

## **Evaluación de la efectividad de las actuaciones de defensa aérea antigranizo en la zona de Levante: primeros resultados (\*)**

R. ROMERO, F. TORRECILLAS, I. SOLERA

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 cercano al 50%. Dicho efecto es significativo al nivel del 90%, siendo necesario continuar y extender los estudios para llegar a conclusiones definitivas.

R. ROMERO. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Valencia*, F. TORRECILLAS, I. SOLERA, *Becarios de la Cátedra de Estadística de la E.T.S.I.A. 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 inculan 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, mayoritariamente, se originan en las Sierras de Cazorla y Segura y se desplazan desde el Suroeste hacia el Noreste.

El objetivo del presente estudio es el de evaluar, a partir de la información recopilada hasta la fecha, la efectividad de estas campañas de defensa aérea, analizando su incidencia sobre los daños producidos por el granizo en la zona protegida en relación con los de una zona próxima no protegida.

---

(\*) Este estudio se ha realizado en el marco del Convenio establecido entre el Servicio de Defensa contra Plagas y la Universidad Politécnica de Valencia.

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 por 100 en la U.R.S.S. y Bulgaria y en un 50 por 100 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 estima en un 57 por 100 (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 por 100 (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.

Por otra parte es evidente que los resultados obtenidos en una zona no son directamente extrapolables a otras diferentes, puesto que la efectividad de estos sistemas preventivos dependen de las condiciones en que se originan las tormentas, condiciones que pueden variar sensiblemente de unas regiones a otras.

En consecuencia, y pese a los escasos años transcurridos desde el inicio de la experiencia de defensa aérea en la región levantina, parece aconsejable analizar la información disponible hasta la fecha para evaluar, aunque sea sólo con carácter provisional, su efecto sobre la incidencia del granizo en la zona protegida.

## MATERIAL Y METODOS

Los datos utilizados en el presente trabajo han sido facilitados por la Agrupación Español-

la de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados (Agroseguro). Esta entidad, de reciente creación, dispone de estadísticas de daños por granizo a nivel municipal para los diferentes cultivos asegurados, que se remontan a 1975.

El período analizado se extiende de 1975 a 1980, y comprende en consecuencia tres años no protegidos por aviones y tres 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 próximos 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 14 municipios situados próximos a la zona protegida directamente, pero al Este de la misma.

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 n.º 1.

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 pre-

**Cuadro n.º 1.—Municipios analizados en el estudio**

Zona previa a la protección.	<i>Ciudad Real:</i> Montiel. <i>Albacete:</i> La Roda, Tarazona, Madrigueras, Navas de Jorquera, Cenizate, Villamalea, El Bonillo, Munera, Barrax. La Gineta, Mahora, Golosalvo, Balazote, Pozuelo, Peñas de San Pedro, Alcaraz, Alcaadozo, Ayna, Nerpio. <i>Valencia:</i> Camporrobles, Villargordo, Fuenterrobles.
Zona directamente protegida.	<i>Albacete:</i> Alborea, Casas de Ves, Balsa de Ves, Albacete, Fuentealbilla, Abenjibre, Alcalá del Júcar, Valdeganga, Jorquera, Casas de Juan Núñez, Pozo Lorente, Villaviente, Alatoz, Carcelen, Villa de Ves, Pozohondo, Tobarra, Chinchilla, Alpera, Hoya Gonzalo, Higuera, Corral Rubio, Bonete, Liétor, Hellín, Elche de la Sierra, Jetur, Socovos. <i>Murcia:</i> Moratalla, Calasparra, Cieza, Caravaca, Cehegín, Mula. <i>Valencia:</i> Utiel, Venta del Moro, Requena.
Zona posterior a la protección.	<i>Albacete:</i> Pétrola, Almansa, Montealegre, Ontur, Albatana. <i>Alicante:</i> Villena. <i>Murcia:</i> Jumilla, Yecla. <i>Valencia:</i> Cofrentes, Jarafuel, Ayora.

sentan otros indicadores como vg., el de daños por hectárea asegurada.

