

Respuesta al déficit hídrico en el crecimiento de forestales del bosque urbano de Mendoza

Análisis comparativo en árboles jóvenes

Response to water deficit on tree growth from urban forestry of Mendoza city

Comparative analysis in sapling trees

Claudia F. Martínez ¹, Juan Bruno Cavagnaro ², Fidel A. Roig Juñent ³, María Alicia Cantón ¹

Originales: Recepción: 19/09/2012 - Aceptación: 11/03/2013

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta de plantas jóvenes de cuatro especies forestales urbanas a diferentes niveles de déficit hídrico. El ensayo se realizó en vivero, durante tres ciclos vegetativos, con plantas de *Platanus x hispanica* cv. *acerifolia* (plátano), *Morus alba* (morera), *Fraxinus americana* (fresno americano) y *Acacia visco* (visco). Los tratamientos de riego fueron: control (reposición del 100% transpirado); riego deficitario moderado (reposición del 66% transpirado) y riego deficitario severo (reposición del 33% transpirado). Las variables de respuesta evaluadas fueron altura, diámetro de tallos, área foliar y ancho de anillos de crecimiento. Las plantas bajo riego deficitario severo presentaron disminuciones en todos los parámetros de crecimiento considerados. *Acacia visco* resultó con crecimientos comparables al control, bajo riego deficitario equivalente al 66% del agua transpirada, con lo cual puede ser considerada especie de interés para forestaciones en condiciones de estrés hídrico moderado.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the young plants response of four urban forest species at different levels of water deficit. The manipulative experiment was conducted in nursery for three growing seasons, with saplings of *Platanus x hispanica* cv. *acerifolia* (London plane), *Morus alba* (mulberry), *Fraxinus americana* (American ash) and *Acacia visco* (visco). The catering treatments were: control (replacement of 100% water transpired), moderate deficit watering (replacement of 66% water transpired) and severe deficit watering (replacement of 33% water transpired). Response variables measured were height, stem diameter, leaf area and annual tree-rings width. Plants under severe deficit watering showed decreases in all growth parameters considered. *Acacia visco* under moderate deficit watering equivalent to 66% of transpired water had a growth comparable to control. Therefore, this specie could be considered relevant to new forestations in moderate water stress conditions.

Palabras clave

arbolado urbano • déficit hídrico • crecimiento forestal • Mendoza

Keywords

urban forestry • water deficit • forest growth • Mendoza

- 1 Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA). Centro Científico Tecnológico (CCT Mendoza) C. C. 131. (5500) Mendoza. Argentina. cmartinez@mendoza-conicet.gov.ar
- 2 Instituto de Biología Agrícola de Mendoza (IBAM CONICET). Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO).
- 3 Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA). (CCT Mendoza).

INTRODUCCIÓN

Los bosques de ciudades emplazadas en regiones desérticas ofrecen beneficios relevantes al ecosistema urbano y a la calidad de vida de sus habitantes (6, 11, 18). La elección de especies con capacidad de adaptación a recursos limitados es un criterio fundamental desde el enfoque de la sustentabilidad (1, 7, 21).

El incremento de urbanizaciones en zonas áridas ha impulsado el desarrollo de programas de forestación urbana que buscan emplear especies con bajos requerimientos hídricos (10, 40) para lograr la sustentabilidad del bosque urbano ya que el recurso natural más limitante es el agua (38).

En este contexto la limitación de este recurso es el factor de incidencia directa sobre el crecimiento de los árboles, en función de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, la evapotranspiración, la especie considerada, el régimen de precipitaciones locales y los aportes suplementarios por riego (22, 25, 31).

La información vinculada al crecimiento de árboles de entornos urbanos y áridos es actualmente escasa (4, 26). Si bien existen numerosas referencias del impacto de la ciudad sobre el desarrollo de los árboles (10, 11), es aún incipiente y fragmentado el conocimiento sobre la relación entre disponibilidad hídrica y crecimiento forestal en bosques urbanos de regiones áridas, puntualmente en lo relacionado con el efecto de niveles diferenciales de estrés hídrico y los mecanismos de respuesta frente a estas condiciones.

Para el bosque urbano de Mendoza, cuya presencia asegura la sustentabilidad ambiental de la ciudad y la calidad del ecosistema, no se conoce cuál es el consumo de agua de las especies forestales jóvenes y adultas de mayor representatividad y cómo responden a distintas condiciones de riego.

Los árboles en alineación de calles superan el millón de ejemplares en toda la provincia, mientras que el Área Metropolitana concentra alrededor de 700.000 ejemplares, de los cuales 49.297 se encuentran en la Ciudad Capital. La población forestal de dicha ciudad está conformada por 89% de especies introducidas (*Morus alba* L. 39%, *Platanus x hispanica* Mill. ex Münchh. cv. *acerifolia* 9% y *Fraxinus excelsior* L. 16%) y 11% de especies nativas (*Acacia visco* Lorentz ex Griseb. 3%) cuyo uso en forestaciones urbanas data de la etapa fundacional de la ciudad (24, 27, 29) e integran de manera relevante la composición forestal de otras ciudades (14, 16).

El recurso hídrico de la ciudad de Mendoza es provisto por el Río Mendoza con un derrame promedio anual de 1.446 hm³ (15, 36). El régimen local de precipitaciones es de 200 mm/año y los requerimientos hídricos de los cultivos tradicionales como la vid y las diversas especies forestales son del orden de 700-800 mm/año y 300- 1000 mm/ año respectivamente (28, 32).

Si se compara el aporte de agua por precipitación con el requerimiento de los distintos cultivos se observa una situación de desbalance hídrico que debe ser compensado con el riego.

Esta situación es compleja al considerar los pronósticos de disminución de los recursos hídricos debido a los efectos del cambio climático y a las predicciones de reducción del 40% en el caudal del río Mendoza (15).

Frente a este panorama se priorizaría el consumo de agua poblacional sobre la provisión de riego, afectando el crecimiento del bosque urbano (3). Sin embargo, el impacto de esta disminución sobre los árboles de la ciudad podría atenuarse con una mayor eficiencia en el riego.

En función del escenario descrito, resulta importante evaluar la respuesta a diferentes niveles de restricción hídrica en ejemplares jóvenes de especies utilizadas en el arbolado público.

