
INCIDENCIA DEL DÉFICIT HÍDRICO EN EL CRECIMIENTO DE ÁRBOLES DE USO URBANO EN CIUDADES DE ZONAS ÁRIDAS. CASO DE MENDOZA, ARGENTINA

Claudia F. Martínez, M. Alicia Cantón y Fidel A. Roig Juñent

RESUMEN

El crecimiento de bosques ubicados en ciudades de zonas áridas depende de la disponibilidad hídrica para su irrigación, recurso escaso pero vital para el desarrollo de los árboles y para la sustentabilidad del ecosistema urbano donde se insertan. El presente trabajo evalúa la incidencia del déficit hídrico en árboles representativos del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina (*Platanus hispanica*, *Morus alba* y *Fraxinus americana*) con el objeto de evaluar sus respuestas de crecimiento y proponer estrategias de manejo y criterios de selección de especies que garanticen su permanencia. Mediante un diseño experimental basado en la aplicación de tratamientos de riego diferencial para árboles jóvenes durante tres ciclos vegetati-

vos, se evalúan consumos hídricos y variables de crecimiento. Los resultados indican un fuerte impacto del déficit hídrico en *M. alba* y la mayor demanda hídrica para *P. hispanica*, con requerimientos medios significativamente mayores (3,15-2,10 cm³ día/dm²) respecto a las otras dos especies. *F. americana* resultó ser la especie que reúne las condiciones más favorables para lograr un crecimiento apropiado con aportes hídricos acotados que permiten un uso racional del recurso. Sin embargo, en el proceso de selección de especies, este enfoque debe conciliarse con las condicionantes que imponen las ciudades sobre la vegetación y las características constructivas de los escenarios urbanos a forestar.

Introducción

Los árboles cultivados en las ciudades están condicionados por un conjunto de variables que comprometen su crecimiento: contaminantes atmosféricos y edáficos (Petersen, 1990; Dineva, 2004; Lana, 2005), presencia de campos electromagnéticos (Kiernan, 1995; Selga y Selga, 1996; Balmori, 2004), variaciones termo-luminicas y modificaciones de los patrones climáticos en la ciudad (Correa Cantaloube, 2006). En urbes ubicadas en zonas áridas el mayor condicionante para la forestación es la dotación de nutrientes y agua (Clark y Kjellgren, 1990; Martínez, 2011). En este sentido, la gestión del agua es indispensable para un crecimiento

forestal adecuado (Fonseca Ortiz *et al.*, 2013; Ribas y Piera, 2003).

La ciudad de Mendoza, Argentina, está emplazada en un entorno semidesértico al oeste de la Cordillera de los Andes. El conglomerado urbano está profusamente arbolado con diversas especies plantadas en líneas paralelas a un sistema de conducción de riego artificial. Este modelo de arbolado urbano ha modificado positivamente la calidad de vida de sus habitantes al mitigar la radiación solar, modificar la temperatura y los tenores de humedad relativa (Correa Cantaloube, 2006; Alexandria y Jones, 2008). La presencia del arbolado urbano en este contexto de manejo, garantiza la habitabilidad del

ecosistema urbano y su sustentabilidad.

La condición de sustentabilidad de la forestación urbana puede determinarse mediante el uso de indicadores, los cuales son entendidos como estimadores de los cambios ambientales y ecológicos (Dale y Beyeler, 2001; Niemi y McDonald, 2004). Estos indicadores son empleados para el monitoreo de la conservación de la biodiversidad, la evaluación del grado de preservación del arbolado urbano, la integridad ecológica o la salud de un ecosistema (Isasi-Catalá, 2011), pudiendo mencionarse cuatro en particular: diversidad de especies, diversidad de edades, estado fitosanitario y adaptabilidad (Richards, 1983; McPherson, 1998; Cantón

et al., 2003). De este conjunto, las características geográficas, climáticas y ambientales de la ciudad de Mendoza señalan que el indicador adaptabilidad resultaría el más representativo y de mayor significado para diagnosticar la sustentabilidad del arbolado urbano bajo condiciones restrictivas de disponibilidad hídrica (Cantón y Martínez, 2009).

En Mendoza, y de acuerdo a la legislación vigente, el uso del recurso hídrico para el arbolado urbano se restringe ante otros usos considerados prioritarios: consumo humano, agricultura, industria y minería. Por ello, el riego urbano se limita a eventuales lluvias o sobrantes de agua por pérdidas de la red de servicios domiciliarios.

PALABRAS CLAVE / Arbolado Urbano / Argentina / Recurso Hídrico / Sustentabilidad / Zonas Áridas /

Recibido: 02/05/2013. Modificado: 27/11/2014. Aceptado: 01/12/2014.

Claudia F. Martínez. Ingeniera Agrónoma y Doctora en Biología, Universidad Nacional de Cuyo (UNCU), Argentina. Investigadora, Centro Científico Tecnológico (CCT), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. Profesora, Universidad

Tecnológica Nacional, Argentina. Dirección: Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales, CCT-CONICET. Av. Ruiz Leal s/n Parque Gral. San Martín. Mendoza, Argentina. e-mail: cmartinez@mendoza-conicet.gov.ar

M. Alicia Cantón. Arquitecta y Diplomada en Estudios Avanzados de Arquitectura, Universidad de Mendoza, Argentina. Investigadora, CCT-CONICET, Argentina. Profesora, Universidad de Mendoza, Argentina.
Fidel A. Roig Juñent. Ingeniero Agrónomo, UNCU, Argentina. Doctor en Filosofía y Ciencias

Naturales, *Universität* Basel, Suiza. Investigador, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias. Profesor, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

THE EFFECT OF WATER DEFICIT ON THE GROWTH OF URBAN USE TREES IN ARID ZONE CITIES: THE CASE OF MENDOZA, ARGENTINA

Claudia F. Martinez, M. Alicia Cantón and Fidel A. Roig Juñent

SUMMARY

The growth of urban forests located in dry lands depends on the availability of irrigation water. This is a scarce but vital resource for forestry development and for the sustainability of the corresponding urban model. This paper evaluates the water stress effect on the most frequent tree species of Mendoza's Metropolitan Area (*Platanus hispanica*, *Morus alba* and *Fraxinus americana*). The main objective is to evaluate the growth responses and propose management strategies and urban design guidelines to ensure the permanence of the urban forestry in the city. An experimental essay was designed based on the application of differential irrigation (control, moderate and severe water deficit) to young tree specimens through three

growing seasons. Tree water consumption and the growth responses (height, diameter and leaf area) were evaluated. Data indicate a greater impact of water deficit on *M. alba* and an increased water demand for *P. hispanica*, with significantly higher average requirements (3.15 to 2.10 cm³.dia/dm²) with respect to the other tree-species. *F. americana* was the species with the most favorable conditions to achieve proper growth with bounded water inputs allowing a rational use of the resource. However, in the selection of tree-species, this approach must be consistent with the conditions imposed by the cities on the vegetation and the characteristics of the urban scenarios to be planted.

