

## **Papel de los árboles ornamentales como bioindicadores de la contaminación atmosférica urbana**

M. Ferriol<sup>1</sup>, S. Muñoz<sup>1</sup>, H. Merle<sup>2</sup>, A. Garmendia<sup>1</sup> y C. López<sup>3</sup>.

1 Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, Valencia. e-mail: mafermo@upvnet.upv.es

2 Dpto. Ecosistemas Agroforestales. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, Valencia.

3 Centro de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, Valencia.

### **Resumen**

Los árboles ornamentales presentes en las ciudades mitigan el efecto perjudicial de la contaminación atmosférica a través de distintos mecanismos, mejorando así la calidad del aire. En contrapartida, su metabolismo se ve afectado por efecto de la polución, pudiendo sufrir alteraciones morfológicas y fisiológicas. En concreto, los estomas pueden ocluirse y cambiar su densidad y tamaño. Esta respuesta de los árboles a la contaminación puede ser empleada para evaluar la calidad del aire en distintas zonas de la ciudad, actuando como bioindicadores de la contaminación atmosférica urbana. El objetivo del presente trabajo es comparar la densidad y longitud de los estomas entre árboles de calles altamente contaminadas y árboles de parques urbanos. Para ello, se han empleado tres especies de árboles ornamentales de la ciudad de Valencia: el braquiquito (*Brachychiton populneus*), la encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*), y el almez (*Celtis australis*). La variación de las características estomáticas de los árboles ornamentales dependió de la especie, existiendo además variabilidad entre individuos. *Brachychiton populneus* fue la especie que presentó mayores cambios tanto en la densidad estomática como en el tamaño, siendo la especie con mayor potencial bioindicador de la contaminación atmosférica. En ambientes contaminados, la densidad estomática se redujo mientras que su longitud aumentó. Los estomas de *Celtis australis* disminuyeron su tamaño en ambientes más contaminados, pero la densidad estomática no varió. Por su parte, *Quercus ilex* subsp. *ilex* respondió a la contaminación ambiental con un descenso de la densidad estomática, aunque la longitud de los estomas no mostró diferencias significativas.

**Palabras clave:** arbolado urbano, bioindicación, contaminación atmosférica, estomas.

### **INTRODUCCION**

La evaluación de la calidad del medio ambiente a través de especies, comunidades o procesos biológicos, se denomina bioindicación. Una buena especie bioindicadora debe tener una baja tolerancia y una elevada sensibilidad ante las variaciones del medio ambiente. Esta sensibilidad debe traducirse en cambios morfológicos y/o fisiológicos proporcionales al grado de perturbación, de forma homogénea entre todos los individuos de la población afectada (Weinstein y Davison, 2003). El uso de bioindicadores para estimar la calidad medioambiental presenta ventajas como su bajo coste, su alta disponibilidad y su rapidez (Al-Alawi et al., 2007; Deepalakshimi et al., 2013). Sin embargo, también posee desventajas como la variabilidad intraespecífica en el potencial bioindicador de algunas especies y la

necesidad de cubrir los requerimientos ecológicos específicos (fertilidad, humedad, tipo de suelo, etc.) (Gazdala- Kopciuch et al., 2004).

En las ciudades, los principales focos de contaminación atmosférica son los tubos de escape de los vehículos, las calefacciones de los edificios en invierno y los procesos industriales. En la ciudad de Valencia, el principal elemento contaminante es el tráfico rodado. Los árboles ornamentales urbanos mitigan el efecto perjudicial de la contaminación atmosférica mediante la interceptación y absorción, fundamentalmente a través de los estomas, de los contaminantes atmosféricos, mejorando así la calidad del aire (Nowak, Crane y Stevens, 2006). En contrapartida, las plantas muestran una gran sensibilidad a la mayor parte de los contaminantes del aire, cuyo efecto viene determinado por el periodo de exposición al contaminante, su concentración, y la capacidad que tiene la planta de absorberlo (Seoánez, 1996). Los efectos directos de la contaminación sobre las plantas abarcan cambios morfológicos, bioquímicos y estructurales, como la defoliación y posible caída de las estructuras reproductivas, la pérdida de pigmentos fotosintéticos, la disminución del contenido en pigmentos carotenoides y proteínas, el aumento de la concentración de metales pesados en los tejidos, la reducción del área foliar, cambios en la epidermis foliar (degradación de la cutícula y de las ceras, deformaciones, aparición de costras), y cambios en los estomas (Sharma, Chandler y Salemi, 1980; Pardos, 2006; Verma y Singh, 2006; Gostin, 2009; Chauhan, 2010; Pourkhabbaz et al., 2010; Khavaninzadeh et al., 2014). Respecto a estos últimos, el material particulado puede obstruir el poro estomático y la contaminación puede provocar variaciones en la densidad y tamaño de los estomas (Bruno et al., 2007; Seyyednejad y Koochack, 2011). Con menos estomas y más pequeños, la planta puede controlar mejor la absorción de contaminantes, pero también puede aumentar su obstrucción y reducirse la fotosíntesis (Pourkhabbaz et al., 2010). Así, los efectos de la contaminación ambiental sobre la densidad y tamaño de los estomas es dependiente de la especie (Verma y Singh, 2006; Gostin, 2009; Wuytack et al., 2010).

