

# COMPARACIÓN DE MODELOS TERMODEPENDIENTES APLICADOS AL VOLTINISMO DE *LOBESIA BOTRANA*: UN ANÁLISIS A ESCALA REGIONAL

## A COMPARISON OF THERMO-DEPENDENT MODELS APPLIED TO THE VOLTINISM OF *LOBESIA BOTRANA*: AN ANALYSIS AT THE REGIONAL LEVEL

**Guillermo Heit** (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria [Senasa] Argentina), **Walter Sione** (Universidad Autónoma de Entre Ríos, Argentina) y **Pablo Cortese** (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria [Senasa] Argentina)

**Resumen:** *Lobesia botrana* es una plaga cuarentenaria de la vid en proceso de erradicación de la provincia de Mendoza, Argentina. Con el objetivo de comparar diferentes modelos predictivos aplicados a la estimación del voltinismo de *L. botrana* a escala regional, se construyeron tres modelos de regresión no lineal a partir del promedio semanal de capturas en trampas de feromonas y la acumulación de grados día en las campañas agrícolas 2011-2012 y 2012-2013. El error cuadrático medio obtenido en los modelos de regresión analizados fue muy similar. Los valores de  $R^2$  estuvieron por encima del 91 % para todos los vuelos y modelos analizados. Sin embargo, se consideró como modelo de referencia la ecuación de Weibull que presentó, en promedio para los cuatro vuelos evaluados, el menor error cuadrático medio AIC y BIC. A partir de los resultados obtenidos en el sistema de vigilancia de *L. botrana* se logró desarrollar una serie de ecuaciones que describen los patrones de vuelo de este insecto a escala regional. Debido a que es una especie de reciente introducción en el país, la generación de modelos predictivos podría contribuir al diseño de nuevas estrategias de acción en el Programa Nacional de Prevención y Erradicación de *L. botrana*.

**Palabras clave:** *Lobesia botrana*, SIG, modelos fenológicos.

**Summary:** *Lobesia botrana* is a quarantine pest of grapevine with an ongoing eradication programme in the province of Mendoza, Argentina. In order to compare different predictive models to estimate the voltinism of *L. botrana* at the regional level, three models of nonlinear regression were constructed from the weekly average catch in pheromone traps and degree day accumulation in the agricultural seasons 2011/2012 and 2012/2013. The mean square error obtained from the regression models tested was very similar.  $R^2$  values were above 91% for all flights and models analyzed. However, the Weibull equation, which showed the lowest mean square error, AIC and BIC on average for the four flights evaluated, was considered the reference model. According to the results of the surveillance system for *L. botrana*, it was possible to obtain a series of equations that describe the flight patterns of the species at regional scale. Because it is a newly introduced species in the country, the generation of predictive models could contribute to design new strategies for the National Programme for Prevention and Eradication of *L. botrana*.

**Keywords:** *Lobesia botrana*, GIS, phenology models.

### Introducción

La polilla europea de la vid, *Lobesia botrana* (Denis y Schiffermuller) (Lepidoptera: Tortricidae) es la principal plaga de los viñedos en la cuenca del Mediterráneo y Asia Menor (Stefanos *et al.*, 2005). Esta especie era considerada una plaga cuarentenaria ausente en Sudamérica hasta mediados de 2008, cuando el Servicio Agrícola y Ganadero de Chile confirmó su presencia en dicho país. En marzo de 2010, el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria de la Argentina (Senasa) detectó esta especie en el departamento Maipú, provincia de Mendoza (González, 2010).

Al declararse la emergencia fitosanitaria en la Argentina por medio de la Resolución 122/2010 del Senasa, se creó el Programa Nacional de Prevención y Erradicación de *Lobesia botrana*, por medio del cual se estableció un sistema de monitoreo de la plaga a nivel nacional y se delinearon las estrategias de control y erradicación de la especie en el área en la que fue detectada. Dado que una de las herramientas utilizadas en la prevención son los sistemas de alerta fitosanitaria, uno de los objetivos del programa, aún vigente, es desarrollar modelos predictivos sobre la dinámica poblacional de *L. botrana*, a fin

de estimar el comportamiento de la especie en otras zonas vitivinícolas del país con riesgo de ser invadidas.

En entomología aplicada, diversos enfoques empíricos han sido empleados para estimar la dinámica poblacional de las poblaciones de insectos, fundamentalmente sobre la base del estudio de los patrones de distribución temporal de los diferentes estados de desarrollo de los insectos, por ejemplo, la distribución de los períodos de emergencia de uno o varios de dichos estados (Moravie *et al.*, 2006). Varios autores han utilizado observaciones de campo para estimar la fenología de insectos plaga a fin de usar dichas estimaciones en el manejo integrado de plagas o incluso en el análisis de riesgo de plagas ante escenarios de cambio climático (Pruess *et al.*, 1983; Tobin *et al.*, 2003; Satake *et al.*, 2006; Martin-Vertedor *et al.*, 2010; Gutierrez *et al.*, 2012).

Si bien en las primeras estimaciones realizadas para describir la fenología de insectos se utilizaron modelos lineales, en los últimos veinte años se han empezado a usar modelos no lineales, al menos cuando el objetivo fue describir fenómenos termodependientes, ya que la relación existente entre la tasa de desarrollo de los insectos y la temperatura es no lineal (Damos y Savopoulou-Soultani, 2012).