INCIDÊNCIA DO DÉFICIT HÍDRICO NO CRESCIMENTO DE ÁRVORES DE USO URBANO EM CIDADES DE ZONAS ÁRIDAS. CASO DE MENDOZA, ARGENTINA

Claudia F. Martinez, M. Alicia Cantón e Fidel A. Roig Juñent

RESUMO

O crescimento de bosques situados em cidades de zonas áridas depende da disponibilidade hídrica para sua irrigação, recurso escasso, mas vital para o desenvolvimento das árvores e para a sustentabilidade do ecossistema urbano onde se inserem. O presente trabalho avalia a incidência do déficit hídrico em árvores representativas da Área Metropolitana de Mendoza, Argentina (*Platanus hispanica*, *Morus alba* e *Fraxinus americana*) com o objeto de avaliar suas respostas de crescimento e propor estratégias de manejo e critérios de seleção de espécies que garantam sua permanência. Mediante um desenho experimental baseado na aplicação de tratamentos de irrigação diferencial para árvores jovens durante três séculos vegetati-

vos, se avaliam consumos hídricos e variáveis de crescimento. Os resultados indicam um forte impacto do déficit hídrico em *M. alba* e a maior demanda hídrica para *P. hispânica*, com requerimentos meios significativamente maiores (3,15-2,10cm³ dia/dm²) relativos às outras duas espécies. *F. americana* resultou ser a espécie que reúne as condições mais favoráveis para conseguir um crescimento apropriado com aportes hídricos acotados que permitem um uso racional do recurso. No entanto, no processo de seleção de espécies, este enfoque deve conciliar-se com as condicionantes que impõem as cidades sobre a vegetação e as características construtivas dos cenários urbanos a reflorestar.

En este trabajo se evalúa la adaptabilidad de las especies más frecuentes en el arbolado urbano de Mendoza y su área metropolitana a limitaciones hídricas de distinta rigurosidad. Se analiza comparativamente la respuesta del crecimiento en relación a distintas condiciones de riego, de modo de proponer estrategias de planificación y manejo que garanticen la sustentabilidad del arbolado urbano en contextos de restricción hídrica.

Material y Métodos

Área de estudio

La provincia de Mendoza (32°52'S y 68°51'O) se ubica sobre la diagonal árida del centro oeste de Argentina, a

790msnm. Conforman la quinta aglomeración del país con más de un millón de habitantes y su población urbana aumentó un 14% durante la última década (Censo, 2010). El Área Metropolitana de Mendoza se sitúa en el principal oasis irrigado de la provincia, el Oasis Norte. Presenta clima templado seco con inviernos fríos (temperatura media en julio: 7,3°C) y veranos calurosos (temperatura media en enero: 24,9°C), importantes amplitudes térmicas diarias y estacionales, escasa frecuencia e intensidad de vientos, y una elevada heliofania debido a numerosos días de cielo claro (2762h de sol/año).

La precipitación media anual es de 200mm, por lo que el arbolado urbano debe ser suplementado con

dotaciones de riego provenientes del río Mendoza, cuyo volumen anual erogado es de 981hm³ y su caudal medio de 31m³.s⁻¹ para el ciclo hidrológico 2013-2014 (DGI, 2014). No obstante, las características de aridez, las escasas precipitaciones, el reducido caudal del río y un alto índice de evapotranspiración dan lugar a un pronunciado déficit hídrico. El recurso agua constituye un bien estratégico para el desarrollo de la economía local debido a que la agricultura, en particular la actividad vitivinícola, es el soporte económico de la región. Sin desarrollo agrícola no habría desarrollo urbano, y la única oportunidad para el desarrollo productivo es a partir de la disponibilidad de agua para riego.

Especies arbóreas

Las especies más usuales en el medio urbano se han establecido a partir del Censo Georreferenciado de la ciudad de Mendoza (Censo, 2012), datos corroborados por relevamientos *in situ* sobre una muestra de 36 manzanas urbanas. Se observa que el 68% se concentra en tres especies arbóreas (Figura 1): *Morus alba* ('morera', 39%), *Fraxinus* spp. ('fresno europeo' y 'fresno americano', 20%) y *Platanus hispanica* ('plátano', 9%). El 38% restante está conformado por un conjunto de 22 especies en donde la representatividad de cada una de ellas es inferior al 5%. Entre las especies que conforman este grupo se



Platanus hispanica
'plátano'



Morus alba
'morera'



Fraxinus americana
'fresno americano'

Figura 1. Especies arbóreas representativas del arbolado urbano de la ciudad de Mendoza.

encuentran: *Acacia* ssp. ('acacia'), *Acer negundo* ('acer'), *Jacaranda mimosifolia* ('jacarandá'), *Melia* ssp. ('paraíso común' y 'paraíso sombrilla'), *Prunus* spp. ('ciruelo de flor'), *Tipuana tipu* ('tipa') y *Ulmus* ssp. ('olmo') (Cantón *et al.*, 2003; Censo, 2012).

Las tres especies más frecuentes son de origen exótico y han sido introducidas a la forestación urbana por sus atributos de rápido crecimiento, caducidad estacional e intenso efecto de sombreo. Sus principales características dasonómicas y morfológicas se presentan en la Tabla I. En cuanto a su distribución, plátano y morera predominan en el área de alta densidad de construcción (>4m³·m⁻²) mientras que fresno se encuentra en mayor medida en el área de baja densidad (1-2m³·m⁻²) que corresponde a la zona periurbana o borde de la ciudad.

