



Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

MODELO DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *LOBESIA BOTRANA* (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE). UNA HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN PARA SU DETECCIÓN TEMPRANA A NIVEL REGIONAL.

¹GUILLERMO HEIT, ^{2,3}WALTER SIONE, ^{2,4}PABLO ACEÑOLAZA, ²LISANDRA ZAMBONI,
⁵PAULA BLANCO, ¹PABLO HORAK, ¹PABLO CORTESE

¹. Dirección de Vigilancia y Monitoreo. Senasa. Av. Paseo Colón 315. 4º Piso Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (1063). Argentina.

² Centro Regional de Geomática – Facultad de Ciencia y Tecnología - Universidad Autónoma de Entre Ríos. España y Matteri S/N. (3105). Diamante. Entre Ríos. Argentina.

³. PRODITEL. Universidad Nacional de Luján. Int. Rutas Nacionales 5 y 7. (6700). Luján. Argentina.

⁴ CICyTTP-CONICET. Matteri y España (3105) Diamante, ER.

⁵ Centro Nacional Patagónico, CONICET, Puerto Madryn, Chubut, Argentina
gheit@senasa.gov.ar

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron estimar la distribución geográfica potencial de una especie invasora, la *Lobesia botrana*, a escala regional en Argentina y simular la distribución temporal de la especie en el marco de un potencial escenario de establecimiento y dispersión de la misma en el país. Se categorizaron y delimitaron cartográficamente áreas de riesgo diferencial mediante la utilización de un enfoque ecológico deductivo. Utilizando estadísticas climáticas diarias, se simuló para Argentina un modelo fenológico de la especie, validado previamente en Grecia. Los resultados indican que *L. botrana* podría potencialmente establecerse y completar al menos tres generaciones anuales en las zonas vitivinícolas del este de Cuyo y el noroeste argentino, mientras que las zonas vitivinícolas del Alto Valle de la Patagonia presentaría un bajo riesgo de establecimiento. Este análisis de riesgo territorial permitiría optimizar la planificación espacio-temporal de las actividades de monitoreo preventivo de la especie por parte de los organismos de fiscalización fitosanitaria de Argentina.

Palabras clave: Argentina, especie invasora, vigilancia fitosanitaria.

POTENTIAL DISTRIBUTION MODEL OF *LOBESIA BOTRANA* (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE). A PLANNING TOOL FOR EARLY DETECTION AT REGIONAL SCALE.

ABSTRACT

The objectives of this study were to estimate the potential geographical distribution of *Lobesia botrana* in Argentina at regional scale and to simulate the temporal distribution of the

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

specie, through a phenology model, in the context of a potential scenario of dispersion of the species across the country. Differential risk areas were categorized and delimited cartographically using a deductive approach. A phenological model, previously validated for this species in Greece, was simulated using daily weather statistics for Argentina. Results suggested that *L. botrana* could potentially be established and complete annually at least three generations in the eastern Cuyo and NOA vineyard areas, while in the vineyard regions of the Patagonian High Valley, *L. botrana* could have a lower risk of establishment. This geographical risk analysis would optimize spatio-temporal planning of preventive monitoring activities of the species by the phytosanitary control agencies of Argentina.

Keywords: Phytosanitary surveillance, invasive species.

1. Introducción

El comercio mundial de productos agrícolas crece a ritmo acelerado en el mundo. Por este motivo existe un incremento en el riesgo de introducción de insectos exóticos en nuevas áreas, donde estos pueden convertirse en plagas importantes para la agricultura (Hallman y Schwalbe, 2002). La probabilidad de establecimiento de una especie exótica, luego de su ingreso a un área nueva, es función de una serie de factores, entre los que se puede remarcar la disponibilidad de hospedantes vegetales y la *adecuabilidad* del clima para el desarrollo y supervivencia de la especie (Worner, 1994; Wearing *et al.*, 2001). Tradicionalmente, los programas de cuarentena vegetal han interpretado los posibles impactos que la distribución de una plaga exótica podría tener en un país, sobre la base de decisiones cualitativas e intuitivas, realizando una simplificación del sistema. En este sentido, la utilización de herramientas derivadas de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden proveer elementos eficientes para el análisis de riesgo sobre la distribución potencial de plagas exóticas y/o cuarentenarias para países que evalúan la importación de un determinado producto vegetal (Dahlsten *et al.*, 1989; LeVein, 1989).

El clima, en combinación con otros factores, ha sido ampliamente utilizado para explicar los patrones de distribución de especies en el mundo (Guisan y Zimmermann, 2000). Así, los modelos de distribución de especies, entendidos como representaciones cartográficas de la idoneidad de un ambiente para sostener la presencia de una especie (en función de las variables ambientales), pueden convertirse en una herramienta de toma de decisiones en potenciales escenarios de invasiones. Diversos modelos empíricos para el desarrollo de insectos, en particular los modelos fenológicos de grados/día, han sido utilizados para predecir eventos de desarrollo de poblaciones de insectos y otros organismos poiquiloterms (Higley *et al.*, 1986; Milonas *et al.*, 2001). En tal sentido, los estudios sobre el patrón de vuelo de los insectos tienen por objeto establecer sistemas de alertado y representan una herramienta útil para la realización de acciones fitosanitarias en tiempo y forma, facilitando el pronóstico y la prevención (Savopoulou-Soultani *et al.*, 1996).

El uso de modelos de distribución de especies como una herramienta de prevención o de vigilancia fitosanitaria está siendo empleada en EE.UU. por el *Animal and Plant Health Inspection Service* (APHIS). Esta agencia gubernamental desarrolló un sistema de pronóstico para plagas

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

vegetales que contiene una base de datos climática denominada *Plant Pest Forecast System* (NAPPFASST). Este sistema presenta una interfaz de consulta informática que permite, a usuarios no expertos en SIG, acceder a una base de datos climática y correr modelos predictivos de distribución potencial de plagas, generando cartografía de apoyo a los análisis de riesgo de plagas (ARP). El mismo sistema genera cartografía de riesgo climático a resoluciones espaciales aproximadas de 10 km para EE.UU. y de 32 km para el resto del mundo (Magarey *et al.*, 2007).