Tobin *et al.* (2003) han utilizado funciones logísticas y de Gompertz para estimar la emergencia de adultos de *Endopiza viteana* (Lepidoptera: Tortricidae) en función del tiempo térmico acumulado. También evaluando otro modelo termodependiente, Milonas y Savapolous (2006) han utilizado las funciones logística y de Weibull para estimar la proporción de adultos de *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortricidae) capturados en trampas de feromonas. Milonas *et al.* (2001) usaron regresiones no lineales para estimar el voltinismo de *L. botrana* en Grecia.

Dado que en la actualidad no existen estudios previos que evalúen la relación existente entre el tiempo térmico y la evolución de capturas de adultos de *L. botrana* en trampas de feromonas, el objetivo de este trabajo fue comparar la aplicabilidad de diferentes modelos de regresión no lineal a la estimación del voltinismo de *L. botrana* en Mendoza (Argentina), mediante un análisis a escala regional.

## Materiales y métodos

### Área de estudio y sistema de monitoreo

El área de estudio comprende los Oasis Norte, Centro y Este de la provincia de Mendoza, Argentina (ver Figura 1). Trampas tipo Delta fueron utilizadas para monitorear la actividad de imagos de *L. botrana*. Estas contaron con un piso pegajoso removible y una feromona sexual sintética, cuyo principal componente fue el acetato de (7E,9Z) dodecadienilo. Las trampas fueron instaladas antes del comienzo del primer vuelo (fines de agosto) y se mantuvieron hasta el final de la

temporada (por lo general, abril), a una altura de entre 1,3 y 1,5 m por encima del suelo y fueron revisadas una vez por semana. Los pisos pegajosos fueron cambiados frecuentemente y los emisores fueron renovados al menos una vez cada cuatro semanas.

### Datos meteorológicos

A partir de los datos de temperaturas mínimas y máximas diarias obtenidos de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), se generó una base de datos cartográfica sobre la temperatura diaria del territorio argentino.

Para ello se interpolaron los datos de temperatura máxima y mínima (°C), para cada día juliano desde el 1 de julio de 2011 hasta el 30 de marzo de 2013, a una escala espacial de 4 km<sup>2</sup>. Como variable de deriva externa de interpolación para el algoritmo de Kriging Universal, se utilizó el modelo digital de Terreno *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), versión 4 de 90 m (Hudson y Wackernagel, 1994; Haylock *et al.*, 2008; Aalto *et al.*, 2013).

Debido a que un problema muy difundido en la construcción de algoritmos de interpolación de datos meteorológicos en zonas montañosas es la falta de estaciones meteorológicas en sitios de elevada altitud sobre el nivel del mar (Dodson y Marks, 1997), algunos estudios regionales han suplementado las observaciones faltantes en altitudes elevadas con información proveniente de sensores remotos (Stahl *et al.*, 2006; Garen y Marks, 2005). En este estudio se suplementó la falta de datos provenientes de estaciones meteorológicas ubicadas en sitios de elevada altitud, estimando la temperatura de superficie de 30 puntos seleccionados al azar a lo largo de cordillera andina, a partir de la información generada por el satélite meteorológico de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los EE. UU. —NOAA, por *National Oceanic and Atmospheric Administration*— (Hay y Lennon, 1998).

Las capas ráster resultado fueron validadas mediante validación cruzada generalizada (Ishida y Kawashima, 1993; Hutchinson, 1995; Haylock *et al.*, 2008). Se utilizaron los softwares estadísticos R (librerías gstat, gdal y automap) y QGIS 1.8 (R Core Team, 2012; Quantum GIS Development Team, 2013).