Método

El diseño experimental consiste en un ensayo de riego con plantas en vivero bajo condiciones controladas, a los efectos de evaluar la incidencia de la restricción hídrica en

el crecimiento de los árboles. De esta forma se independiza del análisis a un conjunto de variables urbano-edilicias que también inciden en la expresión vegetativa de los árboles.

La muestra seleccionada para cada una de las especies está formada por 30 ejemplares jóvenes de 2 a 5 años de edad, colocados en recipientes de igual tamaño (macetas de 15 litros) con un sustrato semejante al empleado en las plantaciones municipales (textura franco-arenosa con arcilla; conductividad eléctrica 1,835ds/m a 25°C; fertilidad: 2688ppm N; 8,82ppm P; 1178ppm K; y 4,51% de materia orgánica).

Los tratamientos de riego aplicados son tres y responden a los siguientes aportes hídricos: testigo bajo riego normal, al que se aportó el 100% del agua transpirada (T1), riego deficitario moderado, donde se repuso el 66% del agua transpirada (T2), y riego deficitario severo, en el que solamente se aportó el 33% del agua transpirada (T3).

La cuota de riego para cada tratamiento se determina gravimétricamente mediante diferencia de peso de cada maceta entre el peso inicial a

capacidad de campo y el peso actual de la misma, descontando el valor incremental por aumento de masa verde debido al crecimiento de las plantas (Martínez *et al.*, 2009). El cálculo de la cuota de riego responde a la ecuación $Ro = (Pi - Pa) / C$, donde Ro: cuota de riego, Pi: peso inicial a capacidad de campo, y Pa: peso actual.

Para evaluar sólo el agua transpirada, las macetas se protegen con una cobertura plástica a modo de sombrero para impedir cualquier aporte hídrico adicional (agua de lluvia, rocío, etc.). Además, cada maceta se coloca sobre una bandeja colectora para reincorporar el agua de drenaje según la dosis de riego calculada por tratamiento.

Los riegos se realizaron durante el periodo 2007-2010 con una frecuencia de dos veces por semana durante el ciclo vegetativo activo y hasta la caída uniforme de hojas. Durante el período invernal la frecuencia de riego fue quincenal debido al menor requerimiento hídrico estacional (Whitlow *et al.*, 1992; López Lauenstein *et al.*, 2005).

Las variables hídricas y de crecimiento monitoreadas son

las siguientes: 1) consumo de agua en función del área foliar, 2) altura total del árbol, 3) diámetro del tallo a la altura del cuello, y 4) área foliar total.

La cuantificación del consumo hídrico se realizó a partir de la determinación de las cuotas de riego aportadas durante el ensayo, para los meses de mayor demanda de riego (octubre a febrero). A partir de estos valores se calculó el requerimiento hídrico medio (cm³) necesario por día (día) y por unidad de área foliar (dm²).

Altura (m) y diámetro de tallos (cm) se midió en todos los ejemplares, con frecuencia mensual desde el inicio del ensayo y durante tres ciclos vegetativos consecutivos. Área foliar (dm²) se midió durante los meses de activo crecimiento al azar por tratamiento y especie. Para las variables de crecimiento se aplicaron métodos de medición no destructivos (Norman y Campbell, 1989).

Tratamiento estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante análisis de la varianza (ANOVA) y medidas de correlación, usando los paquetes estadísticos R (www.r-project.org/R-project) para el cálculo de ANOVA, e InfoStat/L (www.infostat.com.ar) para la elaboración de los distintos estadígrafos (medias, desviación típica y error estándar).

Para el análisis de la variable consumo de agua por especies y tratamientos, se correlacionaron los valores medios para los meses de mayor demanda hídrica y se calculó la desviación típica y el error estándar.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DASONÓMICAS Y MORFOLÓGICAS DE LAS ESPECIES ARBÓREAS ANALIZADAS

	Forma de la copa	Dimensiones		Densidad de follaje	Longevidad estimada (años)	Consumo de agua (mm/año)
		Altura (m)	Diámetro (m)			
<i>Platanus hispanica</i> 'plátano'	Elipsoide vertical	15-20	14-18	Alta	200	600
<i>Morus alba</i> 'morera'	Esferoide	8-13	7-13	Alta	90	700
<i>Fraxinus americana</i> 'fresno'	Elipsoide vertical	6-11	6-12	Media	80	800

Para el análisis de la evolución de cada variable de crecimiento el ANOVA se aplicó a la diferencia entre los valores finales e iniciales. Luego se aplicó el test de comparación múltiple de medias (test de Tukey) con un nivel de confianza $\alpha \leq 0,05$ para obtener las diferencias significativas por especie y tratamiento.

Resultados

Requerimientos hídricos según especie y tratamiento

El requerimiento hídrico de cada especie depende de la pérdida de agua por transpiración que varía según el tamaño de las hojas y la densidad del follaje. La cuantificación de esta variable permite determinar qué especies tienen un mayor consumo de agua en sus ciclos de crecimiento.

El análisis de los resultados del ensayo de riego muestra que plátano es la especie que requirió el mayor volumen de agua ($3,15 \text{ cm}^3 \text{ día/dm}^2$) para reponer sus pérdidas por transpiración, con requerimientos hídricos del orden de $2,10 \text{ cm}^3 \text{ día/dm}^2$ bajo riegos deficitarios (T2 y T3). En el caso de morera y fresno, si bien mostraron la misma tendencia, el intervalo fue significativamente menor ($0,65-0,39 \text{ cm}^3 \text{ día/dm}^2$ y $0,78-0,52 \text{ cm}^3 \text{ día/dm}^2$ respectivamente). Los valores de correlación para cada especie están entre 0,93 y 0,61 acusando un ajuste aceptable (Tabla II).

