



## SUSTENTABILIDAD DEL BOSQUE URBANO: USO EFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO EN CIUDADES DE ZONAS ÁRIDAS. Análisis de especies forestales de uso urbano en el Área Metropolitana de Mendoza.

Claudia F. Martínez<sup>1\*</sup>, M. Alicia Cantón<sup>2\*</sup>, Fidel A. Roig<sup>2\*\*</sup>, J. B. Cavagnaro<sup>2\*\*\*</sup>

\* Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA).

\*\* Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA).

\*\*\* Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias (U. N. CUYO)

CCT CONICET Mendoza, Argentina. C.C.131 C.P. 5500. Tel. 0261-5244310. Fax 0261-5244001.

E-mail: [cmartinez@mendoza-conicet.gov.ar](mailto:cmartinez@mendoza-conicet.gov.ar)

**RESUMEN:** El modelo urbano del Área Metropolitana de Mendoza se sustenta ambientalmente en una matriz forestal asociada a un sistema de riego conducido. Dada la condición árida del emplazamiento y con el objeto de postular estrategias que garanticen la permanencia del verde en el medio urbano, este trabajo cuantifica el grado de tolerancia al déficit hídrico que alcanzan las especies forestales que conforman el bosque urbano de Mendoza.

Se presenta la metodología de análisis y los resultados de la evaluación del impacto de tratamientos de restricción hídrica en el crecimiento de ejemplares jóvenes de dos especies arbóreas representativas del arbolado en alineación: *Acacia visco* - especie nativa- y *Morus alba* -exótica introducida-.

Los resultados muestran que las variables de crecimiento altura y diámetro de tallos están directamente relacionadas a la disponibilidad del recurso hídrico. Un riego deficitario controlado que aporta el 66% del agua transpirada resulta en crecimiento comparable al testigo para *Acacia visco*.

**Palabras clave:** bosque urbano, déficit hídrico, desarrollo sustentable

### INTRODUCCIÓN

#### *Marco teórico*

La sustentabilidad ambiental de las ciudades del siglo XXI enfrenta numerosos retos asociados al recurso forestal y sus ecosistemas relacionados (Konijnendijk et al., 2005). En los últimos años se han desarrollado a nivel mundial enfoques integrales y estratégicos para promocionar y desarrollar recursos forestales que atiendan las múltiples demandas urbanas de la actualidad. La implementación de estos enfoques merece atender el contexto geográfico y ambiental en el que se insertan las ciudades, y los recursos bióticos y abióticos disponibles para un desarrollo sustentable de las mismas.

Dada la complejidad de la planificación y la gestión de los recursos naturales presentes en sociedades urbanas altamente dinámicas, se necesitan enfoques que se extiendan más allá de los límites tradicionales y que involucren una amplia gama de disciplinas tales como la Ecología urbana, la Dendrocronología, la Fisiología Vegetal, el Urbanismo y la Bioclimatología, entre otras (Joss, 1987; Di Pace & Carida Bartrons, 2004; Malignoux, 2007). Considerar estas disciplinas orientadas específicamente a entornos urbanos, aportan herramientas y estrategias que permiten atenuar los impactos negativos de la acelerada urbanización. Estas nuevas perspectivas apuntan, además, a reconocer los múltiples beneficios que proporciona la interdisciplinariedad a nivel urbano, así como el rol que estas áreas pueden jugar en el desarrollo sustentable de nuestras ciudades. Implantar áreas boscosas en ciudades y cercanas a centros urbanos aporta beneficios desde la óptica ambiental, energética, ecológica, estética y recreativa (Akbari et al., 1992; McPherson, 1988; Dwyer et al., 2002), los cuales se potencian cuando las ciudades se insertan en zonas áridas y semiáridas.