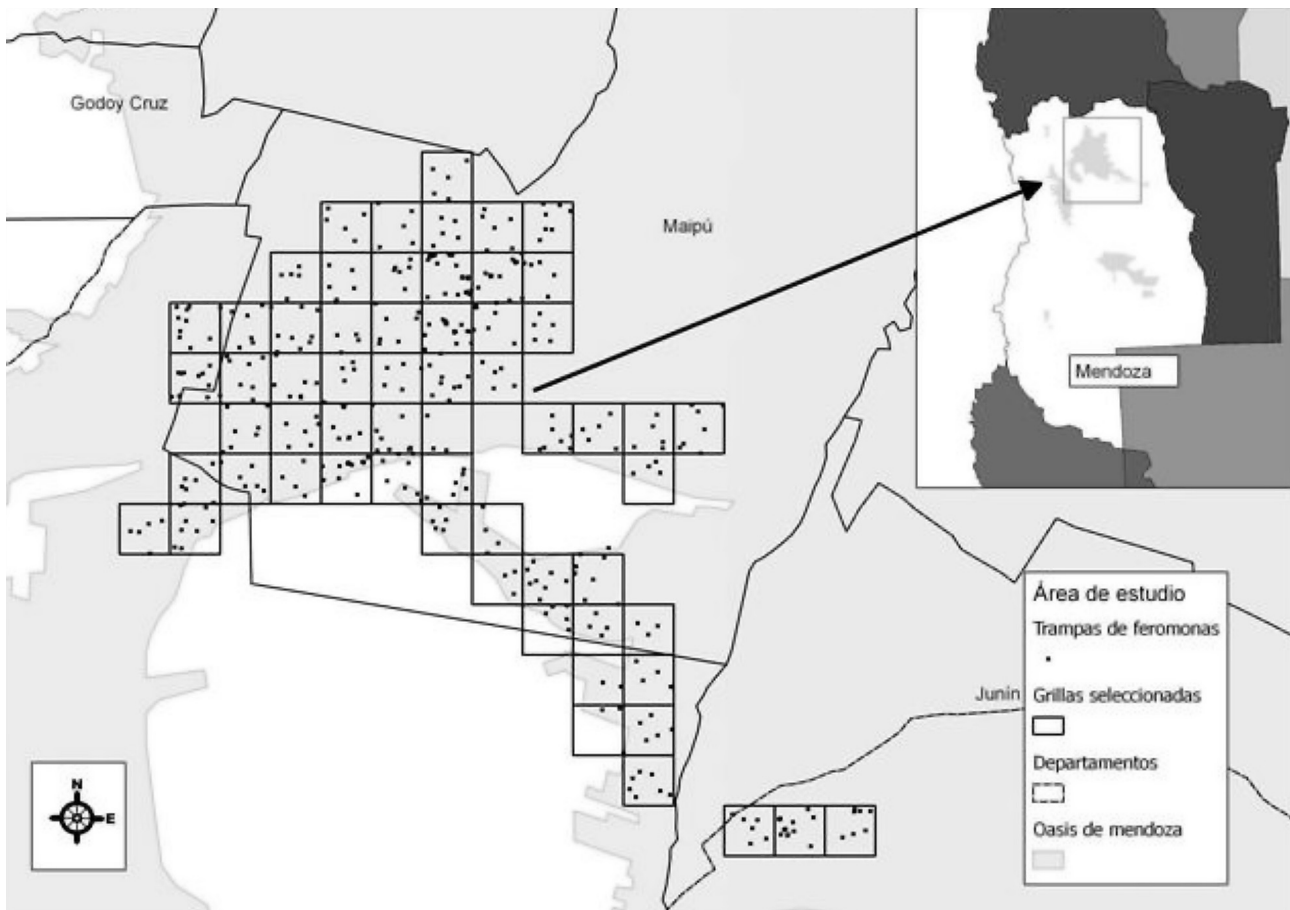


Figura 1. Distribución de trampas de feromonas y cuadrículas seleccionadas en el área de estudio.

### Análisis SIG y selección del modelo

Para analizar el voltinismo de *L. botrana* a escala regional se generó para el área de estudio una grilla homogénea compuesta por “n” cuadrículas de 4 km<sup>2</sup>, que fue utilizada para realizar estadísticas semanales de las trampas de monitoreo instaladas en dicha superficie. Para la construcción de los modelos se usaron los datos provenientes de 60 cuadrículas, en las que se calculó el promedio semanal de capturas registradas en 374 trampas de feromonas. Las estadísticas semanales fueron calculadas de forma independiente para cada una de las dos campañas agrícolas incluidas en este estudio, 2011-2012 y 2012-2013. Se eliminaron las cuadrículas que contaban con datos de una sola campaña o que tuvieron menos de 10 capturas por campaña agrícola (Moravie *et al.*, 2006).

Se simuló el voltinismo de machos de *L. botrana* sobre la base de ocurrencia de un máximo de cuatro ciclos o cohortes de vuelo anuales no superpuestos, entre inicios de septiembre y fines de marzo. Se consideró como fecha de inicio del primer vuelo anual el momento en que las capturas comenzaron a incrementarse constantemente, luego de un período de pocas o ninguna captura de adultos. El inicio del vuelo subsiguiente se supuso como el momento en el que las capturas empezaron a subir nuevamente, luego

de un período sin capturas o de una caída significativa de su número (Milonas *et al.*, 2001; Kumral *et al.*, 2005). Este análisis se realizó independientemente para cada una de las cuadrículas seleccionadas.

Para cada cuadrícula seleccionada, se calcularon los grados día acumulados a partir del 1 de julio sobre la base de la fórmula de Baskerville y Emin (1969), siendo  $\int_1^n GD = \int_1^n [(T_{max} + T_{min})/2 - T_b] dT$ . Donde GD son grados-día acumulados diariamente;  $T_{max}$  y  $T_{min}$  la temperatura máxima y mínima diaria y  $T_b$  es la temperatura base de desarrollo. En este trabajo se consideró una temperatura base de desarrollo de 7 C°, para cualquiera de los estados de desarrollo de *L. botrana* (Del Tío *et al.*, 2001; Gallardo *et al.*, 2009).

Para cada una de las cuatro cohortes de vuelo identificadas se construyeron sus correspondientes modelos de regresión no lineal, utilizando como variable dependiente el porcentaje de capturas acumuladas (como valores entre 0 y 1) y como variable independiente los grados día acumulados por encima de la temperatura base. Se utilizaron los siguientes modelos de regresión no lineal:

- a) Logístico, según la ecuación  $Y = C_1 / (1 + C_2 * \exp(-C_3 * gd))$
- b) Gompertz, según la ecuación  $Y = C_1 * \exp(-C_2 * \exp(-C_3 * gd))$
- c) Weibull, según la ecuación  $Y = 1 - \exp(-(gd / C_1)^{C_2})$

“Y” es el porcentaje acumulado de machos capturados y “gd” es la acumulación de grados día en la fecha de chequeo de la trampa. Los parámetros  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ , se calcularon mediante regresiones no lineales por medio del software Infostat Estudiantil (Di Rienzo et al., 2013).

### Comparación y validación de modelos

La comparación de los diferentes modelos ajustados se realizó tomando en cuenta los valores de los coeficientes de determinación ( $R^2$ ), el valor del cuadrado medio del error (CMerror), el número iteraciones necesarias para alcanzar el menor CMerror estimado por el modelo. Se consideró, asimismo, que los coeficientes estimados no estuvieran altamente correlacionados. Además se se tuvieron en cuenta los criterios de información de Akaike (AIC) y de Schewatrz o criterio de información Bayesiano (BIC) (Ranjbar Aghdam et al., 2011). Como comparación adicional entre los modelos de dos parámetros y tres parámetros se utilizó la prueba de falta de ajuste (Lack to fit), asumiendo como modelo de

referencia aquel que presentó en promedio, para el total de vuelos analizados, un menor error cuadrático medio (Mc Meekin et al., 1993; Zwietering et al., 1990).

