

Evaluación de la efectividad de las actuaciones de defensa aérea antigranizo en la zona de Levante: resultados definitivos*

R. ROMERO y S. BALASCH

Se analiza la efectividad de las campañas de defensa aérea antigranizo desarrolladas en el Levante español por el Ministerio de Agricultura. Para ello se comparan los daños producidos por el granizo en la zona protegida respecto a los de una zona próxima no protegida, comparándolos con la situación constatada en los años anteriores a la puesta en marcha de la campaña. El orden de magnitud de la reducción estimada de los daños es superior al 60%. Dicho efecto es significativo al nivel del 99%.

R. ROMERO. Catedrático de Estadística de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Valencia.

S. BALASCH. Profesor titular de Estadística de la Escuela Técnica superior de Ingenieros Agrónomos de Valencia.

INTRODUCCION

Desde el año 1974 el Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica viene llevando a cabo con carácter experimental en la zona levantina actuaciones de defensa antigranizo basadas en la utilización de generadores de IAg repartidos en la provincia de Valencia y, parcialmente, en las de Castellón, Alicante, Albacete y Murcia.

El año 1978 se inició, también con carácter experimental, una actuación complementaria consistente en la protección aérea de una zona más reducida, mediante aviones que inoculan directamente en los cumulonimbos aerosoles de IAg. La localización de dicha zona se eligió con la finalidad de que actuase como barrera protectora del resto del área cubierta por la campaña experimental, frente a las tormentas que, mayoritaria-

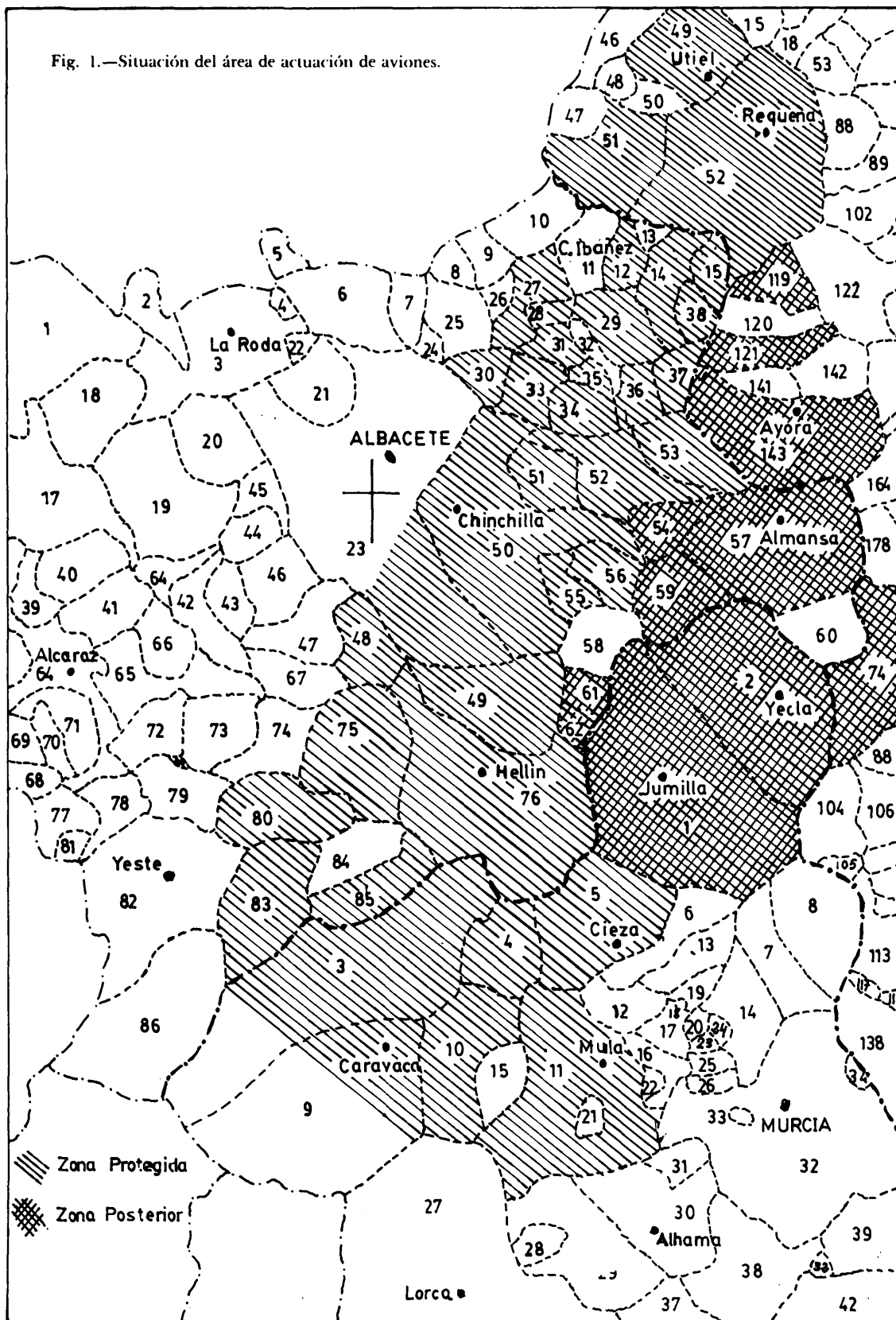
mente, se originan en las Sierras de Cazorla y Segura y se desplazan desde el Suroeste hacia el Noroeste (fig. 1).

