

FURTHER DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN  
EU-  
LEVEL FOREST MONITORING SYSTEM  
-FUTMON-



Action: IM1: Intensive  
Monitoring in Cooperation  
with the International  
Cooperative Programme on  
Assessment and Monitoring of  
Air Pollution Effects on  
Forests (ICP Forests)

*Intensive Monitoring IM1: Assessment of  
Ozone Injury in SPAIN - Report 2009*



SECRETARÍA DE ESTADO DE  
MEDIO RURAL Y AGUA  
SECRETARÍA GENERAL DE  
MEDIO RURAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE MEDIO  
NATURAL Y POLÍTICA FORESTAL

SERVICIO DE PROTECCIÓN DE LOS MONTES CONTRA LOS AGENTES NOCIVOS  
C/ Ríos Rosas, 24  
28003 Madrid, SPAIN



## **RED EUROPEA DE SEGUIMIENTO INTENSIVO Y CONTÍNUO DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES**

**PROYECTO LIFE 07 ENV/DE/000218 “FutMon”  
ACTION IM1 “Intensive Monitoring”**

### **RED NIVEL II MEMORIA -2009**

**“ASSESSMENT OF OZONE INJURY IN SPAIN”**



---

**CAMPAÑAS DE MUESTREO DE LA VEGETACIÓN FORESTAL CON  
SÍNTOMAS DE DAÑOS POR CONTAMINANTES**

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

El ozono es el contaminante más relevante para los bosques. Sus efectos sobre la vegetación han sido objeto de multitud de estudios especialmente a partir de los años 80. Se sabe que el ozono afecta a los bosques causando daños visibles y otros efectos adversos a las plantas (Krupa and Manning, 1988). En un contexto de cambio climático (IPCC, 2001), se prevé un aumento en los niveles de este gas (Fowler, 1999; Ashmore, 2005). El ozono puede comprometer la estimulación de la producción primaria causada por este gas (King et al., 2005) y reducir la capacidad de absorción (sumidero) por parte de los ecosistemas (Karnovsky et al., 2003). En zonas forestales de Europa los niveles de este contaminante tienden a aumentar hacia la Región Mediterránea (Sanz et al., 2006; 2007), debido al hecho de que en el sur de Europa la formación de ozono está particularmente favorecida por la intensa radiación solar, altas temperaturas y por los procesos de re-circulación de las masas de aire contaminadas (Millán et al. 1997, 2000; Sanz and Millán, 1998; Sanz et al., 2007). Estos niveles son suficientemente altos para producir daños visibles en las hojas de las plantas autóctonas sensibles (e.g. Bussotti and Ferretti, 1998; Skelly et al. 1999; Innes et al., 2001; Sanz et al. 2001; de Vries et al., 2003).

Los efectos del ozono en las plantas se han revisado en los últimos años desde diversos puntos de vista (e.g. Runeckles and Chevone, 1992; Matyssek et al., 1995; Heath and Taylor, 1997; Pell et al., 1997; Black et al., 2000; De Kok and Tautz, 2001). El ozono entra en las plantas principalmente a través de los estomas y dentro de las hojas reacciona con elemento del apoplasto produciendo especies oxidativas reactivas (ROS), que están relacionadas con la fototoxicidad de este contaminante (Mehlhorn et al., 1990). La exposición al ozono a menudo causa incrementos en la actividad de los enzimas asociados con los mecanismos de defensa general de la planta (Kangasjärvi et al., 1994), y altera la permeabilidad de las membranas celulares y de los patrones