Para el modelo de referencia se realizó la validación externa, utilizando los datos de 12 cuadrículas adicionales seleccionadas al azar y que no fueron usadas para confección del modelo original. Debido a ello puede suponerse que presentaron similares condiciones experimentales, pero que los recuentos se obtuvieron con una acumulación de tiempos térmicos distintos a los utilizados en la construcción de los modelos. Para cada vuelo se calculó el coeficiente de correlación de validación cruzada ( $R^{2*}$ ), entre el grupo de datos de validación y las estimaciones de la variable dependiente del modelo obtenido con los datos originales (Dos Santos y Porta Nova, 2007). Se compararon los residuales calculados con ambas series de datos mediante el test de Kolmogorov Smirnov.

### Resultados

En la Figura 2 se observa la evolución promedio de capturas de machos de *L. botrana*, en función de la acumulación de grados día en el área de estudio, para las campañas agrícolas 2011-2012 y 2012-2013.

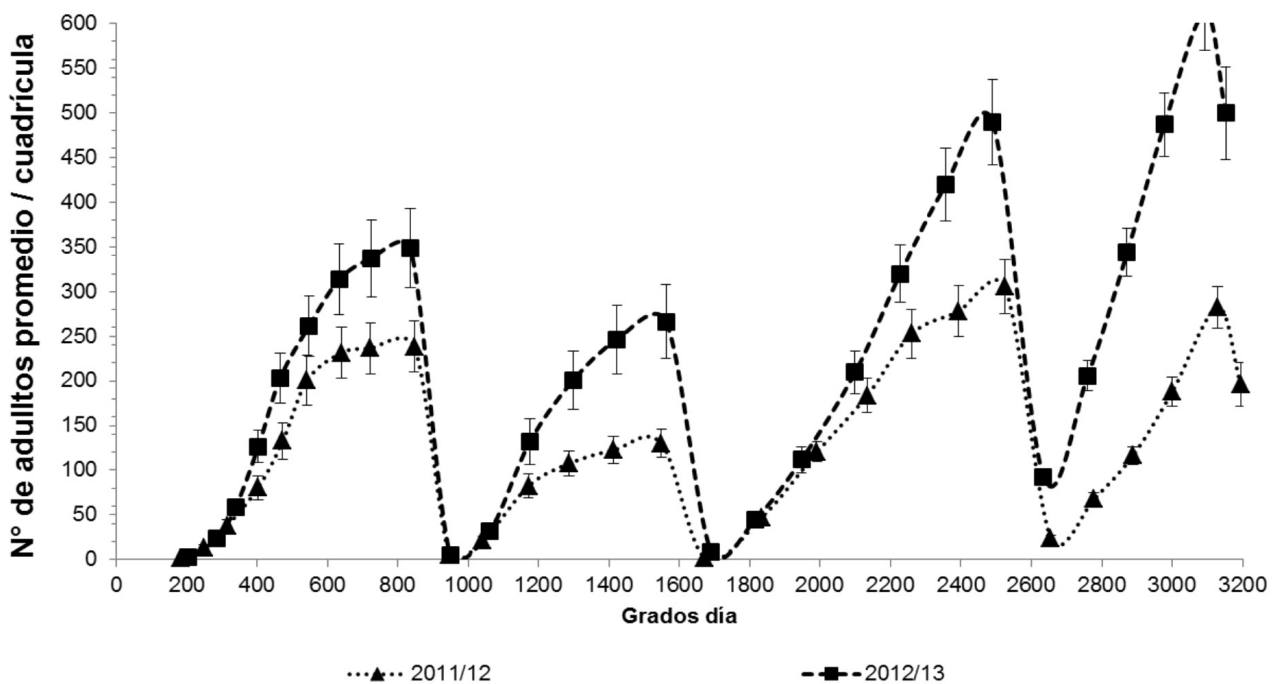


Figura 2: Evolución de las capturas de adultos de *L. botrana* en función de los grados día acumulados a partir del 1 de julio, considerando una temperatura base de 7 °C. Se muestra el promedio de capturas por cuadrícula/semana, para cada una de las campañas consideradas. Barras indican error estándar (n: 72).

En el Cuadro 1 se muestran los estadísticos de regresión de los tres modelos no lineales considerados para estimar el porcentaje de capturas acumuladas de *L. botrana* en función de los grados día acumulados desde el 1 de julio. A partir de esto pueden construirse las diferentes ecuaciones de predicción.