Esta respuesta de las plantas a la polución puede ser utilizada para evaluar la calidad del aire, actuando como bioindicadoras de la contaminación atmosférica. El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar los posibles cambios en la densidad y longitud de los estomas de tres especies de árboles ornamentales, creciendo en calles altamente contaminadas y en parques urbanos, y determinar qué especie es mejor bioindicadora de la contaminación atmosférica.

## MATERIAL Y METODOS

Las tres especies empleadas se usan ampliamente como plantas ornamentales en la ciudad de Valencia: el braquiquito (*Brachychiton populneus* (Schott & Endl.) R.Br.), la encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ilex*), y el almez (*Celtis australis* L.). Las dos primeras son perennifolias y la última caducifolia. Para cada especie, se determinaron dos zonas de muestreo: una con gran volumen de tráfico rodado (Av. de Aragón, con una intensidad media diaria de casi 54.000 vehículos en 2013, y Av. Cardenal Benlloch, con más de 35.000, ambas con orientación SSW-NNE) y otra con poco nivel de contaminación atmosférica (Campus de Vera de la Universitat Politècnica de València, en calles peatonales de orientación WNE-ESE).

En la primavera de 2013, se muestrearon 4 árboles por especie y zona, recogiendo 4 hojas de la parte inferior de la copa en cada uno de ellos. Mediante microscopía óptica, se visualizó la epidermis del envés foliar a un aumento de 400x y se fotografió empleando el software ScopePhoto. Se midió la longitud de los estomas y su

densidad, estimada de forma indirecta como la distancia media de un estoma a sus tres estomas más cercanos.

Para cada especie y cada ambiente (contaminado / no contaminado) se analizó la normalidad de los datos en las variables densidad y longitud de estomas, y se comprobó la homogeneidad de las varianzas mediante un test de Levene. Posteriormente, para cada especie y variable, se realizaron t-tests para analizar posibles diferencias significativas entre ambientes. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo empleando el programa Statgraphics Plus 5.1.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 1 muestra fotografías de estomas en las tres especies empleadas y para los dos ambientes estudiados. Todas las variables presentaron el coeficiente de curtosis y el de asimetría dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal, así como homogeneidad de varianzas (salvo para la densidad estomática de *Quercus ilex*, p-valor del test de Levene <0,01 ).

Los resultados de los t-test comparando la longitud y densidad estomáticas varían en función de la especie (Tabla 1). Además, también se observó una alta variabilidad entre individuos dentro de la misma especie (el factor “individuo” tuvo un p-valor <0,01 para la variable “longitud de estomas” en el ANOVA multifactorial considerando la variación entre individuos, ambientes y especies, pero no mostró diferencias significativas para la variable “distancia entre estomas”). Esta variación tanto inter- como intra-específica en la respuesta de los estomas frente a la contaminación atmosférica ya se había observado previamente en otras especies (Sala y Tenhunen, 1994; Bruno, 2007).

**Tabla 1.** Análisis de las diferencias de medias entre los ambientes poco y muy contaminados en cada una de las especies estudiadas, para las variables distancia media entre estomas y longitud de estomas. El asterisco indica diferencias significativas.