La tendencia observada indica un mayor requerimiento

hídrico en plátano y una mayor tolerancia de fresno y morera bajo condiciones de déficit hídrico moderado. Se observa que los mayores consumos de agua se registran en el mes de octubre para las tres especies. Esto se debe al inicio de la fase fenológica de expansión foliar, en coincidencia con uno de los meses de menor humedad relativa promedio (49%). Esta situación implica una mayor tasa de transpiración y en consecuencia una mayor demanda de riego. Los menores requerimientos hídricos, en el caso de morera y fresno, se registran en febrero debido al inicio de las fases de amarillamiento y caída de hojas en coincidencia con el comienzo del otoño. En el caso de plátano, se observan altos consumos al inicio del ensayo que disminuyen en la etapa final del mismo, con rangos de valores semejantes a fresno y morera. Sin embargo el 100% de los ejemplares de plátano bajo los tratamientos deficitarios T2 y T3 se secaron antes de la finalización del ensayo experimental reflejando su alta sensibilidad a la restricción hídrica.

Efecto del déficit hídrico en las distintas variables de crecimiento

Los resultados para cada variable de crecimiento según los tratamientos de riego aplicados fueron evaluados mediante el análisis de las curvas correspondientes al período de duración del ensayo. Se consideraron las diferencias entre los valores de las mediciones

finales respecto de los valores iniciales para cada variable, especie y tratamiento. Se observó que durante los primeros meses la mayoría de las plantas evidenciaron su aclimatación a las nuevas condiciones experimentales, con algunas fluctuaciones en sus respuestas de crecimiento. Las tendencias de comportamiento se observan con mayor claridad pasado el período de rusticación y se confirmaron al finalizar el ensayo.

Altura de plantas (Figura 2). Para plátano y morera las curvas de los tres tratamientos se muestran separadas, indicando una relación directa entre disponibilidad del recurso hídrico y altura de plantas: a mayor aporte de agua, mayor crecimiento; con menores diferencias absolutas entre tratamientos para morera. En cambio fresno muestra un crecimiento regular y escalonado, con curvas muy próximas a lo largo de todo el período experimental y diferencias significativas entre tratamientos observadas hacia el final del ensayo. En los meses iniciales se observan algunas oscilaciones coincidentes con el período de aclimatación. Luego y durante la estación de crecimiento activo, la altura aumenta levemente con tendencia a estabilizarse en una meseta de crecimiento. Durante el tercio final del ensayo se observaron incrementos leves, más evidentes en las plantas testigo de plátano y morera, y una disminución significativa en las plantas bajo déficit hídrico severo.

Diámetro de tallos (Figura 3). Las curvas de crecimiento del diámetro de tallos se observan disímiles para cada una de las especies. Plátano tiene incrementos sostenidos y una caída en los valores para los tres tratamientos coincidentes con el inicio del primer receso invernal. Durante la etapa media del ensayo el mayor crecimiento se observa para las plantas testigo. A partir del tercio final del ensayo se presenta una disminución progresiva en el diámetro de tallos para los tres tratamientos, con crecimientos muy reducidos para las plantas bajo déficit severo. Morera muestra un crecimiento irregular en la etapa inicial y luego una diferenciación para cada tratamiento. Los mayores valores de diámetro se observan para las plantas con déficit moderado con diferencias significativas respecto al déficit severo. Fresno presenta el mismo comportamiento inicial que las especies precedentes, luego muestra un crecimiento regular y sostenido para los tres tratamientos, con valores absolutos mayores para las plantas testigo. Desde esta etapa y hasta la finalización del ensayo se observa una estabilización del crecimiento con diferencias entre el testigo y los dos tratamientos deficitarios.

Área foliar (Figura 4). Esta variable, al igual que el diámetro de tallos, no tuvo un patrón regular para las tres especies. Plátano presenta un inicio de crecimiento moderado, con picos en la etapa media del ensayo, en particular para el tratamiento testigo y el déficit moderado. Durante la etapa final del período experimental se observa una marcada disminución, que puede asociarse tanto a la condición estacional de mayor evapotranspiración como al efecto de los tratamientos aplicados. Morera muestra un comportamiento inicial regular. En la etapa final del ensayo se observa un aumento gradual y constante para los tres tratamientos, con una clara diferenciación entre las tres curvas donde los valores

TABLA II
TRANSPIRACIÓN MEDIA DE CADA ESPECIE POR TRATAMIENTO PARA LOS MESES DE MAYOR DEMANDA DE RIEGO (OCTUBRE A FEBRERO)*

	Plátano			Morera			Fresno		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Enero 2007	4,60	2,70	2,50	0,63	0,42	0,27	0,92	0,41	0,40
Agosto 2007	5,03	3,29	2,45	0,48	0,36	0,28	0,43	0,29	0,23
Octubre 2009	7,30	4,75	4,00	1,57	0,83	0,83	1,00	0,82	0,50
Noviembre 2009	1,30	0,92	1,45	0,89	0,71	0,66	0,72	0,70	0,47
Diciembre 2009	0,71	0,88	2,11	0,58	0,55	0,52	0,44	0,28	0,27
Febrero 2010	0,00	0,00	0,00	0,53	0,49	0,56	0,39	0,33	0,52
Media general ($\text{cm}^3 \text{ día/dm}^2$)	3,16	2,09	2,08	0,78	0,56	0,52	0,65	0,47	0,40
Correlación	0,93			0,88			0,61		

* Valores medios expresados en $\text{cm}^3 \text{ día/dm}^2$.