**RESULTADOS Y DISCUSION**

En el Cuadro n.º 2 se recogen los valores promedios, para el conjunto de municipios considerado en cada zona, de los daños ocasionados por el pedrisco en el período 1975-77, no protegido por aviones, y en el período 1978-80 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 18 por 100 superiores a los del primero, dichos daños se redujeron en un 27 por 100 en la zona directamente protegida y en un 54 por 100 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 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 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 n.º 2 se recogen las cifras de daños promedio para el total de los municipios considerados en ambas zonas, apreciándose una re-

**Cuadro n.º 2.—Daños medios ocasionados por el granizo en cereales**

	Período sin campaña aérea 1975-1977	Período con campaña aérea 1978-1980
Zona previa a la protección .....	1,17	1,38
Zona directamente protegida .....	2,84	2,06
Zona posterior a la protección .....	6,01	2,75
Promedio zona protegida y posterior .....	3,57	2,21

ducción de 3,57 a 2,21 que supone un 38 por 100 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 obtiene como estimación del porcentaje de reducción de daños la cifra del 48 por 100.

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 inferencial 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.

Un planteamiento más flexible, y que permite incorporar otras informaciones que se dispongan sobre las características de cada campaña o de las zonas estudiadas, puede consistir 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  $j$  el año  $t$ , y como variables explicativas el año, la zona y la existencia o no de protección.

El modelo a estimar es:

$$Y_{jt} = b_0 + b_1 X_{1975} + b_2 X_{1976} + b_3 X_{1977} + b_4 X_{1978} + b_5 X_{1979} + b_6 X_{zprev.} + b_7 X_{zprot.} + b_8 X_{zprote} + U_{jt}$$

Donde:

$Y_{jt}$  = Daños en el municipio  $j$  el año  $t$  ( $t = 1975, \dots, 1980$ ).

$X_{1975}$  = vale 1 si  $t = 1975$  y 0 en otro caso.

$X_{1977}, \dots, X_{1979}$  se definen idénticamente que  $X_{1975}$ . Obsérvese que los datos del año 1980 se caracteriza por tener valores nulos para las 5 variables  $X_{1975}$  a  $X_{1979}$ . No se introduce una variable específica  $X_{1980}$  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  $X_{zprot.} = 0$ ).

$X_{zprote.}$  = vale 1 si el municipio  $j$  estuvo protegido el año  $t$  y 0 en otro caso; es decir,  $X_{zprote.} = 1$  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.

Obsérvese que de la definición dada para las variables resulta que el coeficiente de  $X_{zprote.}$  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 n.º 3.

El ajuste en su conjunto resulta altamente significativo. Sin embargo, desde el punto de vista de los objetivos de este estudio el interés se centra en la significación del coeficiente de  $X_{zprote.}$