## RED EUROPEA DE SEGUIMIENTO INTENSIVO Y CONTÍNUO DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES- RED NIVEL II AÑO 2009

de lípidos (Heath, 1987). Otros efectos bien conocidos son la disminución de las tasas de asimilación fotosintética (Reich and Amudson, 1985), reducciones en la cantidad y actividad de la Rubisco (Dan and Pell 1989) y la destrucción de las clorofilas (e.g. Pleijel et al., 1994; Saitanis et al. 2001). Este contaminante también produce alteraciones en células y tejidos, induciendo la muerte celular y la necrosis de los tejidos, y finalmente produciendo daños que son visibles (e.g. Mikkelsen and Heide-Jørgensen, 1996; Günthard-Georg et al., 1997; Reig-Armiñana et al., 2004). Si la dosis es suficiente también se producen reducciones en el crecimiento (Chappelka and Chevone, 1992; Chapelka and Samuelson, 1998; Matyssek and Innes, 1998). Si bien estos efectos se han estudiado en condiciones controladas, y teniendo en cuenta que la contaminación por ozono (al contrario que la contaminación por fluoruros o por dióxido de azufre) no deja residuos elementales detectables por técnicas analíticas, en el campo se considera que los daños en hojas o acículas son la única evidencia clara de sus efectos.

A escala pan-Europea, en las parcelas de Nivel II, se ha adoptado un manual (en 2001, modificado en 2004, ver anexo I), para evaluar los daños por ozono en la vegetación natural. Con el muestreo se pretende confeccionar un mapa de Europa mostrando una distribución de los síntomas de daños por ozono en especies forestales europeas. Complementariamente, el estudio ampliará la información sobre la distribución y confeccionará una lista de especies con síntomas semejantes a los del ozono en distintas comunidades presentes en varios lugares a lo largo de las áreas forestales.

La Red de Nivel II de España consta de 54 parcelas en las que, de acuerdo con la Conferencia de Ministros para la protección de los bosques celebrada en Estrasburgo en 1990, se han de "realizar estimaciones y medidas numerosas y precisas, que caractericen la masa forestal y su historia, el arbolado y su follaje, la vegetación, el suelo, el clima, la composición química del agua de lluvia al descubierto, bajo el dosel de las copas y de las aguas de drenaje". La evaluación de los daños por ozono en la vegetación natural se ha de realizar en aquellos puntos donde existen medidas de las concentraciones de este contaminante por dosimetría pasiva. Por tanto, los inventarios de daños por ozono se han restringido a aquellas parcelas con dosímetros de ozono. Esto es, las 13 parcelas de Nivel II instrumentadas. Se listan a continuación:



**RED EUROPEA DE SEGUIMIENTO INTENSIVO Y CONTÍNUO  
DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES- RED NIVEL II  
AÑO 2009**

05 Ps la Granja  
06 Qi Morella  
10 Ppa Almonte  
11 Qs Villanueva de la Sierra  
15 Fs Burguete  
22 Pn Mora de Rubielos  
25 Ph Tibi  
26 Qi Andujar  
30 Ps Soria  
33 Qpe Cervera de Pisuerga  
37 Ppr Cuéllar  
54 Ph El Saler  
102 Ppr Dodro

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La metodología seguida en el establecimiento de la zona de muestreo (LESS) y toma de inventarios en las parcelas de Nivel II se ajusta a lo especificado por el “Submanual for the Assessment of Ozone Visible Injury on European Forest Ecosystems (Intensive Monitoring Plots/Level II). Para la metodología de la evaluación de daños foliares por ozono en las ramas tomadas para deposición (MTS), ver también este manual.



### **3. RESULTADOS**

En las siguientes páginas se adjuntan los resultados de los muestreos llevados a cabo en 2009. Los resultados de la metodología LESS se documentan como sigue: el tipo de vegetación presente en el LESS de las diferentes parcelas se documenta fotográficamente y se describen brevemente las características de éstas parcelas. Se adjuntan además las tablas con los inventarios de vegetación (en cada uno de los rectángulos de 2x1 m), indicándose si hay daños visibles en algunas de estas especies.

