

PREDICCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA BABOSA GRIS, *DEROCERAS RETICULATUM*, CAUSANTE DE PLAGAS EN ZONAS AGRÍCOLAS DE GALICIA

Lombardía M.J.¹, Iglesias J.², Castillejo J.² y Barrada M.²

¹Departamento de Estatística e Investigación Operativa

Universidade de Santiago de Compostela

²Departamento de Biología Animal

Universidade de Santiago de Compostela

RESUMO

En este trabajo se describe un estudio realizado sobre la actividad de la babosa causante de plagas agrícolas, *Deroceras reticulatum*, en relación con variables ambientales de tipo biótico y abiótico. El objetivo de este estudio es desarrollar un modelo matemático que permita pronosticar el nivel de actividad de las babosas, en una noche cualquiera, en función del valor de las variables ambientales estudiadas.

Palabras e frases chave: modelos de predicción, regresión ordinal, control integrado de plagas.

1. INTRODUCCIÓN

La babosa gris, *Deroceras reticulatum*, es la responsable de la mayor parte de los perjuicios económicos ocasionados por este tipo de animales en la agricultura, a nivel mundial. Desde comienzos de la década de los 60, el concepto “tradicional” del control de plagas en la agricultura, que perseguía la erradicación total de las plagas mediante la aplicación de pesticidas, sin atender a otro tipo de consideraciones, ha sido desplazado progresivamente por el del control integrado de plagas (CIP), que en la actualidad es uno de los pilares básicos sobre el que se asienta otro concepto, más amplio, que es el del desarrollo sostenible. El control integrado de plagas implica la integración de los conocimientos provenientes de multitud de áreas (biología, química, estadística, climatología, economía, agronomía...) con el fin de desarrollar estrategias de control lo más adecuadas que sea posible desde el punto de vista económico, ambiental y de salud pública (Dent, 1995). Los programas de control integrados de numerosas especies de organismos (insectos, ácaros, hongos, etc.) causantes de importantes pérdidas en la agricultura se basan en la utilización de modelos de predicción de actividad o predicción del riesgo de daños, ya que, sin un sistema que permita prever en qué momento un organismo puede producir daños significativos a un cultivo, las únicas opciones que le quedan al agricultor son, o bien no aplicar pesticidas, o bien aplicarlos de forma sistemática siguiendo un criterio preventivo. La primera opción puede implicar la pérdida de la producción si sobreviene la plaga. La segunda opción, que es la adoptada en la mayoría de los casos, implica costes económicos y ambientales que resultarán superfluos si la plaga no se produce.

2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El estudio de la actividad de la babosa *D. reticulatum* se realizó en una parcela rectangular, de 220 m² de superficie, situada en las inmediaciones del núcleo urbano de Vedra (A Coruña). Los muestreos se tomaron durante tres noches consecutivas por mes, desde julio de 1999 hasta junio de 2001. Para el desarrollo del modelo, las 72 noches de muestreos fueron clasificadas en tres niveles o categorías de actividad (baja, media y alta), de acuerdo al número de babosas activas registradas en cada una de ellas (variable respuesta). Como variables explicativas o independientes se consideraron: i) las variables ambientales medidas *in situ* durante los muestreos; ii) variables ambientales correspondientes al día del muestreo o a los días anteriores al muestreo, según los datos recogidos en una estación termopluviométrica próxima a la zona de estudio; iii) variables de tipo temporal (mes del año, estación); y iv) variables relacionadas con la dinámica de poblaciones de *D. reticulatum* en la zona de estudio.

Dada la naturaleza de los datos, es decir, una variable respuesta de tipo cualitativo con más de dos categorías, y una serie de variables independientes dentro de las que hay factores y covariables, el procedimiento estadístico seleccionado para relacionar el nivel de actividad de las babosas con las variables independientes fue la regresión ordinal (McCullagh, 1980; McCullagh y Nelder, 1989). Puesto que las categorías de la variable dependiente están ordenadas, el modelo en el que se basa la regresión ordinal trabaja con probabilidades de respuesta acumulada, según la expresión

$$\gamma_{ij} = P(Y \leq j / x_i) = \sum_{l=1}^j P(Y \leq l / x_i),$$

donde Y denota la variable dependiente “actividad de la babosa”, con $j = 1, 2$ y 3 (categorías de respuesta = actividad baja, media y alta), y x_i indica el conjunto de valores considerados para las covariables y factores.

El modelo de la regresión ordinal viene dado por la expresión,

$$\text{Link}(\gamma_{ij}) = \theta_j - \beta^T x_i$$

donde θ_j es el valor de la tolerancia (umbral) y β el vector de parámetros del modelo (coeficientes de ubicación). Como función link (función vínculo) se utilizó la denominada *log-log complementaria*,

$$\text{Link}(\gamma_{ij}) = \log(-\log(1-\gamma_{ij})).$$

Por lo tanto, para $j = 1, 2$ y 3

$$\log(-\log(1-\gamma_{ij})) = \theta_j - \beta^T x_i.$$

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS v.11.

