

PROBABILIDAD DE INTERCEPCIONES DE PLAGAS CUARENTENARIAS EN OFICINAS DE INSPECCIÓN DE SANIDAD AGROPECUARIA

Beatriz E. Arreola-Martínez¹✉, Ma. Guadalupe Galindo-Mendoza², Martha Elva Ramírez-Guzmán³ y Hugo Medina-Garza¹

¹Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, Sierra Leona No. 550 Lomas, Segunda Sección, San Luis Potosí, México.

²LaNGIF-CIACYT-UASLP.

³Departamento de Estadística. Colegio de Posgraduados.

✉ Autor de correspondencia: beatrizarreola@hotmail.com

RESUMEN. Desarrollar un modelo estadístico para la predicción del riesgo fitosanitario por plagas cuarentenarias, es una prioridad para el SENASICA-SAGARPA. Lo anterior debido a las pérdidas económicas que sufre el campo mexicano por plagas y enfermedades. Los modelos estudiados en esta investigación son aquellos que consideran conteos de detecciones, distribución asimétrica y exceso de dispersión. Se concluye que la regresión binomial negativa fue la mejor para explicar la diferencia entre grupos epidemiológicos y tipos de oficinas de inspección sanitaria (OISA) respecto al número de detecciones y al volumen de importaciones. Las siguientes probabilidades para la detección de plagas y enfermedades se encontraron: 6.55 % para malezas, 2.04 %, para nematodos, 1.7 % para hongos y bacterias, 1.1 % para virus, ácaros e insectos y 0.02 % para protozoarios, viroides y mollicute. Por cada kg de producto importado existe una probabilidad de 1 % de encontrar una plaga o enfermedad. Los resultados del modelo podrían justificar una nueva reorganización de los recursos económicos y humanos para disminuir el riesgo fitosanitario en México.

Palabras clave: Riesgo fitosanitario, intercepciones, MLGM.

Probability of intersection of quarantine pests in offices of agricultural health inspection

ABSTRACT. To develop a statistical model for predicting risk of quarantine pests is a priority for the SENASICA-SAGARPA. This is due to the economic losses suffered by the Mexican countryside by pests and diseases. The models studied in this research are those which considers detections counting, asymmetric distribution and over-dispersion. We conclude that the negative binomial regression was the best to explain the difference between epidemiological groups and types of inspection office (OISA) regarding the number of detections. The following probabilities for detection of pest and diseases were found: 6.55% for weeds, 2.04 %, for nematode, 1.7% for fungi and bacteria, 1.1% for viruses, mites and insects and 0.02% for protozoa, viroids and mollicute. Per kg of imported product there is a 1% of possibility find a pest. Our modeling results may to justify a new reorganization of the financial and human resources to reduce the phytosanitary risk in Mexico.

Keywords: Phytosanitary risk, interceptions, GLMM.

INTRODUCCIÓN

Los ámbitos en los que la globalización ha impactado positiva y negativamente van más allá del aspecto económico e involucran cambios técnicos, políticos, sociales, científicos, culturales e inclusive ambientales. Uno de los impactos negativos es la dispersión de especies que pueden propagarse a grandes distancias, más allá de su capacidad natural de dispersión (Paini, y Yemshanov, 2012).

Para disminuir el ingreso de estas plagas, algunos países, incluido México, toman medidas en los puntos de ingreso como puertos, aeropuertos y aduanas para detectar de manera oportuna dichos organismos. En México estas acciones son coordinadas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del Servicio Nacional de Sanidad,

Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) y la Dirección General de Inspección Fitosanitaria (DGIF), responsables de determinar medidas para evitar la entrada de plagas agrícolas exóticas procedentes de otros países que puedan ser devastadoras, entre las medidas, se encuentra el establecimiento de Oficinas de Inspección Sanitaria (OISA's) ubicadas en puntos de ingreso, donde se realiza la revisión de productos agropecuarios importados, entre otras cosas.

Una herramienta útil para determinar la probabilidad de introducción de una plaga a un sitio donde no se encontraba previamente (país o región) es el análisis probabilístico de riesgo (FAO, 1996), cuyo objetivo es cuantificar la probabilidad de que ocurra un evento indeseable, entendido este como la posibilidad de que se introduzca una plaga (Bedford y Cooke, 2001).

