi:10.1111/ele.13863

Bosque Sendra, J., Díaz Castillo, C., Díaz Muñoz, M. A., Gómez Delgado, M., González Ferreiro, D.,

Rodríguez Espinosa, V. M., y Salado García, M. J. (2004). Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la comunidad de Madrid. *GeoFocus,* 4, 44-78. https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/42/210

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2023). Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México. Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/estrategia

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2025c). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, s VII (continuo nacional). Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s7gw

DGSV- CNRF. (2020). Medidas Fitosanitarias Protocolos de Diagnóstico Protocolos de Diagnóstico Anexo 3: *Trogoderma granarium* Everts. Direccion General de Sanidad Vegetal - Centro Nacional de Referencia. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/728752/4._PD_Trogoderma_granarium_Everts_1898_3.0_2020.pdf

EPPO. (2024). *Khapra beetle (Trogoderma granarium) - An evaluation of the information regarding its presence in Sweden*. European Plant Protection Organization. https://pra.eppo.int/pra/3e336626-f338-4629-8611-8bc34b6c0560

Eslava Sarmiento, A. (2023). Contaminación fitosanitaria en contenedores marítimos. *Loginn, 7*(1). https://revistas.sena.edu.co/index.php/LOG/article/view/5760

FAO. (2006). NIMF No. 11. Análisis de Riesgo de Plagas para Plagas Cuarentenarias, incluido el Análisis de Riesgos Ambientales y Organismos Vivos Modificados. Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). NIMF No. 15: Reglamentación del embalaje de madera utilizado en el comercio internacional. Convención Internacional de Proteccion Fitosanitaria.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2023). Escritório Regional da FAO para a América Latina e o Caribe. https://www.fao.org/americas/news/news-detail/FAO-releva-la-importancia-del-acceso-y-uso-de-semillas-de-calidad-para-lograr-una-mejor-producci%C3%B3n-y-as%C3%AD-mejorar-la-seguridad-alimentaria-y-la-nutrici%C3%B3n/pt

García Díaz, O. D. (2018). Prospección y riesgo de introducción del gorgojo khapra (*Trogoderma granarium* Everts) Coleoptera: Dermestidae, en almacenes fiscales y bodegas de carga internacional, Nicaragua, 2014-2018. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional Agraria.

García, J., Molina, M. J., Berlanga, A., Patricio, A.M., Bustamante, L. A., y Padilla, R.W. (2018). Ciencia de datos Técnicas analíticas y aprendizaje estadístico Un enfoque práctico. Editorial Alfa y Omega. https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3854

Geoportal CONABIO. (2025a). División política estatal y División política municipal (Escala 1:250000) INEGI. Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/dipol/estata/dest23gw

Geoportal CONABIO. (2025b). Red Vial. Red Nacional de Caminos (RNC) INEGI. Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/infra/vcomun/rvrnc23gw

INEGI-DENUE (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2024). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Instituto Nacional De Estadística y Geografía https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx

INSIGHT. (2025). Análisis de diagnóstico. INSIGHT SOFTWARE https://insightsoftware.com/es/encyclopedia/descriptive-analytics/

IPPC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2012). Protocolos de diagnóstico de la NIMF No. 27. *Trogoderma granarium* Everts. International Plant Protection Organization. https://openknowledge.fao.org/items/f3e71feb-7f38-42db-8a41-216b5cb80131

IPPC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2020). Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 5 Glosario de términos fitosanitarios. International Plant Protection Organization. http://www.fao.org/3/mc891s/mc891s.pdf.

IPPC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2021). ISPM 8 Determination of pest status in an area. International Plant Protection Organization. http://www.fao.org/3/x2968e/x2968e.pdf.

McKirdy, S. J., O'Connor, S., Thomas, L. M., Horton, K. L., Williams, A., Hardie, D., Coupland, G. T., y van der Merwe, J. (2019). Biosecurity Risks Posed by A Large Sea -Going Passenger Vessel: Challenges of Terrestrial Arthropod Species Detection and Eradication. *Sci Rep,* 9 (19339). https://doi.org/10.1038/s41598-019-55554-4

NIMF N.° 5. (2006). Glosario de términos fitosanitarios. Normas internacionales para medidas fitosanitarias. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2018/07/ISPM_05_2018_Es_2018-07-10_PostCPM13.pdf

OIRSA. (2020). *Trogoderma granarium*. Ficha técnica. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. https://web.oirsa.org/wp-content/uploads/2024/01/Ficha-tecnica-Trogoderma-granarium.pdf

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2025). Producción de granos y oleaginosas. https://acortar.link/uFqSXF

SENASICA-DGSV (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). (2022). Ficha técnica Trogoderma granaium. Dirección General de Sanidad Vegetal - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. https://www.gob.mx/senasica

SEPA. (2024). Riesgos Antrópicos. Servicio de Emergencias del Principado de Asturias https://www.112asturias.es/v_portal/apartados/apartado.asp?te=78

Stibick, J. (2007). New Pest Response Guidelines: Khapra Beetle Archived in Wayback Machine. APHIS – PPQ, Emergency and Domestic Programs, USDA, Riverdale, Maryland. https://assets.ippc.int/static/media/uploads/resources/new_pest_response_guidelines_khapra_beetle.pdf

UF-IFAS. (2024). Feature Creatures, Entomology and Nematology: Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Insecta: Coleoptera: Dermestidae). Universidad de Florida. https://entnemdept.ufl.edu/creatures/urban/beetles/khapra_beetle.html