

LA CALIDAD DEL AIRE ES UN ELEMENTO ESENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN Y LA SALUD DE LAS PLANTAS

El ozono troposférico y daños en el cultivo de la patata en el Mediterráneo

El ozono troposférico, por encima de determinadas concentraciones, produce efectos perjudiciales en los seres vivos. Aunque la sensibilidad según las especies es diferente, las plantas, tanto de los agrosistemas como de los ecosistemas naturales, pueden verse afectadas por este contaminante. Desde los años 70, la concentración de ozono

troposférico de la cuenca mediterránea se ha ido incrementando hasta alcanzar niveles que podían considerarse fitotóxicos, superando el umbral de protección a la vegetación. Una vez superado éste, el ozono provoca daños en numerosos cultivos entre los que se encuentran la patata, la sandía, las judías y el tomate.

Porcuna, J. L.¹, Jiménez, A.¹,
Martin, C.² y Calvo, E.²

⁽¹⁾Servicio de Sanidad Vegetal. Conselleria de Agricultura Pesca y Alimentación, Silla (Valencia). ⁽²⁾Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, Paterna (Valencia).

Desde que los primeros estudios con bioindicadores en cultivos de los efectos producidos por elevadas concentraciones de ozono se llevaron a cabo en los 70 en Israel, utilizando la variedad de tabaco Bel-W3 (Naveh *et al.*, 1978), se han realizado numerosos estudios relacionados con los daños producidos por fotooxidantes en la Cuenca Mediterránea. La primera referencia de la existencia de este ti-

po de daños en Italia es de 1984 (Lorenzini *et al.*, 1984), aunque los estudios más intensivos se llevaron a cabo en el valle del Po y Tuscany (Lorenzini & Panattoni, 1986; Lorenzini *et al.*, 1988, Mignanego *et al.*, 1992, Schenone & Mignanego, 1988) donde se estableció una buena correlación entre los daños aparecidos en los cultivos y las concentraciones reales detectadas.

También se encontraron evidencias de daños producidos por ozono en plantas de tabaco en Grecia, coincidiendo con la presencia de elevadas concentraciones de este contaminante (Velissariou *et al.*, 1992).

En España, en 1991-92, en el campo de experimentación de la granja Migjorn (Tarragona), se detectaron efectos debidos a la

presencia de ozono en judía y en sandía (**foto 1**) (Fernández, 1991; Gimeno *et al.*, 1989; Gimeno *et al.*, 1990). Además, se observaron los primeros indicios de daños visibles que podían ser debidos al ozono en otros cultivos mediterráneos prospectados in situ: patatas, vid, cacahuetes, judías, soja, tomates y variedades de tabaco comercial.

Estudios posteriores establecieron una relación entre la intensa industrialización de la Cuenca Mediterránea occidental con la aparición de los primeros síntomas en los cultivos de la zona (Sandroni *et al.*, 1994). Al final de los años 80 se establecieron los niveles críticos de ozono para los cultivos en el área mediterránea (Fuhrer *et al.*, 1989; Fuhrer, 1996; Fuhrer & Ashmore, 1996) incluyendo la C.Valenciana (Sanz *et al.*, 1999b) (Millán *et al.*, 1993; Millán *et al.*, 1997)

Por fin, las primeras relaciones de daños aparecidos en la horticultura española mediterránea y el ozono se establecieron en sandía (**figura 1**) en 1992 (Reinert *et al.*, 1992; Gimeno, 1998; Gimeno *et al.*, 1995). Es por ello que la hipótesis de que algunos problemas fitosanitarios que comenzaron a acentuarse en este periodo podrían estar relacionados con esta problemática, especialmente en el caso de las virosis (Porcuna, 1997; Sanz *et al.*, 1997; Porcuna *et al.*, 1999) cada vez fue tomando más cuerpo. Posteriormente se puso de manifiesto la presencia de daños foliares inducidos por el ozono en diversas especies hortícolas en todo el litoral mediterráneo (Gimeno, 1998). Por otra parte, al ir desapareciendo el uso de variedades autóctonas, desplazadas por las variedades híbridas, la



Foto 1. Daños por ozono en sandía.

