

DAÑOS VISIBLES POR OZONO EN ACICULAS DE *PINUS HALEPENSIS* MILL. EN GRECIA Y ESPAÑA

B. SÁNCHEZ GIMENO¹, D. VELISSARIOU², J. D. BARNES³, ROSA INCLÁN¹,
J. M. PEÑA⁴ y A. DAVISON³

RESUMEN

Se describen síntomas visibles de daño en acículas de *Pinus halepensis* Mill. expuestas a ozono en su medio natural en Grecia y España y en cámaras de ambiente controlado en el Reino Unido. Los síntomas producidos por ozono en condiciones experimentales fueron similares a los observados en el campo en Grecia y España. No existía ningún indicio de que el daño fuese el resultado de deficiencias minerales, plagas o patógenos. Además, los síntomas eran muy similares a los descritos para algunas coníferas en los Estados Unidos, donde se atribuye este daño a oxidantes fotoquímicos en general. Se discute la posibilidad de utilizar el *P. halepensis* como bioindicador de ozono.

Palabras clave: Ozono, daño visible, *Pinus halepensis* Mill.

INTRODUCCION

La medida del ozono con monitores y especies indicadoras sensibles (por ejemplo, la variedad Bel-W3 de tabaco) ha servido para establecer que las concentraciones regionales en numerosos países del sur de Europa exceden frecuentemente, en los meses de primavera-verano durante varias horas al día, el valor de 120 ppb de O₃ (MARTÍN *et al.*, 1991; VELISSARIOU *et al.*, 1992). Dicho valor se corresponde con la concentración media horaria establecida como norma de calidad del aire en Estados Unidos. Por tanto, los niveles críticos para producir daño por ozono en las especies más sensibles se exceden en muchas áreas. Los niveles de ozono en áreas rurales están en el rango de 40-60 ppb (GIMENO *et al.*, 1989; GÜSTEN *et al.*, 1988),

mientras que en aquellas áreas influenciadas por la contaminación procedente de centros urbanos, ciertas concentraciones pueden superar las 135 ppb (Levante español) y 210 ppb (Atica).

La química y el transporte a nivel regional de ozono están bien documentados en diferentes puntos de la costa mediterránea española (MARTÍN *et al.*, 1991) y en Atica (GÜSTEN *et al.*, 1988), donde las elevadas concentraciones de ozono se asocian con las brisas de mar que transportan los contaminantes del aire marino a las regiones costeras. Estas brisas de mar pueden aumentar las concentraciones regionales de ozono de tres a cinco veces (GÜSTEN *et al.*, 1988). Los datos recogidos en diferentes emplazamientos en España (GIMENO *et al.*, 1989) y Grecia (VELISSARIOU *et al.*, 1992) confirman esta hipótesis. Además, MILLÁN *et al.* (1991) han descrito la recirculación a escala regional del O₃ en la región mediterránea.

Publicaciones recientes indican que las concentraciones de ozono en algunos países mediterráneos son suficientemente altas para disminuir el crecimiento y producción de numerosos cultivos y especies forestales de la zona (SALLERAS *et al.*, 1989; REINERT *et al.*, 1992; VELISSARIOU *et al.*, 1990,

¹ CIEMAT, IMA 3b, Avda. Complutense, 22. 28040 Madrid. España.

² Instituto de Fitopatología Benaki, St. Delta, 14561 Kifissia, Atenas. Grecia.

³ Departamento de Agricultura y Ciencias del Medio Ambiente, Ridley Building. Universidad de Newcastle, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, Reino Unido.

⁴ TECMENA, S. L., Arturo Soria, 187, Oficina 10, 28043 Madrid. España.

1992). Se debe prestar particular atención a la presencia de síntomas visibles de daño por ozono en las hojas porque pueden ser útiles para detectar concentraciones fitotóxicas de este contaminante. La bioindicación de ozono se puede realizar utilizando especies bioindicadoras en forma activa o pasiva (GUEDERIAN, 1985; TINGEY, 1989), aunque el uso de bioindicadores pasivos tiene la ventaja de que éstos relacionan directamente las concentraciones de ozono existentes en campo con sus efectos fitotóxicos.