Actualmente el análisis y modelado de las redes de comercio y transporte, se ha convertido en un método cada vez más utilizado para evaluar el potencial que tienen los organismos para dispersarse y establecerse en áreas previamente no invadidas (Koch, Yemshanov y Haack, 2013; Paini y Yemshanov, 2012; Reaser y Waugh, 2007; Stanaway, *et al.*, 2001; Venette, *et al.*, 2010). Sin embargo, en México pocos son los estudios que contemplan la probabilidad de detección de una plaga tomando en cuenta el producto importado (López, 2009) y el periodo de importación, además de considerar las características de los datos como variables de distribución normal cuando no siempre poseen este tipo de distribución. Lo que apunta a la transformación de las variables para estabilizar varianzas y normalizar distribuciones (Mangeaud y Videla, 2005).

Los modelos lineales generalizados mixtos permiten, en un ámbito estadístico, proporcionar el medio más amigable para responder a cuestionamientos en un estudio medianamente complejo; estos modelos aprueban analizar varias características de la variable respuesta (proporciones, variables de escala, conteos, etc.) modelando de forma simultánea el valor esperado del estudio y su variabilidad. Particularmente se usan para modelar datos provenientes de estudios observacionales en presencia de datos correlacionados (Pedernera-Romano, *et al.*, 2011), que permiten trabajar con variables que presentan distribución no normal, con variables de efectos fijos y aleatorios, como sucede con datos biológicos. Por lo que el objetivo de este trabajo es determinar la probabilidad de riesgo de introducción de una plaga cuarentenaria a través de importaciones utilizando los modelos lineales generalizados mixtos.

MATERIALES Y MÉTODO

Se analizó un listado de plagas y enfermedades detectadas en cargamentos importados que se revisaron en las diferentes OISA's de México, ubicadas en puertos marítimos, aeropuertos y sitios fronterizos terrestres durante el periodo de 2001 a 2010, proporcionada por el Laboratorio Nacional de Información Fitosanitaria (LaNGIF) y el SENASICA.

El listado contiene 1,452 registros con la siguiente información: nombre científico de la plaga, año, mes, OISA, producto importado, tipo de producto importado, cantidad importada y origen. Se agregó información sobre grupo epidemiológico (clasificación dada por el tipo de organismo que es: insecto, maleza, nematodo, bacteria, etc.) de la plaga o enfermedad detectada, región del país donde se encuentra la OISA y región epidemiológica (regiones delimitadas por compartir características como clima, tipo de suelo, fisiografía, uso de suelo, regiones ecológicas y problemas fitosanitarios) a la cual pertenece.

Análisis de datos. Los registros fueron examinados exhaustivamente para evitar errores tipográficos, aquellos que contenían la determinación taxonómica incompleta, es decir, que no estaban identificados a nivel especie, se eliminaron (cuatro registros), los agentes detectados se agruparon en 10 taxones: ácaros, bacterias, hongos, insectos, malezas, mollicutes, nematodos, protozoo, viroides y virus. La variable respuesta fue el número de detecciones por grupo taxonómico.

Un segundo paso fue analizar el número de detecciones por grupo epidemiológico, OISA, tipo de OISA, región epidemiológica, estado, producto importado, tipo de producto, cantidad importada (kg), origen, año y mes; se obtuvo la media y desviación estándar de cada variable con la finalidad de conocer el tipo de distribución que presentaba cada variable y saber qué modelo utilizar.

Las variables se incorporaron en un modelo lineal generalizado mixto (MLGM), también teniendo en cuenta las posibles interacciones.

Selección de modelos. El desarrollo de modelos estadísticos que considera las características más comunes de datos de conteos ha tenido un gran impulso gracias a los trabajos de Nelder y Baker (1972), quienes propusieron los modelos lineales generalizados. Estos pertenecen a la familia de la distribución exponencial. Algunos miembros de esta familia son las distribuciones: Poisson y Binomial Negativa para variables discretas y la distribución normal; Ji-cuadrada y Gamma para variables continuas. La distribución Binomial negativa por tener un parámetro extra modela la dispersión más alta que la media (o menor), respecto a la esperada por la distribución Poisson (Cameron y Trivedi, 2005).