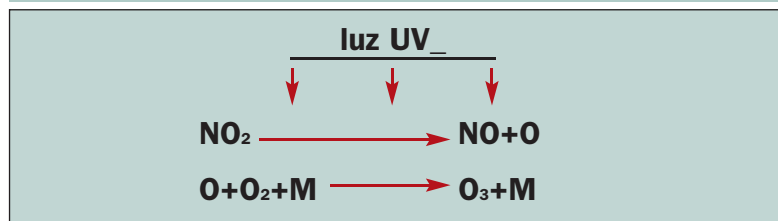
FIGURA 1.**Reacciones que dan lugar a las moléculas de ozono en la atmósfera.**

Foto 2. Daños por ozono en patata.

capacidad de adaptación de las plantas a estos cambios ambientales quedó imposibilitada, con lo que los problemas se hicieron cada vez más patentes.

El diagnóstico de la sintomatología provocada por las concentraciones fitotóxicas del ozono resultaba y resulta difícil de determinar para los técnicos españoles, ya que este tipo de fisiopatías tienen pocas referencias en la bibliografía científica y técnica de nuestro país por lo que se presentaban numerosos casos de confusión y desconcierto entre técnicos y agricultores.

El origen del problema en el área mediterránea

Las investigaciones llevadas a cabo por el Dr. Millán Millán (CEAM) citan el origen del problema en la Cuenca Mediterránea occidental de nuestro país, debido a que está rodeada por sistemas montañosos con una altura media superior a los 1.500 m. En las cadenas montañosas costeras el calentamiento de las laderas orientadas al este comienza a la salida del sol. En verano, esta situación favorece el desarrollo temprano de los vientos de ladera que refuerzan las brisas de mar.

Debido al calentamiento, durante el día las laderas actúan como chimeneas orográficas que conectan directamente los vientos en superficie con sus flujos de retorno en altura hacia el mar. Durante la tarde, la brisa de mar decae y finalmente cesa al anochecer. Al día siguiente los estratos más bajos entran con la nueva brisa de mar y las circulaciones descritas reponen con nuevos estratos en altura.

El resultado final es la formación de una clara estratificación vertical en la masa de aire sobre el mar, a lo largo de las costas, situándose los estratos recién formados en la parte superior, y los más antiguos cerca de la superficie marina. Numerosas publicaciones científicas

Al ir desapareciendo el uso de variedades autóctonas, desplazadas por las variedades híbridas, la capacidad de adaptación de las plantas a estos cambios ambientales quedó imposibilitada, con lo que los problemas se hicieron cada vez más patentes

han documentado los ciclos de O_3 en la costa mediterránea (Millán *et al.*, 1992, 1996, 2002), y el transporte interregional de O_3 en la costa norte española.

Se sabe que la formación de ozono proviene mayoritariamente de la exposición de los humos ricos en óxidos de nitrógeno, procedentes de cualquier combustión de un combustible fósil (carbón, gas natural, petróleo y derivados), a los rayos ultravioletas procedentes del sol, que una vez absorbidos por las moléculas de dióxido de nitrógeno dan lugar a una serie compleja de reacciones que esquemáticamente se expresarían según muestra la **figura 1**.

Las nubes de humos procedentes de centrales térmicas, complejos petroquímicos, fábricas de abonos, tráfico de coches de autopista y grandes ciudades, etc., se transforman así en condiciones favorables de luz, en diversos contaminantes, entre ellos ozono, que puede ser trasladado por los regímenes de vientos a grandes distancias hacia zonas rurales, en las que será difícil de correlacionar sus efectos sobre la vegetación con problemas de contaminantes.

Influencia del ozono sobre el metabolismo celular

Aunque la capacidad del ozono para dañar a las células vegetales ha sido investigada desde los años 50, han sido estudios realizados más recientemente los que sugieren que

los primeros efectos del ozono se dejarían sentir sobre las membranas celulares, provocando una alteración de su permeabilidad y en consecuencia la fotosíntesis y la respiración quedarían afectadas, debido a desequilibrios iónicos en el plasmalema y la subsiguiente alteración de los procesos metabólicos.

Se ha comprobado en hojas de judías expuestas a ozono el aumento de la permeabilidad de la membrana a glucosa así como el incremento de las pérdidas de K^+ en la célula vegetal, provocadas por el ozono. Estos efectos eran reversibles cuando la presencia de ozono era corta, pero irreparables en el caso de la presencia continua.

Así mismo se ha comprobado la actuación del ozono interrumpiendo el circuito normal del flujo energético, desde los lugares de excitación de las clorofilas hacia los lugares de recepción, como consecuencia de la disrupción de los componentes de la membrana celular, pero no por la desintegración total de ésta.