**ESPECIES CON DAÑOS POR OZONO FUERA EN ZONAS NO CUBIERTAS  
POR LOS INVENTARIOS (FORMULARIO OTS)**

Tal como indica el submanual para la evaluación de daños por ozono, tras realizar los inventarios de vegetación en los rectángulos (formulario LSS), se debe realizar un examen del resto del borde del bosque en un radio de 500 m. Si se observa alguna especie sintomática, ésta se apunta en el formulario OTS. En el año 2009 se encontró una especie sintomática en Burguete (15Fs):

Año	Parcela	Fecha	Especie
2009	15Fs	02/09/2009	<i>Fraxinus excelsior</i>



**Figura 1:** Daños por ozono en *Fraxinus excelsior* observados el día 02/09/2009 en la parcela de Burguete (15Fs).



**Figura 2:** Daños por ozono en *Fraxinus excelsior* observados el día 02/09/2009 en la parcela de Burguete (15Fs).

Otras especies con daños semejantes a los producidos por el ozono están siendo examinadas en la actualidad por microscopía.

## LISTADO DE ESPECIES IDENTIFICADAS EN 2009

Durante los muestreos realizados en 2009 se identificaron 146 especies. El año 2008 se identificaron un total de 162 especies, el año 2007, un total de 178 especies y el año 2006 se identificaron 123 especies.

Acacia dealbata	Galium sp.
Acer campestre	Galium verum
Achillea millefolium	Genista anglica
Andryala ragusina	Genista hispanica
Andryala sp.	Genista scorpius
Anemone sp.	Halimium halimifolium
Anthyllis cytisoides	Halimium lasianthum
Arenaria montana	Hedera helix
Artemisia campestris	Helianthemum apenninum
Artemisia glutinosa	Helianthemum marifolium
Asparagus acutifolius	Helianthemum origanifolium
Athrocneum macrostachyum	Helichrysum italicum
Biscutella valentina	Helichrysum stoechas
Bupleurum frutescens	Helleborus foetidus
Calluna vulgaris	Hieracium pilosella
Castanea sativa	Hieracium sp.
Centaurea cyanus	Ilex aquifolium
Centaurea jacea	Juncus acutus
Chamaerops humilis	Juniperus communis
Chamomilla recutita	Juniperus oxycedrus
Cistus albidus	Juniperus phoenicea
Cistus clusii	Juniperus sabina
Cistus ladanifer	Lamium flexuosum
Cistus salvifolius	Lavandula latifolia
Clematis vitalba	Lavandula stoechas
Cornus sanguinea	Leontodon sp.
Corylus avellana	Lithodora diffusa
Crataegus monogyna	Lithodora fruticosa
Cruciata glabra	Lithodora sp.
Daboecia cantabrica	Lonicera implexa
Ditrichia viscosa	Lotus corniculatus
Dorycnium pentaphyllum	Mentha longifolia
Equisetum ramosissimum	Mercurialis tomentosa
Erica cinerea	Ononis minutissima
Erica vagans	Osyris quadripartita
Eryngium campestre	Phillyrea angustifolia
Eucalyptus camaldulensis	Phillyrea latifolia
Eupatorium cannabinum	Phlomis lychnitis
Euphorbia characias	Pinus halepensis
Fagus sylvatica	Pinus nigra
Frangula alnus	Pinus pinaster
Fumana ericoides	Pinus pinea

**RED EUROPEA DE SEGUIMIENTO INTENSIVO Y CONTÍNUO  
DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES- RED NIVEL II  
AÑO 2009**