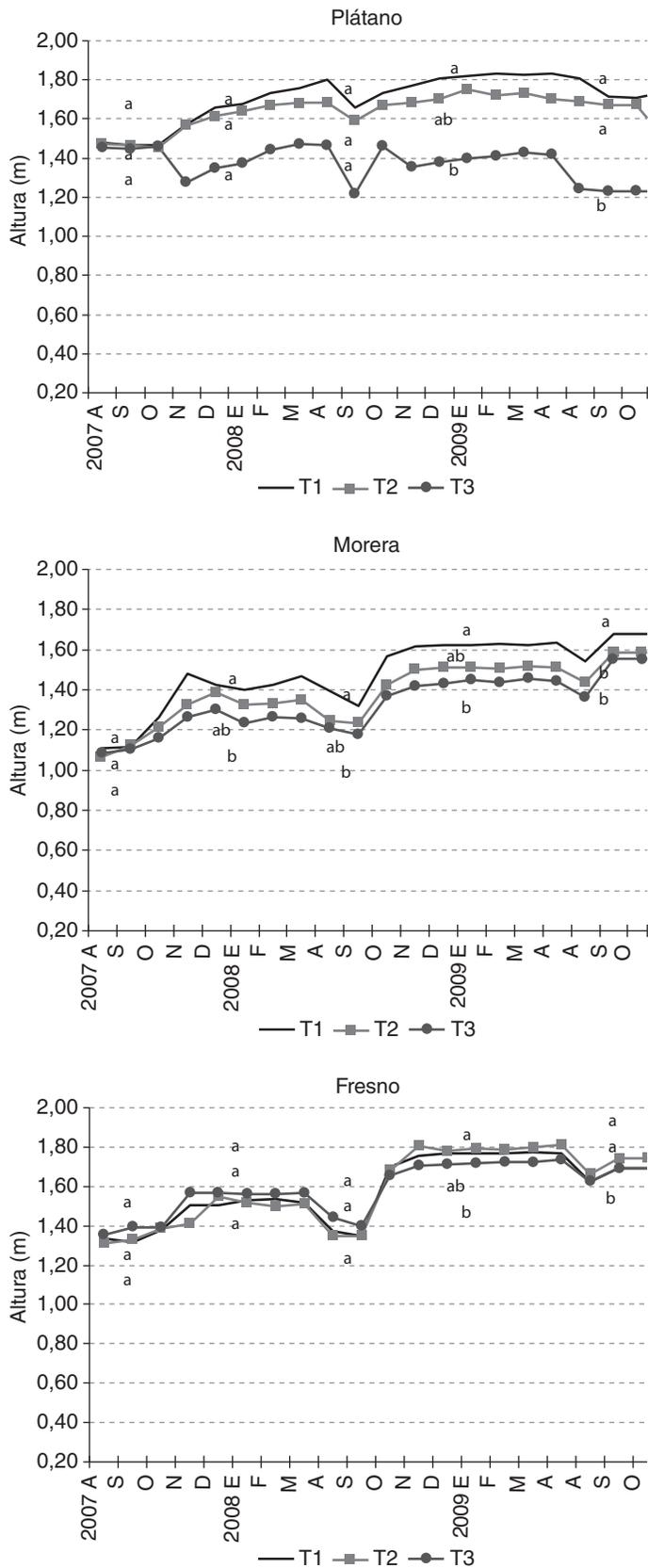


Figura 2. Valores medios mensuales de crecimiento en altura de plantas para el periodo de ensayo (2007-2010). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (T1: testigo, T2: déficit moderado, y T3: déficit severo), según test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$) para los meses de enero y septiembre.

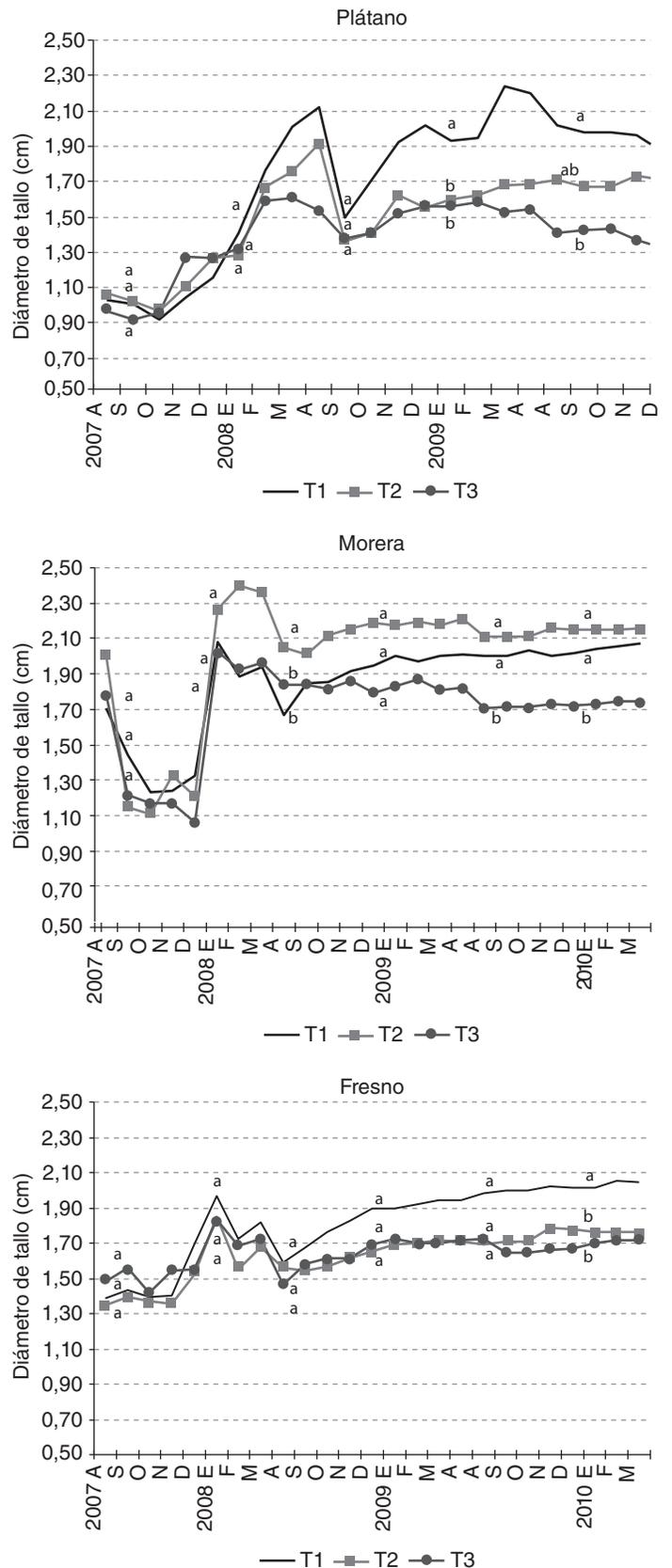


Figura 3. Valores medios mensuales de crecimiento en diámetro de tallos para el periodo de ensayo (2007-2010). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (T1: testigo, T2: déficit moderado, y T3: déficit severo), según test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$) para los meses de enero y septiembre.