Por su parte, la EPPO (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*) ha iniciado un proyecto de investigación para mejorar las técnicas de análisis de riesgo de plagas para la Unión Europea. Sin embargo, no define en su proyecto una metodología única de análisis espacial del riesgo para la posterior generación de cartografía que permita respaldar los informes de ARP, sino que propone la evaluación del riesgo geográfico mediante distintos programas informáticos, como el CLIMEX o BIOCLIM (Baker *et al.*, 2009).

Una especie que representa un elevado riesgo potencial de establecimiento y dispersión en Argentina es la polilla europea de la vid, *Lobesia botrana* Denis y Schiffermuller (Lepidoptera: Tortricidae) (Bovey, 1966), la cual es la principal plaga de los viñedos en la cuenca del Mediterráneo y Asia Menor, siendo a su vez considerada plaga cuarentenaria de la República Argentina.

Si bien las Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias (NIMF) 2 y 11 (IPPC, 2005), establecen los lineamientos básicos para la realización de evaluaciones de riesgo de plagas, en Sudamérica, en general, y Argentina, en particular, no existe actualmente un consenso sobre los enfoques de investigación más objetivos para que los organismos Nacionales de Protección fitosanitaria logren una adecuada caracterización espacial y temporal del riesgo de establecimiento de plagas exóticas.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue estimar la distribución geográfica potencial de *Lobesia botrana* en Argentina y simular su distribución temporal a través de modelo fenológico. Se busca con esto generar una herramienta de trabajo que ayude a coordinar las tareas de monitoreo preventivo, optimizando la distribución de trampas y estimando la fecha más adecuada para la realización de tratamientos fitosanitarios.

2. Materiales, datos y métodos

2.1. Base de datos geográfica

Se utilizaron las siguientes variables y factores como estimadores de la distribución potencial de *L. botrana* en Argentina: a) Cobertura de Suelos -GLOBCOVER/ESA, Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre de las Naciones Unidas (LCCS) (Bicheron *et al.*, 2006) – resolución espacial 300 m; b) Índices de vegetación MODIS/TERRA, entre los años 2000 a 2009 – resolución espacial 1 km; c) Temperatura máxima, mínima y media (°C) y precipitación (mm), en base a estadísticas mensuales calculadas a partir de registros meteorológicos del periodo 1950-2000

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

(Hijmans *et al.*, 2005) - resolución espacial de 30 seg (≈ 1 km); d) Distribución de cultivos hospederos por departamentos (Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2002).

Para la estimación de la fenología de *L. botrana* en las distintas áreas de riesgo del territorio argentino se generó una base de datos de variables climáticas en el territorio argentino con una escala espacial de 4 km y una temporal de paso diario. Para esto se interpolaron los datos de temperatura diaria máxima y mínima ($^{\circ}\text{C}$) y precipitación (mm) media para cada día juliano, para la serie histórica 1990-2009 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Como datos auxiliares para la interpolación de datos se utilizó el Modelo Digital de Terreno *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), versión 4, de 90 m. La interpolación se validó con datos procedentes de las estaciones meteorológicas del Instituto de Tecnología Agropecuaria Argentina.

Para proceder a la interpolación de los datos de temperatura diaria a nivel nacional los datos de temperatura observados, T_o (K), son convertidos a temperatura potencial, T_p (K), a nivel del mar mediante la siguiente ecuación:

$$T_p = T_o (P_o / P_z)^{(R/mC_p)}$$

donde P_o es $1,0 \times 10^5$ Pa (presión a nivel del mar); P_z es la presión del aire (Pa) a la altura (m); R es la constante universal de los gases ($8,3143 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); m es el peso molecular del aire seco ($0,02897 \text{ kg mol}^{-1}$) y es el calor específico del aire seco a presión constante ($1005 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Para el cálculo del factor P_z fueron utilizados los datos de altitud derivados del modelo de elevación digital SRTM. Los datos de altitud de las estaciones meteorológicas fueron utilizados para derivar la presión del aire mediante la ecuación hidrostática que relaciona el cambio de presión con la altura en la dirección vertical:

$$P_z = P_o (T_m / T_m + \lambda z)^{(mg/\lambda R)}$$

donde T_m es la temperatura asumida a nivel del mar (300 K); λ es el gradiente térmico asumido ($-0,0065 \text{ K}$), z es la altura de la estación meteorológica considerada (m), y g es la constante de gravedad ($9,80616 \text{ m s}^{-2}$).

Posteriormente, los datos de temperatura potencial fueron interpolados espacialmente en la totalidad del área de estudio mediante el método de *kriging* ordinario. Tanto para la temperatura máxima potencial como la temperatura mínima potencial, el modelo teórico de variograma que presentó el mejor ajuste con los datos observados fue el modelo Matérn, parametrizado por Stein (Jun y Stein, 2008).

A partir de las superficies interpoladas de la temperatura máxima y mínima potencial fue derivada la cartografía de temperatura máxima y mínima real, mediante la inversión de la ecuación de la temperatura potencial.

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

Los ráster resultantes fueron validados utilizando un conjunto de datos independientes procedentes de las estaciones meteorológicas del Instituto de Tecnología Agropecuaria.

2.2 Determinación de las potenciales áreas de establecimiento de *L. botrana*

La estimación de las áreas con riesgo de establecimiento de *L. botrana* en Argentina fue realizada basándose en el diseño de un modelo de enfoque ecológico propuesto por Soberón y Peterson (2005). Este modelo supone que una especie estará presente en un lugar, y momento dado, cuando las condiciones abióticas (aptitud denso-independiente) y bióticas (aptitud denso-dependiente) sean favorables y la región sea accesible para la especie, en tiempos ecológicos, desde las áreas de distribución en que se halla establecida.