Espece	Variable	t	P-valor	Intervalo 95% contaminado	Intervalo 95% no contaminado	Diferencia de medias
<i>Celtis australis</i>	Distancia	-0,765	0,45	46,65±2,43	46,75±1,66	-1,10±2,88
	Longitud	-2,535	0,02*	26,24±1,18	28,13±1,06	-1,88±1,52
<i>Quercus ilex</i>	Distancia	2,82	0,01*	63,15±4,16	56,38±2,72	6,77±4,79
	Longitud	1,40	0,17	36,93±3,14	34,45±2,07	2,48±3,61
<i>Brachychiton populneus</i>	Distancia	-4,538	<0,01*	61,51±3,04	52,50±2,68	9,02±3,97
	Longitud	2,266	0,03*	31,30±1,65	28,90±1,53	2,40±2,16

En *Celtis australis*, el t-test no mostró diferencias significativas respecto a la densidad estomática entre las zonas altamente y poco contaminadas, pero sí que lo hizo respecto a la longitud de los estomas, que fueron un 2,4% más pequeños en el ambiente más contaminado. Este porcentaje pequeño le da poca utilidad como planta bioindicadora de la contaminación atmosférica, al menos en los rangos de contaminación encontrados en la ciudad de Valencia. Uno de los motivos podría ser su naturaleza caducifolia, ya que las especies perennes tienen mayor potencial bioindicador al acumular más contaminantes en un periodo de tiempo mayor (Turan et al., 2011).