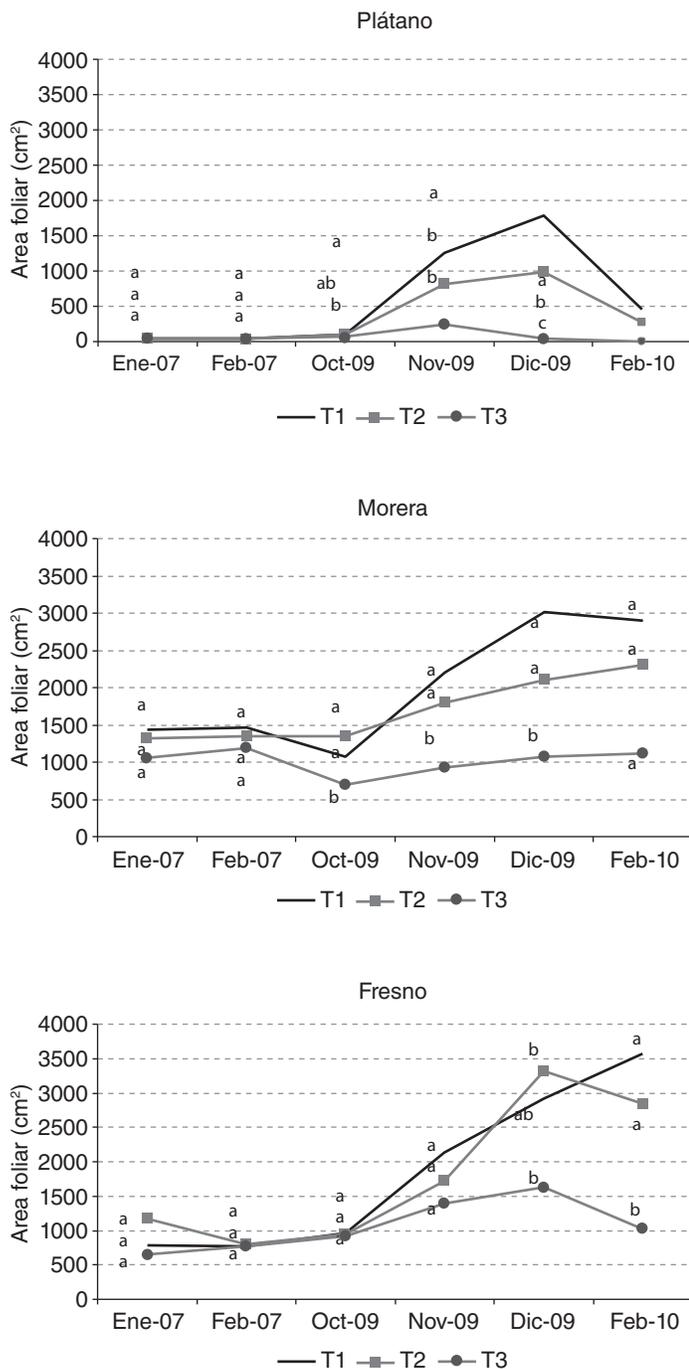


Figura 4. Valores medios mensuales de crecimiento en área foliar para el período de ensayo (2007-2010). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (T1: testigo, T2: déficit moderado, y T3: déficit severo), según test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$) para los meses de enero y septiembre.

de la variable aumentan en forma proporcional al aporte hídrico. Fresno muestra un crecimiento regular para el testigo durante todo el ensayo. En la última etapa de experimentación las plantas con restricción hídrica moderada

y severa disminuyeron su área foliar con diferencias significativas.

Análisis comparativo (Figura 5). La variable altura, analizada en forma conjunta para las tres especies arbóreas, indica que en

plátano y fresno el crecimiento es similar entre plantas testigo y plantas con déficit moderado. El déficit hídrico severo afecta esta variable en las tres especies. Morera disminuye su crecimiento bajo cualquier nivel de restricción hídrica con diferencias significativas en los tres tratamientos.

El diámetro de tallos muestra diferencias significativas entre los testigos y el déficit moderado respecto al déficit severo para plátano y morera. Fresno presenta diferencias

significativas para los tres tratamientos, indicando que cualquier grado de disminución hídrica impacta en el crecimiento diametral. Resultados similares se han obtenido en árboles jóvenes de *Prosopis chilensis* y *Prosopis flexuosa*, en los cuales el crecimiento en diámetro disminuyó drásticamente cuando se redujo la disponibilidad de agua (López Lauenstein *et al.*, 2005).

La incidencia del déficit hídrico en el área foliar se observa principalmente durante