Para la modelización se utilizaron los parámetros bioecológicos mencionados por Venette *et al.* (2003), delimitándose temporalmente el análisis al período de inicio de primavera hasta comienzo de otoño (octubre a marzo), período en el que se desarrollan las múltiples generaciones de la especie.

Se definió como rango térmico para el desarrollo de la especie un umbral inferior de 10 °C y un umbral superior de 32 °C. Briere y Pacros (1998) consideran como condiciones térmicas óptimas para el desarrollo de la especie temperaturas entre 22 y 26 °C.

Se asumió el límite superior de 600 mm anuales de precipitación como criterio de selección de áreas climáticamente óptimas para la interacción entre el cultivo hospedero (vid) e insecto plaga (Venette *et al.*, 2003).

Se utilizó la capa de cobertura vegetal del producto Regional GLOBCOVER, la distribución de cultivos hospederos por jurisdicción departamental, junto con índices de vegetación normalizados para establecer la distribución geográfica de hospederos susceptibles.

Las variables incluidas en el modelo fueron usadas directamente o calculadas por medio de clasificaciones de los ráster, según el enfoque ecológico propuesto. Las capas de temperatura media mensual fueron reclasificadas a fin de obtener una capa ráster para capa mes: *EITHER 1 IF (10 > (T med. mes n) < 22) OR 1 IF (26 > (T med. mes n) < 32) OR 2 IF (22 >= (T med. mes n) = < 26) OR 0 OTHERWISE*. Se clasificaron las capas de NDVI mensuales de forma de obtener una capa ráster donde *EITHER 1 IF (T med. mes n) > 0.3) OR 0 OTHERWISE*. Mediante este criterio de selección se buscó descartar celdas con un elevado porcentaje de suelo descubierto (NDVI < 0,3).

Estas capas intermedias se multiplicaron mediante la calculadora de mapas, obteniendo una zonificación mensual de áreas de riesgo. Posteriormente, mediante un modelo aditivo se calculó el riesgo bioclimático: $(IR) = (IR_{mes10} + IR_{mes11} + IR_{mes12} + IR_{mes1} + IR_{mes2} + IR_{mes3})$. A la capa resultante se le aplicaron máscaras de vegetación, según la clasificación del GLOBCOVER, y los datos de censos del INDEC y la máscara de precipitación: *EITHER 1 IF ((pp. anual) < 600)*

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

OR 0 OTHERWISE. El índice de riesgo final se calculó dividiendo la capa final ráster por el valor máximo de la misma, 12 (doce).

2.3. Determinación de la fecha probable de ocurrencia de las capturas de adultos de cada generación

Se simuló la fenología potencial de la especie basada en modelo de grados/día, cuya fórmula es:

$$GD = \{(T \text{ max} + T \text{ min})/2\} - T \text{ base}$$

donde $T \text{ máx.}$ = Temperatura máxima diaria (°C); $T \text{ mín.}$ = Temperatura mínima diaria (°C); $T \text{ base}$ = Temperatura base de desarrollo (°C), por debajo de la cual no hay desarrollo del organismo (Arnold, 1959).

Los parámetros para la simulación fueron obtenidos del modelo fenológico validado en Grecia por Milonas *et al.* (2001). En la tabla 1 se muestran las constantes térmicas obtenidas por dichos autores a partir de datos de campos en las localidades griegas de Naoussa (latitud 40,63° N, longitud 22,07° E) y Thessaloniki (latitud 40,72° N; longitud 23,09° E), considerando un umbral térmico de 6,45 °C. Sobre esta base se determinó el número de generaciones potenciales y la fecha de ocurrencia del inicio del vuelo de adultos de cada generación potencial de *L. botrana* en la Argentina desde el 1 de septiembre hasta el 31 de marzo (Moraviea *et al.*, 2006; Milonas *et al.*, 2001). Se utilizó como base de datos climáticos los valores de temperatura media diaria para la serie histórica 1990-2008 del Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina.

Se seleccionó este modelo en relación a otros debido a que el mismo fue elaborado sobre la base de datos de campo y no a partir de datos de laboratorio, integrando por ello variables que pudieran estar interaccionando con la temperatura, como pueden ser: fotoperiodo y fenología de la vid, este último es un indicador de calidad nutricional para el desarrollo de la plaga.

Tabla 1. Número de grados día (°Cd) estimados a inicio de vuelo de adultos para cada generación potencial. Fuente: Milonas *et al.* 2001.

Modelo de Ajuste	Primer vuelo	Segundo vuelo	Tercer vuelo
<i>Naoussa</i>	339,3 °Cd	1090,8 °Cd	1990,3 °Cd
<i>Thessaloniki</i>	275,6 °Cd	1109,4 °Cd	2306 °Cd

Para el tratamiento de la información se utilizó el *software* estadístico *R* (librerías *gstat*, *gdal* y *automap*), *GRASS GIS* y el módulo *Sextante* del *software* *GVSIG*®, versión 1.11.

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

3. Descripción y análisis de resultados

En la figura 1 se presenta, a modo de ejemplo, el resultado con la zonificación de áreas con diferente nivel de riesgo climático para el desarrollo de poblaciones viables de *L. botrana*. Se tomó como ejemplo el mes de febrero en la Argentina (verano), basándose en el diseño de un modelo de enfoque ecológico propuesto por Soberón y Peterson (2005).