Pinus radiata	Stellaria holostea
Pinus sylvestris	Taraxacum sp.
Pistacia lentiscus	Teucrium chamaedrys
Plantago lanceolata	Teucrium polium
Polygonum lapathifolium	Teucrium scorodonia
Potentilla cinerea	Thalictrum sp.
Potentilla erecta	Thymus mastichina
Potentilla montana	Thymus vulgaris
Potentilla reptans	Trifolium repens
Potentilla sp.	Tuberaria guttata
Prunus spinosa	Ulex gallii
Pteridium aquilinum	Ulex parviflorus
Quercus coccifera	Ulex sp.
Quercus faginea	Urtica dioica
Quercus ilex	Verbascum thapsus
Quercus pyrenaica	Viola odorata
Quercus rubra	
Quercus suber	
Ranunculus sp.	
Rhamnus alaternus	
Rhamnus lycioides	
Rosa elliptica	
Rosa sp.	
Rosmarinus officinalis	
Rubia peregrina	
Rubus sp.	
Rubus ulmifolius	
Rumex acetosella	
Rumex obtusifolius	
Ruta chalepensis	
Salix atrocinerea	
Salix caprea	
Salix sp.	
Sanguisorba minor	
Sanguisorba officinalis	
Scirpus holoschoenus	
Sedum acre	
Sedum amplexicaule	
Sedum sediforme	
Sedum sp.	
Senecio sp.	
Seseli elatum	
Sideritis sp.	
Silene sp.	
Smilax aspera	
Stachys officinalis	



### ESPECIES SINTOMÁTICAS – DAÑOS POR OZONO EN LOS RECTÁNGULOS DEL LESS (FORMULARIO LSS)

En las parcelas de Nivel II se han detectado dos especies con daños producidos por ozono, a falta de validación por microscopía.

Se han detectado daños por ozono en *Pinus radiata* en la parcela de Dodro, consistentes en un moteado clorótico que tentativamente se han asignado al ozono ya que no parece estar causado por insectos. Dado que en la localidad se detectan también impactos por SO<sub>2</sub>, es posible que este contaminante también contribuya de alguna manera a los daños observados.

En *Crataegus monogyna* dentro de la parcela de Burguete también se han observado daños producidos por ozono. Las hojas presentan una coloración rojiza que respeta los nervios de la hoja y su envés. Estos daños están poco extendidos.



**Figura 3:** Daños por ozono observados en *Crataegus monogyna* en Burguete



**Figura 4:** Daños por ozono observados en *Pinus radiata* en Dodro

## ESPECIES CON SÍNTOMAS SEMEJANTES A LOS DEL OZONO

En los inventarios de daños por ozono se han observado enrojecimientos en las hojas que a veces se han atribuido al ozono. En este informe, sin embargo, se ha adoptado un criterio conservador ya que consideramos que este tipo de respuesta no es específica y puede producirse también frente a otros tipos de estrés (radiación solar, estrés hídrico). En cualquier caso, algunos de estos síntomas se documentan fotográficamente a continuación.



Síntomas semejantes a los producidos por el ozono en Hiedra (Vallivana 2009)



Síntomas semejantes a los producidos por el ozono en una herbácea (Soria 2009)



Síntomas semejantes a los producidos por el ozono en *Quercus pyrenaica*. (Cervera del Pisuerga 2009)



Síntomas semejantes a los producidos por el ozono en *Eupatorium cannabinum*. (Dodro 2009).



Síntomas semejantes a los producidos por el ozono en *Trifolium sp.* (Burguete, 2009).



Síntomas semejantes a los producidos por el ozono en *Rubus sp.* (Burguete 2009).