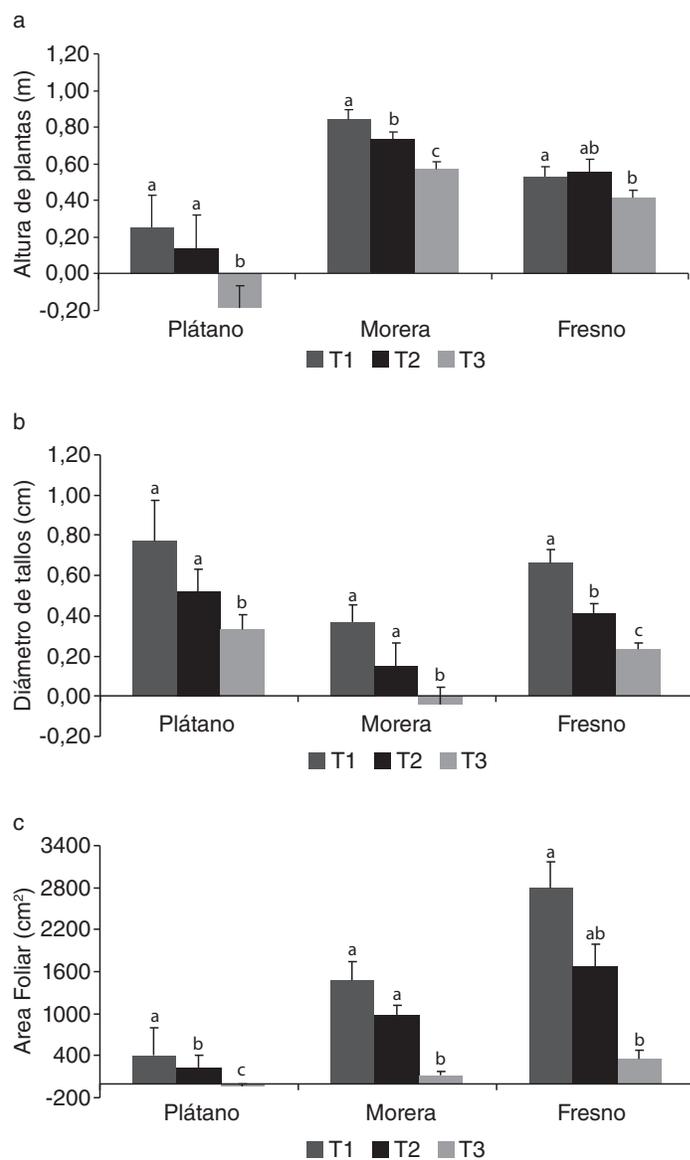


Figura 5. Comparación conjunta de la respuesta de las distintas variables de crecimiento (valores medios) por especie y tratamiento. a: altura, b: diámetro de tallos, c: área foliar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (T1: testigo, T2: déficit moderado, y T3: déficit severo), según test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). Sobre cada barra se indica el Error Estándar.

los meses de mayor demanda de riego (octubre a febrero) con una marcada disminución en el crecimiento de las tres especies. Entre el testigo y el déficit hídrico severo las diferencias resultaron significativas para todas las especies. En morera y fresno el tratamiento de déficit moderado no presentó diferencias significativas con el testigo, en cambio plátano disminuyó su área foliar con cualquier nivel de restricción hídrica.

Discusión y Conclusiones

El arbolado urbano de la ciudad de Mendoza garantiza la validez del modelo urbano en relación a la sustentabilidad ambiental y la calidad de vida de sus habitantes. Dada la condición árida del emplazamiento, la adaptabilidad de los árboles al déficit hídrico representa el indicador de sustentabilidad de mayor relevancia para la región, debido a que el crecimiento está supeditado a condiciones restrictivas de disponibilidad de agua de riego.

Desde el punto de vista del consumo hídrico, plátano resultó ser la especie más demandante. Sus requerimientos medios son significativamente mayores respecto a morera y fresno. Por otra parte, los mayores consumos de agua para las tres especies se registraron durante el mes de octubre, en coincidencia con la fase fenológica de mayor expansión foliar, mientras que los menores consumos se observaron en febrero. Esto indica que el requerimiento de agua para riego no es constante durante el año, alcanzando el pico de máxima demanda en el mes de octubre. En consecuencia, la distribución del agua en base a cantidades 'diferenciales' debiera ser el modo eficiente de operación pública del sistema de riego urbano.

Las respuestas de adaptabilidad de las especies analizadas a partir de la cuantificación de distintas variables de crecimiento permiten concluir que durante la etapa inicial del ensayo se observan fluctuaciones en las curvas de

crecimiento asociadas al período de aclimatación. En la etapa media del ensayo todas las especies manifiestan un crecimiento más regular que se consolida con tendencias claras hacia el final del ensayo, donde las plantas evidenciaron el efecto de los tratamientos aplicados con diferencias significativas en todas las variables.

Las tres especies afectaron significativamente una de las variables analizadas (plátano, área foliar; morera, altura; y fresno, diámetro de tallo). No obstante el crecimiento absoluto y el desarrollo de las curvas indicarían que fresno tendría mayor tolerancia al déficit hídrico, un adecuado desarrollo vegetativo bajo estas condiciones y una menor demanda de riego.

Los resultados demuestran que el crecimiento de los árboles de uso urbano presenta limitaciones que pueden comprometer su desarrollo en escenarios urbanos emplazados en zonas donde el recurso agua es escaso. En consecuencia, las especies arbóreas pueden estar sometidas a condiciones de estrés hídrico severo. Estudios de autores locales e internacionales (Roig, 1989; Schweingruber, 2007) confirman esta tendencia y demuestran que, de mantenerse en el tiempo limitaciones hídricas rigurosas, se observarían drásticas disminuciones del crecimiento poniendo en riesgo la sustentabilidad del arbolado urbano.

Un enfoque integrador de resultados indica que fresno es la especie que reúne las condiciones más favorables para compatibilizar la demanda hídrica con la adaptabilidad a condiciones restrictivas del recurso hídrico en el área de estudio. Sin embargo, en escenarios urbanos es necesario conciliar las exigencias derivadas del ecosistema árido con las condicionantes y presiones que imponen las ciudades sobre la vegetación urbana, entre ellas la contaminación atmosférica (Sabaté Bel y Tironi Rodó, 2008).

Del análisis conjunto de estudios previos asociados a la

adaptabilidad de especies a medios urbanos (Bernatsky, 1978; Matteucci y Colma, 1982; Dineva, 2004; Lana, 2005) y los resultados de este trabajo, se observa que la selección de especies depende del escenario urbano a forestar en relación al impacto de las distintas variables que comprometen el crecimiento de los árboles. En zonas urbanas con baja densidad de construcción ($1-2\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}$) y reducido tránsito vehicular se propone la plantación de fresno, dadas su menor demanda hídrica, su alta adaptabilidad a déficit hídrico moderado y su baja tolerancia a la contaminación ambiental. Mientras que en zonas de alta densidad de construcción ($>4\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}$) caracterizadas por ubicarse en el centro de la ciudad, con una alta concentración edilicia e intenso tránsito vehicular, se requiere adoptar una solución de compromiso dado que, de las especies estudiadas, si bien plátano es resistente a los elevados niveles de contaminación registrados en esta zona, resulta altamente demandante del recurso agua.

Estas conclusiones demuestran que, en términos de planificación, las propuestas de reforestación urbana en zonas áridas deben asociarse en tanto a las características ecológicas de las especies como a las condiciones particulares de cada área a intervenir, de modo de garantizar la permanencia del arbolado urbano a mediano y largo plazo, y el uso racional del recurso hídrico destinado a su irrigación. En este sentido un tema a discutir es la reutilización de aguas residuales que se generan en los oasis irrigados. El tratamiento de dichos efluentes permite disponer de una fuente adicional de agua superficial para el riego urbano y el riego de cultivos especiales (Braatz y Kandiah, 2004). De esta forma se elimina un foco de contaminación de cauces superficiales o reservorios subterráneos y se dispone de un recurso suplementario para el riego del arbolado urbano.