En los Estados Unidos se ha demostrado que las concentraciones ambientales de ozono son las responsables del moteado clorótico que se desarrolla desde el ápice hasta la base de las acículas en algunas especies de *Pinus* en el sur de California (MILLER *et al.*, 1969; JACOBSON & HILL, 1970). El daño se asocia generalmente con la senescencia prematura de las acículas más viejas, pero no se debe confundir con el ocasionado por algunos insectos chupadores que pueden producir síntomas similares (HILL, HEGGESTAD & LINZON, 1970). Para poder diagnosticar daños de ozono es esencial establecer que los síntomas son debidos al ozono y no a deficiencias minerales, o a los efectos de plagas y patógenos. Por otra parte, es esencial cumplir los postulados de Koch (WOODMAN *et al.*, 1987), es decir: Cuando se exponen las plantas a concentraciones controladas de ozono, los síntomas resultantes deben ser los mismos que los observados en el campo.

El objetivo del presente estudio es demostrar que la exposición controlada de *Pinus halepensis* a ozono origina síntomas similares a los observados en un número determinado de emplazamientos naturales en España y Grecia. Además, se pretende comparar los síntomas observados en estos países con los descritos para especies del género *Pinus* en las montañas del sur de California, donde está profusamente demostrado que el daño se produce por exposición crónica a los oxidantes fotoquímicos.

MATERIAL Y METODOS

Se han observado y fotografiado síntomas de daño semejantes a los típicos de daño por ozono en determinadas coníferas en ciertas localidades del sur de Europa (costa mediterránea española y Atica). Además, en Atica se tomaron muestras de acículas para análisis.

Se expusieron árboles de cinco años de *Pinus halepensis* Mill., de semillas procedentes de Monte Parnis, en Atica, a niveles controlados de O₃ en cámaras en la Universidad de Lancaster (Reino Unido) durante ocho semanas en el verano de 1991. Los árboles se sometieron a dos tratamientos: 1) tratamiento control, con aire filtrado a través de carbón activo, consiguiéndose concentraciones de ozono próximas a 0 ppb; 2) tratamiento de fumigación, con 70 ppb de O₃, valor medio resultante de 7 horas de exposición (9:00-16:00 h.). Al final del período de exposición se sacaron los árboles de las cámaras y se examinaron las acículas para evaluar la presencia-ausencia de síntomas visibles de daño.

RESULTADOS

Se detectaron síntomas típicos de daño por ozono después de una exposición controlada con este contaminante. Estos fueron más destacados en las acículas del año anterior que en las acículas jóvenes. No se observaron síntomas similares en los árboles mantenidos en aire filtrado a través de carbón activo. La Foto 1 de la Lámina II muestra los síntomas típicos de ozono en las acículas después de ocho semanas de exposición controlada a una concentración moderada de ozono. Las Fotos 2 y 3 de la Lámina II muestran los síntomas observados en las acículas de Pino carrasco de árboles adultos en Grecia y España, respectivamente. Estas fotografías muestran la presencia de síntomas típicos de daño inducidos por ozono en las acículas de *P. halepensis*, consistentes en discretas moteaduras y bandeado clorótico. El daño aumenta con la edad de las acículas; mientras que las acículas del año en curso no muestran síntomas visibles, las acículas del segundo año muestran algunos síntomas de bandeado clorótico y finalmente el daño más severo aparece en las acículas del tercer año. Estos síntomas de bandeado clorótico se han atribuido a los efectos del ozono (HILL *et al.*, 1970). La Foto 4 de la Lámina II muestra síntomas típicos de daño por oxidantes en acículas de un año de *Pinus ponderosa* de las montañas de San Bernardino del sur de California, para comparar.

Las acículas de árboles adultos fueron examinadas por fitopatólogos, los cuales no pudieron detectar ninguna evidencia de que el daño fuera el resultado de la influencia de plagas de insectos u hongos

patógenos. Los análisis de nutrientes en las acículas griegas indicaban que los síntomas observados en el campo no estaban asociados con deficiencias de ningún tipo de nutriente en particular (VELISSARIOU *et al.*, 1992). En la exposición controlada a ozono, las acículas de los árboles mantenidos en aire limpio (filtrado con carbón activo) no desarrollaron síntomas similares de daño.