La acción del ozono en las cadenas dobles de los ácidos grasos insaturados que componen la membrana celular es la de oxidar aminoácidos tales como: cisteína, triptofano, metionina, tirosina, etc., lo cual implica lógicamente también las posibilidades de oxidación de las proteínas. Asimismo el ozono tiene capacidad de oxidar los grupos sulfhidrilos a disulfitos y sulfonatos. Esta actuación tiene una importancia extraordinaria, ya que estos grupos están situados en los lugares activos de numerosas enzimas y forman parte de

la estructura terciaria de algunas proteínas.

El cloroplasto fue propuesto como el primer lugar de actuación del ozono que se difundía a través de la membrana. Otra evidencia del daño que puede provocar al ozono es su capacidad para inducir la formación de radicales libres en el mismo cloroplasto, con lo que se producía una inhibición parcial de la fotosíntesis. Más específicamente, se comprobó que con concentraciones de 150 ppb durante 8 horas, se producía la reducción del tamaño de los cloroplastos así como la desintegración de tilacoides.

Todos estos daños se pueden observar o no externamente, según la cantidad de tiempo de exposición y el nivel de las concentraciones de ozono en la atmósfera. En general, la sintomatología externa suele comenzar por una decoloración hacia tonos rojizos de las hojas más viejas y más expuestas a la luz. Estas decoloraciones suelen adquirir en un estado más avanzado un aspecto plateado que puede cubrir toda la hoja (sandía) o formar manchas circulares (tabaco), sobre las que suele instalarse algún tipo de hongo como *Alternaria*.

La patata, un cultivo muy sensible al ozono

A pesar de que la patata constituye un cultivo muy importante en algunas regiones, son poco conocidas muchas de sus fisiopatías. Aunque la bibliografía recoge las más comunes, como el corazón negro, corazón hueco, tubérculos agrietados, etc., no recoge ningún daño provocado por problemas de contaminación atmosférica (CO₂, SO₂, radiaciones ultravioletas, O₃).

Desde hace unas décadas, se han observado distintos tipos de sintomatologías que provocaban unos moteados importantes en los cultivos más precoces, y de menor intensidad en los patatares ecológicos. Dicha fisiopatía se presentaba con especial intensidad en los cultivos de patata del litoral mediterráneo en general y en el Valle del Guadalquivir.

Este moteado, conocido en el Valle del Guadalquivir como cangrena menuíta, se caracteriza por la aparición de puntos necróticos en las hojas. Dichas manchas necróticas son pequeñas al principio y generalmente aumentan de tamaño y llegan a unirse en muchos casos, formando otras mayores (**foto 2**). Los primeros síntomas pueden apare-

CUADRO I.

Sensibilidad varietal de patata a ozono.

Variedad	Resistencia-Susceptibilidad	
	Campaña I	Campaña II
Accord	-	S
Agria	MS	-
Anais	-	MR
Argos	-	R
Bartina	MR	MR
Belleza	-	MR
Bimonda	S	-
Cantante	R	-
Carlita	-	MR
Cicero	-	S
Cupido	-	MS
Derby	-	R
Duchesse	-	S
Elodie	-	MS
Fabula	R	MR
Frisia	¿MS?	R
Harmony	-	R
Horizon	-	S
Inca	R	-
Justine	-	MR
Lorette	-	R
Mayka	MR	-
Mondial	R	-
Nicola	MS	-
Rodeo	-	S
Spunta	S	MS
Whinston	-	R
Xantia	MR	MR

R: resistente; MS: moderadamente sensible; S: sensible.

cer en el haz o en el envés de las hojas inferiores de cultivos en fase avanzada de tuberificación. Posteriormente los daños acaban haciéndose muy visibles en el haz de las hojas y comienzan a aparecer en hojas de la parte media y alta de la planta.

En los estudios realizados por el CEAM y los Servicios de Sanidad Vegetal de Andalucía y Valencia se descartó que dicha sintomatología fuera debida a hongos fitopatógenos, bacterias o virus. Posteriormente fue descartada la posibilidad de carencia de nutrientes o problemas ligados al manejo del agua, ya que aparecía en parcelas con muy distintos tipos de suelos y con estrategias de fertilización diferentes. Por último se descartó cualquier problema de calidad del material vegetal al aparecer en distintas variedades procedentes de distintas casas productoras de semillas. No

obstante, se observaba en el desarrollo de la alteración un nítido efecto ambiental.