Voltinismo	Modelo	Logístico			Gompertz			Weibull			
		Parámetros	Estimación	T	p	Estimación	T	p	Estimación	T	p
1.º vuelo	C <sub>1</sub>		1 ± 0,01	94,6	**	1,05 ± 0,01	71,17	**	1243 ± 3,7	175,94	**
	C <sub>2</sub>		322,5 ± 62,3	5,18	**	23,93 ± 2,93	8,17	**	10,12 ± 0,38	35,52	**
	C <sub>3</sub>		0,01 ± 4,7E-4	27,54	**	0,01 ± 3,2E-4	24,21	**			
2.º vuelo	C <sub>1</sub>		0,99 ± 0,01	79,24	**	1 ± 0,01	69,23	**	2185,7 ± 3,07	336,56	**
	C <sub>2</sub>		5E+6 ± 3,5E+6	1,43	ns	23016 ± 23016	1,81	ns	11,86 ± 0,25	26,82	**
	C <sub>3</sub>		0,01 ± 6,1E-4	21,38	**	0,01 ± 4,9E-4	19,09	**			
3.º vuelo	C <sub>1</sub>		0,99 ± 0,01	118,94	**	1 ± 0,01	70,5	**	2185,7	711,42	**
	C <sub>2</sub>		7,4E+8 ± 6,6E+7	11,07	**	9,1E+5 ± 5,4E+5	1,68	ns	11,86	47,16	**
	C <sub>3</sub>		0,01 ± 4,9E-5	200,07	**	0,01 ± 3E-4	22,69	**			
4.º vuelo	C <sub>1</sub>		1 ± 0,01	174,92	**	0,99 ± 0,01	45,3	**	2954 ± 2,92	858,96	**
	C <sub>2</sub>		9,1E+9 ± 9,4E+7	96,66	**	2,5E+8 ± 1,62E+8	1,54	ns	18,14 ± 0,43	36,03	**
	C <sub>3</sub>		0,01 ± 1,5E-5	618,82	**	0,01 ± 2,4E-4	28,31	**			

Cuadro 1. Estadísticos del los modelos de regresión evaluados para ajustar los valores de capturas porcentuales acumuladas por cuadrícula, en función de los grados día. ns:p>0,05; \*p<0,05; \*\*p<0,001.

En el Cuadro 2, se muestran los estadísticos utilizados para comparar el ajuste de los modelos a los datos observados. Existió una alta similitud en el ajuste de los diferentes modelos, esto puede ser apreciado por los valores del error cuadrático medio obtenidos. Se observa que los R<sup>2</sup> están por encima del 91 % para todos los vuelos y modelos analizados. Por ello, puede deducirse que existe una elevada proporción de la variabilidad observada en la proporción de capturas acumuladas de *L. botrana* que puede ser explicada por la acumulación de grados día partir del 1 de julio en los cuatro períodos de vuelo considerados.

La comparación de los modelos por medio de los valores de R<sup>2</sup> solo es válida entre aquellos con igual número de parámetros ya que, a medida que el número de estos aumentan, el R<sup>2</sup> se acerca a la unidad por disminución del error (Zwietering, *et al.*, 1990). Es por ello por lo que, para comparar los modelos de dos y tres parámetros, se utilizó la prueba de falta de ajuste (F), considerándose como modelo de referencia el que tuvo en promedio, para los distintos vuelos analizados, un menor error cuadrático medio, en este estudio, la ecuación de Weibull. Mediante este test no se observaron diferencias significativas entre los tres modelos considerados para ninguno de los períodos de vuelo analizados (p>0,05). Las diferencias observadas en los AIC y BIC entre el modelo de referencia y los modelos logístico y Gompertz fueron muy fuertes para los cuatro períodos de vuelo considerados (Jan Wagenmakers y Farrell, 2004).

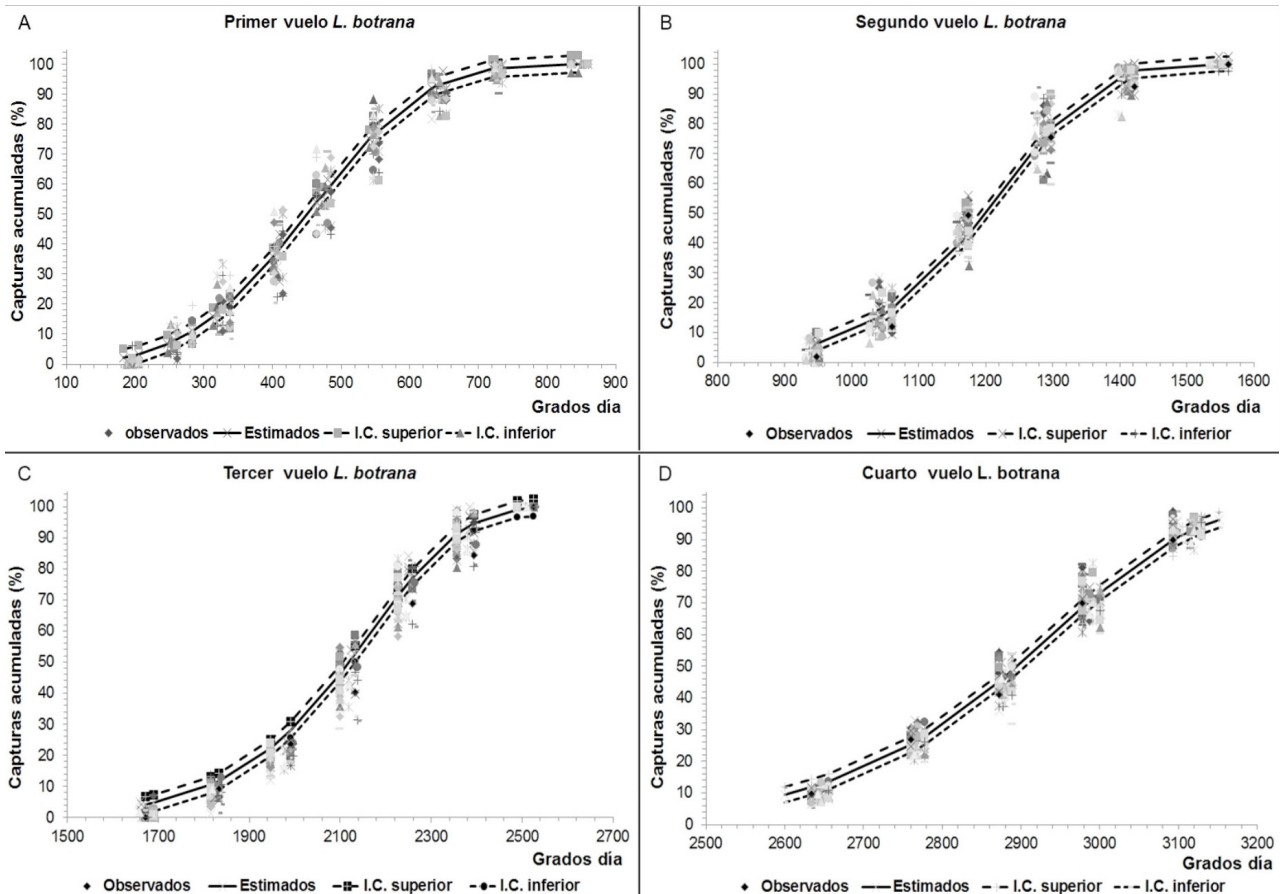
Si bien, comparado con los modelos logístico y Gompertz, el modelo de Weibull requirió un mayor número de iteraciones para lograr mejor ajuste, presentó los menores valores promedio de CMerror, AIC y BIC. Debido a ello, consideramos que es el que mejor estima la variabilidad observada en la proporción de machos capturados en trampas de feromonas en el área cuarentenada de Mendoza en relación con los grados día acumulados.