Los resultados constatados a lo largo de los tres primeros años de estas actuaciones fueron objeto de una evaluación provisional en un trabajo publicado en este mismo Boletín (ROMERO *et. al.*, 1982). La principal conclusión obtenida en dicho estudio fue una estimación de la reducción de los daños próxima al 50%. La evidencia estadística de la efectividad de las actuaciones desarrolladas no era totalmente definitiva, dado que el nivel de significación fue sólo del 90%. Se consideraba, en consecuencia, necesario en dicho trabajo una prolongación del estudio, abarcando nuevas campañas, con el fin de intentar confirmar los esperanzadores resultados obtenidos.

En el presente trabajo se incluyen en el análisis los resultados correspondientes a las campañas de 1981 y 1982, lo que permite,

* Trabajo realizado en el marco del Convenio establecido entre el Servicio de Defensa contra Plagas y la Universidad Politécnica de Valencia.

Fig. 1.—Situación del área de actuación de aviones.



como se expone más adelante, obtener conclusiones de una significación estadística prácticamente definitiva.

El desarrollo de este artículo, especialmente en el apartado relativo a material y métodos, es necesariamente redundante respecto al del artículo anteriormente referido, publicado en este mismo Boletín. Hemos considerado aconsejable, en efecto, repetir en este trabajo los comentarios expuestos en aquél sobre los datos disponibles y la metodología utilizada, con el fin de que constituya una unidad que pueda ser leída de forma autónoma.

ANTECEDENTES

El carácter preventivo de los sistemas de defensa antigranizo y la marcada aleatoriedad del fenómeno que pretenden combatir, hacen especialmente difícil una cuantificación fiable de su eficacia. Pese a esta dificultad los resultados avanzados en la última Conferencia sobre la Modificación Artificial del Clima por los responsables de los principales programas en marcha en el mundo son altamente esperanzadores, cifrándose la reducción de pérdidas en un 70% en la U.R.S.S. y Bulgaria y en un 50% en Estados Unidos (DESSENS, 1980 b). Cifras del mismo orden de magnitud son señaladas en Italia, donde la disminución de daños en la provincia de Vicenza durante los seis últimos años se estiman en un 57% (SOREM, 1982), y en el sur de Francia donde las pérdidas por granizo en nueve departamentos de Aquitania protegidos mediante generadores de IAg se han reducido en más de un 50% (DESSENS, 1982).

Debemos matizar, sin embargo, que los resultados anteriores son contestados por otros expertos, existiendo todavía una fuerte controversia sobre los méritos relativos y la eficacia real de los diferentes sistemas de defensa utilizados en la lucha antigranizo.