Hipótesis

- Las especies forestales -representativas del bosque urbano de Mendoza- manifiestan diferente tolerancia al estrés hídrico que se expresa a través de distintas respuestas fisiológicas y de crecimiento. Estas respuestas pueden inferirse a partir de individuos jóvenes.

Objetivo

- Este trabajo estudia la incidencia de la disponibilidad hídrica en el crecimiento de cuatro especies forestales (*Platanus x hispanica* cv. *acerifolia*, *Morus alba*, *Fraxinus americana* y *Acacia visco*) de amplia distribución en la ciudad de Mendoza y su zona periurbana, considerando variables de crecimiento y variables relacionadas con la actividad fisiológica a lo largo de tres ciclos vegetativos. De esa forma se podrán evaluar las especies seleccionadas según su grado de tolerancia a condiciones diferenciales de déficit hídrico.

METODOLOGÍA

Especies seleccionadas

Se seleccionaron las especies forestales introducidas del hemisferio norte: *Platanus x hispanica* cv. *acerifolia* (plátano), *Morus alba* (morera), *Fraxinus americana* (fresno americano) y la especie nativa de Bolivia, Chile y Argentina, *Acacia visco* (acacia visco), las cuales en conjunto constituyen el 67% del bosque urbano de la Ciudad de Mendoza (24, 27, 29) (fotos, págs. 50-51).



Acacia visco
Ejemplar adulto



Acacia visco
Ejemplar joven



Platanus x hispanica cv. *acerifolia*
Ejemplar adulto



Platanus x hispanica cv. *acerifolia*
Ejemplar joven

Foto. Especies forestales seleccionadas. **a.** Ejemplares adultos en el medio urbano. **b.** Ejemplares jóvenes en condición de vivero.

Photo. Tree species selected. **a.** Mature trees in urban conditions. **b.** Sapling trees in nursery condition.



Fraxinus americana
Ejemplar adulto



Fraxinus americana
Ejemplar joven



Morus alba
Ejemplar adulto



Morus alba
Ejemplar joven

Foto (cont.). Especies forestales seleccionadas. **a.** Ejemplares adultos en el medio urbano. **b.** Ejemplares jóvenes en condición de vivero.

Photo (cont.). Tree species selected. **a.** Mature trees in urban conditions. **b.** Sapling trees in nursery condition.

Diseño experimental

El ensayo se llevó a cabo en el campo experimental del CCT CONICET-Mendoza, Argentina 32°53' LS, 68°52' LW y 827 m s. n. m., ubicado en el área periurbana durante tres ciclos vegetativos (1° ciclo: agosto 2007 a julio 2008; 2° ciclo: agosto 2008 a julio 2009 y 3° ciclo: agosto 2009 a marzo 2010). El diseño experimental consistió en la aplicación de tres tratamientos de riego a ejemplares jóvenes de las especies seleccionadas (22, 40) de acuerdo con el siguiente esquema de riegos:

Tratamiento 1: testigo o control (**T1**), reposición del 100% de agua transpirada.

Tratamiento 2: riego deficitario moderado (**T2**), reposición del 66% de agua transpirada.

Tratamiento 3: riego deficitario severo (**T3**), reposición del 33% de agua transpirada.

La cuota de riego aplicada a cada tratamiento se determinó en forma gravimétrica por diferencia de peso de cada maceta entre el valor inicial del peso a capacidad de campo y el valor del peso actual de la misma, descontando el valor incremental por aumento de masa verde (23). El cálculo de la cuota de riego responde a la ecuación:

$$R_o = (P_i - P_a)$$

donde:

R_o = cuota de riego

P_i = peso inicial a capacidad de campo

P_a = peso actual

Los riegos se realizaron durante el periodo 2007-2010 con una frecuencia de dos veces por semana durante el ciclo vegetativo activo (agosto a marzo) hasta la caída uniforme de hojas. Durante el período invernal la frecuencia de riego fue quincenal. Se efectuaron 210 riegos por planta durante tres ciclos vegetativos completos, de acuerdo con experiencias llevadas a cabo en forestales jóvenes de otras ciudades (40).

Cada especie contó con 30 ejemplares los cuales se dividieron en submuestras de 10 plantas elegidas al azar, con el objeto de realizar diez repeticiones por tratamiento y especie. Los ejemplares, de 2 años de edad al inicio del tratamiento, se colocaron en macetas de polietileno de 15 litros de capacidad.

El sustrato empleado estuvo compuesto por una proporción de 2/3 de tierra franco-arenosa y 1/3 de orujo agotado. Las características físico-químicas del sustrato fueron: textura franco-arenosa; conductividad eléctrica: 1,835 dS/m a 25°C; fertilidad: 2688 ppm de N; 8,82 ppm de P; 1178 ppm de K; 4,51% de materia orgánica.

Para evaluar solo el agua transpirada y evitar la evaporación, las macetas se protegieron con una cobertura plástica a modo de sombrero para impedir cualquier aporte hídrico adicional (lluvia, rocío, etc.). Asimismo, cada maceta se colocó sobre una bandeja colectora del agua de drenaje, la que fue reincorporada para respetar la cuota de riego calculada según tratamiento.

Variables de crecimiento y fisiológicas evaluadas

Variables de crecimiento evaluadas, según procedimientos de medición publicados (5, 23):