Voltinismo	Modelo	CMerror	R <sup>2</sup>	Nº iteraciones	AIC	BIC	Δ BIC	Δ AIC	F	p
1.º vuelo	Logístico	0,0129	0,9137	2	-960,22	-942,38	-7,62	-3,16	1,0000	ns
	Gompertz	0,0128	0,9142	2	-966,54	-948,7	-1,3	3,16	1,0001	ns
	Weibull	0,0129	0,9135	5	-963,38	-950				
2.º vuelo	Logístico	0,0134	0,9139	4	-612,47	-596,31	26,55	30,59	1,0011	ns
	Gompertz	0,0131	0,9161	3	-623,73	-607,56	37,8	41,85	1,0015	ns
	Weibull	0,0144	0,9107	6	-581,88	-569,76				
3.º vuelo	Logístico	0,0068	0,9522	2	-1047,49	-1030,72	-54,12	-49,93	0,9994	ns
	Gompertz	0,0078	0,9450	2	-981,46	-964,68	-120,16	-115,96	0,9983	ns
	Weibull	0,0062	0,9566	3	-1097,42	-1084,84				
4.º vuelo	Logístico	0,0110	0,9183	2	-516,9	-590,16	-30,37	-115,2	0,9984	ns
	Gompertz	0,0104	0,9231	1	-597,68	-582,26	-38,27	-34,42	0,9990	ns
	Weibull	0,0094	0,9302	4	-632,1	-620,53				

Cuadro 2. Comparación de modelos de regresión para el ajuste de los valores de capturas porcentuales acumuladas por cuadrícula, en función de los grados día. AIC: criterio de información de Akaike, BIC: criterio de información bayesiano. Δi (AIC) = AICi - minAIC; Δi (BIC) = BICi - minBIC. ns:p>0,05; \*p<0,05; \*\*p<0,001.

Como resultado de la validación externa del modelo de Weibull, al comparar los valores de recuentos obtenidos experimentalmente de las cuadrículas seleccionadas al azar con las predicciones del modelo, se obtuvieron los siguientes valores de  $R^2$ : a) 1.º vuelo: 0,854; b) 2.º vuelo: 0,813; c) 3.º vuelo: 0,865 y d) 4.º vuelo: 0,786. Los valores residuales calculados con ambas series de datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov no mostraron diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los cuatro vuelos analizados ( $p > 0,05$ ).

En las Figuras 3 (A, B, C y D) se muestra el porcentaje de capturas acumuladas semanalmente para los cuatro períodos de vuelo que presenta *L. botrana* en el área de estudio sobre la base de la ecuación de regresión ajustada por medio del modelo de Weibull. En función de estos resultados puede esperarse que la emergencia del 50 % de los adultos del primer vuelo de *L. botrana* ocurra a los  $451,5 \pm 3,8$  °Cd; en el segundo vuelo a los  $1199,3 \pm 5,2$  °Cd; mientras que, en el tercero y el cuarto, cuando la acumulación de grados día alcance los valores de  $2119,2 \pm 4,3$  °Cd y  $2903 \pm 5,1$  °Cd, respectivamente.



Figuras 3 (A, B, C y D). Datos observados y estimados para el porcentaje de emergencia de adultos de *L. botrana* en función de la acumulación de grados día para las cuatro cohortes de vuelo de adultos observadas en Mendoza.

## Discusión

En función de los resultados observados en la red de trampas de monitoreo de *L. botrana* en el área bajo cuarentena de la provincia de Mendoza, se puede inferir que la especie tendría en la región un comportamiento diferente del observado en las principales zonas vitivinícolas de Europa, en donde es factible esperar la ocurrencia de hasta tres generaciones anuales. Solo en el sur de Europa puede esperarse la ocasional ocurrencia de una cuarta generación anual (Stefanos *et al.*, 2005; Martín-Vertedor *et al.*, 2010). Por esta razón, la mayoría de los estudios que evaluaron el voltinismo de *L. botrana* en Europa, solo han descrito las ecuaciones de predicción para dos o tres generaciones anuales (Del Tío *et al.*, 2001; Milonas *et al.*, 2001; Armendáriz *et al.*, 2007, 2009; Gallardo *et al.*, 2009).