Así, por ejemplo, el autor en un trabajo muy reciente pendiente de publicar, no ha encontrado ningún efecto significativo sobre el ratio daños/primas de las campañas de defensa llevadas a cabo mediante generadores de IAg en la provincia de Navarra (ROMERO, 1984).

Puede afirmarse, por tanto, que la efectividad real de los sistemas de defensa antigranizo es todavía, hoy en día, un problema abierto, lo que justifica el interés y la necesidad de aportaciones como la constituida por el presente trabajo.

MATERIAL Y METODOS

Los datos utilizados en el presente trabajo han sido facilitados por la Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados (Agroseguro). Esta entidad, de reciente creación, dispone de estadísticas de daño por granizo a nivel municipal para los diferentes cultivos asegurados, que se remontan a 1975.

El período analizado se extiende de 1975 a 1982 y comprende en consecuencia tres años no protegidos por aviones y cinco años en los que se llevó a cabo la campaña de defensa aérea.

El estudio se ha basado exclusivamente en los daños relativos a cereales, por ser este cultivo, con mucho, el de mayor superficie asegurada y, por lo tanto, en el que son más representativas las cifras de daños disponibles en las compañías de Seguros. El ciclo vegetativo de los cereales en la zona de Levante incluye los meses de mayo y junio, que son meses de fuerte incidencia del granizo en la misma.

Los municipios sobre los que se ha recogido información se clasifican en 3 zonas:

— Zona previa a la protección: se han seleccionado 23 municipios de las provincias de Albacete y Valencia situados al oeste del área de actuación de los aviones, pero pró-

ximos a ella para poder constituir una referencia de comparación válida.

— Zona directamente protegida: se han considerado todos los municipios situados total o parcialmente en el área de actuación de los aviones.

— Zona posterior a la protección: se seleccionaron 11 municipios situados próximos a la zona protegida directamente, pero al este de la misma.

La clasificación de ciertos municipios en una u otra zona es discutible, dado que el término correspondiente sólo está parcialmente incluido en el área defendida. En consecuencia, como se expone más adelante, los datos se han analizado bajo diferentes hipótesis alternativas al respecto con el fin de estudiar la incidencia de la inclusión más o menos arbitraria de ciertos municipios en una o otra zona, sobre las conclusiones obtenidas.

Para cada municipio y año se ha considerado como variable representativa de los daños ocasionados por el granizo, el cociente entre los daños tasados y los capitales asegurados. Con esta definición se obvian los problemas de actualización de las cifras económicas que presentan otros indicadores como, v.g., el de daños por ha. asegurada.

En total, y tras la eliminación de 4 municipios en los que no se produjo granizada alguna durante los seis años considerados, se han analizado los datos de los 71 municipios que se recogen en el cuadro 1.

El valor, en cada municipio y para cada uno de los ocho años considerados, del porcentaje de daños tasados sobre capitales asegurados se recoge en el cuadro 2. Como se aprecia no se han podido disponer de los datos correspondientes a 1981 para 3 de los municipios analizados.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 3 se recogen los valores promedios, para el conjunto de municipios

Cuadro 1.—Municipios analizados en el estudio.

Zona previa a la protección:

Ciudad Real: Montiel.
 Albacete: La Roda, Tarazona, Madrigueras, Navas de Jorquera, Cenizate, Villamalea, El Bonillo, Munera, Barrax, La Gineta, Mahora, Golosalvo, Bazalote, Peñas de San Pedro, Alcaraz, Alcadozo, Ayna, Nerpio.
 Valencia: Camporrobles, Villagordo, Fuente-robles.

Zona directamente protegida:

Albacete: Alborea, Casas de Ves, Balsa de Ves, Albacete, Fuentealbilla, Abenjibre, Alcalá del Júcar, Valdeganga, Jorquera, Casas de Juan Núñez, Pozo Lorente, Villaviente, Alatoz, Carcelén, Villa de Ves, Pozohondo, Tobarra, Chinchilla, Alpera, Hoya Gonzalo, Higuera, Corral Rubio, Bonete, Liétor, Hellín, Elche de la Sierra, Jetur, Socovos.
 Murcia: Moratalla, Calasparra, Cieza, Caravaca, Cehégín, Mula.
 Valencia: Utiel, Venta del Moro, Requena.