- *Altura de planta*: se midió desde la base del cuello de la planta hasta el extremo apical principal de cada planta.
- *Diámetro de tallos*: la medida se hizo a la altura de la base del tallo de la planta, en coincidencia con el borde de la maceta. La frecuencia de medición de altura y diámetro de tallos para todos los ejemplares fue mensual.
- *Área foliar*: se aplicó un método no destructivo de medición consistente en el uso de una plantilla transparente de acetato marcada con puntos separados regularmente a 1 cm de distancia, es decir, cada punto representó una superficie de 1 cm². Primeramente se contó el número total de hojas por planta, luego se colocó cada hoja debajo del acetato y se contabilizó el número de puntos interceptados: esto se repitió para todas las hojas de cada planta. Se realizó la sumatoria de puntos, calculando el área total por hoja y luego el área foliar total de la planta (30). Las mediciones se hicieron en cuatro plantas por especie y tratamiento, seleccionadas por muestreo al azar. Las mediciones se llevaron a cabo en los meses de activo crecimiento durante los tres ciclos analizados.
- *Ancho de anillos de crecimiento*: todas las plantas fueron seccionadas a nivel del cuello del tallo al finalizar el ensayo. De este modo se realizó la observación anatómica de la madera y la medición de los anillos de crecimiento a partir de los cortes transversales obtenidos. Estos cortes, identificados según especie y tratamiento, fueron montados sobre portamuestras, pulidos con lijas de grano sucesivo y observados bajo lupa de mesa. Los anillos de crecimiento fueron datados siguiendo técnicas tradicionales usadas en dendrocronología y medidos con medidora Velmex de 0,001 mm de resolución, acoplada a una computadora (33).
- *Relación vástago/raíz (V/R)*: al final del ensayo, en las plantas cortadas a nivel de la base, se realizó la separación de vástagos y raíces. Las raíces se descalzaron mediante lavados sucesivos y, luego de escurrir totalmente el agua, se tomó el peso fresco. Posteriormente vástagos y raíces se llevaron a estufa a temperaturas de 60°C hasta peso constante. A continuación se determinó el peso seco de vástago y raíces para luego calcular la relación vástago/raíz para todas las plantas.

Variables fisiológicas medidas:

- *Potencial hídrico xilemático*: medido en pecíolo mediante Cámara de Presión marca Assi (2), en preamanecer y mediodía (34).
- *Conductancia estomática*: cuantificada mediante Porómetro marca Decagon Devices modelo SC-1 (19) en dos hojas por árbol, totalmente expuestas y orientadas al Este, durante el mediodía (rango horario 11:00 a 14:00 hs.) (37).

Para ambas mediciones se seleccionaron al azar cuatro plantas por especie y tratamiento, durante los meses de activo crecimiento (octubre, noviembre, diciembre y febrero). Las mediciones se realizaron antes y después de efectuar un riego.

Análisis estadístico

El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante Análisis de la Varianza -ANOVA- y medidas de correlación, utilizando los programas estadísticos R (17) e

InfoStat/L (39). Se evaluó la diferencia entre los valores finales e iniciales alcanzados por las variables involucradas. La comparación de medias entre tratamientos se realizó mediante Test de Tukey para cada especie, con un nivel de confianza $\alpha \leq 0,05$.

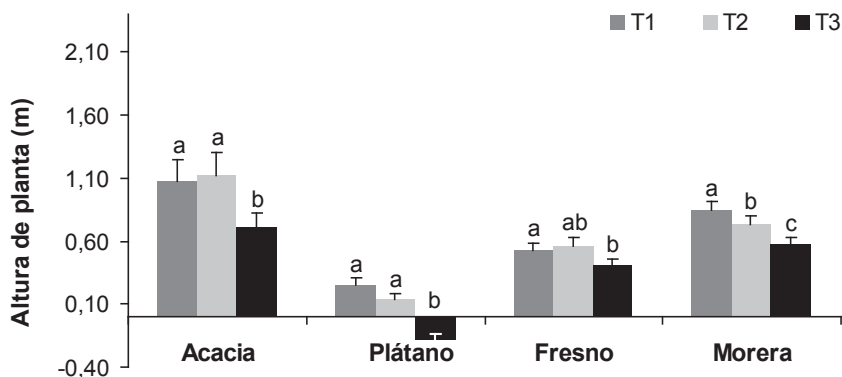
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de las variables de crecimiento

Las variables de crecimiento fueron examinadas para cada ciclo de análisis. Durante el primer ciclo (2007-2008) hubo algunas variaciones en las variables sin evidenciar aún tendencias generales. En el segundo y tercer ciclo (2008- 2009 y 2009-2010) se observaron con mayor claridad los efectos de cada tratamiento. A continuación se presenta un análisis comparativo de las cuatro especies evaluadas en relación con cada variable de respuesta.

Altura de plantas

Acacia visco, *Platanus x hispanica cv. acerifolia* y *Fraxinus americana* presentaron un crecimiento similar con el tratamiento control (T1) y con riego deficitario moderado (T2) (figura 1). El tratamiento de déficit hídrico severo (T3) afectó el crecimiento en altura en las cuatro especies evaluadas, con diferencias significativas en todos los casos respecto de las plantas testigo (T1). *Morus alba* presentó diferencias significativas para los tres tratamientos aplicados, es decir que bajo cualquier nivel de restricción hídrica se afectó la altura en esta especie.



Letras distintas indican diferencias significativas dentro de una misma especie entre los tres tratamientos (T1: control, T2: riego deficitario moderado; T3: riego deficitario severo), según Test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). Sobre cada barra se indica el error estándar.

Different letters indicate significant differences within a single species among the three treatments (T1: control, T2: moderate water deficit, T3: severe water deficit), according to Tukey test ($\alpha \leq 0.05$). Standard error is indicated above each bar.

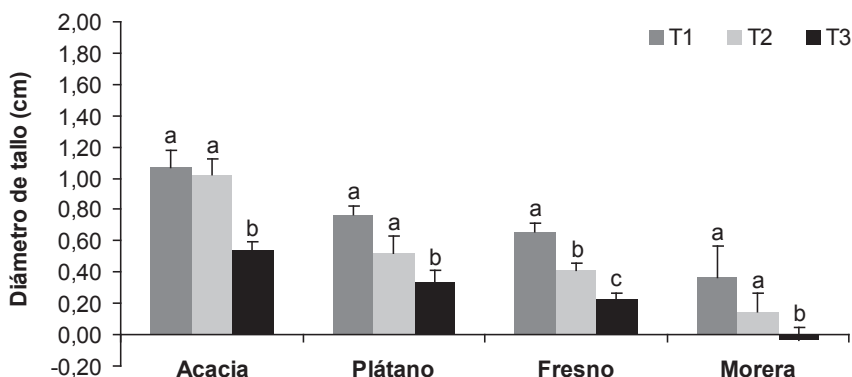
Figura 1. Altura de planta durante el período de ensayo (2007/2010) para las cuatro especies y los tres tratamientos.