No obstante la condición de aridez como factor limitante, iniciativas en países del Hemisferio Oriental (Túnez, Mali, Irán) como Occidental (EE UU, México) incluyen el establecimiento de cinturones verdes alrededor de las ciudades, creando parques urbanos y periurbanos y arboledas de desarrollo longitudinal en rutas y caminos. Esta estrategia sumada al enverdecimiento de la trama urbana -en particular el arbolado de calles- permite la constitución de una red de estructuras verdes que potencian los beneficios ambientales (Konijnendijk et al., 2005). Sin embargo es imprescindible tomar en consideración la disponibilidad de los recursos esenciales al crecimiento de dichas estructuras verdes (suelo, agua,

<sup>1</sup> Becaria Postdoctoral CONICET

<sup>2</sup> Investigador CONICET

oxigenación, nutrientes) así como las condiciones favorables para la implantación de árboles y su posterior establecimiento y desarrollo vegetativo (ausencia de factores contaminantes, manejo hídrico y sanitario apropiados, etc.). En el caso de forestaciones de ciudades de alta aridez, a menudo los problemas aparecen cuando la irrigación no puede ser sostenida a largo plazo debido a la escasez de agua o a interferencias en la distribución del riego.

El bosque urbano existente en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), Argentina, se ve afectado en sus patrones de crecimiento por el aporte hídrico irregular proveniente del riego conducido o de las acotadas precipitaciones anuales.

El impacto del déficit hídrico influye sobre el crecimiento y la longevidad de los árboles que lo integran, según las distintas especies forestales que se considere (Martínez et al., 2008). Esta incidencia compromete el rol que juega el recurso forestal en un emplazamiento árido, donde sus principales funciones son la construcción de sombras y la mitigación de las condiciones climáticas propias de un ambiente desértico.

El estudio de la influencia del déficit hídrico en el crecimiento de árboles es de alta importancia para la sustentabilidad del bosque urbano de Mendoza, dado que su permanencia está supeditada al aporte de agua de riego. Un riego eficiente basado en el conocimiento de la fisiología del uso del agua por parte de los árboles, según especies y edades, posibilitaría controlar el estado de deterioro que se observa actualmente en muchas arboledas de la ciudad (Ganci, 1995; Cantón et al., 2003; Herrera et al., 2004; Martínez et al., 2011).

La irregularidad de los aportes hídricos para la irrigación de los árboles se debe a numerosos factores: modificación de las acequias o canales de riego por impermeabilizaciones, alto porcentaje de superficies selladas en el entorno mediato de los forestales y reducciones en la cantidad efectiva del recurso hídrico destinado al riego urbano. En base al estado de situación descrito este trabajo plantea los siguientes objetivos:

- Cuantificar el impacto del déficit hídrico en el crecimiento de especies forestales de uso común en el ambiente urbano del Área Metropolitana de Mendoza (AMM).
- Determinar la variación del crecimiento en términos de altura y diámetro de tallos en relación a distintos niveles de aporte hídrico.
- Generar conocimiento para la selección de las especies más apropiadas al medio urbano del AMM en vistas a futuros replantes o recambios forestales, como también establecer pautas para un plan de manejo sustentable.

#### *Herramientas de trabajo*

El análisis del complejo escenario en el que vegetan los árboles en la ciudad merece recurrir a varias disciplinas para el abordaje del diagnóstico y la evaluación del desarrollo vegetativo. Por tanto se justifica recurrir a los siguientes campos científicos:

**A. → Urbanismo:** la forestación en medios urbanos implica la presencia de elementos vivos afectados por numerosas variables urbano-edilicias tales como densidad constructiva, ancho y orientación de canales viales, contaminación ambiental, disponibilidad, competencia por recursos ligados al crecimiento y demás variables de origen antrópico. Dichas variables influyen en distinta medida en el crecimiento y la longevidad de los árboles (Correa, 2006).

**B. → Dendrocronología:** esta disciplina permite comprender la relación entre los anillos de crecimiento y las variables ambientales, a partir de la definición de los parámetros climáticos que tienen mayor influencia en el crecimiento (Fritts, 1976). Permite además detectar los cambios de largo plazo en el crecimiento mediante la estimación de influencias ambientales y de manejo en los últimos cien años. Es decir que el análisis de anillos de crecimiento es un buen indicador del grado de respuesta de distintas especies a la variabilidad del recurso hídrico (Schwingruber, 1996).