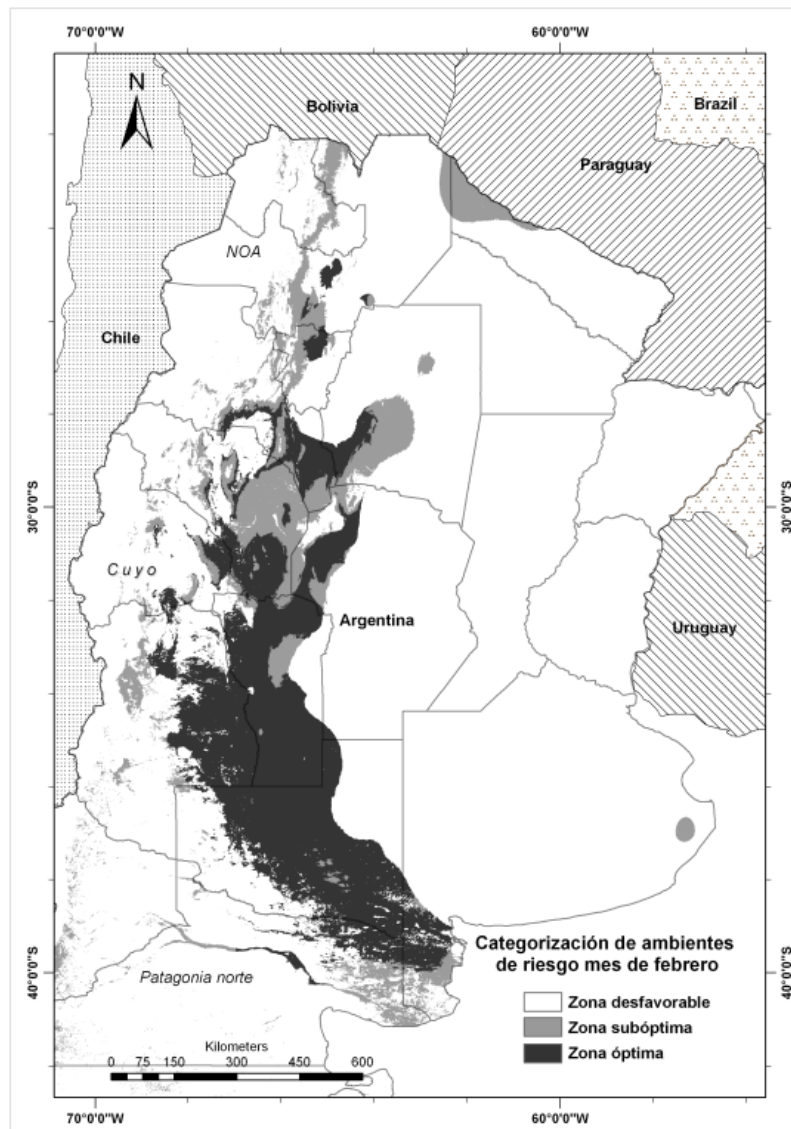


Figura 1: Determinación de aptitud ambiental para el desarrollo de *L. botrana* para el mes de febrero.

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

Como se muestra en la figura 2, la probabilidad de establecimiento de *L. botrana*, Índice de Riesgo (IR) $>0,5$, es elevada en la región vitivinícola de Cuyo y del noroeste argentino, pero baja en la región patagónica.

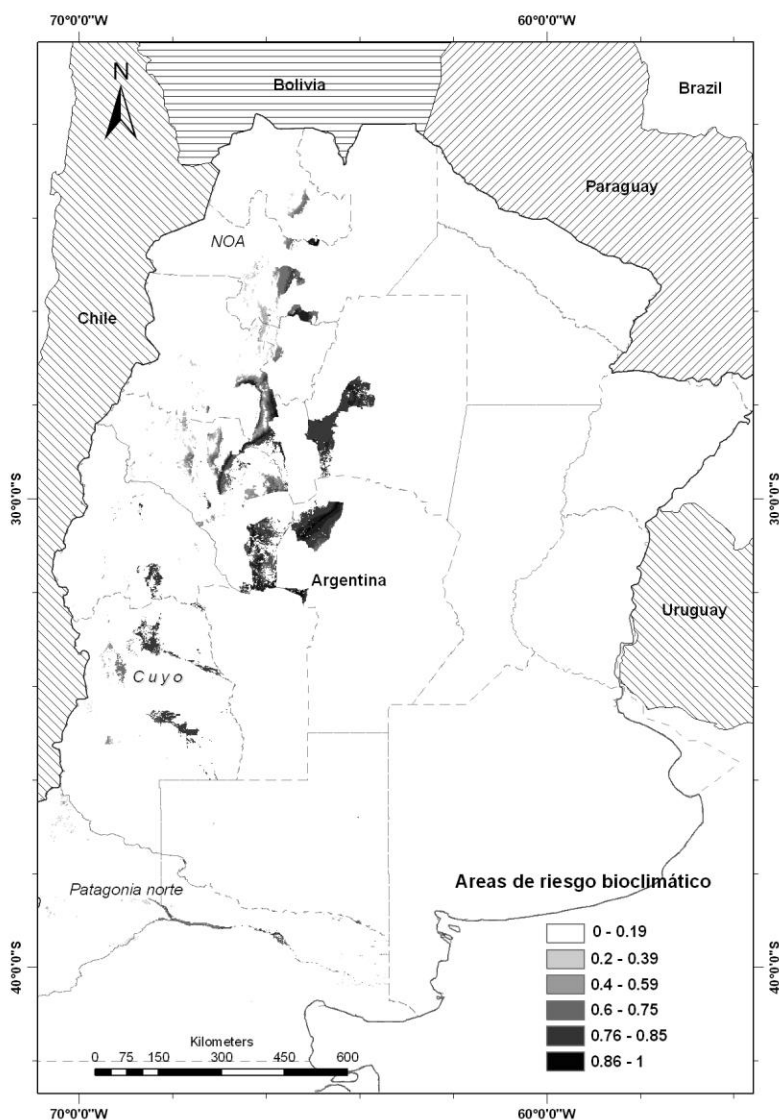


Figura 2: Estimación de áreas de riesgo bioclimático para el establecimiento de *L. botrana*.