Figure 1. Plant height during the test period for the four species tested and the three applied treatments.

Diámetro de tallos

A. visco registró un rango de variación del crecimiento diametral (amplitud entre valor máximo y mínimo entre tratamiento T1 y T3) comprendido entre 175% - 87%, el cual resultó ser el mayor rango en comparación con las demás especies evaluadas. Bajo T2 las plantas tuvieron un crecimiento semejante a T1 excepto *F. americana* (figura 2). *P. hispanica cv. acerifolia* también mostró diferencias significativas entre T1 y T2 con respecto de T3, con un rango de crecimiento diametral menor (75% - 34%).

Letras distintas indican diferencias significativas dentro de una misma especie entre los tres tratamientos, según Test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). Sobre cada barra se indica el error estándar.



Different letters indicate significant differences within a single species among the three treatments, according to Tukey test ($\alpha \leq 0.05$). Standard error is indicated above each bar.

Figura 2. Diámetro de tallo durante el período de ensayo para las cuatro especies evaluadas.

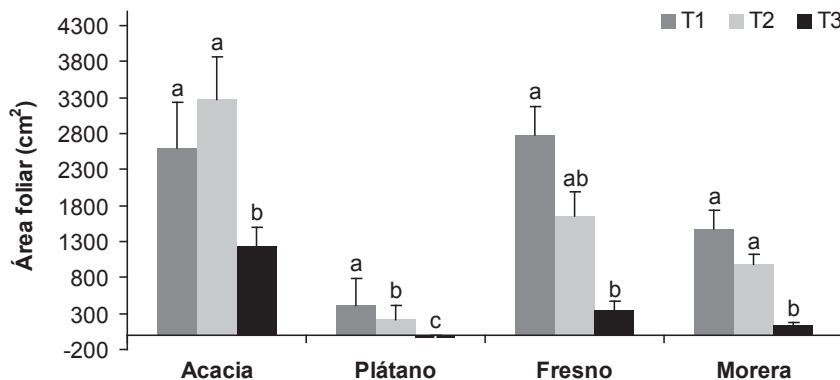
Figure 2. Stem diameter during the test period for the four species tested.

El 100% de las plantas de *P. hispanica cv. acerifolia* bajo restricción severa se secó en los meses previos a la finalización del ensayo. *F. americana* presentó diferencias significativas para los tres tratamientos, es decir que con cualquier grado de disminución hídrica el crecimiento diametral se vio afectado. En esta especie el rango de crecimiento diametral fue de 47% - 16%. Resultados similares se han obtenido en árboles jóvenes de *Prosopis chilensis* y *Prosopis flexuosa*, en los cuales el crecimiento en diámetro disminuyó drásticamente, en general 35%, cuando se les redujo la disponibilidad de agua (20). *M. alba* manifestó comparativamente, el menor rango de variación porcentual (22% - 2%), con una reducción del 15% en T3.

Cabe destacar que el 20% de las plantas se secó al promediar el ensayo. Estos resultados muestran que tanto *P. hispanica cv. acerifolia* como *M. alba* tendrían una menor tolerancia a condiciones severas y prolongadas de estrés hídrico y, de mantenerse en el tiempo el estrés hídrico, se observarían disminuciones del crecimiento durante los ciclos vegetativos posteriores, afectando el vigor y llegando a producir la muerte de las plantas (5, 35).

Área foliar

El efecto del déficit hídrico sobre el área foliar comenzó a manifestarse con diferencias significativas a partir del tercer ciclo de análisis, con una marcada disminución durante los meses de mayor demanda hídrica (octubre a febrero) (figura 3). En todas las especies las diferencias resultaron significativas entre los tratamientos T1 y T3. En *A. visco*, *F. americana* y *M. alba* no hubo diferencias significativas entre T1 y T2. Sin embargo *P. hispanica* cv. *acerifolia* disminuyó significativamente su área foliar con cualquier grado de restricción hídrica.



Letras distintas indican diferencias significativas dentro de una misma especie entre los tres tratamientos, según Test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). Sobre cada barra se indica el error estándar.

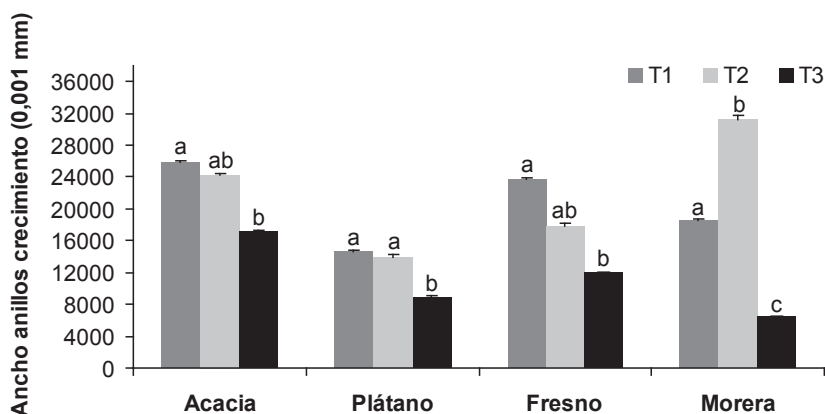
Different letters indicate significant differences within a single species among the three treatments, according to Tukey test ($\alpha \leq 0.05$). Standard error is indicated above each bar.

Figura 3. Variación del área foliar desde inicio a fin del ensayo para las cuatro especies.
Figure 3. Leaf area variation during the test period and for the four tree species and the applied treatments.

Ancho de anillos de crecimiento

Los resultados respecto del ancho de los anillos de crecimiento mostraron en *A. visco* y *F. americana* que a medida que se restringió el aporte hídrico (T2 y T3) el crecimiento disminuyó respecto del control T1, dando anillos de menor extensión radial (figura 4, pág. 57). El análisis de comparaciones múltiples indicó solo diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T3. En cambio *P. hispanica* cv. *acerifolia* no mostró diferencias significativas bajo los tratamientos T1 y T2, solo las plantas control mostraron un aumento constante de esta variable durante los tres ciclos analizados; bajo T3 se registró el menor crecimiento radial.

En *M. alba* se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos: bajo T2 mostró mayor crecimiento respecto del control T1, mientras que bajo T3 se observó el menor crecimiento radial.