Zona posterior a la protección:

Albacete: Pétrola, Almansa, Montecalegre, Ontur, Albatana.
 Alicante: Villena.
 Murcia: Jumilla, Yecla.
 Valencia: Cofrentes, Jarafuel, Ayora.

considerados en cada zona, de los daños ocasionados por el pedrisco en el período 1975-77, no protegido por aviones, y en el período 1978-1982 en el que se llevó a cabo la campaña de defensa aérea.

Como se aprecia en el cuadro, mientras que en la zona previa los daños en el segundo período fueron un 33% superiores a los del primero, dichos daños se redujeron en un 48% en la zona directamente protegida y en un 72% en la inmediatamente posterior al área de protección.

El efecto protector de las campañas parece, por lo tanto, especialmente marcado en la zona situada al este del área de actuación de los aviones, o sea, posteriormente a la misma en el sentido de penetración de la

| Municipio | AÑO | | | | | | | |
|-------------------------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 |
| Villavallente | — | 1.920 | — | — | 14.150 | — | — | 1.798 |
| Cieza | 6.100 | 1.390 | — | — | — | — | *** | — |
| Alpera | — | 3.260 | — | 590 | 27.580 | — | — | — |
| Higueruela | 190 | 2.120 | 8.770 | 1.850 | 140 | 790 | — | 7.488 |
| Hellín | 1.090 | 28.210 | 1.120 | 1.140 | — | 5.280 | — | 266 |
| Tobarra | 1.820 | 41.030 | 1.380 | 5.790 | 1.410 | 3.220 | 270 | 693 |
| Balsa de Ves | — | 11.380 | 520 | — | 26.900 | — | 353 | — |
| Carcelén | — | — | — | — | 90 | — | — | — |
| Corral Rubio | 3.640 | 1.730 | — | 3.130 | — | — | 468 | — |
| Bonete | 5.290 | — | — | 180 | 4.410 | 620 | 1.086 | — |
| Villa de Ves | — | 51.430 | 5.130 | — | 10.160 | — | — | 10 |
| Villena | 400 | 130 | 4.240 | — | — | 2.030 | — | — |
| Yecla | — | — | 1.360 | — | — | 550 | — | — |
| Jumilla | 14.410 | 25.440 | 1.650 | — | — | 1.950 | 344 | — |
| Ayora | — | 2.670 | 870 | 790 | 6.440 | 340 | 170 | 1.016 |
| Cofrentes | — | — | — | — | 38.840 | — | — | — |
| Almansa | 220 | 3.390 | 780 | 2.610 | 5.550 | 2.420 | 545 | 29 |
| Montealegre del C. | 230 | 7.380 | — | 1.110 | — | 610 | — | — |
| Albatana | 13.400 | 67.270 | 6.440 | 1.870 | — | 3.650 | — | — |
| Ontur | 2.200 | 39.440 | 560 | 2.870 | 550 | 4.610 | — | — |
| Petrola | 4.780 | 1.030 | — | 5.430 | 490 | 8.110 | — | — |
| Jarafuel | — | — | 150 | — | — | — | — | — |

Fuente: Agroseguro. (Los datos se refieren sólo a cereales).

*** Dato no disponible.

mayor parte de las tormentas. Este resultado es en cierto sentido análogo al obtenido recientemente en las experiencias desarrolladas en Francia, donde se ha encontrado que tienen mayor incidencia en la reducción del tamaño del granizo las siembras realizadas a unos kilómetros al suroeste de las zonas

Cuadro 3.—Daños medios ocasionados por el granizo en cereales.

| | Período sin campana aérea 1975-77 | Período con campana aérea 1978-82 |
|---|---|---|
| Zona previa a la protección .. | 1,17 | 1,56 |
| Zona directamente protegida . | 2,84 | 1,49 |
| Zona posterior a la protección. | 6,01 | 1,69 |
| Promedio zona protegida y posterior | 3,57 | 1,54 |

consideradas que las llevadas a cabo directamente en las mismas (DESSENS, 1980 a).