## **CONCLUSIONES**

- En 2009 se han evaluado los daños por ozono en las 13 parcelas instrumentadas de Nivel II. Se identificaron un total de 146 especies diferentes. Los muestreos se realizaron en verano, en el periodo comprendido entre el 25 de agosto y el 30 de septiembre.
- Tal como se ha puesto de manifiesto en anteriores informes, la respuesta de las plantas frente al ozono es compleja. No depende únicamente de los niveles ambientales de este contaminante sino del flujo de ozono entre la atmósfera y las hojas y de la capacidad antioxidante de las plantas. El intercambio gaseoso de las plantas con la atmósfera (y en particular conductancia estomática para el vapor de agua, que es proporcional a la conductancia para el ozono) depende de diversos factores ambientales entre los que los más importantes son la temperatura, la humedad relativa, y el potencial hídrico de la planta. En el mediterráneo, los niveles de ozono son relativamente elevados respecto a otras zonas de Europa pero las plantas están sometidas a un fuerte estrés hídrico que provoca un cierre estomático y por tanto el ozono absorbido por planta puede reducirse notablemente. Por este motivo, en la actualidad se está desarrollando un nuevo tipo de Niveles Críticos basados en el flujo en vez de en las concentraciones. Además, las plantas esclerófilas presentan adaptaciones a la sequía como la presencia de abundantes pelos, paredes celulares engrosadas, y una alta capacidad antioxidante que les sirven tanto para dificultar el acceso de las moléculas de ozono al mesófilo de las hojas como para tamponar su capacidad oxidativa, minimizando los daños. Los resultados del presente trabajo confirman lo mencionado anteriormente. En las parcelas de las zonas secas de España no encontramos daños en la vegetación. De hecho, en algunas parcelas muchas de las plantas herbáceas están completamente secas cuando se realizan los muestreos (final de agosto y principio de septiembre). Los daños por ozono en la campaña 2009 se restringen a zonas húmedas del norte de España (Dodro y Burguete, que aunque están sometidas a niveles de ozono más bajos en



**RED EUROPEA DE SEGUIMIENTO INTENSIVO Y CONTÍNUO  
DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES- RED NIVEL II  
AÑO 2009**

general, presentan vegetación más sensible a este contaminante y, presumiblemente, un intercambio de gases (incluyendo ozono) con la atmósfera muy elevado.

- Los daños más claros se presentaban en la parcela de Burguete (15Fs) y Dodro (102Ppr), donde a principios y mediados de septiembre, respectivamente, de 2009 se detectaron síntomas en *Crataegus monogyna*, *Fraxinus excelsior* y *Pinus radiata*. En el caso de *Pinus radiata* y *Crataegus monogyna*, los daños fueron detectados en los inventarios de los rectángulos (LSS).
- En el caso de *Fraxinus excelsior*, los síntomas, sin embargo no quedan recogidos en los inventarios de los rectángulos (LSS) ya que sólo los mostraban unos pocos ejemplares de un vivero forestal adyacente a la parcela. Deben por tanto enviarse a las bases de datos bajo el formulario OTS y no bajo el LSS.



- **BIBLIOGRAFIA**

- Ashmore, M.R. (2005). Assessing the future global impacts of ozone vegetation. *Plant, Cell and Environment*, 28, 949–964.
- Black, V.J., Black, C.R., Roberts, J.A. & Stewart, C.A. (2000). Impact of ozone on the reproductive development of plants. Tansley Review for *New Phytologist*, 147, 421–447
- Bussotti, F. & Ferretti, M. (1998). Air pollution, forest condition and forest declines in southern europe. An overview. *Environmental Pollution*, 101, 49–65.
- Chappelka, A.H. & Chevone, B.I. (1992). Tree responses to ozone. pp. 271–324. In: Surface-level Ozone Exposures and Their Effects on Vegetation. A.S. Lefohn, ed., Lewis Publish. Inc., Chelsea, MI. pp. 271–324
- Chappelka, A. H., Samuelson, L. J. (1998). Ambient ozone effects on forest trees of the eastern United States: a review. *New Phytologist* 139, 91–108.
- Dann, M.S., Pell, E.J. (1989). Decline of activity and quantity of ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase and net photosynthesis in ozone-treated potato foliage. *Plant Physiology*, 91, 427–432.
- De Kok, L.J. & Tausz, M., (2001). The role of glutathione in plant reaction and adaptation to air pollutants. In: Grill, D., Tausz, M., De Kok, L.J. (Eds.), Significance of Glutathione to Plant Adaptation to the Environment. Kluwer Publishers, Amsterdam, pp. 185–208.
- de Vries, W., Reinds, G.J., Posh, M., Sanz, M.J., Krause, G., Calatayud, V., Renaud, J.P., Dupoucy, H., Sterba, H., Vel, E.M., Dobbertin, M., Gundersen, P. & Voogd, J.C.H. (2003). Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, 2003. Technical Report. EC-UN/ECE, Brussels, Geneva (ISSN 1020–6078).
- Fowler, D., Cape, J. N., Coyle, M., Flechard, C., Kuylenstierna, J., Hicks, K., Derwent, D., Johnson, C. & Stevenson, D. (1999). The global exposure of forests to air pollutants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 116, 5-32.
- Günthardt-Goerg, M.S., McQuattie, C.J., Scheidegger, C., Rhiner, C. & Matussek, R. (1997). Ozone-induced cytochemical and ultra-structural changes in leaf mesophyll cell walls. *Canadian Journal of Forest Research*, 27, 453–463.
- Heath, R.L. (1987). The biochemistry of ozone attack on the plasma membrane of plant cells. In: Recent advances in phytochemistry. Phytochemical effects of environmental compounds (eds., J.A. Saunders, L. Kosak–Channing and E.E. Conn). New York, N.Y.: Plenum Press, pp. 29–54.
- Heath, R.L. & Taylor, G.E. Jr. (1997). Physiological processes and plant responses to ozone exposure. In: Sandermann, H., Wellburn, A.R., Heath, R.L. (Eds.), Forest Decline and Ozone: a comparison of controlled chamber