Se muestran a continuación los resultados de estimación de la fecha media de ocurrencia del inicio de vuelo de los adultos de la primera generación potencial de *L. botrana*. Según el modelo ajustado en la localidad de Naoussa, el inicio de vuelo de adultos de la primera generación de *L.*

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

botrana se daría en las regiones productoras de vid del noroeste argentino (Cafayate, Salta) a partir del 31 de octubre; en los oasis de San Juan y el norte de Mendoza a partir del 07 de octubre, mientras que los que se encuentran hacia el sur y el oeste de Mendoza entre el 14 y el 21 del mismo mes. Por último, el modelo estima que en el Alto Valle de río Negro la fecha estimada de inicio de vuelo de adulto será a partir del 21 de octubre (ver Figura 3).

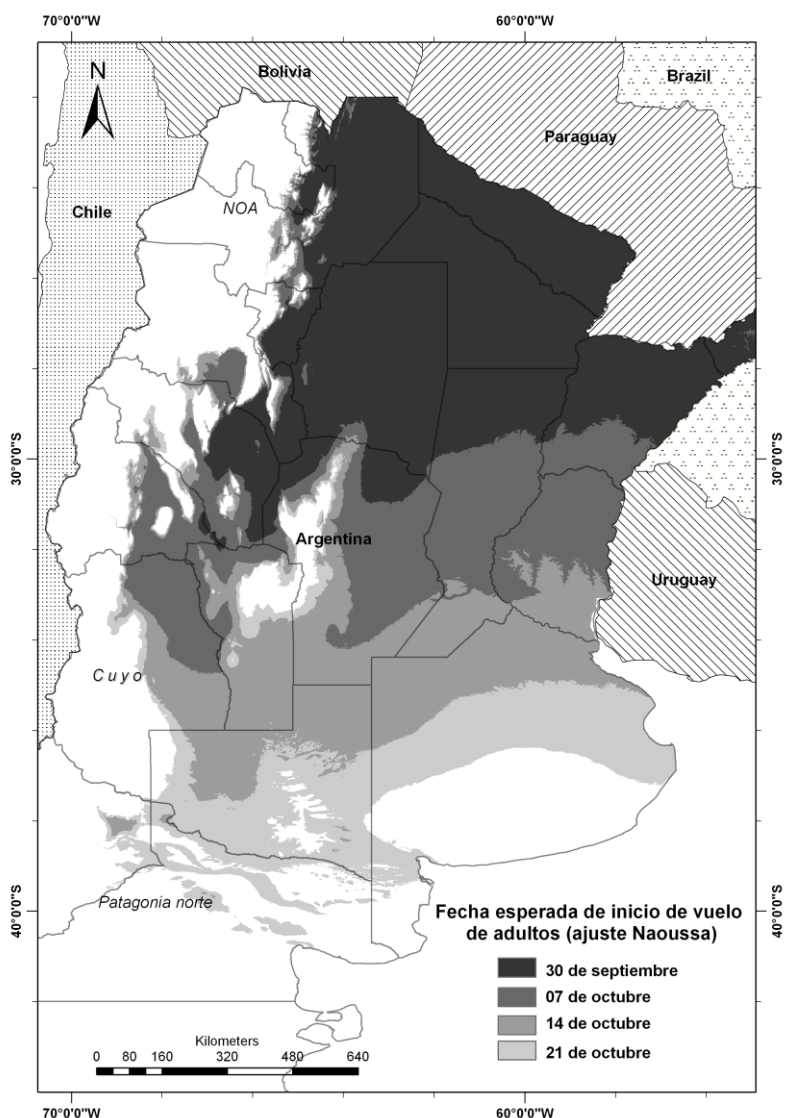


Figura 3: Fechas estimadas de inicio de captura de adultos de la primera generación de *L. botrana* basado en modelo de Milonas *et al.*, 2001, ajustado en la localidad de Naoussa (Grecia).

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

De manera similar, en la figura 4 se muestra que, según el modelo ajustado en la localidad de Thessaloniki, el inicio de vuelo de adultos de la primera generación de *L. botrana* se daría en las regiones productoras de vid del noroeste argentino (Cafayate) a partir del 21 de octubre; en los oasis de San Juan y el norte de Mendoza a partir del 30 de septiembre, mientras que los que se encuentran hacia el sur y el oeste de Mendoza entre el 7 y el 14 de octubre. Por último, el modelo estima que en el Alto Valle de río Negro la fecha estimada de inicio de vuelo de adulto será a partir del 14 de octubre (ver Fig. 5).