Letras distintas indican diferencias significativas dentro de una misma especie entre los tres tratamientos, según Test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). Sobre cada barra se indica el error estándar.

Different letters indicate significant differences within a single species among the treatments, according to Tukey test ($\alpha \leq 0.05$). Standard error is indicated above each bar.

Figura 4. Ancho de anillos de crecimiento acumulado durante el período de ensayo.
Figure 4. Tree rings width during the test period for the four tree-species tested and the three applied treatments.

El análisis del crecimiento acumulado de anillos anuales para los tres años de ensayo indicó que todas las plantas bajo riego deficitario severo presentaron una tendencia decreciente en el crecimiento radial al ser comparadas con el control.

En la observación de cortes transversales se constató el efecto generalizado del estrés hídrico con un menor ancho de anillos de crecimiento a partir del segundo año de ensayo. Los porcentajes de reducción respecto del control T1 fueron: 47% en *A. visco*; 64% en *P. hispanica cv. acerifolia*; 50% en *F. americana* y 32% en *M. alba*.

Análisis de peso seco, biomasa total y relación vástago-raíz (V/R)

Las mediciones del peso seco de vástagos (incluyendo hojas y tallos) y raíces para cada especie y tratamiento muestran que el crecimiento de vástago fue similar para todas las especies, con valores superiores para las plantas control de *F. americana* y *M. alba* (figura 5, pág. 58).

A. visco mostró un desarrollo de vástagos y raíces con tendencias similares a las observadas en ejemplares jóvenes de *Prosopis chilensis* y *Prosopis flexuosa*, que al igual que *A. visco* son especies nativas (8, 13). En *A. visco*, *F. americana* y *M. alba* el desarrollo de vástagos fue mayor en el testigo y menor en los tratamientos deficitarios, aunque sin diferencias significativas entre estos.

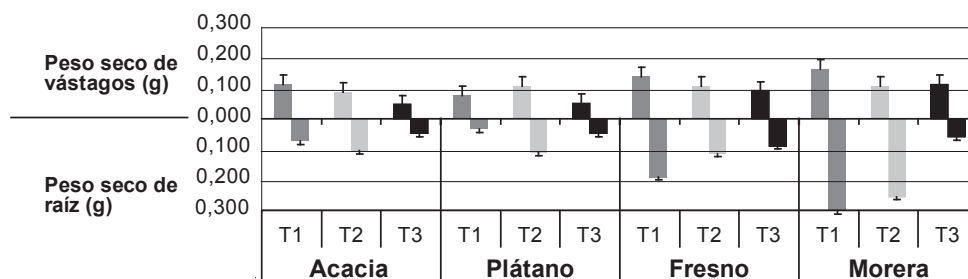
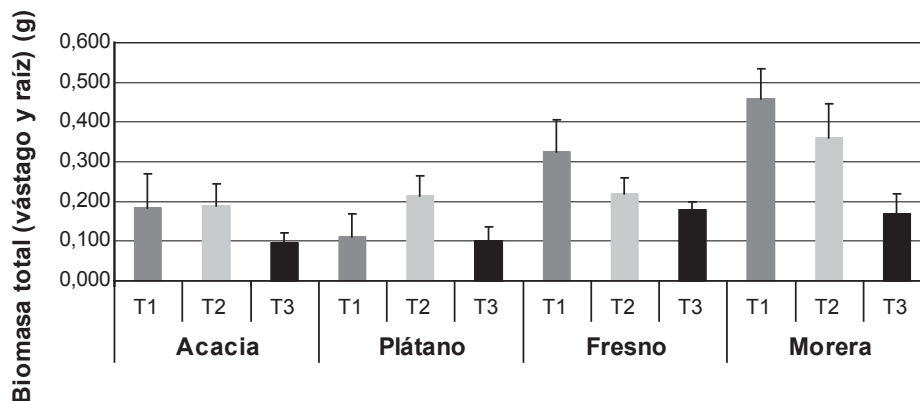


Figura 5. Valores medios de peso seco de vástago y raíz. Sobre cada barra se indica el error estándar.

Figure 5. Dry weight mean values of stem and root. Standard error is indicated above each bar.

Respecto del peso seco de raíces, de las cuatro especies evaluadas solo *M. alba* evidenció un mayor desarrollo del sistema radical, posiblemente como mecanismo para extender la capacidad de búsqueda del recurso hídrico en el sustrato; no obstante, el crecimiento de raíces disminuyó a medida que aumentó la restricción hídrica. Ha sido reportado que *Bulnesia retama* en condición de vivero y planta joven también manifiesta un crecimiento superior de la raíz respecto del vástago (13).

El análisis de la biomasa total mostró que *A. visco* tuvo valores similares entre las plantas control y las plantas del T2, evidenciando tolerancia a un déficit hídrico moderado (figura 6). *F. americana* y *M. alba* mostraron una tendencia a disminuir su biomasa total con el aumento de la limitación hídrica. *P. hispanica* cv. *acerifolia* registró los mayores valores en las plantas bajo T2 con mejor respuesta en crecimiento ante dicha restricción.



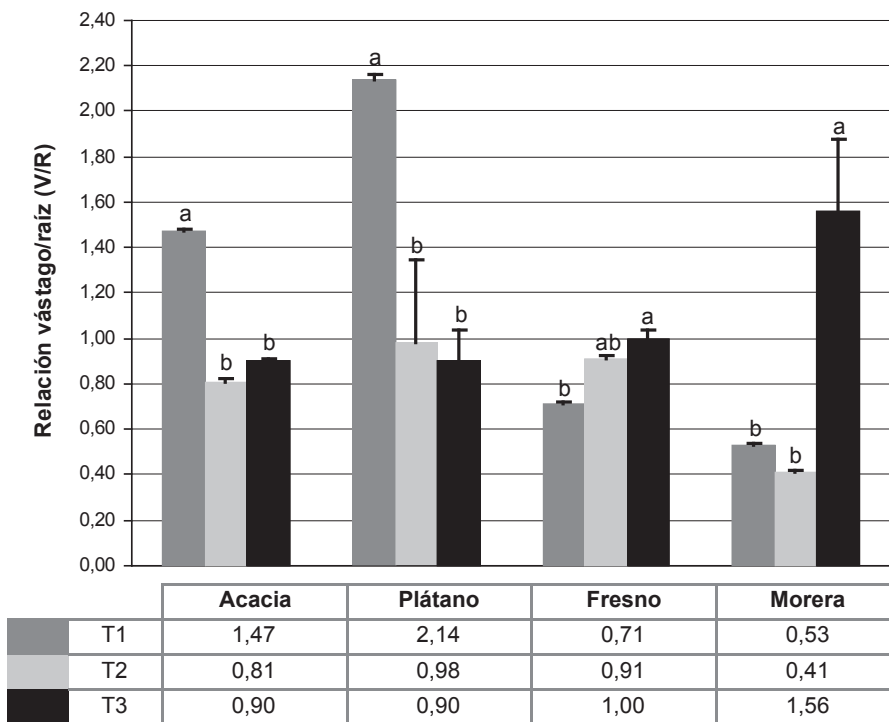
Sobre cada barra se indica el error estándar.