**RED EUROPEA DE SEGUIMIENTO INTENSIVO Y CONTÍNUO  
DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES- RED NIVEL II  
AÑO 2009**

- and field experiments. *Ecological Studies* 127. Springer-Verlag, New York, 317–368 pp.
- Innes J.L., Skelly J.M. & Schaub M. (2001). Ozone and broadleaved species. A guide to the identification of ozone-induced foliar injury. [Ozon, Laubholz- und Krautpflanzen. Ein Führer zum Bestimmen von Ozonsymptomen]. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.
- IPCC (2001) *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- Kangasjärvi, J., Talvinen, J., Utriainen, M. & Karjalainen, R. (1994). Plant defense systems induced by ozone: Commissioned Review. *Plant, Cell and Environment*, 17, 783–794
- Karnosky, D.F., Zak, D., Pregitzer, K., Awmack, C., Bockheim, J., Dickson, R., Hendrey, G., Host, G., King, J., Kopper, B., Kruger, E., Kubiske, M., Lindroth, R., Mattson, W., McDonald, E., Noormets, A., Oksanen, E., Parsons, W., Percy, K., Podila, G., Riemenschneider, D., Sharma, P., Thakur, R., Sober, A., Sober, J., Jones, W., Anttonen, S., Vapaavuori, E., Manskovska, B., Heilman, W., Isebrands, J. (2003). Tropospheric O<sub>3</sub> moderates responses of temperate hardwood forests to elevated CO<sub>2</sub>: a synthesis of molecular to ecosystem results from the Aspen FACE project. *Functional Ecology*, 17, 289–304.
- King, J.S., Kubiske, M.E., Pregitzer, K.S., Hendrey, G.R., McDonald, E.P., Giardina, C.P., Quinn, V.S. & Karnosky, D.F. 2005. Tropospheric O<sub>3</sub> compromises net primary production in young stands of trembling aspen, paper birch and sugar maple in response to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*, 168, 623–635
- Krupa, S. & Manning, W.J. (1988). Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution*, 50, 101–137.
- Matyssek, R., Innes, J. L. (1999). Ozone - a risk factor for trees and forests in Europe?. *Water, Air, & Soil Pollution*, 116, 199–226.
- Matyssek, R., Reich, P., Oren, R. & Winner, R.E. (1995). Response mechanisms of conifers to air pollutants. In: Smith, W.K., Hinckley, T.M. (Eds.), *Ecophysiology of Coniferous Forests*. San Diego, Academic Press, San Diego, pp 255–308.
- Mehlhorn, H., Tabner, B.J. & Wellburn, A.R. (1990). Electron spin resonance: evidence for the formation of free radicals in plants exposed to ozone. *Physiologia Plantarum*, 79, 377–383.
- Mikkelsen, T.N. & Heide-Jørgensen, H.S. (1996). Acceleration of leaf senescence in *Fagus sylvatica* L. by low levels of tropospheric ozone demonstrated by leaf colour, chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure. *Trees*, 10, 145–156.
- Millán, M.M., Mantilla, E., Salvador, R., Carratalá, A., Sanz, M.J., Alonso, L., Gangoiti, G. & Navazo, M. (2000). Ozone cycles in the Western