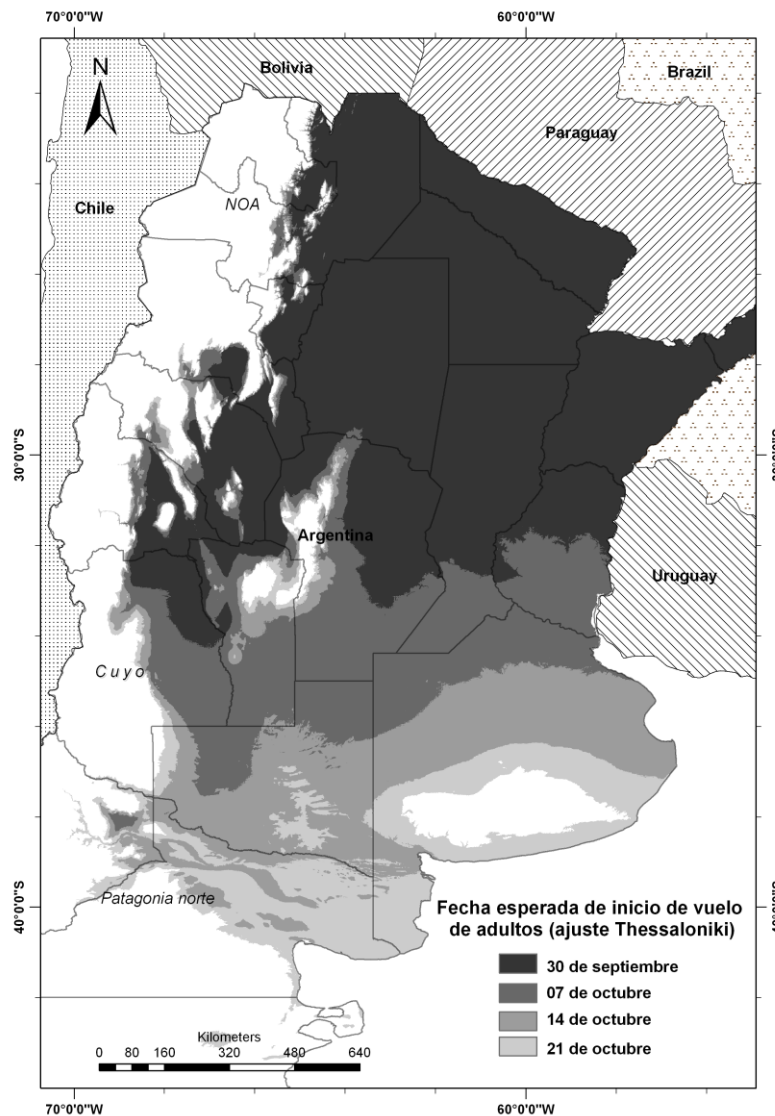


Figura 4: Fechas estimadas de inicio de captura de adultos de la primera generación de *L. botrana* basado en el modelo de Milonas *et al.* (2001), ajustado en la localidad de Thessaloniki (Grecia).

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

4. Discusión

En términos generales, los resultados hallados en este trabajo concuerdan con los descriptos por Ali *et al.* (1978) y Al-Zyoud y Elmosa (2001), quienes destacan como regiones más favorables para el desarrollo del insecto a los climas cálidos, con temperaturas media durante el periodo de crecimiento primavero-estival de entre 25 y 30 °C.

En el análisis de riesgo climático a escala regional es razonable pensar que en regiones áridas la baja humedad ambiental podría jugar un papel negativo en la dinámica poblacional de *L. botrana*, evitando que ésta alcance su máximo potencial reproductivo, por la baja supervivencia de las oviposiciones ante situaciones de excesivo déficit de saturación de vapor en el ambiente. Sin embargo, la falta de datos de humedad relativa a nivel de *canopeo* hace problemático el abordaje de este factor a la escala de estudio regional analizada en este trabajo (Ali *et al.* 1978; Abashidze, 1991; Roehrich y Boller, 1991).

En áreas donde esta especie es endémica, completa dos o tres generaciones por año y, excepcionalmente, una cuarta, parcial o total, en las regiones del sur de Europa (Stefanos *et al.*, 2005). Los resultados hallados en este trabajo indicarían que *L. botrana* podría potencialmente establecerse y completar 3 generaciones anuales en las zonas vitivinícolas del este de Cuyo y algunos valles del noroeste argentino, mientras que las zonas vitivinícolas del Alto Valle de río Negro presentarían un menor riesgo de establecimiento para la especie, lo cual es acorde a lo observado en otras regiones del mundo donde esta especie es endémica (Caffarelli y Vita, 1988; Roehrich y Boller 1991; Briere y Pacros, 1998; Roditakis y Karandinos 2001).

Aunque la temperatura y el fotoperiodo son los factores más importantes para el desarrollo de *L. botrana*, Deseo *et al.* (1981) determinaron que en condiciones de campo el fotoperiodo necesario para inducir diapausa en el insecto era de 15 horas, por lo cual no consideramos este factor en las estimaciones de este trabajo, ya que durante los meses considerados en este estudio el fotoperiodo en las regiones vitivinícolas argentinas se encuentra por debajo de este umbral.

Si bien el poder predictivo de las curvas de vuelo de los insectos ha sido de particular interés en lo que respecta a los plazos ejecución de las medidas de control químico (Butcher y Haynes, 1960; Higley *et al.*, 1986; LeVeen, 1989; Savopoulou-Soultani *et al.*, 1996; Hallman y Schwalbe, 2002), la propuesta de un modelo de distribución espacio-temporal de la especie en la República Argentina puede brindar al SENASA una herramienta auxiliar en la toma de decisiones que permitan mejorar la coordinación de tareas entre unidades operativas, como la asignación de prioridades para la distribución de trampas o la estimación de las fechas probables de realización de tratamientos fitosanitarios (Knight y Croft, 1991; Fan *et al.*, 1992).

En lo referente al modelo de estimación fenológica de *L. botrana*, muchos autores europeos han encontrado gran variabilidad en la emergencia de *L. botrana* entre sitios y años (Briere y Pacros, 1998; Del Tio *et al.* 2001; Milonas *et al.*, 2001). Esta variabilidad constituye el mayor obstáculo para adoptar un enfoque que logre una aceptable precisión de la emergencia de poblaciones de la polilla de vid a escala regional. Los procesos poblacionales, tales como

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

fecundidad, supervivencia y tasa de desarrollo, son influenciados por factores ecológicos, tales como temperatura, humedad y calidad nutricional del hospedante; por ende, el número de insectos presentes en un momento dado es bastante impredecible. En este trabajo se asume que el momento de emergencia de polillas presenta intrínsecamente una menor variabilidad que el número (o proporción) de adultos emergidos a un momento dado, ya que ésta depende mayoritariamente de la distribución de tasas de desarrollo dentro de la población, la cual debería ser menos variable que un número absoluto.

La principal fuente de variabilidad hallada en los resultados por Del Tío *et al.* (2001), Milonas *et al.* (2001) y Briere y Pacros (1998) es el efecto de sitio. En primera instancia, el efecto de sitio puede estar relacionado con condiciones microclimáticas (Causse *et al.* 1984). Además de la altitud sobre el nivel del mar, su microclima es influenciado por factores ambientales tales como la proximidad de otros viñedos, cultivos, bosques y viviendas, y éstas, junto a la topografía local, interactúan para dar un régimen de temperatura sitio específico (Weiss *et al.*, 1993).