Standard error is indicated above each bar.

Figura 6. Valores medios de biomasa total por especie y tratamiento.

Figure 6. Total biomass mean values for each specie and treatment.

Respecto de la relación (V/R), las plantas de *A. visco* bajo T1 presentaron los mayores valores con diferencias significativas en los tratamientos T2 y T3 (figura 7).



Letras distintas indican diferencias significativas dentro de una misma especie entre tratamientos, según Test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). Sobre cada barra se indica el error estándar.

Different letters indicate significant differences within a single species among treatments, according to Tukey test ($\alpha \leq 0.05$). Standard error is indicated above each bar.

Figura 7. Relación vástago-raíz calculada en función del peso seco para cada especie y tratamiento.

Figure 7. Stem-root ratio on the basis of dry weight achieved under an oven at 60°C for each specie and treatment.

Las plantas control tuvieron un mayor desarrollo de la parte aérea (figura 4, pág. 57), mientras que el mayor desarrollo de raíces se observó en las plantas bajo T2. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de riego deficitario. Para *A. visco* y *P. hispanica* cv. *acerifolia*, las plantas bajo T1 presentaron la mayor relación V/R respecto de los otros dos tratamientos, con diferencias significativas para T1 en relación con T2 y T3; el mayor desarrollo de vástago y raíces, como la biomasa total se observó en T2 (figuras 5 y 6, pág. 58). Una posible explicación de la menor biomasa total, podría relacionarse con la alta transpiración o bien con un posible confinamiento de las plantas en la maceta.

En *F. americana* los valores calculados se relacionan en forma inversa con el aporte de agua; el desarrollo tanto de la parte aérea como de las raíces disminuyó a medida que se restringía el riego (figura 5, pág. 58). Para esta especie la menor relación V/R se observó en el control, indicando un mayor desarrollo de raíces. *M. alba* evolucionó en forma similar a *F. americana*, con una mayor relación V/R en las plantas del T3 y con diferencias significativas respecto de T1 y T2.

De acuerdo con lo observado, el análisis de la relación V/R indicó resultados semejantes entre *A. visco* y *P. hispanica* cv. *acerifolia*, con valores superiores para las plantas control y diferencias significativas entre T1 y los tratamientos de riego deficitario. En cambio, para *F. americana* y *M. alba* la mayor relación se observó para las plantas bajo T3 y con diferencias significativas respecto de T1. En estas dos especies, para T1 y T2 el cociente dio valores menores a la unidad indicando que habría alta partición de asimilados hacia la raíz. Estos resultados han sido encontrados también en *Prosopis flexuosa* (13).

Evolución de las variables fisiológicas

Conductancia estomática y potencial xilemático

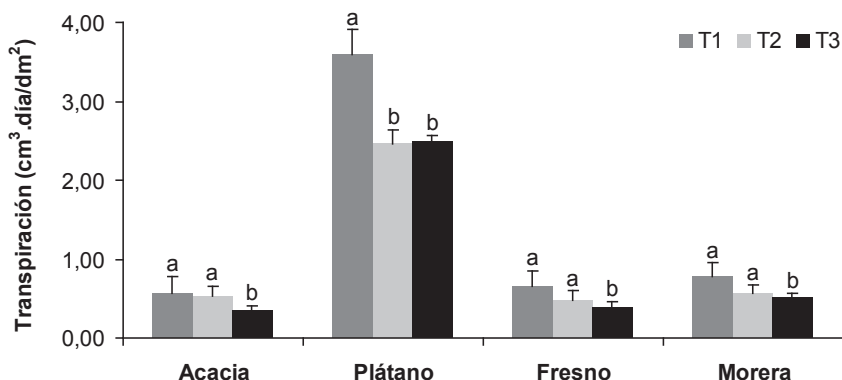
Las mediciones de conductancia estomática evidenciaron parcialmente el efecto de los tratamientos de déficit hídrico. El rango de valores medidos previos al riego fue de 10 a 22 mmol/m².seg; los mayores valores se registraron en *P. hispanica* cv. *acerifolia* y *F. americana*. El potencial xilemático, en cambio, sí manifestó el efecto del tratamiento, en particular en la segunda campaña de mediciones.

Los rangos de mediciones registrados fueron de -1,5 a -2 MPa. Este rango de valores es similar a -0,5 y -1,0 MPa encontrado en plantas en macetas de *Acer* sp.; sin embargo, resultan valores bajos respecto de los medidos por Whitlow & Bassuk (40) en ensayos de riego de ejemplares jóvenes de *Fraxinus pennsylvanica* y *Tilia cordata*, donde registraron rangos de 0,3 a 0,8MPa (40).

Se observó que para *A. visco*, *P. hispanica* cv. *acerifolia* y *M. alba* el potencial xilemático se vio afectado por estrés hídrico severo, no así ante una restricción moderada del recurso. *F. americana* no presentó diferencias significativas frente a cualquier nivel de estrés aplicado. Particularmente para esta especie los valores de potencial xilemático coinciden con evidencias encontradas en la bibliografía (4, 40).