Dada la efectividad de las campañas sobre la zona posterior a la protección, resulta razonable agruparla con la directamente protegida a efectos de nuestro análisis. En la última fila del cuadro 2 se recogen las cifras de daños promedios para el total de los municipios considerados en ambas zonas, apreciándose una reducción de 3,57 a 1,54 que supone un 57% en valor relativo.

Puede obtenerse una idea aproximada del nivel de reducción de daños constatado, aplicando al valor promedio de los daños observados en el período base, el porcentaje de incremento constatado entre dicho período y el protegido en la zona previa a la protección y comparando el valor resultante con la cifra realmente observada en el período protegido. Operando de esta forma se obtie-

ne como estimación del porcentaje de reducción de daños la cifra del 68%.

Parece necesario, sin embargo, cuestionarse la significación estadística de estos resultados, o dicho de otra forma, plantearse si existe evidencia de que la reducción observada no se debe puramente al azar.

El análisis de datos de este tipo se lleva a cabo tradicionalmente mediante el recurso al método de las curvas doble-masa (WEISS, 1953). El tratamiento diferencial de las mismas conduce a plantearse el problema de la significación del cambio de la pendiente de la curva a partir del comienzo de la defensa. En el fondo, el problema así planteado no es más que una simple comparación de medias, donde la variable considerada es el ratio de los daños en la zona defendida respecto a los de la zona testigo y donde las dos muestras a comparar las constituyen los resultados de los años anteriores y posteriores al inicio de la defensa.

El autor, es un trabajo reciente ya referenciado (ROMERO, 1984), ha criticado esta metodología, demostrando sobre un caso real que el modelo estadístico implícito en la misma es incompatible con los datos constatados.

Un planteamiento más flexible, y que permite incorporar otras informaciones que se dispongan sobre las características de cada campaña o de las zonas estudiadas, consiste en la elaboración de un modelo lineal en el que dichas características aparecen como variables cuantitativas o cualitativas.

En esta línea hemos elaborado un modelo de regresión lineal, considerando como variable dependiente Y_{jt} los daños en el municipio j al año t , y como variables explicativas, el año, la zona y la existencia o no de protección.

El modelo a estimar es:

$$Y_{jt} = b_0 + b_1 X_{1975} + b_2 X_{1976} + b_3 X_{1977} + b_4 X_{1978} + b_5 X_{1979} + b_6 X_{1980} + b_7 X_{1981} + b_8 X_{ZPREV} + b_9 X_{ZPROT} + b_{10} X_{PROTE} + U_{jt}$$

Donde:

- Y_{jt} = Daños en el municipio j el año t ($t=1975, \dots, 1982$).
- X_{1975} = Vale 1 si $t=1975$ y 0 en otro caso.
- $X_{1977}, \dots, X_{1981}$ se definen idénticamente que X_{1975} . Obsérvese que los datos del año 1982 se caracteriza por tener valores nulos para las 7 variables X_{1975} a X_{1981} . No se introduce una variable específica X_{1982} para evitar el problema de colinealidad que aparejaría (THEIL, 1971).
- X_{ZPREV} = vale 1 si el municipio j se halla en la zona previa a la protección y 0 en otro caso.
- X_{ZPROT} = vale 1 si el municipio j se halla en la zona directamente protegida y 0 en otro caso. (En consecuencia los municipios de la zona posterior a la protección se caracterizan por tener $X_{ZPREV}=0$ y $X_{ZPROT}=0$).
- X_{PROTE} = vale 1 si el municipio j estuvo protegido el año t y 0 en otro caso; es decir, $X_{PROTE}=1$ si el municipio pertenece a la zona directamente protegida o posterior y t es posterior a 1977.
- U_{jt} = son los residuos aleatorios que, de la forma habitual, supondremos normales, homocedásticos, incorrelacionados entre sí y no dependientes de las variables explicativas.