**C. → Fisiología Vegetal:** esta disciplina aporta técnicas específicas que permiten cuantificar la respuesta del crecimiento de los árboles a variaciones conocidas del recurso hídrico, mediante el diseño de ensayos experimentales bajo condiciones controladas (Taiz & Zeiger, 2003). Es fragmentado aún el conocimiento de los mecanismos que gobiernan las respuestas de los distintos forestales del bosque urbano a variaciones del recurso hídrico. La cuantificación de variables de crecimiento tales como altura, diámetro de tallos y área foliar, así como la medición del estado hídrico y la transpiración son consideradas para establecer cómo la disponibilidad de agua o el uso eficiente de este recurso determinan respuestas diferenciales en el crecimiento de los árboles (Salisbury & Ross, 2003).

La metodología de análisis empleada en este artículo y los resultados obtenidos se presentan en torno a este último campo disciplinar.

## **METODOLOGIA**

El crecimiento del bosque urbano depende de un conjunto de factores intrínsecos a las especies y al medio en el que se insertan. Para el AMM se han identificado variables que influyen de manera significativa en la expresión vegetativa de los forestales. Dichas variables pueden agruparse en: Variables Edilicias, Variables Urbanas y Variables inherentes al Arbolado. Dada la complejidad de las variables urbano-edilicias que impactan en el desarrollo del arbolado y mientras se estudian estos aspectos en los árboles adultos de la ciudad, se ha realizado un ensayo experimental con árboles jóvenes, bajo condiciones controladas en vivero, a los efectos de evaluar la influencia del estrés hídrico en el crecimiento forestal y el comportamiento de distintas especies arbóreas utilizadas en forestación urbana.

#### *Diseño experimental: Ensayo de vivero bajo condiciones de riego controlado*

Para cuantificar sólo el impacto del aporte hídrico en el crecimiento de los árboles se realizó un ensayo experimental bajo condiciones controladas de riego con árboles jóvenes en condición de vivero (Whitlow et al., 1992).

De las cuatro especies de uso frecuente en el arbolado urbano del AMM, se considera por un lado “acacia visco” (*Acacia visco*), especie forestal nativa oriunda de ecosistemas áridos del Centro NO de Argentina y de Bolivia, y de bajo requerimiento hídrico (300mm/año). Por otro lado y en forma opuesta se ha seleccionado a la especie “morera” (*Morus alba*) en representación de la flora introducida, oriunda de Asia, cuyo consumo de agua es del orden de 700mm/año (Fig.

1-B y C). Ambas representan el 41,69% del arbolado de alineación del Área Metropolitana de Mendoza (Mendez, 2000; Cantón et al., 2003).



Se eligieron 30 unidades de análisis por especies, que resultaron en ejemplares jóvenes de 2 años de edad, colocados en macetas con sustrato semejante al usado por los municipios metropolitanos en tareas de replante (Martínez, 2011). Para evaluar sólo el agua transpirada, las macetas se protegieron con una cobertura plástica a modo de sombrero para impedir cualquier aporte hídrico adicional (agua de lluvia, rocío, etc.). Asimismo, cada maceta se colocó sobre una bandeja colectora del agua de drenaje, para ser reincorporada respetando la dosis de riego calculada según tratamientos.

El ensayo experimental se desarrolló en el predio del vivero IADIZA ubicado dentro del CCT-CONICET Mendoza, Parque Gral. San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina (Latitud 32° 53' S, Longitud 68° 52' W y 838 m.s.n.m.) (Fig. 2). Para evaluar el comportamiento de las dos especies a distintos niveles de restricción hídrica, las plantas se sometieron a tres tratamientos de riego:

**Tratamiento T1: RIEGO TESTIGO: se aportó el 100% del agua transpirada;**

**Tratamiento T2: RIEGO CON DEFICIT HÍDRICO MODERADO: se repuso el 66% del agua transpirada, y**

**Tratamiento T3: RIEGO CON DEFICIT HÍDRICO SEVERO: se aportó sólo el 33% % del agua transpirada.**

Cada tratamiento se aplicó a 10 plantas por especie (10 repeticiones).