DISCUSION

Este estudio ha confirmado que la contaminación por oxidantes fotoquímicos es la responsable del bandeo clorótico observado en las acículas de los árboles adultos de *Pinus halepensis* de determinadas zonas de España y Grecia. Además, las conclusiones de esta investigación están apoyadas por experimentos controlados en la Universidad de Kuopio, Finlandia, donde se han observado síntomas similares (pero más intensos) de bandeo clorótico en plántulas de pino carrasco expuestas a concentraciones elevadas de ozono (600 ppb) en períodos cortos (12 h. al día durante dos días) en cámaras de ambiente controlado (S. ANTONNEN, comunicación personal). Además, se han podido observar síntomas de daños similares en árboles ornamentales de *P. halepensis* del área de Los Angeles (KÄRENlampi, 1987). La observación de que la intensidad del daño aumenta con la edad de las acículas también apoya la hipótesis de que el ozono es el responsable de los síntomas observados en el campo (U.S. EPA, 1978).

En el campo, el grado visible de daño parece estar relacionado con las concentraciones ambientales de ozono, los síntomas observados en acículas de Pino carrasco son mucho más intensos en Atica (Grecia) que en España. Los niveles de ozono en la costa mediterránea española son más parecidos a los utilizados en las exposiciones controladas con ozono,

y de acuerdo con esto originan un grado similar de daño; por otro lado, los niveles de O₃ experimentados en Atica son considerablemente más altos (GÜSTEN *et al.*, 1988; VELISSARIOU *et al.*, 1992) y por ello ocasionan un mayor grado de daño visible.

Parece ser que *Pinus halepensis* es sensible al ozono y puede ser un bioindicador de ozono útil en las regiones mediterráneas. Se están realizando estudios adicionales para determinar la relación dosis-respuesta al ozono del Pino carrasco y para determinar la extensión de estos síntomas en España y Grecia. Se están realizando otros experimentos para determinar la sensibilidad relativa del *Pinus halepensis* al ozono respecto a otras especies forestales mediterráneas, al tiempo que se correlacionan los síntomas visibles en árboles maduros en diferentes localidades con medidas de concentraciones de ozono. Un proyecto de la Comunidad Económica Europea, en que están implicados España y Grecia, está investigando la respuesta de esta especie al ozono y un número determinado de otras agresiones abióticas (deficiencias hídricas del suelo, elevada radiación solar y deficiencias nutricionales). Además, se pretende realizar un estudio para correlacionar la intensidad de los síntomas visibles en árboles maduros de distintas localidades con la magnitud de las concentraciones de ozono.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del doctor P. Lucas y el personal del campo experimental en la Universidad de Lancaster (Reino Unido). Este estudio ha sido subvencionado por el programa de Acciones Integradas Hispano-Británicas (ayuda número 40) y la Fundación Griega para la Ciencia. Los autores aprecian la colaboración del doctor R. Gardans por sus comentarios a su primera versión del manuscrito.

SUMMARY

Visible injury on needles of *Pinus halepensis* Mill. exposed to ozone under field conditions in Greece and Spain and in controlled environment chambers (United Kingdom) are described. The symptoms induced by ozone under experimental conditions were similar to those observed in the field in Greece and Spain. There were no indications that the damage resulted from mineral imbalance, pests or pathogens. Moreover the symptoms were very similar to those described for a number of coniferous species in the

USA, where damage is widely attributed to photochemical oxidant pollution. The potential use of *P. halepensis* as a bioindicator for O₃ is discussed.

Key words: Ozone, visible injury, *Pinus halepensis* Mill.