Una segunda fuente de variabilidad a considerar en un nivel regional es la relacionada con el desarrollo de subpoblaciones con ligeras diferencias biológicas, debidas al relativo aislamiento de estas subpoblaciones a causa de la limitada capacidad de dispersión de la especie (1-3 km). Desde el punto de vista de un modelo de predicción, la existencia de efectos sitio dependientes implica que el momento de captura de polillas es potencialmente diferente para cada viñedo (Higley *et al.*, 1986; He y Sun, 2004).

La presencia de un efecto de año también complica la predicción de emergencia de adultos, resultando complejo hacer predicciones que expliquen la variabilidad interanual. La única alternativa posible sería estimar el efecto del año tan pronto como sea posible, siendo conscientes que la eficiencia de la estimación de estos depende de la naturaleza del efecto. El efecto específico de un año puede vislumbrarse en el comportamiento de la población de crisálidas al comienzo de la primavera, sin embargo, debe poder diferenciarse si el efecto observado en la población de pupas hibernantes se debe principalmente a la dinámica de población del año anterior y/o a las condiciones de climática imperantes durante el invierno.

Debido a la complejidad y heterogeneidad inherente de los ecosistemas presentes en las áreas modeladas, no es razonable esperar que los modelos deductivos de la distribución potencial de una especie exótica reflejen con precisión los mecanismos inherentes a un proceso espacio-temporal tan complejo como es el proceso de invasión de una especie a un nuevo ambiente. Esto tiene especial trascendencia cuando se abordan casos similares a los planteados en este trabajo, donde no es posible llevar a cabo una investigación para determinar los parámetros biológicos de poblaciones locales que permita una predicción más certera de su distribución potencial, ni se cuentan con datos para estimar su distribución potencial mediante modelos inductivos de distribución de especies (Coscollá, 1980; Del Tío *et al.*, 2001).

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

5. Conclusiones

Utilizando distintos enfoques ecológicos, en este trabajo se delimitaron áreas de riesgo diferencial para el potencial establecimiento de *L. botrana* en la República Argentina.

El desarrollo y estandarización de protocolos de análisis de riesgo de *invasividad* de especies exóticas mediante la utilización de herramientas geomáticas, se propone como metodología de análisis objetiva para la planificación de actividades de prevención y vigilancia fitosanitaria en Argentina y para los países del Comité de Sanidad Vegetal del Cono Sur (COSAVE).

La predicción del riesgo de establecimiento de una plaga exótica en una región otorga a los técnicos involucrados en las políticas oficiales la posibilidad de tomar rápidas decisiones ante emergencias fitosanitarias. Ello hace más eficiente la planificación de tareas de prevención y la determinación de la intensidad de monitoreo, según áreas de riesgo. Esto es crucial durante las etapas iniciales del proceso de invasión de una especie exótica a un área nueva, dado que las poblaciones se encuentran espacialmente dispersas y en baja densidad, lo cual dificulta su detección temprana mediante las prácticas habituales de vigilancia.

Agradecimientos

Al Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y a dos anónimos revisores que aportaron valiosos comentarios que mejoraron el trabajo.

Referencias bibliográficas

Abashidze, E. (1991): "Comparative evaluation of entomophenological prediction methods", *Soviet Journal of Ecology*, 22, pp. 64-69.

Ali, M.; Abdel Lateef, F.; Awadallah, A. y Korashy, M. (1978): "The effect of temperature and humidity on the development of vine grape moth *Lobesia botrana* Schiff", *Proceedings of the Fourth Conference of Pest Control*. Cairo, Academy of Scientific Research and Technology, pp. 156-162.

Al-Zyoud, F. y Elmosa, H. (2001): "Population dynamics of the grape berry moth, *Lobesia botrana* Schiff. (Lepidoptera:Tortricidae), and its parasites in Jerash Area, Jordan", *Dirasat Agricultural Sciences*, 28, pp. 6-13.

Arnold, C. (1959): "The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system", *Proceedings American Society of Horticultural Science*, 74, pp. 430-445.

Baker, R.; Battisti, A.; Bremmer, J.; Kenis, M.; Mumford, J.; Petter, F. y Sun, J. (2009): "PRATIQUE: a research project to enhance pest risk analysis techniques in the European Union", *EPPO Bulletin*, 39, 1, pp. 87-93.

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

Bicheron, P.; Leroy, M.; Brockmann, C.; Krämer, U.; Miras, B. y Vancutsem, C. (2006): "GLOBCOVER: a 300 m global land cover product for 2005 using ENVISAT MERIS time series", 2nd *International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing*, 25-29 de septiembre, Valencia, España s/p.

Bovey, P. (1966): "Superfamilie des Tortricidae", *Entomologie Appliquée à l'Agriculture*, 2, 1, pp. 859-887.

Briere, J. y Pacros, P. (1998): "Comparison of Temperature-Dependent Growth Models with the Development of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae)", *Environmental Entomology*, 27, 1, pp. 94-101.

Butcher, J. y Haynes, D. (1960): "Influence of timing and insect biology on the effectiveness of insecticides applied for control of European pine shoot moth, *Rhyacionia buoliana*", *Journal of Economical Entomology*, 53, pp. 349-354.

Caffarelli, V. y Vita, G. (1988): "Heat accumulation for timing grapevine moth control measures", *Bulletin SROP*, 11, pp. 24-26.

Causse, R.; Barthes, J.; Marcelin, H. y Videal, G. (1984): "Localisation et mortalité hivernale des chenilles de l'Eudémis de la Vigne, *Lobesia botrana* Schiff", *Vignes Vins*, 326, pp. 8-15.

Coscollá, R. (1980): "Incidencia de los factores climatológicos en la evolución de las plagas y enfermedades de las plantas", *Boletín Servicio Sanidad Vegetal. Plagas*, 6, pp. 123-139.