La estimación de dicho coeficiente resulta,

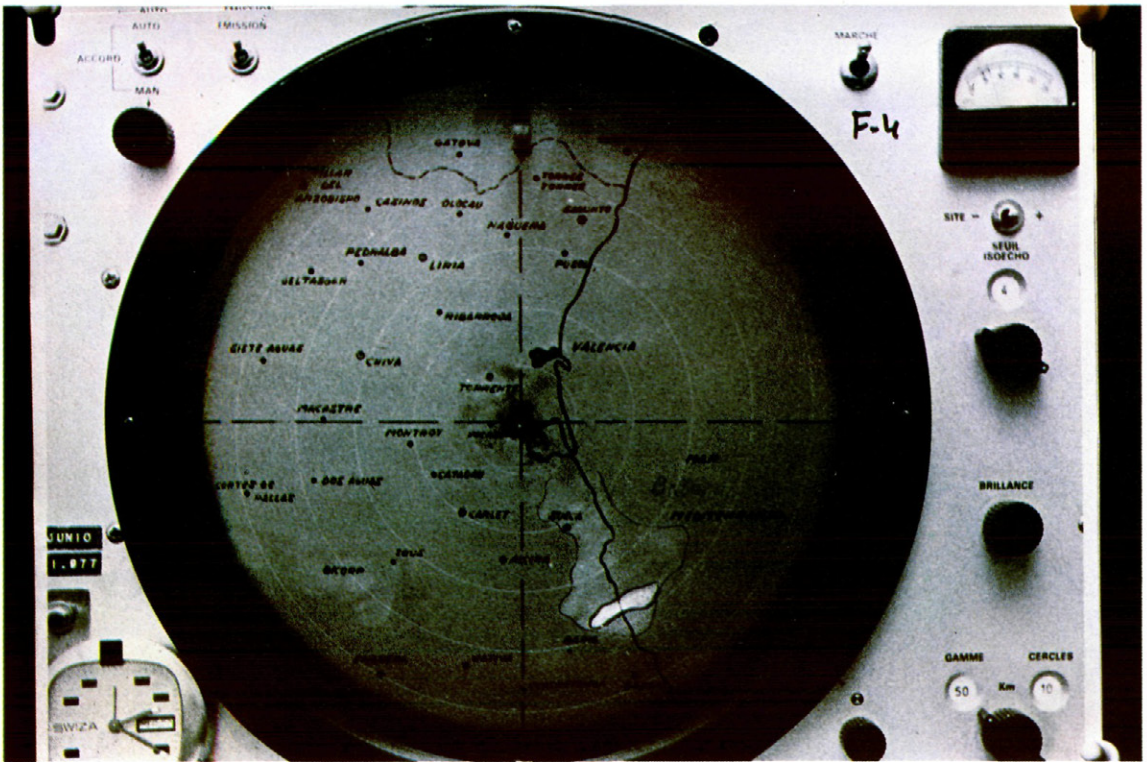


Fig. 1.—Granizada en la provincia de Alicante.

Fig. 2.—Pantalla del radar.



Fig. 3. —Rádar para seguimiento de tormentas instalado en Monte de San Caprasio (Alcubierre).



Fig. 4. — Avión preparado para siembra de nubes con AgI.

Fig. 5. — Generador móvil de núcleos de AgI (Soren, Italia).

como se aprecia en el Cuadro n.º 3 igual a  $-1,567$ . 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  $-1,23$ , que resulta significativo al nivel de significación del 90 por 100 (este valor del 90 por 100 se obtiene considerando el test como unilateral, que es lo que resulta adecuado en el caso que nos ocupa).

El nivel de significación obtenido del 90 por 100 no se considera, generalmente, como una evidencia estadística definitiva. La elevada variabilidad del fenómeno estudiado parece, en consecuencia, exigir un período de estudio más dilatado para la obtención de conclusiones definitivas. Creemos, sin embargo, que el nivel del 90 por 100 obtenido puede considerarse como un indicio razonable de la efectividad del sistema de defensa utilizado.

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  $X_{\text{prote}} = 0$  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 42 por 100, que concuerda bien con la estimada anteriormente por otro método a partir de los resultados de la tabla 2.

## CONCLUSIONES

Se ha evaluado la efectividad de las actuaciones de defensa aérea antigranizo desarrolladas en la zona levantina por el Servicio de Defensa contra Plagas, comparando los daños habidos en el trienio 1975-1977, inmediatamente anterior a la puesta en marcha de los

**Cuadro n.º 3.—Resultados del ajuste de porcentaje de daños a año, zona y protección**

Variable	Coefficiente	Valor de $t$
1975	-,661	-,492
1976	3,847	2,863
1977	-,472	-,351
1978	-,195	-,189
1979	3,547	3,437
ZPREV	-3,894	-3,481
ZPROT	-1,933	-2,243
PROTE	-1,567	-1,231

Ordenada en el origen: 4,255  
 Coeficiente de correlación múltiple: 0,344  
 Valor de F: 7,018  
 Grados de libertad: 8 417

mismos, con los constatados en el período de 1978-1980. 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 del orden del 40 por 100 al 50 por 100.

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 90 por 100.

Aunque la evidencia estadística obtenida no es definitiva, los resultados del estudio aparecen como esperanzadores. La elevada variabilidad natural del fenómeno estudiado hacen necesario una extensión del estudio en el espa-



cio, incluyendo más cultivos y más municipios no protegidos y municipios posteriores a la zona protegida más alejados de la misma, y en el tiempo, incluyendo datos de nuevas campañas y remontándose si es posible a años anteriores a 1975, con el fin de llegar a conclusiones definitivas.

## 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.

## ABSTRACT

ROMERO, R. y TORRECILLAS, F. 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.

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 50%. The difference was significant at the 90% level, but (since the variations were great) the studies should be continued and extended before definitive conclusions are drawn.

## REFERENCIAS

- DESSENS, J., 1980 a: Experience française de prevention de la grele par generateurs au sol: essais d'un nouveau type de controle. *Comunicación presentada a la 3.ª Conferencia sobre la Modificación Artificial del Clima*. Clermont-Ferrand.
- DESSENS, J., 1980 b: Principaux programmes de lutte contre la grele. *Resumen de la sesión XI de la 3.ª Conferencia sobre la Modificación Artificial del Clima*. Clermont-Ferrand.
- DESSENS, J., 1982: Mise a jour des courbes double-masse pourcentages des degats par la grele.
- S.O.R.E.M., 1982: Breve cronistoria della difesa antigranine 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, n.º 6.