Aporte de agua según tratamientos aplicados por especie

A partir de las cuotas de riego aportadas según especie, tratamientos y frecuencias de riego establecidas durante los 210 riegos realizados, se calculó el valor medio del agua aplicada diariamente a cada tratamiento en función del área foliar de cada especie, para los meses de mayor demanda de riego (octubre a febrero) (figura 8, pág. 61).



Letras distintas indican diferencias significativas por misma especie entre los tratamientos, según Test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). Sobre cada barra se indica el error estándar.

Different letters indicate significant differences within a single species among the three treatments, according to Tukey test ($\alpha \leq 0.05$). Standard error is indicated above each bar.

Figura 8. Transpiración promedio estimada de cada especie por tratamiento para los meses de mayor demanda de riego (octubre a febrero). Valores medios expresados en cm^3 de agua día/ dm^2 de área foliar.

Figure 8. Mean transpiration of each species and treatment for the months of high demand for watering (October to February). Mean values expressed in cm^3 .day/ dm^2 .

P. hispanica cv. *acerifolia* fue la especie que requirió el mayor volumen de agua para reponer sus pérdidas por transpiración, con requerimientos hídricos semejantes bajo riegos deficitarios (T2 y T3).

En *M. alba* y *F. americana*, si bien se observó la misma tendencia, el rango de transpiración fue menor. *A. visco* mostró igual tendencia entre T1 y T2, con diferencias significativas respecto de T3, pero evidenciando el menor consumo hídrico en función del área foliar. Esta tendencia de *A. visco* indicaría tolerancia a condiciones de déficit hídrico moderado y una mejor adaptación a las condiciones impuestas, como ha sido relevado en ejemplares ubicados en una extensa área del subtropico y en la región Norte y Sur de la provincia de Mendoza (12).

Cabe destacar que el empleo de especies de bajo consumo hídrico ha sido reportado como una estrategia de sustentabilidad urbana y ambiental, implementada con éxito en otras ciudades de ambientes áridos (9, 25).

CONCLUSIONES

Esta investigación ha permitido evaluar diversas características del crecimiento de cuatro especies forestales, que constituyen el 67% del bosque urbano de Mendoza, en función de su tolerancia a riegos deficitarios. El trabajo se ha realizado en vistas a un uso crítico del recurso hídrico y una consecuente preservación del bosque urbano inserto en una región árida. Si bien las respuestas del crecimiento a niveles diferenciales de estrés hídrico derivan de la experimentación con individuos jóvenes, pueden ser trasladadas al manejo de árboles adultos. Durante el primer ciclo del ensayo se observó, para todas las especies consideradas, un proceso de aclimatación al trasplante (del vivero comercial al ensayo) y a las nuevas condiciones de restricción hídrica. En esta etapa las variables de crecimiento presentaron comportamientos aleatorios. A partir del segundo ciclo del ensayo se pudieron identificar las tendencias generales separadas de las respuestas por aclimatación.

Las cuatro especies forestales bajo condiciones de déficit hídrico severo registraron disminución significativa en el crecimiento. El mayor grado de incidencia se observó en *P. hispanica* cv. *acerifolia* y *M. alba*, donde al final del ensayo se produjo la muerte del 100% y 20% de las plantas respectivamente, evidencias estas de alta sensibilidad a un estrés hídrico severo. En condiciones de déficit hídrico moderado, *F. americana* disminuyó el crecimiento para todas las variables consideradas. En el caso de *M. alba* se afectó la altura de plantas y el ancho de los anillos de crecimiento, mientras que en *A. visco* y *P. hispanica* cv. *acerifolia* solo se afectó una de las variables analizadas: el ancho de los anillos de crecimiento y el área foliar, respectivamente.

Se concluye que *Acacia visco* es la especie con menor requerimiento de agua y mayor tolerancia al déficit de riego, registrando crecimientos adecuados aun bajo condiciones sostenidas de estrés hídrico moderado. Esta situación implicaría un ahorro en el recurso hídrico destinado al riego sin comprometer el desarrollo vegetativo de los árboles. Por lo tanto, y de acuerdo con los resultados de la presente investigación, *Acacia visco* se plantea como una especie recomendada para ambientes urbanos con un manejo de restricción en la dotación de agua de riego. Esta especie, empleada durante la etapa fundacional en la forestación de Mendoza, debería ser reconsiderada por su capacidad de adaptación a condiciones de estrés hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ambrosetti, J. A. 1971. Especies interesantes en la ordenación de la Cuenca Papagayos. En: IADIZA, Deserta II, Anales del Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas. Mendoza, Ed. Zeta, Mendoza. p. 207-237 p.
2. Assi S. A. Ingeniería, Tecnología y Construcciones. 2007. <http://www.assi.com.ar/index.php> Consulta: 5 de mayo 2012.
3. Bardini, S. L. 2008. Cultura del Agua en la Provincia de Mendoza. Desierto versus Oasis. www.fnca.eu/fnca/america/docu/3706.pdf
4. Bernatzky, A. 1978. Tree ecology and preservation. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 122 p.