El cálculo de la cuota de riego a incorporar se realizó en forma gravimétrica por diferencia de peso entre el valor inicial de la maceta con la planta a capacidad de campo y el valor del peso actual de cada unidad de análisis.

La frecuencia de riego se estableció en dos veces por semana durante el ciclo de crecimiento activo (agosto a mayo) y quincenal para los meses de receso vegetativo a partir de la caída uniforme de hojas para la mayoría de las especies.

La duración del ensayo fue de tres ciclos vegetativos: Enero 2007 – Marzo 2010.

Durante el período de experimentación se aplicaron 210 riegos.



Figura 2: Diseño experimental en vivero. Lote de plantas de: *Acacia visco*(especie nativa) y *Morus alba* (exótica)

#### Medición de variables de crecimiento

Las variables de crecimiento medidas para cumplir los objetivos propuestos fueron: altura de los árboles, diámetro de tallos, área foliar y ancho de anillos de crecimiento. De este conjunto se presenta el procedimiento de medición y los resultados correspondientes a *altura de plantas* y *diámetro de tallos*:

- *Altura de plantas*: se midió desde la base de la maceta hasta el extremo apical principal de cada planta mediante cinta métrica graduada al milímetro.
- *Diámetro de tallos*: la medida se hizo a la altura del cuello de la planta, en coincidencia con el borde de la maceta, con calibre de precisión milimétrica.

Las mediciones se realizaron con frecuencia mensual para todos los ejemplares desde el inicio del ensayo experimental y durante tres ciclos vegetativos consecutivos (2007-2010). Durante el ensayo experimental se realizaron registros instrumentales con frecuencia mensual de las variables climáticas relacionadas a temperaturas, precipitaciones, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento (Martínez, 2011).

También se cuantificaron variables relacionadas a la actividad fisiológica tales como:

-

- Potencial hídrico xilemático: es uno de los componentes del Potencial Agua Total. Indica el estado hídrico de la planta y se puede asociar a la capacidad de entrega de agua desde el suelo. La cuantificación se realiza mediante cámara de presión o bomba de Scholander (Scholander *et al.*, 1965; Turner *et al.*, 1979).
- Conductancia estomática: es un indicador de estrés hídrico que determina las pérdidas de vapor de agua a través de los estomas de una hoja y el ingreso de CO<sub>2</sub>. Su función es minimizar la transpiración y maximizar la fotosíntesis. Su medición se realiza con Porómetro (Taiz & Zeiger, 2003).
- Desarrollo de fases fenológicas: La fenología estudia los cambios visibles de los procesos vitales básicos que se producen en un vegetal, en el transcurso de un ciclo de crecimiento y cómo afectan las variables meteorológicas a dichas manifestaciones periódicas o estacionales. Se denomina “fase fenológica” a la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales, tales como: brotación, floración, aparición de frutos, amarillamiento de hojas, inicio de caída de hojas, entre otras (Torres, 1995). Para el presente ensayo se realizó el seguimiento fenológico, durante el periodo de evaluación, para las siguientes fases: hinchamiento de yemas, desarrollo foliar, cambio de color y caída de hojas. La medición del Potencial hídrico xilemático y Conductancia estomática y su relación con las variables altura y diámetro de tallos evaluadas en este trabajo, se presentarán en futuros trabajos.

### Análisis Estadístico

El análisis estadístico correspondiente a la evolución de las variables cuantitativas continuas Altura (*medida en metros*) y Diámetro de tallos (*medido en centímetros*) para las especies seleccionadas y para los tres tratamientos aplicados se realizó mediante el programa InfoStat/L.

En cada unidad de análisis (plantas) se midieron las dos variables descriptas en el punto 2, por tanto cada individuo estuvo caracterizado por dos observaciones. Esto permitió considerar el crecimiento como una variable bidimensional.