Varios autores hallaron una elevada variabilidad en los patrones de emergencia de adultos de *L. botrana* al analizar al voltinismo de la especie en condiciones de campo. Esta variabilidad no se limita únicamente a diferencias entre sitios de estudio, sino que también se manifiesta entre las distintas cohortes de un mismo año o entre las diferentes campañas agrícolas analizadas (Briere y Pacros, 1998; Del Tío *et al.*, 2001; Milonas *et al.*, 2001). Sin embargo, no es un atributo específico de *L.*

*botrana* ya que ha sido reportada la existencia de variabilidad en los tiempos de emergencia en otras especies de tortricídeos (Rock *et al.*, 1993; Milonas y Savapolous, 2006).

La variabilidad antes mencionada puede tener su origen en numerosos factores que influyen en la fenología de las poblaciones de insectos, como la variación en el tiempo de desarrollo entre individuos debido a factores genéticos o la duración del período de oviposición. La calidad nutricional del hospedero, las altas temperaturas, el porcentaje de individuos de la población que ingresan en diapausa (sobre todo, en las generaciones de fin de ciclo) o, incluso, la reducción de la eficiencia de captura de las trampas de feromonas que suele observarse a través del tiempo pueden funcionar como fuentes de variabilidad y, por ende, reducir el poder predictivo del modelo fenológico (Milonas *et al.*, 2001). Sin embargo, es inherente al enfoque regional adoptado en este trabajo — que por razones de escala de estudio, no tiene por objetivo explicar las particularidades asociadas a condiciones de sitio específicas— que la variabilidad sea alta (Weiss *et al.*, 1993).

*L. botrana* es una especie multivoltina que presenta un solapamiento gradual y creciente entre generaciones a medida que progresa la fenología de la vid. Por esta razón, al intentar discretizar la ocurrencia de cohortes de adultos con fines predictivos, se incorpora inevitablemente una fuente de variabilidad al análisis de los tiempos de emergencia. Por otra parte, esta especie de reciente introducción al país se halla restringida a un área cuarentenada bajo control oficial, por lo cual su densidad poblacional es baja en muchos de los predios monitoreados en el área de estudio. Dado que el tamaño de la población afecta el momento en que ocurre la primera captura, en función de un aumento proporcional en la probabilidad de captura con el aumento de la densidad poblacional, pueden producirse desfases en las curvas de porcentaje de capturas acumuladas cuando se comparan sitios con distinta densidad poblacional de la plaga.

Este trabajo presenta la aplicación de una herramienta de predicción clásica para la emergencia de adultos de *L. botrana*. Si bien el modelo generado explica una gran proporción de la variación encontrada en los datos de campo, no debe ser considerado una representación directa de la realidad. Futuros trabajos podrán estudiar la influencia de las condiciones microclimáticas y de los factores de dependencia intergeneracional en el voltinismo de *L. botrana* en la Argentina.

## Conclusiones

Mediante la comparación de diferentes modelos de regresión no lineal, se logró obtener una serie de ecuaciones que describen los patrones de vuelo de adultos de *L. botrana* en los oasis de Mendoza, donde esta especie se halla circunscripta y bajo control oficial.

Dado que *L. botrana* es una especie de reciente introducción al país, la generación de modelos que logren predecir sus patrones de vuelo a lo largo de año puede auxiliar a los organismos oficiales en las tareas de planificación estratégica y permitirles, de esta manera, realizar una gestión eficaz de los recursos destinados a las tareas de prevención y de alerta fitosanitario en el nivel nacional.

## Agradecimientos

Al Programa Nacional de Prevención y Erradicación de *L. botrana*, por permitirnos el acceso a los datos de monitoreo. Al Servicio Meteorológico Nacional y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, por permitirnos el acceso a las estadísticas climáticas.

## Bibliografía

- Aalto, J.; Pirinen, P.; Heikkinen, J. y A. Venäläinen (2013), «Spatial interpolation of monthly climate data for Finland, comparing the performance of kriging and generalized additive models», *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 112, pp. 99-111.
- Armendáriz, I.; Campillo, G.; Pérez Sanz, A.; Capilla, C.; Juárez, S. y L. Miranda (2007), «La polilla del racimo (*Lobesia botrana*) en la D.O. Arribes, años 2004 a 2006», *Boletín de Sanidad Vegetal – Plagas*, vol. 33, pp. 477-489.
- Armendáriz, I.; Pérez Sanz, A.; Capilla, C.; Juárez, S.; Miranda, L.; Nicolás, J. y E. Aparicio (2009), «Cinco años de seguimiento de la polilla del racimo de la vid (*Lobesia botrana*) en la D.O. Arribes (Castilla y León, España)», *Boletín de Sanidad Vegetal – Plagas*, vol. 35, pp. 193-204.
- Baskerville, G. y P. Emin (1969), «Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures», *Ecology*, vol. 50, pp. 515-517.
- Briere, J. F. y P. Pacros (1998), «Comparison of Temperature-Dependent Growth Models with the Development of *Lobesia botrana* (Lepidoptera, Tortricidae)», *Environmental Entomology*, vol. 27, pp. 94-101.
- Damos, P. y M. Savopoulou-Soultani (2012), «Temperature-Driven Models for Insect Development and Vital Thermal Requirements», *Psyche*, vol. 2012, pp. 1-13. doi,10.1155/2012/123405
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada M. y C. W. Robledo (2013), «InfoStat versión 2013», Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina [en línea]. Dirección URL: <<http://www.infostat.com.ar>> [Consulta: marzo de 2013].