BIBLIOGRAFIA

- GIMENO, B. S.; SALLERAS, J. M.ª; BERMEJO, V.; OCHOA, M.ª J., & TARRUEL, A., 1989: «Efectos del ozono sobre plantas de sandía en el delta del Ebro. I: Sintomatología». *Phytoma España*, 12: 19-28.
- GUDERIAN, R., 1985: *Air pollution by photochemical oxidants*. Springer Verlag, Ecological Studies 52. Berlin-Heidelberg-New York-Tokio. 346 pp.
- GÜSTEN, H.; HEINRICH, G.; CVITAS, T.; KLASINC, L.; RUSCIC, B.; LALAS, D. P., & PETRAKIS, M., 1988: «Photochemical formation and transport of ozone in Athens, Greece». *Atmospheric Environment*, 22: 1855-1861.
- HILL, A. C.; HEGGESTAD, H. E., & LINZON, S. N., 1970: «Ozone». In: *Recognition of air pollution injury to vegetation: a pictorial atlas*. JACOBSON, J. S., y HILL, A. C. (eds.). Air Pollution Control Association. Pittsburgh, Pennsylvania, pp. B1-B22.
- JACOBSON, J. S., & HILL, A. C., 1970: *Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation; A Pictorial atlas*. Informative report no. 1. TR-7 Agricultural Committee. Air Pollution Control Association, Pittsburgh, Pennsylvania.
- KÄRENILAMPI, L., 1987: «Visible symptoms and mesophyll cell structural responses to air pollution in two lowland pines (*Pinus radiata* and *P. halepensis*) in Southern California». *Savonia*, 9: 1-12.
- MARTÍN, M.; PLAZA, J.; ANDRÉS, M. D.; BEZARES, J. C., & MILLÁN, M. M., 1991: «Comparative study of seasonal air pollutant behaviour in a mediterranean coastal site: Castellón (Spain)». *Atmospheric Environment*, 25 (8): 1523-1535.
- MILLÁN, M.; ARTIÑANO, B.; ALONSO, L.; NAVAZO, M., & CASTRO, M., 1991: «The Effect of Meso-scale flows on regional and long-range atmospheric transport in the western mediterranean area». *Atmospheric Environment*, 25A (5/6): 949-963.
- MILLER, P. R.; PARMETER, J. R.; FLICK, B. H., & MARTÍNEZ, C. W., 1969: «Ozone dosage response of Ponderosa pine seedlings». *J. Air Pollution Control Association*, 19 (6): 435-38.
- REINERT, R.; GIMENO, B. S.; SALLERAS, J. M.ª; BERMEJO, V.; OCHOA, M.ª J., & TARRUEL, A., 1991: «Ozone effects on watermelon plants at the Ebro delta (Spain). Symptomatology». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 38 (1-2): 41-49.
- SALLERAS, J. M.ª; GIMENO, B. S.; BERMEJO, V.; OCHOA, M.ª J., & TARRUEL, A., 1989: «Evolución del ozono y de la sintomatología de sus efectos sobre sandías y otros cultivos en el delta del Ebro durante 1988 y 1989». *Fruticultura Profesional*, 26: 127-136.
- TINGEY, D. T. (1989): «Bioindicators in air pollution research. Applications and constraints». In: *Biological markers of air-pollution stress and damage in forests*. National Academy Press. Washington D.C., pp. 73-80.
- U. S. EPA-450/3-78-005, 1978: *Diagnosing vegetation injury caused by air pollution*. U.S. Government Printing Office. Washington D.C. 20402, pp. 3-1 to 3-31.
- VELISARIOU, D.; BARNES, J. D.; DAVISON, A. W.; PFIRRMANN, T., & HOLEVAS, C. D., 1990: «Effects of ozone on crops and forests in Attica, Greece». Poster presented at Spanish-British Workshop *Environment: air pollution and its effects on vegetation water and soils*. San Lorenzo de El Escorial, 2-5 October 1990.
- VELISSARIOU, D.; DAVISON, A. W.; BARNES, J. D.; PFIRRMANN, T., & HOLEVAS, C. D., 1992: «Effects of air pollution on *Pinus halepensis* Mill. Pollution levels in Attica, Greece». *Atmospheric Environment*, 26 (3): 373-380.
- WOODMAN, J. N., & COLLING, E. B., 1987: «Airborne chemicals and forest health». *Environmental Science and Technology*, 21: 120-125.