5. Besio, L.; González Loyarte M. M.; Peralta, I. 2011. Estado de conservación de bosques de *Maytenus boaria* Mol.(maitén) en quebradas cordilleranas (Departamento San Carlos, Mendoza). Rev. FCA UNCUYO. 43(1): 57-73
6. 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 la arboleda. Revista Avances y Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 7: 29-34.
7. Carrieri, S. A.; Codina, R. A.; Manzano, E. R. 1996. Arbolado de rutas en zonas áridas. Propuesta para la Provincia de Mendoza. Ed. Facultad de Ciencias. Agrarias. UNCUYO. 105 p.
8. Cesca, E. M.; Villagra, P. E.; Passera, C.; Alvarez, J. A. 2012. Effect of *Prosopis flexuosa* on understory species and its importance to pastoral management in woodlands of the Central Monte Desert. Rev. FCA UNCUYO. 44(2): 207-219.
9. Chen, Z.; X. He; M. Cui; N. Davi; X. Zhang; W. Chen; Y. Sun. 2010. The effect of anthropogenic activities on the reduction of urban tree sensitivity to climatic change: dendrochronological evidence from Chinese pine in Shenyang city. Journal Trees. Springer-Verlag 2010. DOI 10.1007/s00468-010-0514-x.
10. Clark, J. R.; Kjelgren, R. 1990. Water as a limiting factor in the development of urban trees. J. Arboric. 16: 203-208.
11. Correa, E. 2006. Isla de Calor Urbana. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza. Tesis Doctoral en Ciencias, Área Energías Renovables. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta.
12. Dalmasso, A. 2010. Silvicultura Urbana. II Árboles apropiados para la provincia de Mendoza. Boletín de Extensión Científica. IADIZA. Inca Editoria. 66 p.
13. Dalmasso, A.; Masuelli, R.; Salgado, O. 1994. Relación vástago-raíz durante el crecimiento en vivero de tres especies nativas del Monte, *Prosopis chilensis*, *Prosopis flexuosa* y *Bulnesia retama*. Multequina. 3: 35-43.
14. 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. Vol. 52: 3-8.
15. Dirección General de Irrigación. 2012. Pronóstico de escurrimiento para los ríos: Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Malargüe y Grande. http://www.irrigacion.gov.ar/sitio/images/otros_sitios/prono2.pdf Consulta: 4 de mayo de 2012.
16. Dwyer, J. F.; Nowak, D. J.; Watson, G. W. 2002. Future directions for urban forestry research in the United States. Journal of Arboriculture. 28(6): 221-225.
17. Hornik, K. 1998. The R Version 3.0. The R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/> Consulta: 5 de mayo de 2012.
18. Konijnendijk, C. C.; Ricard, R.; Kenney, A.; Randrup, T. B. 2006. Defining Urban Forestry. A Comparative Perspective of North America and Europe. Urban Forestry & Urban Greening. 4: 93-103.
19. Lab-Ferrer. 1999. Environmental research instrumentation. <http://www.decagon.com> Consulta: 5 de mayo de 2012.
20. López Lauenstein, D.; Melchiorre, M.; Verga, A. 2005. Respuestas de los algarrobos al estrés hídrico. Revista IDIA XXI, IFFIVE-INTA Córdoba. Argentina. p. 210-214.
21. Márquez, J.; Dalmasso, A. 2003. Inventario del arbolado público de alineación en el casco céntrico de San José de Jáchal, San Juan. Revista Científica Proambiente. 3(3): 19-26.
22. Martínez, C. F. 2011. Incidencia del déficit hídrico en forestales de ciudades oasis: caso del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. Tesis Doctoral. PROBIOL, Programa de Posgrado en Biología, orientación Ecología. Universidad Nacional de Cuyo.
23. Martínez, C. F.; Roig Juñent, F. A.; Cavagnaro, J. B.; Cantón, M. A. 2009. Arbolado urbano: impacto del estrés hídrico en el crecimiento de forestales jóvenes de uso común en ciudades áridas, Mendoza, Argentina. Revista AVERMA. Cap. 1: 33-36.
24. Martínez Carretero, E. 2008. La flora sinantrópica del área urbana de Mendoza. XXIII Reunión Argentina de Ecología. Universidad Nacional de San Luis, Argentina.
25. McCarthy, H. R.; Pataki, D. E. 2010. Drivers of variability in water use of native and non-native urban trees in the greater Los Angeles area. Urb. Ecosystems. Vol.13(4): 393-414.
26. McPherson, E. G. 1988. Functions of Buffer Plantings in Urban Environments. Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 22/23: 281-298.
27. Méndez, E. 2000. Flora nativa del arbolado público en los centros urbanos. Mendoza, Argentina. Rev. FCA UNCUYO. 32(1): 41-53.

28. Morábito, J.; Martínez Tívoli, J.; Salatino, S.; Mirábile, C. S.; Manzanera, M.; Mastrantonio, L. 2005. Determinación de escenarios de demanda de riego en el área dominada por el río Mendoza. Informe Final Convenio INA-Ministerio Ambiente, Gobierno de Mendoza. p. 23-26.
29. Municipalidad de Capital. 2012. 1° Censo Georreferenciado del Arbolado Público de la Ciudad de Mendoza. Municipalidad de la Ciudad de Mendoza. Inédito.
30. Norman, J. M.; Campbell, G. S. 1989. Canopy structure. *Plant physiological ecology: Field methods and instrumentation*. p. 301-325. In: Percy, R. E.; Ehleringer, J. R.; Mooney, H. A.; Rundel, P. W. (eds.). Chapman and Hall, London, United Kingdom.
31. Riu, N. E.; Settepani, V. 2004. Requerimiento hídrico en álamos de 6 años. Rivadavia (Argentina). *Rev. FCA UNCUYO*. 36(1): 63-68.
32. Roatta, A. 1992. Consideraciones técnicas sobre cuatro especies forestales. *Multequina*. 1: 119-122.
33. Stokes, M. A.; Smiley, T. L. 1968. *An Introduction to Tree-ring Dating*. Chicago. The University of Chicago Press. 73 p.
34. Scholander, P.; Hammel, H.; Bradstreet, E.; Hemmingsen E. 1965. Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148.
35. Schweingruber, F. H. 2007. *Wood structure and environment*. Berlin. Springer-Verlag. p. 89-97.
36. SSRH-INA. 2002. *Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina*. Subsecretaría Rec. Hídricos de la Nación. Instituto Nacional del Agua. CD-Rom. Buenos Aires.
37. Taiz, L.; Zeiger, E. 2003. *Plant Physiology*. Benjamin/Cummings Publishing Co. Inc. 380 p.
38. Thompson, R.; Pillsbury, N.; Hanna, R. 1994. *The Elements of Sustainability in Urban Forestry*. California. Department of Forestry and Fire Protection Riverside. 56 p.
39. Universidad Nacional de Córdoba. 2008. Programa Estadístico InfoStat. <http://www.infostat.com.ar> Consulta: 2 de diciembre de 2011.
40. Whitlow, T. H., Bassuk, N. L.; Reichert, D. L. 1992. A 3-year study of water relations of urban street trees. *J. Applied Ecol.* 29: 436-450.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica
por la financiación de becas y proyectos (PICT 2415/2006).

A los técnicos Hugo Debandi, Gualberto Zalazar, Alberto Ripalta y Enrique Barrio
por su colaboración durante el ensayo experimental. A los revisores que enriquecieron el manuscrito.