Como sucede con todo modelo teórico, estas hipótesis sólo son admisibles como una aproximación. En concreto en nuestro caso la hipótesis de normalidad es cuestionable, dado que la variable observada Y_{jt} no es absolutamente continua al tener una probabilidad no nula de tomar el valor concreto cero. Esta aproximación, sin embargo, no afecta sensiblemente a la significación estadística de los resultados obtenidos.

Obsérvese que de la definición dada para las variables resulta que el coeficiente de X_{PROTE} mide la variación en los daños ocasionada por la existencia de la campaña de protección.

Los resultados obtenidos en la estimación del modelo a partir de los datos recopilados se recogen en el cuadro 4.

El ajuste en su conjunto resulta altamente significativo. Sin embargo, desde el punto

Cuadro 4.—Resultados del ajuste de porcentaje de daños a año, zona y protección.

| Variable | Coefficiente | Valor de t |
|-------------|--------------|------------|
| 1975 | -1.568 | -1.351 |
| 1976 | 2.940 | 2.533 |
| 1977 | -1.379 | -1.188 |
| 1978 | -0.508 | -0.546 |
| 1979 | 3.233 | 3.476 |
| 1980 | -0.313 | -0.337 |
| 1981 | -0.454 | -0.482 |
| ZPREV | -3.427 | -3.558 |
| ZPROT | -1.327 | -1.970 |
| PROTE | -2.445 | -2.381 |

Ordenada en el origen: 4.595
 Coeficiente de correlación múltiple: 0,341
 Valor de F: 7.304. Grados de libertad: 10 554

de vista de los objetivos de este estudio el interés se centra en la significación del coeficiente de $X_{\text{prot.}}$.

La estimación de dicho coeficiente resulta, como se aprecia en el cuadro 4 igual en -2.445. El signo negativo implica, por supuesto, una reducción de los daños asociada a la puesta en marcha de la campaña de defensa aérea. El valor de la t de Student para dicho coeficiente es de -2.381, que

Cuadro 5.—Resultados de análisis bajo hipótesis alternativas.

| Hipótesis | Coeffic. de $X_{\text{prot.}}$ | Valor de t |
|--|--------------------------------|------------|
| A) Los municipios de Albacete y Valdeganga, Fuentealbilla y Pozohondo se consideran en la zona previa a la protección | -2,179 | -2.200 |
| B) Hipótesis A y además Abengibre, Venta del Moro y Utiel se consideran intermedios entre ambas zonas (valor 0,5 a las variables correspondientes) ... | -2.405 | -2.399 |
| C) Hipótesis B y además Liétor y Elche de la Sierra se consideran en la zona previa | -2.403 | -2.422 |

resulta significativo al nivel de significación del 99% (este valor del 99% se obtiene considerando el test como unilateral, que es lo que resulta adecuado en el caso que nos ocupa). En cualquier caso incluso considerando el test como bilateral el coeficiente de $X_{\text{prot.}}$ resulta significativo al 98%.

Como indicamos en el apartado de Material y Métodos la clasificación de ciertos municipios en una u otra zona es parcialmente arbitraria, dado el carácter limítrofe de los mismos. Para analizar hasta qué punto este margen de subjetividad puede afectar a las conclusiones obtenidas, se han realizado tres análisis alternativos, cuyas hipótesis y resultados obtenidos se sintetizan en el cuadro 5.

Como puede apreciarse los resultados obtenidos coinciden prácticamente con los hallados bajo la hipótesis inicial, lo que demuestra la escasa influencia que sobre las conclusiones halladas tiene la decisión adoptada sobre la clasificación de los municipios conflictivos.

El modelo estimado permite adicionalmente cuantificar de forma indirecta la magnitud del efecto protector de la campaña de defensa aérea. Para ello, hemos estimado, a partir de la ecuación obtenida, los daños promedios que se habrían producido en los municipios protegidos si no hubiera existido protección (basta para ello hacer $X_{\text{prot.}}=0$ en la ecuación correspondiente), y comparando las cifras así calculadas con los daños efectivamente constatados.