Para los modelos de regresión utilizados se han tomado en cuenta, además del número de detecciones, aquellas variables consideradas como relevantes, para explicar la detección de una plaga, tales como: grupo epidemiológico, región epidemiológica, año, tipo de OISA, producto, tipo de producto y origen. Para comparar los modelos analizados se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC). Todos los análisis se realizaron en el paquete estadístico R 3.1.2.

Cálculo de la probabilidad. La estimación de Densidad Kernel (KDE) (análisis espacial) se llevó a cabo para examinar la dinámica general de invasión y colonización de las especies detectadas en las OISA's, bajo el supuesto de que no fueran erradicadas. La KDE se ha utilizado para calcular la densidad estimada de una población en torno a la población real, puntos de datos que producen una superficie lisa, cónico equipado que conecta todos los puntos de datos utilizados en el análisis. Se seleccionó KDE porque este análisis se realiza bien con pequeñas cantidades de datos, que son robustos a auto correlación, y los resultados se encuentran en una distribución de utilización en lugar de un esquema simple rango de distribución. Para los diferentes análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico R 3.1.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis exploratorio. Se obtuvo un total de 4,031 detecciones de plagas, que agruparon a 117 especies diferentes. Las plagas fueron interceptadas en 32 puntos de ingreso a México. En promedio, se realizaron 403 ($SD \pm 509$) detecciones de plagas por OISA anuales en el periodo de 2001-2010, que van desde un mínimo de 47 en 2010 a un máximo de 1,581 en 2005, como se observa la varianza de casos es mayor que la media, lo que implica la posibilidad de dispersión excesiva.

Existen 118 OISA's, sin embargo solo se contó con información de 21 de ellas, lo que significa que del 70 % de las OISAs no se cuenta con información, estas oficinas se encuentran ubicadas en puertos, aeropuertos y fronteras, de los cuales 22 % de las plagas fueron detectadas en aeropuertos, 34 % en puertos, y 44 % en fronteras. La OISA de Nuevo Laredo fue la que presenta mayor número de registros.

Las semillas como sorgo, ajonjolí, maíz, etc., traídos para alimento y forraje, destacan por ser los productos donde más se realizan detecciones de plagas (79 %), específicamente malezas, hongos, bacterias y virus; en mini tubérculos lo que más se detectó fueron nematodos, virus y bacterias; en frutos frescos como manzana, nectarina, ciruela, chabacano, uva y pèrsimo o caqui lo que se encontró fueron insectos; en partes de la planta, utilizado como material de propagación, es más común encontrar patógenos y nematodos.

Las malezas son el grupo que comprende mayor número de detecciones (69.8 %). Patógenos, artrópodos, y nematodos componen el 16.1, 7.1 y 7 % respectivamente. Dentro de los patógenos se encuentran los hongos, bacterias y virus que representan el 39.8, 35.5 y 22.2 % del total de patógenos respectivamente; y dentro de los artrópodos los insectos ocupan el 58.6 % y los ácaros el 41.4 %. En general, el 64 % de las plagas en la base de datos fueron interceptadas en productos destinados para el consumo humano, como frutos frescos, hortalizas, granos y semillas. Un adicional 10 % de los registros se asociaron con material destinado a la propagación de plantas.

El 80 % de las plagas interceptadas provenían de América del Norte, es decir generalmente de los Estados Unidos (50.7 %) y Canadá (30.1 %), muchas plagas también provenían de Chile (4.20 %) y el resto (9 %) de otros países, el porcentaje restante de los productos se desconocía la procedencia (6%).

Un buen punto de partida para el modelado de datos de conteo es comparar la distribución empírica de los recuentos observados para la distribución de Poisson univariado con la media estimada a partir de los datos.

Modelo seleccionado. El cuadro 1 muestra los resultados de los modelos Poisson, Poisson con matriz de varianzas y covarianzas “sándwich”, quasi-Poisson y Binomial Negativa. Como era de esperarse, los estimadores de los parámetros de regresión son iguales y no así sus errores estándar. La razón es que todos estos modelos, con excepción de la regresión Poisson, consideran la heteroscedasticidad de los datos. Para confirmar esto se realizó una prueba de razón de verosimilitud en donde se comparan por pares los modelos antes mencionados. Como se sabe, la diferencia entre el modelo binomial negativo y el modelo Poisson es que el primero tiene un parámetro de dispersión extra, para este caso el estimado resultó ser $\theta = 0.4064$, el cual fue altamente significativo. La prueba de razón de verosimilitud sugiere que el primer modelo es más apropiado que el segundo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelos por grupo epidemiológico de Poisson, Poisson con matriz de varianzas y covarianzas “sándwich”, quasi-Poisson y Binomial Negativa.