Para el tratamiento de los datos, se ordenaron las mediciones realizadas durante el ensayo experimental según los valores medidos al inicio y al final del mismo para las especies analizadas bajo tres niveles de riego (T1:Testigo, T2:Déficit moderado y T3:Déficit severo). Se realizó la exploración de los datos generales y de los datos discriminados por especie y tratamiento de riego. Se calcularon los estadígrafos correspondientes a las medidas de resumen: media, varianza, mediana, cuartiles, curtosis, asimetría y coeficiente de variación. Se realizaron gráficos de caja (box-plot) para tener una aproximación de la variabilidad de los datos. Para verificar la existencia de una asociación entre las dos variables se realizó el gráfico de dispersión y se calculó el coeficiente de Pearson, los cuales indicaron que existe relación entre las variables consideradas. Por tanto se realizó una regresión lineal, bajo las siguientes hipótesis:

**H0: la pendiente b=0, es decir no hay relación lineal.**

**H1: hay relación lineal entre altura final y diámetro final.**

La bondad del ajuste arrojó un coeficiente bajo (0.15), por tanto se ajustó el modelo a una regresión cuadrática, con las correspondientes hipótesis. Con el objeto de evaluar las medias de los distintos tratamientos se planteó el siguiente Test de Hipótesis:

**H0: el nivel de riego no afecta el crecimiento en altura y diámetro para las especies evaluadas.**

**H1: bajo riegos deficitarios alguna de las especies manifiestan mayor crecimiento en altura y diámetro respecto de los testigos.**

Para probar dicho test se realizó el Análisis de la Varianza (ANOVA) tomando en cuenta los valores iniciales (Agosto 2007) y finales (Marzo 2010) de las variables medidas para cada especie y cada nivel de riego.

## RESULTADOS

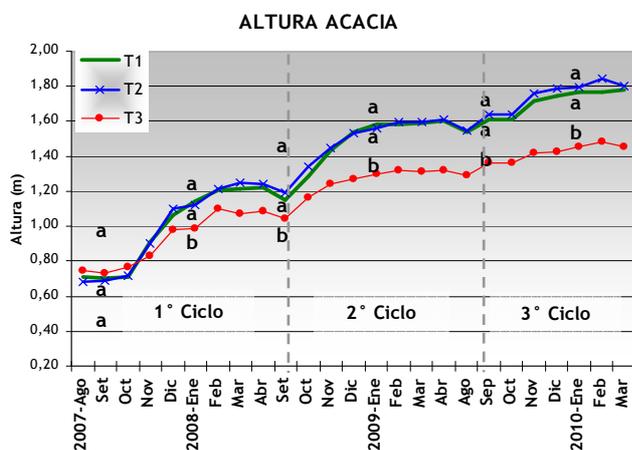
### Evolución de las variables de crecimiento

Los resultados obtenidos se analizaron mediante la descripción de las curvas de crecimiento para cada variable a lo largo de los tres ciclos de análisis. Durante el primer ciclo de crecimiento la mayoría de las plantas evidenciaron su aclimatación a las nuevas condiciones de cultivo y a los tratamientos aplicados, con algunas fluctuaciones en el desarrollo de las curvas.

Las comparaciones entre tratamientos se realizaron mediante Test de Tukey (Tukey, 1977) para cada especie considerando las medias de los tres tratamientos.

### A- Altura de plantas

a-



### Acacia visco (Fig. 3-a)

Durante el primer ciclo se observó un inicio del crecimiento similar para todas las plantas en los tres tratamientos, que se mantuvo hasta las mediciones de octubre-noviembre de 2007. A partir de esta fecha se manifiesta el efecto de los tratamientos. Como se observa en la Figura 3-A, las plantas del tratamiento testigo T1 y del tratamiento de déficit hídrico moderado T2, mostraron un aumento sostenido en altura, mientras que las plantas afectadas por el tratamiento bajo déficit severo T3 desarrollaron menores valores de altura. Este desarrollo de las curvas de crecimiento se mantuvo hasta el final del ensayo, con pequeñas diferencias respecto de la iniciación o finalización de cada ciclo. Es decir que, ya desde el curso del primer ciclo vegetativo y hasta el final del ensayo, las tres curvas mostraron una evolución semejante, aunque con diferencias marcadas entre los tratamientos T1 y T2 respecto a T3.