La calidad del aire, un elemento esencial para las plantas

Un factor determinante de la salud de un cultivo es el aire. El hecho de que se convierta en un problema en vez de en un alimento necesario para las plantas, es especialmente duro, porque él constituye el primer y último combustible de la propia vida. Además, el ambiente atmosférico aporta más del 95% de los constituyentes de la propia planta, y en la actualidad está sometido a la presión de numerosos agentes que inciden sobre él, provocando alteraciones mucho más rápidas que los procesos adaptativos de los seres vivos que lo utilizan.

Como ya hemos visto, desde los años 70, la concentración de ozono troposférico de la cuenca mediterránea se incrementó alcanzando niveles que podían considerarse fitotóxicos, superando el umbral de protección a la vegetación. El ozono es un contaminante de tipo regional, que en la actualidad está muy extendido en amplias zonas del continente europeo. En los últimos años su concentración en las capas bajas de la atmósfera ha ido aumentando a niveles suficientes para dar lugar a cambios fisiológicos y bioquímicos que afectan a la productividad de los cultivos. Sus concentraciones más elevadas se producen en las áreas rurales que circundan los grandes núcleos urbanos o zonas industriales (a cierta distancia de éstas, no en ellas), situación que suele ocupar la agricultura intensiva en nuestras latitudes. Este contaminante puede ser considerado en cierta manera un factor más que puede contribuir o propiciar cambios en los organismos y como consecuencia en los ecosistemas (o agrosistemas). Ya la EPA, en su informe de 1997 (EPA, *Criteria Document, Photooxidants*, 1997) recogía todos los estudios económicos sobre la evaluación de pérdidas atribuibles a este contaminante realizados en EE.UU., evidenciando que las pérdidas económicas pueden ser importantes.

Efectivamente, la documentación bibliográfica sobre el efecto del ozono en cultivos, es abundante, y se ha ido enriqueciendo desde los primeros estudios de los 70. Así por ejemplo, se cita en judías expuestas durante



Nueva LEXION.

Va por delante.



Una máquina exitosa, ahora todavía mejor.

Las cosechadoras de CLAAS de altas prestaciones toman ahora un nuevo camino, inspirado por nuestros clientes, cuyas expectativas son nuestra motivación para alcanzar la excelencia en nuestros productos.

El resultado, la nueva LEXION.

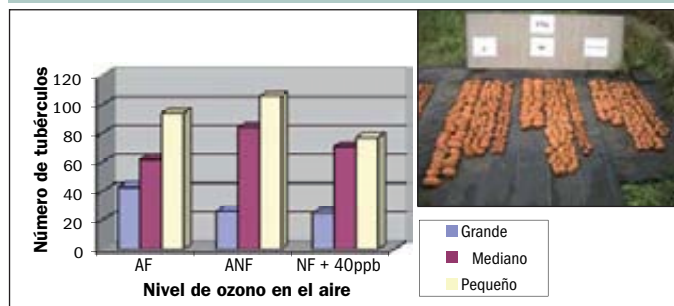
lexion.claas.es

CLAAS



FIGURA 2.

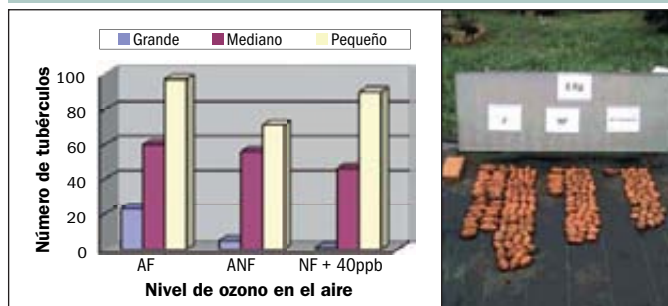
Histograma y foto del número de tubérculos de patata Desiree (sensible) con aplicación de estiércol, en relación al nivel de ozono



AF: aire filtrado; ANF: aire ambiental; FU: aire ambiental enriquecido con 40 ppb de ozono. Condiciones de cultivo: 6 kg estiércol. Abonado convencional.

FIGURA 3.

Histograma y foto del número de tubérculos de patata Desiree (sensible) sin aplicación de estiércol en relación al nivel de ozono.