	P	P ajust	Q P	BN	VE		P	P ajust	Q P	BN	VE
Intercep	0.09	0.09	0.09	0.09	1.1	Mollicutes	-4.56***	-4.56***	-4.56	-4.56***	0.01
	(0.09)	(0.36)	(0.34)	(0.17)			(1.00)	(1.05)	(3.76)	(1.02)	
Bacterias	0.40***	0.40	0.40	0.40	1.5	Nematodos	0.78***	0.78	0.78	0.78***	2.18
	(0.11)	(0.41)	(0.41)	(0.22)			(0.10)	(0.44)	(0.40)	(0.23)	
Hongo	0.45***	0.45	0.45	0.45*	1.57	Protozoo	-3.46***	-3.46***	-3.46	-3.46***	0.03
	(0.11)	(0.39)	(0.41)	(0.22)			(0.58)	(0.82)	(2.18)	(0.62)	
Insectos	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	0.92	Viroides	-3.85***	-3.85***	-3.85	-3.85***	0.02
	(0.11)	(0.38)	(0.44)	(0.22)			(0.71)	(0.78)	(2.66)	(0.74)	
Malezas	1.78***	1.78***	1.78***	1.78***	5.97	Virus	0.07	0.07	0.07	0.07	1.07
	(0.09)	(0.38)	(0.34)	(0.19)			(0.12)	(0.41)	(0.46)	(0.23)	

P= Poisson; P ajust= Poisson ajustado; Q P= Quasi Poisson; BN= Binomial negativa; VE= valor esperado

§ El error estándar aparece entre paréntesis * $p < 0.005$; ** $p < 0.001$; *** $p < 0.0001$

Esta comparación se realizó en función de los criterios de información de Akaike (AIC), así como los estimadores del logaritmo de la verosimilitud. Los cuadros 1 y 2 muestran que el modelo BN fue el mejor. Por lo tanto, se ajustaron regresiones BN para realizar comparaciones entre plagas, regiones epidemiológicas, tipo de OISA y productos, respecto a las detecciones reportadas.

Cuadro 2. Parámetros de comparación de modelos.

	Poisson	Quasi Poisson	Binomial Negativa
Parámetro de dispersión	1	19.02	0.40
2xlog_likelihood	-12.31		-4,714.40
AIC	10,909		4,736.40

Probabilidad de detección. Seleccionado el modelo binomial negativa como el más apto para calcular de probabilidad de detección de una plaga de acuerdo al grupo epidemiológico. Las detecciones esperadas se incrementan por un factor de 5.44, 1.69 y 1.51 veces por nematodos, hongos y bacterias, respectivamente, tomando como referencia a 1.1 detecciones (ácaros). Al incrementarse 1 kg de importación a partir de la media de importación (1,132.904 kg), potencialmente se detectará 1 plaga, el tipo de producto y el origen influyen mucho en el tipo de organismo que se detecta, por ejemplo, en granos y semillas provenientes de países como Estados Unidos las plagas y enfermedades que se detectan son malezas, bacterias y hongos; en frutos frescos provenientes de Chile y Estados Unidos son insectos y bacterias (Fig. 1A).