**RED EUROPEA DE SEGUIMIENTO INTENSIVO Y CONTÍNUO  
DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES- RED NIVEL II  
AÑO 2009**

- Mediterranean Basin: Interpretation of monitoring data in complex coastal terrain. *Journal of Applied Meteorology*, 39, 487–508.
- Millán, M.M., Salvador, R., Mantilla E. & Kallos, G. (1997). Photo-oxidant Dynamics in the Mediterranean Basin in Summer: Results from European Research Projects. *Journal of Geophysical Research* 102 no.D7, 8811–8823.
- Pell, E.J., Schlaghauser, C.D., & Arteca, R.N. (1997). Ozone-induced oxidative stress: mechanisms of action and reaction. *Physiologia Plantarum*, 100, 264–273.
- Pleijel, H., Skärby, L., Ojanperä, K. & Selldén, G. (1994). Exposure of oats, *Avena sativa* L. to filtered and unfiltered air in open-top chambers: effects on grain yield and quality. *Environmental Pollution*, 86, 129–134.
- Reich, P.B. & Amudson, R.G. (1985). Ambient levels of ozone reduce net photosynthesis in tree and crop species. *Science*, 230: 566–570.
- Reig-Armiñana, J., Calatayud, V., Cerveró, J., García-Breijo, F.J., Ibars, A. & Sanz, M.J. (2004). Effects of ozone on the foliar histology of the mastic plant (*Pistacia lentiscus* L.). *Environmental Pollution*, 132, 321–331.
- Runeckles, V.C. & Chevone, B.I. (1992). Crop responses to ozone. In: Lefohn, A.S. (Ed.), *Surface Level Ozone Exposures and their Effects on Vegetation*. Lewis Publishers, Inc, Chelsea, MI, pp. 189–270.
- Saitanis, C.J., Riga-Karandinos, A.N. & Karandinos, M.G. (2001). Effects of ozone on chlorophyll and quantum yield of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) varieties. *Chemosphere*, 42, 909–917.
- Sanz, M.J. & Millán, M. (1998). The dynamics of aged air masses and ozone in the western Mediterranean: relevance to forest ecosystems. *Chemosphere*, 98, 1089–1094.
- Sanz, M.J., Sánchez, G., Calatayud, V., Minaya, M.T. & Cerveró, J. (2001). La contaminación atmosférica en los bosques. Guía para la identificación de daños visibles causados por ozono. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, 163 p.
- Sanz, M.J., Sanz, F., Calatayud, V., Sánchez-Peña, G. (2006). Ozone in Spain's National Parks and Protected Forests. *TheScientificWorldJOURNAL* (in press)
- Sanz, M.J., Calatayud, V., Sanchez, G. (2007). Measures of ozone concentrations using passive sampling in forests of South Western Europe. *Environmental Pollution*, 145, 620–628.
- Skelly, J.M., Innes, J.L., Savage, J.E., Snyder, K.R., Vanderheyden, D., Zhang, J. & Sanz, M.J. (1999). Observation and confirmation of foliar ozone symptoms of native plant species of Switzerland and southern Spain. *Water, Air, and Soil Pollution*, 116, 227–234.