En etapas futuras se compararán estos resultados y el diagnóstico elaborado para las especies más frecuentes en la actualidad, con los resultados alcanzados por especies arbóreas autóctonas de zonas áridas y también de uso urbano. Tales especies, como *Acacia visco* o *Parkinsonia aculeata*, presentan una mayor adaptabilidad a condiciones de sequía. No obstante, es necesario analizar además otros atributos para integrar el arbolado urbano, como la velocidad de crecimiento en el ecosistema urbano y su apropiada convivencia con el ambiente construido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICET) y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT) por la financiación de las becas y el proyecto PICT 2415/06.

REFERENCIAS

- Alexandria E, Jones P (2008) Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Build. Environ.* 43: 480-493.
- Balmori A (2004) ¿Pueden afectar las microondas pulsadas emitidas por las antenas de telefonía a los árboles y otros vegetales? *Ecosistemas* 13(3): 79-87.
- Bernatsky A (1978) *Tree Ecology and Preservation*. Elsevier. Nueva York, EEUU. 357 pp.
- Braatz A, Kandiah A (2001) Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques. *Unasylva* 47(185): 45-51.
- Cantón A, De Rosa C, Kasperidus H (2003) Sustentabilidad del bosque urbano en el área metropolitana de la ciudad de Mendoza. Análisis y diagnóstico de la condición de las arboledas. *Averna* 7: 29-34.
- Cantón MA, Martínez CF (2009) Sustentabilidad del bosque urbano en zonas áridas. Análisis y Diagnóstico de la condición de las arboledas en Mendoza-Argentina. *6to Congr. Ibero-Am. Parques e Jardines Públicos*. Póvoa de Lanhoso, Portugal, 24-26/06/2009.
- Censo (2010) *Censo Poblacional 2010*. Dirección de Estadísticas

- y Censos. Argentina. www.censo2010.indec.gov.ar/ (Cons. 20/04/2013)
- Censo (2012) *Censo Georreferenciado del Arbolado de la Ciudad de Mendoza*. Municipalidad de la Ciudad de Mendoza. Argentina.
- Clark JR, Kjelgren R (1990) Water as a limiting factor in the development of urban trees. *J. Arboricult.* 16: 203-208.
- Correa Cantaloube E. (2006) *Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza*. Tesis. Universidad Nacional de Salta. Argentina. 292 pp.
- Dale VH, Beyeler SC (2001) Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecol. Indic.* 1: 3-10.
- DGI (2014) *Pronóstico de Escurremientos Temporada 2013-2014*. Departamento General de Irrigación. Argentina. www.hidricosargentina.gov.ar/pronosticos/(Cons. 25/11/2014).
- Dineva S (2004) Comparative studies of the leaf morphology and structure of white ash *Fraxinus americana* L. and London plane tree *Platanus acerifolia* Willd growing in polluted area. *Dendrobiology* 52: 3-8.
- Fonseca Ortiz CF, Díaz-Delgado C, Hernández Téllez M, Esteller Alberich M (2013) Demanda hídrica urbana en México: modelado espacial con base en sistemas de información geográfica. *Interciencia* 38: 17-25.
- Isasi-Catalá E (2011) Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia* 36: 31-38.
- Kiernan V (1995) Forest grows tall on radio waves. *New Scient.* 14: 5.
- Lana NB (2005) *Utilización del Arbolado Urbano como Bioindicador de la Contaminación Ambiental*. Tesis. Universidad de Congreso., Argentina. 157 pp.
- López Lauenstein D, Melchiorre M, Verga A (2005) Respuestas de los algarrobos al estrés hídrico. *Idia* 21: 210-214.
- Martínez CF (2011) *Incidencia del Déficit Hídrico en Forestales de Ciudades Oasis: Caso del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina*. Tesis. Universidad Nacional de Cuyo. Argentina. 169 pp.
- Martínez CF, Roig FA, Cavagnaro JB, Cantón MA (2009) Arbolado urbano: impacto del estrés hídrico en el crecimiento de forestales jóvenes de uso común en ciudades áridas, Mendoza, Argentina. *Averma* 1: 33-36.
- Matteucci SD, Colma A (1982) *Metodología para el Estudio de la Vegetación*. OEA. Washington DC, EEUU. 168 pp.
- McPherson EG (1988) Functions of buffer plantings in urban environments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 22: 281-298.
- Niemi GJ, McDonald ME (2004) Application of ecological indicators. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Systemat.* 35: 89-111
- Norman JM, Campbell GS (1989) Canopy structure. En Pearcy RE, Ehleringer JR, Mooney HA, Rundel PW (Eds.) *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation*. Chapman and Hall. Londres, RU. pp. 301-325.
- Petersen A (1990) The effect of soil treatment on the growth of damaged street trees. Lundqua Report, Tree Rings and Environment. *Proc. of the International Dendrochronological Symposium. Vol. 34.*
- Ribas y Piera M (2003) Paisaje y Ciudad. Ciudades. *Rev. Inst. Urban. Univ. Valladolid* 7: 69-75.
- Richards NA (1983) Diversity and stability in a street tree population. *J. Urban Ecol.* 7: 159-171.
- Sabaté Bel J, Tironi Rodó M (2008) Globalización y estrategias urbanísticas: un balance del desarrollo reciente de Barcelona. *Cuad. Urbano* 7: 233-260.
- Schweingruber FH (2007) *Wood Structure and Environment*. Springer. Berlín, Alemania. 284 pp.
- Selga T, Selga M (1996) Response of *Pinus sylvestris* L. needles to electromagnetic fields. Cytological and ultrastructural aspects. *Sci. Total Environ.* 180: 65-73.
- Whitlow TH, Bassuk NL, Reichert DL (1992) A 3-year study of water relations of urban street trees. *J. Appl. Ecol.* 29: 436-450.