Por este camino indirecto se obtiene, como estimación del porcentaje de reducción de daños asociado a la existencia de campañas de protección, una cifra del 62%, que concuerda bien con la estimada anteriormente por otro método a partir de los resultados del cuadro 3.

CONCLUSIONES

Se ha evaluado la efectividad de las actuaciones de defensa aérea antigranizo desarro-

lladas en la zona levantina por el Servicio de Defensa contra Plagas, comparando los daños habidos en el trienio 1975-77, inmediatamente anterior a la puesta en marcha de los mismos, con los constatados en el período de 1978-82. El estudio se ha centrado en los daños en cereales, para los que se dispone de una información fiable y representativa facilitada por las entidades aseguradoras, analizándose los datos de 71 municipios ubicados en la zona previa a la protección, en la zona directamente protegida y en la zona inmediatamente posterior a la protección.

Se aprecia una reducción sensible de los daños, tanto en la zona inmediatamente protegida como en la inmediatamente posterior a la misma. La magnitud del efecto protector de las campañas de defensa se estima en una reducción de los daños superior al 60%.

La significación estadística de los resultados obtenidos se ha estudiado mediante un

modelo de regresión que relaciona los daños por municipios con el año, la zona y la existencia o no de campaña de defensa. El efecto de la campaña de defensa ha resultado en este análisis significativo al 99%, no siendo prácticamente afectado por el carácter, parcialmente arbitrario, de las decisiones adoptadas al considerar en el análisis en una u otra zona a ciertos municipios limítrofes.

AGRADECIMIENTOS

Queremos manifestar nuestro agradecimiento a la Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados por los datos facilitados para la realización de este estudio, así como al Servicio de Defensa contra Plagas que ha financiado la presente investigación en el marco del convenio establecido con la Universidad Politécnica de Valencia.

ABSTRACT

ROMERO, R. y BALASCH, S. 1984: Evaluación de la efectividad de las actuaciones de defensa aérea antigranizo en la zona de Levante: resultados definitivos. *Bol. Serv. Plagas*, 11: 163-171.

The efficiency of the aerial hail protection measures of the Ministry of Agriculture in the Spanish Levante were evaluated. The damages which occurred in the protected areas were compared to those in unprotected areas and both were related to the situation before protection measures were initiated. In the protected areas, damages were reduced by approximately 60%. The difference was significant at the 99% level.

REFERENCIAS

- DESSENS, J., 1980 a: Experience française de prevention de la grele para generateurs au sol: essais d'un nouveau type de controle. Comunicación presentada a la 3ª Conferencia sobre la Modificación Artificial del Clima. Clermont-Ferrand.
- DESSENS, J., 1980 b: Principaux programmes de lutte contre le grele. Resumen de la sesión XI de la 3ª Conferencia sobre la Modificación Artificial del Clima. Clermont-Ferrand.
- DESSENS, J., 1982: Mise a joun des combes double-mase pourcentages des degats par la grele.
- ROMERO, R.; TORRECILLAS, F.; SOLERA, I., 1982: Evaluación de la efectividad de las actuaciones de defensa aérea antigranizo en la zona de Levante: primeros resultados. *Bol. Serv. Plagas*, 8: 169-177.
- ROMERO, R., 1984: Incidencia de la lucha antigranizo en Navarra sobre el ratio daños/primas: una aplicación del enfoque Box-Jenkins del análisis de series temporales. (En prensa).
- S.O.R.E.M., 1982: Breve cronistoria della difesa anti-grandine in provincia di Vicenza. Societa Ricerche Esperienze Meteorologiche. Roma.
- THEIL, M., 1971: Principles of Econometrics. Wiley.
- WEISS, L. y WILSON, W., 1953: Evaluation of significance of slopes changes in double-maiss curves. Transactions, American Geophysical Union. Vol. 34, nº 6.