3. RESULTADOS

Inicialmente se incluyeron en el análisis las 30 variables independientes consideradas (variables ambientales, de tipo temporal y relacionadas con la dinámica de poblaciones de *D. reticulatum*). Posteriormente, se fueron eliminando, una a una, aquellas que no tenían un efecto significativo en el mismo. Como criterio de eliminación se tomó la significación de cada variable para el contraste $H_0: \beta_i = 0$, y se estudiaron posibles problemas de colinealidad entre las variables significativas. De este modo se llegó finalmente al modelo:

$$\log(-\log(1-\hat{P}(Y \leq j/X))) = \hat{\theta}_j - [-0.069X_1 + 0.268X_2 + 0.122X_3 + 2.027(X_4 = 0) + 3.122(X_5 = 1) + 2.395(X_5 = 2) + 6.124(X_5 = 3) + 3.790(X_5 = 4) - 3.866(X_5 = 9) - 2.564(X_5 = 10)]$$

donde

Y = actividad de las babosas, $j=1$ (actividad baja), 2 (actividad media) y 3 (actividad alta),

X_1 = densidad de población (nº de babosas/m² en la población),

X_2 = temperatura del aire *in situ* (°C),

X_3 = porcentaje de humedad relativa del aire *in situ*,

X_4 = lluvia *in situ* (0 = ausencia, 1 = presencia),

X_5 = mes del año (1 = enero, 2 = febrero,..., 12 = diciembre).

Se acepta que los parámetros de ubicación son iguales para todas las categorías de la variable dependiente (p -valor = 1). A continuación, en la Tabla I se detallan los estadísticos relacionados con el modelo de predicción:

TABLA I. Valor y significación de los estadísticos relacionados con el modelo de predicción de actividad de la babosa *Deroceras reticulatum*.

	-2 log de la verosimilitud	Valor	Grados de libertad	Significación (P)
Ajuste del modelo ⁽¹⁾				
Sólo intersección	155.038			
Final	0.000	$\chi^2 = 155.038$	15	0.000
Bondad de ajuste ⁽²⁾				
Pearson		$\chi^2 = 86.744$	127	0.998
Desviación		$\chi^2 = 72.885$	127	1.000
Coefficiente R ² de Cox y Snell		0.884		
Coefficiente R ² de Nagelkerke		1.000		
Coefficiente R ² de McFadden		1.000		
Prueba de líneas paralelas ⁽³⁾				
Hipótesis nula	0.000			
General	0.000	$\chi^2 = 0.000$	15	1.000

(1) Contrasta la hipótesis nula H_0 de que no existe un modelo de regresión ordinal para las covariables y factores contemplados en el mismo.

(2) Contrasta la hipótesis nula H_0 de que el modelo es adecuado (no existen diferencias significativas entre lo observado y lo pronosticado por el modelo).

(3) Contrasta la hipótesis nula H_0 de que los parámetros de ubicación de las variables independientes son iguales para todas las categorías de la variable dependiente.

Ejemplo práctico

Como ejemplo de la aplicación del modelo, imaginemos que se quisiera estimar la categoría de actividad esperada en el mes de octubre ($X_5 = 10$), en una noche sin lluvia ($X_4 = 0$), con un porcentaje de humedad relativa del 89%, una temperatura de 11.7°C y una densidad de población de 4 individuos/m².

En primer lugar se calcula la probabilidad de que, en esas condiciones, se de una actividad baja:

$$\log(-\log(1-\hat{P}(Y = 1/X))) = 12.117 - [(-0.069 \times 4) + (0.268 \times 11.7) + (0.122 \times 89) + 2.027 - 2.594] = -1.03456.$$

Al despejar en la ecuación se obtiene que $\hat{P}(Y = 1/X) = 0.3$. Ésta es la probabilidad estimada para la categoría de actividad baja. A continuación se calcula la probabilidad acumulada hasta la segunda categoría, es decir, la probabilidad de que en esas condiciones la actividad de las babosas sea baja o media:

$$\log(-\log(1 - \hat{P}(Y \leq 2/X))) = 15.088 - [(-0.069 \times 4) + (0.268 \times 11.7) + (0.122 \times 89) + 2.027 - 2.594] = 1.93644.$$

Despejando de nuevo la probabilidad, obtenemos que $\hat{P}(Y \leq 2/X) = 0.999$. Por lo tanto,

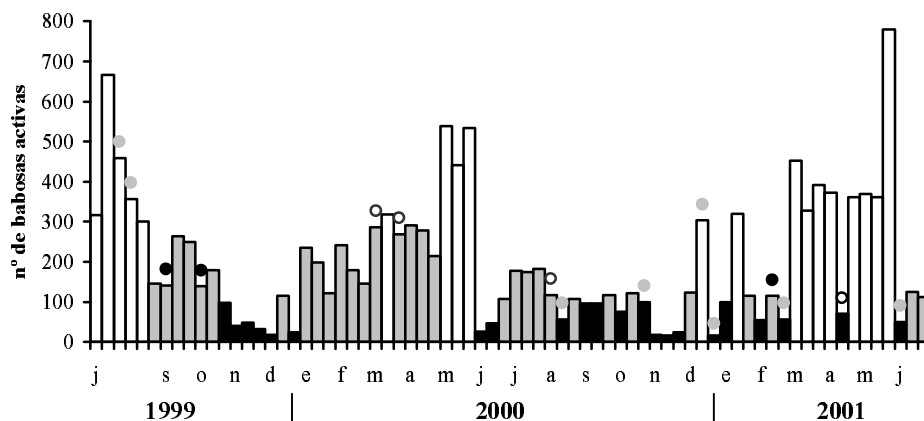
$$\hat{P}(Y = 2/X) = \hat{P}(Y \leq 2/X) - \hat{P}(Y = 1/X) = 0.699.$$