AF: aire filtrado; ANF: aire ambiental; FU: aire ambiental enriquecido con 40 ppb de ozono. Condiciones de cultivo: 0 kg estiércol. Abonado convencional.

cuarenta días (cinco días por semana) a concentraciones de O₃ de 60 ppb, una reducción entre el 48 y 50% de peso seco en raíces, al tiempo que el número y peso de nódulos de *rhizobium* se reducía un 45 y 74%, respectivamente (Manning, 1978). Por otra parte, en estudios experimentales en áreas con concentraciones de fotooxidantes superiores a 50 ppb (ozono) durante 326-444 horas en dos años, se valoraban las pérdidas entre el 20-50% en tubérculos de patata (Heggstad, 1973). En tomates Tiny-Tim cultivados en aire ambiente se producía una reducción de la masa radicular de 40% respecto al cultivado en aire filtrado, en las condiciones ambientales de Silla (Valencia).

En cuanto a la interacción con la sanidad de los cultivos se ha acumulado una importante información en los últimos años. Desde hace bastante tiempo se sabe que la presencia de elevados niveles de ozono puede actuar como un factor más de desequilibrio asociado a la manifestación y agresividad de los complejos virales (Davis, 1978; Maning & Tiedemann, 1995; Porcuna *et al.*, 1999) y otras patologías provocadas por hongos y bacterias en los cultivos.

Selección de semillas que permitan la coevolución

La problemática creada por las crecientes concentraciones de ozono en los últimos años ha servido para documentar la poca capacidad adaptativa de las variedades no autóctonas a los cambios atmosféricos,

en este caso al de la composición del aire. Sin embargo, las especies espontáneas, arbores y variedades cultivadas autóctonas, han puesto en marcha procesos de adaptación por medio de la variación en las densidades estomáticas presentes en las hojas. La disminución de la densidad de estomas podría estar relacionada con los aumentos de contaminantes, principalmente de CO₂ y O₃. (Peñuelas *et al.*, 1990).

La propuesta para hacer frente a esta problemática requiere abandonar el esquema mental en el que habitualmente nos movemos en el sentido que plantea la sanidad alopática de “buscar algo contra la enfermedad” e intentar sustituir ese esquema por otro que intente aproximarse al porqué del problema. En este porqué nos encontramos con el problema que desde hace tiempo hemos abandonado: la obtención de nuestras propias semillas en los lugares en los que se va a cultivar y eso significa perder el potencial que la coevolución da a los distintos cultivos y variedades.

Como consecuencia de los trabajos de investigación llevados a cabo por el CEAM en distintos territorios y utilizando las *Open Top Chamber* se ha podido elaborar una tabla aproximada de la sensibilidad de las distintas variedades de patata al ozono troposférico (cuadro I), estableciéndose una interesante relación entre niveles de ozono y los calibres que producían las plantas de patata además de la producción global de éstas. Se observó cómo en la medida que los niveles de ozono eran más altos, las plantas perdían capacidad productiva (kg totales) y además el ta-

maño de los tubérculos era cada vez más pequeño, con una importante pérdida de calidad comercial (figuras 2 y 3).

La importancia de la materia orgánica en el suelo

En los estudios reseñados se evaluó la capacidad de la materia orgánica para mitigar los efectos del ozono. Los resultados (figuras 2 y 3) sobre la importancia de la materia orgánica en el suelo, han mostrado que la presencia de ésta, sirve, además de para mejorar la estructura del mismo, para dotar y mejorar la capacidad de las plantas para hacer frente a los distintos tipos de estrés, incluidos los ambientales, ya que se facilita la proliferación de microorganismos benéficos promotores de resistencias como las micorrizas y bacterias promotoras del crecimiento, entre otras.

Esta mayor capacidad estaría fundamentada en el mayor potencial biótico de los suelos con aportes continuados de materia orgánica y en consecuencia en el suministro a las raíces por parte de la microflora de sustancias estimulantes y elicitoras. Estos datos concordaban con las observaciones de campo en las que se veía cómo las parcelas más preservadas de agresiones químicas y de prácticas agrícolas desfavorables para su estabilidad física y biológica, junto con los campos de agricultura ecológica presentaban mayor capacidad para hacer frente al estrés provocado por el ozono en las plantas con lo que los daños eran significativamente menores. ●