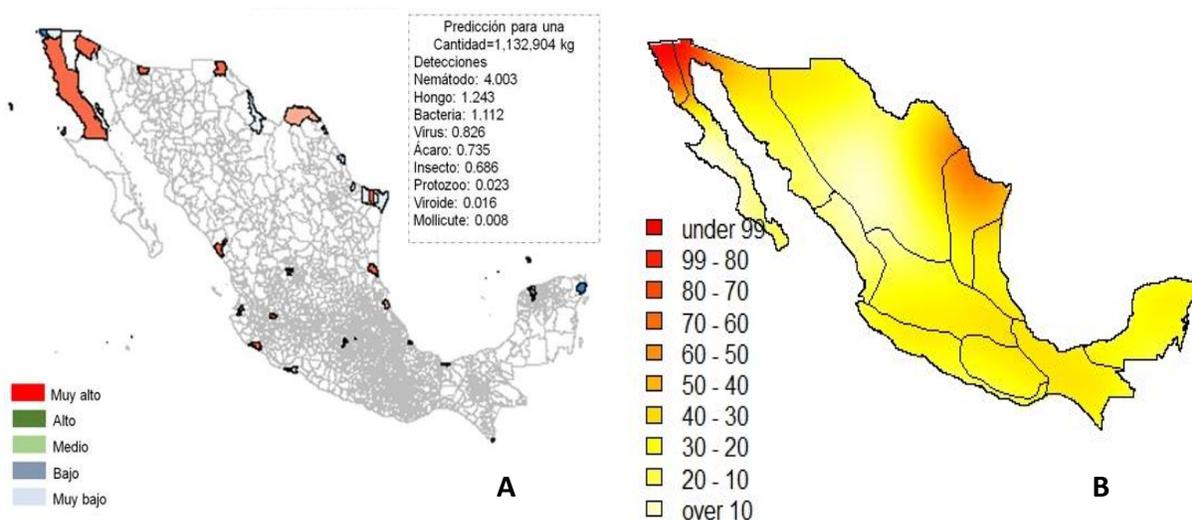


Figura 1 A y B Probabilidad de detección e introducción de plagas y enfermedades por municipio al que corresponde la OISA.

Se realizó un análisis espacial, seleccionando al grupo de las malezas por ser el que presenta mayor número de detecciones para simular a través del análisis de Kernel la probabilidad de dispersión de este grupo, asumiendo que no fueron detectadas en las OISA's.

La figura 1B muestra el mapa de riesgo de introducción para este grupo, donde se puede observar que el noreste y nororiente, son las regiones con mayor riesgo de introducción de este grupo debido a que es en esas zonas donde mayor número de detecciones de registraron para el periodo de 2001-2010, que se explica por ser las Oficinas con mayor volumen de importaciones.

Debido a que los protocolos de inspección de SENASICA se basan en un muestreo aleatorio no se registran todas las inspecciones, los datos de listado no pueden ser utilizados de una manera predictiva para estimar la abundancia real, la diversidad o la frecuencia de especies no nativas o exóticas o la llegada de plagas de plantas. Información sobre la abundancia, el origen y los productos asociados a la llegada de los organismos exóticos son útiles para la inspección y llevar a cabo programas de detección mucho más robustos, incluso para la identificación de los riesgos

relativos, planteado desde los productos importados, la cantidad y el proceso de los productos antes de ser exportados, esto permite mejores políticas comerciales internacionales de desarrollo.

Así mismo establecer un sistema de monitoreo a través de trampas de plagas en los sitios de mayor riesgo de introducción en el país destino permitiría robustecer el sistema de detección actual en este caso en México.

Los productos de alto riesgo, es decir aquellos que están asociados con frecuentes o abundantes intercepciones de plagas, pueden recibir una atención especial de los inspectores, en especial aquellos productos que viajan en grandes contenedores ya que la materia prima contenida en grandes contenedores puede ser difícil de inspeccionar a fondo por la cantidad de material y las condiciones con poca ventilación, a diferencia de los objetos transportados en pequeños contenedores que generalmente son confiscados y se examinan más tarde, cuando el tiempo lo permite, se debe también contemplar que gran parte de la carga que llega a los puertos y fronteras de México se envía además, a menudo a varios destinos en el país, lo que podría aumentar la posibilidad de que las plagas pueden encontrar las condiciones climáticas adecuadas para hospedarse y establecerse.

Poland, y McCullough (2006) mencionan que las inspecciones de carga deben ser completadas en la inspección de manera eficiente para asegurar que los productos o similares lleguen a su destino final a tiempo y en condiciones adecuadas para la venta. Mientras que la llegada a un nuevo hábitat es el primer paso en el proceso de invasión de plagas exóticas, estas aún tienen que superar el ambiente y fuerzas demográficas para poder establecerse y persistir.

CONCLUSIÓN

La base de datos muestra la influencia que tiene el comercio en la movilización de plagas y enfermedades en México.