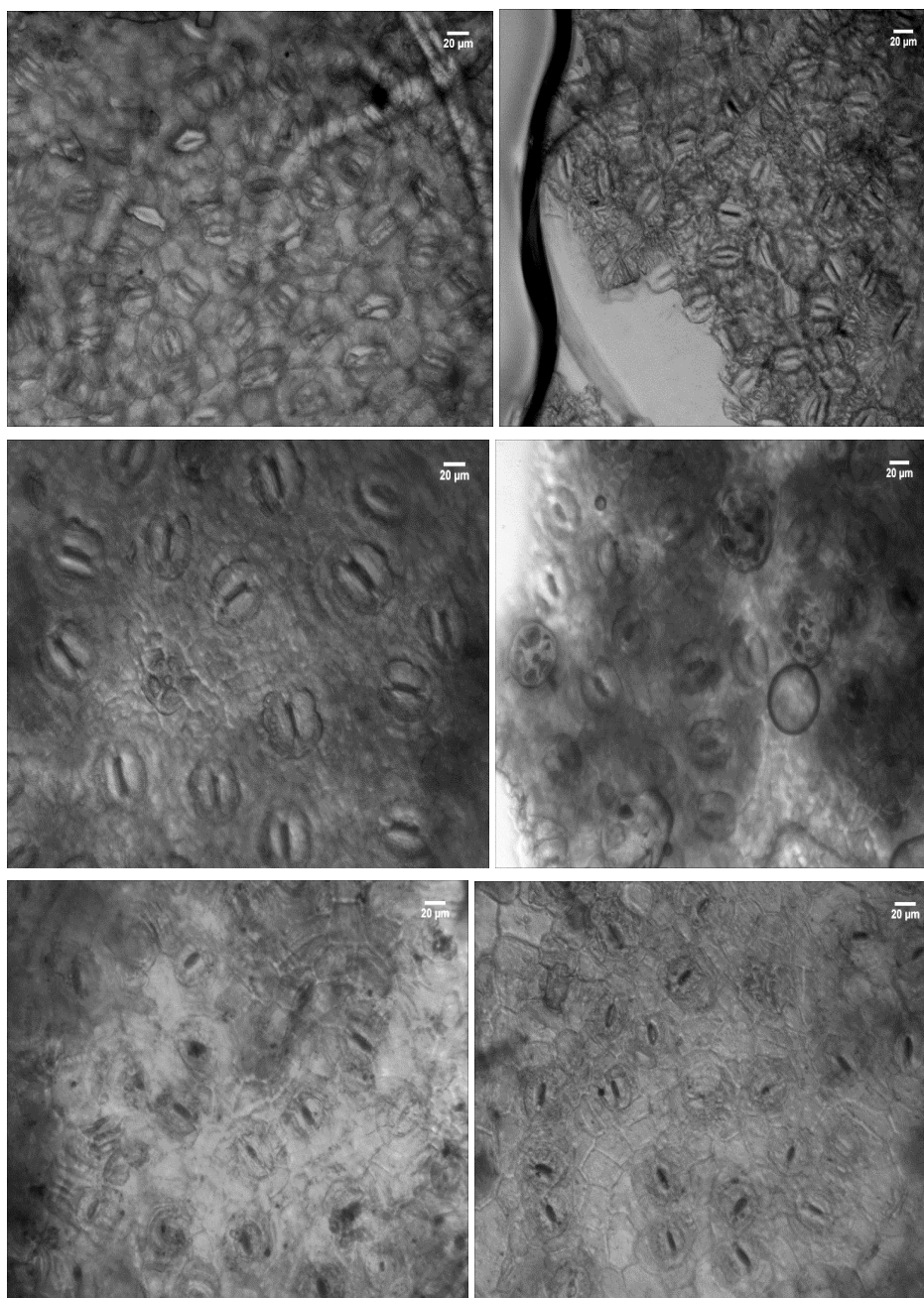


Figura 1. Epidermis con estomas de *Celtis australis* (arriba), *Quercus ilex* (medio), y *Brachychiton populneus* (abajo). A la izquierda se ha representado el ambiente muy contaminado, y a la derecha el poco contaminado.

En *Quercus ilex*, el t-test mostró diferencias significativas en la densidad estomática entre los individuos de zonas contaminadas y los de parques urbanos, aunque el resultado hay que tomarlo con precaución ya que las varianzas no fueron homogéneas. En zonas más contaminadas, la distancia entre estomas aumentó un 12% respecto a zonas menos contaminadas. La longitud de los estomas no mostró diferencias significativas entre ambos ambientes. Estos resultados concuerdan con los de Paoletti y Grulke (2005) y Paoletti et al. (2007) que observaron que, ante un aumento de la concentración de dióxido de carbono, *Quercus ilex* reduce la densidad de los estomas y tricomas, pero no cambia el tamaño estomático.

Por último, en *Brachychiton populneus*, el t-test mostró diferencias significativas en las dos variables. La distancia entre estomas fue un 14% mayor en el ambiente más contaminado que en el más limpio (lo que se traduce en menor densidad). Asimismo, los estomas aumentaron de tamaño en la zona más contaminada (un 7,7%). Los resultados señalan a esta especie como la mejor bioindicadora de la contaminación ambiental de las tres estudiadas respecto a los cambios estomáticos. A pesar de que no existen muchos estudios sobre su potencial bioindicador, sí que está bien documentado que se trata de una especie resistente a la contaminación urbana (Samo, Berné y Olivares, 2001).

Los resultados de este trabajo confirman que los estomas muestran modificaciones morfológicas y fisiológicas ante cambios de larga duración en la calidad del aire. Mediante el incremento o la disminución de la densidad estomática, la planta puede ajustar su absorción de gases, reduciendo así la absorción de contaminantes y optimizando la captura de dióxido de carbono (Balasooriya et al., 2009). Gostin (2009) sugirió también que la reducción del tamaño estomático puede ser una estrategia de la planta para evitar que los contaminantes perjudiquen otras actividades fisiológicas.

## CONCLUSIONES

El nivel de contaminación de las grandes vías de Valencia es lo suficientemente elevado como para provocar cambios en los estomas de algunas especies de arbolado urbano. A la luz de los resultados, y según la clasificación de Ten Houten (1983), *Celtis australis*, *Quercus ilex* y *Brachychiton populneus* podrían considerarse especies bioindicadoras reales, ya que tras la exposición a ambientes contaminados presentan daños asociados a síntomas morfológicos. *Brachychiton populneus* es la especie con mayor potencial bioindicador, ya que presenta notables modificaciones tanto en la densidad como en el tamaño de los estomas. Se trata de un resultado importante ya que, por lo que conocemos, hay pocos estudios publicados acerca del potencial bioindicador del braquiquito. Este potencial puede permitir en un futuro establecer modelos para predecir la contaminación atmosférica de las vías urbanas de forma barata y rápida.