- Dodson, R. y D. Marks (1997), «Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region», *Climate Research*, vol. 8, pp. 1-20.
- Dos Santos, M. y A. Porta Nova (2007), «Estimating and Validating Nonlinear Regression Metamodels in Simulation», *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, vol. 36, pp. 123-137.
- Gallardo, A.; Ocete, R.; López, M. A.; Maistrello, L.; Ortega, F.; Semedo A. y F. J. Soria (2009), «Forecasting the flight activity of *Lobesia botrana* (Denis y Schiffermüller) (Lepidoptera, Tortricidae) in Southwestern Spain», *Journal of Applied Entomology*, vol. 133, pp. 626-632.
- Garen, D. C. y D. Marks (2005), «Spatially distributed energy balance snowmelt modelling in a mountainous river basin, estimation of meteorological inputs and verification of model results», *Journal of Hydrology*, vol. 315, pp. 26-153.
- González, M. (2010), «*Lobesia botrana*, polilla de la uva». *Revista de Enología*, vol. 2, pp. 2-5.
- Gutierrez, A.; Ponti, L.; Cooper, M.; Gilioli, G.; Baumgärtner, J. y C. Duso (2012), «Prospective analysis of the invasive potential of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Den. y Schiff.) in California», *Agricultural and Forest Entomology*, vol. 14, pp. 225-238.
- Hay, S. I. y J. J. Lennon (1998), «Deriving meteorological variables across Africa for the study and control of vector-borne disease, a comparison of remote sensing and spatial interpolation of climate», *Tropical Medicine and International Health*, vol. 4, pp. 58-71.
- Haylock, M. R.; Hofstra, N.; Klein Tank, A. M.; Klok, E. J.; Jones, P. D. y M. New (2008), «A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006», *Journal of Geophysical Research* 113, vol. D20, pp. 1-12. doi,10.1029/2008JD010201
- Hudson, G. y H. Wackernagel (1994), «Mapping temperature using kriging with external drift, Theory and an example from Scotland», *International Journal of Climatology*, vol. 14, pp. 77-91.
- Hutchinson, M. F. (1995), «Stochastic space-time weather model from ground-based data», *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 73, pp. 237-264.
- Ishida, T. y S. Kawashima (1993), «Use of cokriging to estimate surface air temperature from elevation», *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 47, pp. 147-157.
- Jan Wagenmakers, E. y S. Farrell (2004), «AIC model selection using Akaike weights», *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 11, pp. 192-196.
- Martin-Vertedor, D., Ferrero-Garcia, J. J. y L. M. Torres-Vila (2010), «Global warming affects phenology and voltinism of *Lobesia botrana* in Spain», *Agricultural and Forest Entomology*, vol. 12, pp. 169-176.
- Milonas, P. y M. Savapoulou-Soultani (2006), «Seasonal abundance and population dynamics of *Adoxophyes orana* (Lepidoptera, Tortricidae) in Northern Greece», *International Journal of Pest management*, vol. 52, pp. 45-51.
- Milonas, P. G.; Savopoulou-Soultani, M. y D. G. Stavridis (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*, Vol. 125, pp. 515-518.
- Moravie, M. A.; Davison, A. C.; Pasquier, D. y P. J. Charmillot (2006), «Bayesian forecasting of grape moth emergence», *Ecological modelling*, vol. 197, pp. 478-489.
- Prues, K.P. (1983), «Day-degree methods for pest management», *Environmental Entomology*, vol. 12, pp. 613-619.
- Quantum GIS Development Team 2013. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project [en línea]. Dirección URL: <<http://qgis.osgeo.org>> [Consulta: enero de 2013].
- R Core Team (2012), *R, A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [en línea]. Dirección URL: <<http://www.R-project.org>> [Consulta: marzo de 2013].
- R. Del Tío, J. L. Martínez, R. Ocete y M. E. Ocete (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*, vol. 133, pp. 626-632.
- Ranjbar Aghdam, H.; Fathipour, Y. y D. C. Kontodimas (2011), «Evaluation of non-linear models to describe development and fertility of codling moth (Lepidoptera, Tortricidae) at constant temperatures», *Entomologia Hellenica*, vol. 20, pp. 3-16.
- Rock, G.; Stinner, R.; Bacheiler, J.; Hull, L. y H. Hogmire (1993), «Predicting geographical and within-season variation in male flights of four fruit pests», *Environmental Entomology*, vol. 22, pp. 716-725.
- Satake, A., Ohgushi, T., Urano, S. y K. Uchimura (2006), «Modeling population dynamics of a tea pest with temperature-dependent development, Predicting emergence timing and potential damage», *Ecology Research*, vol. 21, pp. 107-116.



Stahl, K.; Moore R. D.; Floyer, J. A.; Asplin, M. G. e I. G. McKendry (2006), «Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density», *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 139, pp. 224-236.

Tobin, P.; Nagarkatti, S. y M C. Saunders (2003), «Phenology of Grape Berry Moth (Lepidoptera, Tortricidae) in Cultivated Grape at Selected Geographic Locations», *Environmental Entomology*, vol. 32, pp. 340-346.

Zwietering, M.; Jongenburger, I.; Romboust, F. y K. Van't Riet (1990), «Modeling of the bacterial growth curve», *Applied Environmental Microbiology*, vol. 56, pp. 1875-1881.