Finalmente, como la suma de la probabilidad para las tres categorías es 1, entonces la probabilidad estimada para la categoría de actividad alta se obtiene

$$\hat{P}(Y = 3/X) = 1 - \hat{P}(Y \leq 2/X) = 0.001.$$

La Figura 1 representa la actividad de *D. reticulatum* registrada a lo largo del período de estudio, y en ella se indican las noches en las que el modelo pronostica una categoría de actividad diferente a la observada. El mayor porcentaje de acierto en el pronóstico del modelo se produjo en la categoría de actividad alta, 84.2% de acierto.

Figura 1. Actividad de *D. reticulatum* a lo largo del período de estudio. Las barras indican la actividad observada, según el siguiente código: blanco=noches de actividad alta, gris=noches de actividad media, negro=noches de actividad baja. Las barras marcadas con un punto en su parte superior indican las noches para las que el modelo pronostica una categoría de actividad diferente a la observada, la cual está indicada por el color del punto correspondiente.



En conjunto, la comparación de la distribución observada de las categorías de actividad y la pronosticada por el modelo, mediante tablas de contingencia y la prueba χ^2 , demostró la existencia de una relación altamente significativa entre ambas ($\chi^2 = 70.411$, p-valor = 0.001). El modelo pronostica correctamente el nivel de actividad de *D. reticulatum* en el 79.2% de los casos (ver Tabla II).

Tabla II. Tabla de contingencia categoría de respuesta observada * categoría de respuesta pronosticada

		Categoría de respuesta pronosticada			Total
		Baja	Media	Alta	
Categoría de respuesta observada	Baja	16	5	1	22
	Media	3	25	3	31
	Alta		3	16	19
Total		19	33	20	72

4. CONCLUSIONES

La posibilidad de predecir el nivel de actividad de la babosa *D. reticulatum* permite disponer de un criterio para determinar la necesidad de aplicación de pesticidas para su control. De ese modo se puede evitar su empleo sistemático, lo que conlleva evidentes ventajas desde el punto de vista medioambiental, de salud pública y económico.

El modelo de regresión ordinal que hemos desarrollado permite predecir el nivel de actividad de la babosa *D. reticulatum*, en una noche cualquiera, en función de una serie de variables ambientales y temporales. Para su estimación, se ha registrado la actividad de la babosa durante 72 noches a lo largo de dos años y se establecieron tres categorías o niveles de actividad de las babosas por cada noche: baja, media y alta. El modelo pronostica correctamente el nivel de actividad en el 79.2% de los casos. El modelo pronostica que *D. reticulatum* presentará un elevado nivel de actividad en las noches de los meses de marzo, abril y mayo, bajo un amplio espectro de condiciones ambientales. En esa época del año se realiza la plantación de muchos cultivos (especialmente hortícolas), que se encuentran por lo tanto en su fase más susceptible (plántulas) al ataque de las babosas. Sólo en esa época del año parece justificada la aplicación preventiva de molusquicidas.

Sobre la base de los resultados obtenidos se ha formulado una estrategia de control orientada a conseguir una reducción efectiva de las poblaciones de esta especie de babosa en las zonas de cultivo. Dicha estrategia consiste en la aplicación selectiva de molusquicidas en noches de periodos concretos del año en los que las poblaciones de babosas son especialmente susceptibles al efecto de los pesticidas. El estudio de la dinámica de poblaciones de las babosas permite determinar cuales son los periodos de máxima susceptibilidad de las babosas a los pesticidas, y el modelo de predicción permite determinar en que noches se deben aplicar para optimizar su eficacia.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos FAIR CT 5-PL97-3355 (Unión Europea) y PGIDT00AGR20001PR (Xunta de Galicia).

6. REFERENCIAS

- Dent, D. (1995). Integrated Pest Management. Chapman & Hall. Londres. 356 páginas.
- Castillejo, J. (1996). Las babosas como plaga en la agricultura. Claves de identificación y mapas de distribución. *Revista de la Real Academia Gallega de Ciencias*, 15, 93-142.
- McCullagh, P. (1980). "Regression models for ordinal data". *Journal of the Royal Statistical Society, B*, 42, 109-142.

McCullagh, P y Nelder, J.A. (1989). *Generalized linear models*. Monographs on Statistical and Applied Probability 37. Chapman & Hall, Londres. 511 páginas.