Dahlsten, D.; Garcia, R. y Lorraine, H. (1989): "Eradication as a pest management tool: concepts and contexts", en Dahlsten, D. y Garcia R. (eds.): *Eradication of exotic pests. Analysis with case histories*. New Haven, Connecticut, USA, Yale University Press, pp. 3-15.

Del Tío, R.; Martínez, J.; Ocete, R. y Ocete M. (2001): "Study of the relationship between sex pheromone trap catches of *Lobesia botrana* (Den. y Schiff.) (Lep., Tortricidae) and the accumulation of degree-days in Sherry vineyards (SW of Spain)", *Journal of Applied Entomology*, 125, pp. 9-14.

Deseo, K.; Marani, F.; Brunelli, A. y Bertaccini, A. (1981): "Observations on the biology and diseases of *Lobesia botrana* Den. y Schiff. (Lepidoptera: Tortricidae) in central-north Italy", *Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 16, pp. 405-431.

Fan, Y.; Groden, E. y Drummond, F. (1992): "Temperature dependent development of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) under constant and variable temperatures", *Journal of Economical Entomology*, 85, pp. 1762-1770.

Guisan, A. y Zimmermann, N. (2000): "Predictive habitat distribution models in ecology", *Ecological Modelling*, 135, pp. 147-186

Hallman, G. y Schwalbe C. (2002): *Invasive Arthropods in Agriculture: Problems and Solutions*, Enfield, Science Publishers.

He, Z. y Sun, D. (2004): "Hierarchical Bayes estimation of hunting success rates with spatial correlations", *Biometrics*, 56, pp. 360-367.

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): "Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

Higley, L.; Pedigo, L. y Ostlie, K. (1986): "DEGDAY: a program for calculating degree-days, and assumptions behind the degree-day approach", *Environmental Entomology*, 15, pp. 999-1016.

Hijmans, R.; Cameron, S.; Parra, J.; Jones, P. y Jarvis, A. (2005): "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas", *International Journal of Climatology*, 25, pp. 1965-1978.

IPPC (2005): *Normas internacionales para medidas fitosanitarias*, Ginebra, Ed. Organización Mundial del Comercio.

Jun, M. y Stein, M. (2008): "Nonstationary covariance models for global data", *The Annals of Applied Statistics*, 2, pp. 1271-1289.

Knight, A. y Croft, B. (1991) "Modeling and prediction technology", en Van der Geest, S. y Evevhuis, H. (eds.): *Tortricid pest: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, Elsevier, pp. 301-312.

LeVeen, E. (1989): "Economic evaluation of eradication programs", en Dahlsten D. y Garcia, R. (eds.): *Eradication of exotic pests*. New Haven, Connecticut, Yale University Press, pp. 41-56.

Magarey, R.; Borchert, D.; Fowler, G.; Sutton, T.; Colunga-Garcia, M. y Simpson, J. (2007): "NAPFAST, an Internet System for the Weather-based Mapping of Plant Pathogens", *Plant Disease*, 91, pp. 336-445.

Milonas, P.; Savopoulou-Soultani, M. y Stavridis, D. (2001): "Day-degree models for predicting the generation time and flight activity of local populations of *Lobesia botrana* (Den. y Schiff.) (Lep., Tortricidae) in Greece", *Journal of Applied Entomology*, 125, pp. 515-518.

Moraviea, M.; Davisona, A.; Pasquierb D. y Charmillot, P. (2006): "Bayesian forecasting of grape moth emergence", *Ecological modelling*, 197, pp. 478-489.

Roditakis, N. y Karandinos, M. (2001): "Effects of photoperiod and temperature on pupal diapause induction of grape berry moth *Lobesia botrana*", *Physiological Entomology*, 26, pp. 329-340.

Roehrich, R. y Boller, E. (1991): "Tortricids in vineyards". en Van der Geest, S. y Evevhuis, H. (eds.): *Tortricid pest: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, Elsevier, pp. 507-514.

Savopoulou-Soultani, M.; Milonas, P. y Skoulakis, G. (1996): "Development and life-fertility tables for *Lobesia botrana* (Den. y Schiff.) (Lepidoptera: Tortricidae) larvae", *Journal of Economical Entomology*, 92, pp. 551-556.

Stefanos, S., Panagiotis, G. y Savopoulou-Soultani, M. (2005): "Cold hardiness of diapausing and non-diapausing pupae of the European grapevine moth, *Lobesia botrana*", *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 117, pp. 113-118.

Soberón, J. y Peterson, A. (2005): "Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas", *Biodiversity Informatics*, 2, pp. 1-10.

Venette, R., Davis, E., DaCosta, M., Heisler, H. y Larson, M. (2003): "Mini Risk Assessment Grape berry moth, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermuller)[Lepidoptera: Tortricidae]" Minnesota, University of Minnesota press.

Heit, G., Sione, W., Aceñolaza, P., Zamboni, L., Blanco, P., Horak, P., Cortese, P. (2013): “Modelo de distribución potencial de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Una herramienta de planificación para su detección temprana a nivel regional.”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, p.179-194. ISSN: 1578-5157

Wearing, C., Hansen, J., Whyte, C., Miller, C. y Brown, J. (2001): “The potential for spread of codling moth via commercial sweet cherry fruit: a critical review and risk assessment”, *Crop Protection*, 20, pp. 465–88.

Weiss, S., Murphy, D., Ehrlich, P. y Metzler, C. (1993): “Adult emergence phenology in checkerspot butterflies: the effects of macroclimate, topoclimate, and population history”, *Oecologia*, 96, pp. 261–270.

Worner, S. (1994): “Predicting the establishment of exotic pests in relation to climate”, en Sharp J. y Hallman, G. (eds.): *Quarantine Treatments for Pests and Food Plants*. Boulder, Westview, pp. 290.