Además de las plagas transportadas en la carga, un número desconocido de organismos son sin duda, introducidos en mercancías de contrabando a México, por lo que los registros de intercepciones de los listados, probablemente representan una estimación conservadora de la cantidad y variedad de plagas exóticas que pueden llegar al territorio mexicano.

Un mayor conocimiento sobre las vías por las que las plagas exóticas llegan a las fronteras de México podría ofrecer un marco para el desarrollo de hipótesis, comprobables acerca de factores económicos o ecológicos relacionados con el éxito de la invasión considerando que México guarda relación comercial con 45 países, de los cuales los más importantes son Estados Unidos, Canadá, Chile, Costa Rica, España e India, por ser los países de donde provenían los productos con mayor número de plagas o enfermedades. Dichos modelos pueden ser utilizados por instituciones que se ocupan de la inspección de los contenedores de transporte de entrada y deseen optimizar sus protocolos de inspección.

Utilizar modelos estadísticos que permitan calcular la probabilidad de detección de plagas o enfermedades en productos que ingresan a México permitirá dirigir esfuerzos hacia los sitios de mayor riesgo en el país.

El uso de tecnologías de diagnósticos rápidos permitiría ahorrar tiempo y movilizar los esfuerzos en puntos de mayor movilización de productos.

Agradecimientos

Al Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria (LaNGIF) y al Departamento de Estadística del Colegio de Posgraduados por el apoyo brindado.

Literatura Citada

- Bedford, T. and R. Cooke. 2001. *Probabilistic risk analysis: foundations and methods*. Cambridge University Press. 28 p.
- Cameron, A. C. And P. K. Trivedi. 2005. *Microeconometrics: methods and applications*. Cambridge university press. 1058 p.
- FAO, 1996. Guidelines for pest risk analysis. *International standards for phytosanitary measures*. Publication No. 2. Secretariat of the International Plant Protection Convention. FAO. Roma. Italy
- Koch, F. H., Yemshanov, D., and R. A. Haack. 2013. Representing uncertainty in a spatial invasion model that incorporates human-mediated dispersal. Advancing risk assessment models to address climate change, economics and uncertainty. *NeoBiota*, 18: 173–191.
- López, J. 2009. *Análisis de riesgo de plagas y enfermedades*. Pp. 159-177. In: Tópicos selectos de estadística aplicados a la Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Texcoco, estado de México.
- Mangeaud, A. y M. Videla. 2005. En busca de la independencia perdida: la utilización de modelos lineales generalizados mixtos en pruebas de preferencia. *Ecología austral*, 15(2), 199–206.
- Myers, J. A., Vellend, M., Gardescu, S. and P. L. Marks. 2004. Seed dispersal by white-tailed deer: implications for long-distance dispersal, invasion, and migration of plants in eastern North America. *Oecologia*, 139(1): 35–44.
- Nelder, J. A. and R. J. Baker. 1972. *Generalized linear models*. Encyclopedia of Statistical Sciences.
- Paini, D. R. and D. Yemshanov. 2012. Modelling the arrival of invasive organisms via the international marine shipping network: a Khapra beetle study. *PloS one*, 7(9): 1–9. doi.org/10.1371/journal.pone.0044589.
- Pedernera-Romano, C., La Torre, D., Ruiz, J., Badiella, L. and X. Manteca. 2011. Associations between open-field behaviour and stress-induced hyperthermia in two breeds of sheep. *Animal Welfare*, 20(3): 339–346.
- Poland, T. M. and D. G. McCullough. 2006. Emerald ash borer: invasion of the urban forest and the threat to North America's ash resource. *Journal of Forestry*, 104(3): 118–124.
- Reaser, J. K. and J. D. Waugh. 2007. Denying entry: opportunities to build capacity to prevent the introduction of invasive species and improve biosecurity at US ports. IUCN. 119 p.
- Stanaway, M. A., Zalucki, M. P., Gillespie, P. S., Rodriguez, C. M. and G. V. Maynard. 2001. Pest risk assessment of insects in sea cargo containers. *Australian journal of Entomology*, 40(2): 180–192.
- Venette, R. C., Kriticos, D. J., Magarey, R. D., Koch, F. H., Baker, R. H., Worner, S. P. and J. Pedlar. 2010. Pest risk maps for invasive alien species: a roadmap for improvement. *BioScience*, 60(5): 349–362.