## Referencias

- Al-Alawi, M., Batarseh, M., Carreras, H., Alawi, M., Jiries, A., Charlesworth, S. (2007). Aleppo pine bar as biomonitor of atmospheric pollution in the arid environment of Jordan. *Clean*, 35, 438-443.
- Balasooriya, B.L.W.K., Samson, R., Mbikwa, F., Vitharana, U.W.A., Boeckx, P., Van Meirvenne, M. (2009). Biomonitoring urban habitat quality by anatomical and chemical leaf characteristics. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 386-394.

- Bruno, G., Stiefkens, L., Hadid, M., Liscovsky, I., Cosa, M.T., Dottori, N. (2007). Efecto de la contaminación ambiental en la anatomía de la hoja de *Ligustrum lucidum* (Oleaceae). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 42, 231-236.
- Chauhan, A. (2010). Photosynthetic pigment changes in some selected trees induced by automobile exhaust in Dehradun, Uttarakhand. New York Science Journal, 3, 45-51.
- Deepalakshimi, A.P., Ramakrishnaiah, H., Ramachandra, Y.L., Radhika, R.N. (2013). Roadside plants as bio-indicators of urban air pollution. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 3, 10-14.
- Gazdala-Kopciuch, R., Berecka, B., Bartoszewicz, J., Buszewski, B. (2004). Some considerations about bioindicators in environmental monitoring. Polish Journal of Environmental Studies, 13, 453-462.
- Gostin, I. (2009). Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37, 57-63.
- Khavaninzadeh, A.R., Veroustraete, F., Buytaert, J.A.N., Savuson, R. (2014). Leaf injury symptoms of *Tilia* sp. as an indicator of urban habitat quality. Ecological indicators, 41, 58-64.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban Forestry and Urban Greening, 4, 115-123.
- Pardos, J.A. (2006). La contaminación atmosférica y los ecosistemas forestales. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, Fuera de serie, 55-70.
- Paoletti, E., Grulke, N.E. (2005). Does living in elevated CO<sub>2</sub> ameliorate tree response to ozone? A review on stomatal responses. Environmental Pollution, 137, 483-493.
- Paoletti, E., Seufert, G., Della Rocca, G., Thomsen, H. (2007). Photosynthetic responses to elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in *Quercus ilex* leaves at a natural CO<sub>2</sub> spring. Environmental Pollution, 147, 516-524.
- Pourkhabbaz, A., Rastin, N., Olbirsch, A., Langerfeld-Heysen, R., Polle, A. (2010). Influence of environmental pollution on leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 85, 251-255.
- Sala, A., Tenhunen, J.D. (1994). Site-specific water relations and stomatal response of *Quercus ilex* in Mediterranean watershed. Tree physiology, 14, 601-617.
- Samo, A.J., Berné, J.L., Olivares, J. (2001). Guía del arbolado de la Ciudad de Valencia. Ayuntamiento de Valencia, Concejalía del Área de Medio Ambiente, Valencia.
- Seoánez, M. (1996). Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental. Mundi-Prensa, Madrid.
- Seyyednejad, S., Koochack, H. (2011). A study on air pollution effects on *Eucalyptus camaldulensis*. International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology, 16, 98-101.
- Sharma, G.K., Chandler, C., Salemi, L. (1980). Environmental pollution and leaf cuticular variation in Kudzu (*Pueraria lobata* Wild). Annals of Botany, 45, 77-80.
- Ten Houten, J.G. (1983). Biological indicators of air pollution. Environmental Monitoring and Assessment, 3, 257-261.
- Turan, D., Kocahakimoglu, C., Kavcar, P., Gaygisiz, H., Atatanir, L., Turgut, C., Sofuoglu, S. (2011). The use of olive tree (*Olea europaea* L.) leaves as bioindicator for environmental pollution in the Province of Aydin, Turkey. Environmental Science Pollution Research, 18, 355-364.

- Verma, A., Singh, S. (2006). Biochemical and ultrastructural changes in plant foliage exposed to auto-pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 120, 585-602.
- Weinstein, L.H., Davison, A.W. (2003). Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride. *Environmental Pollution*, 125, 3-11.
- Wuytack, T., Verheyen, K., Wuyts, K., Kardel, F., Adriaenssens, S., Samson, R. (2010). The potential of biomonitoring of air quality using leaf characteristics of white willow (*Salix Alba* L.). *Environmental Monitoring and Assessment*, 171, 197-204.