b-

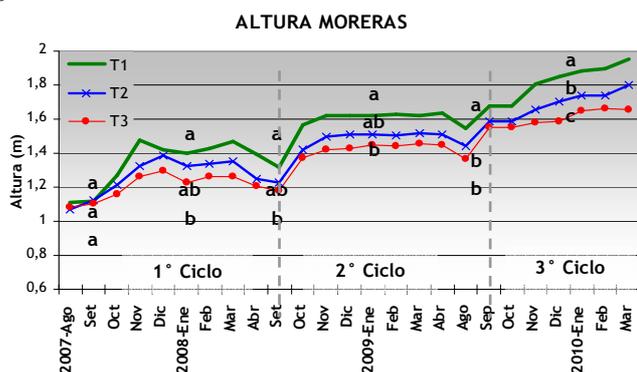


Figura 3: Evolución del crecimiento en ALTURA para las dos especies (a- Acacia; b- Morera). Valores medios de mediciones mensuales durante los tres ciclos de ensayo. Las líneas punteadas indican cada ciclo de crecimiento analizado. Letras distintas indican diferencias significativas para los meses de septiembre y enero (Test de Tukey:  $\alpha \leq 0,05$ ).

*Morus alba* (Fig. 3-b)

Durante el inicio del primer ciclo de análisis, se observaron fluctuaciones en las curvas que pueden ser asignadas a características propias del período de adaptación. La disponibilidad hídrica diferencial incidió claramente en el crecimiento en altura desde el comienzo del ensayo. A partir del inicio del segundo ciclo se observó un incremento sostenido del crecimiento debido a la elongación de tallos durante la primavera. Al iniciarse el verano, la curva se estabilizó. Esta situación no se repitió en el tercer ciclo, donde el crecimiento aumentó a medida que avanzaba la estación estival, sin observarse un efecto de meseta en las curvas como en el ciclo anterior. Al finalizar el ensayo, se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos, es decir a menor aporte hídrico, menor altura de plantas. Las disminuciones del crecimiento observadas entre agosto y septiembre del 2008 y 2009, se relacionan a la incidencia de heladas tardías que afectaron los brotes apicales.

El análisis del desarrollo de las curvas de crecimiento se complementa con el análisis de los valores absolutos resultantes de la diferencia de altura entre el inicio y el final del ensayo, y expresados en valores porcentuales y relativos. Es decir relacionando el porcentaje de crecimiento de las plantas bajo tratamientos deficitarios (T2 y T3) en referencia a los valores logrados por las plantas testigo (T1) como puede visualizarse en la Tabla 1:

TRATAMIENTO	ACACIA VISCO			MORERA		
	Variación (m)	Valor relativo (%)	Valor relativo al T1 (%)	Variación (m)	Valor relativo (%)	Valor relativo al T1 (%)
T1 Testigo	1,07	150,70		0,84	75,68	
T2 Déficit moderado	1,12	164,71	1	0,73	68,22	-8
T3 Déficit severo	0,70	93,33	-19	0,57	52,78	-15

Tabla 1: Variación en valores absolutos (m), porcentuales (%) y relativos al tratamiento T1 (%) de la variable ALTURA para las dos especies y los tres tratamientos entre el inicio y final del periodo de ensayo (Agosto 2007-Marzo 2010).

*Acacia visco*: Al finalizar el tercer ciclo del ensayo, las plantas testigo (T1) incrementaron su altura en un 150,70%; las plantas bajo riego deficitario moderado (T2) en un 164,71% y las plantas bajo déficit severo sólo incrementaron su altura un 93,33% (Tabla 1). Si bien el crecimiento fue mayor en el tratamiento T2, no se observaron diferencias significativas con el testigo T1, cuando se repuso sólo el 66% del agua transpirada. El análisis de los valores relativos obtenidos de la comparación entre los tratamientos T2 y T3 respecto del testigo T1, indicaron un aumento en altura del 1% para las plantas del tratamiento T2, mientras que para las plantas sometidas a un déficit hídrico severo se observó un menor crecimiento, del orden del 19%.

*Morus alba*: En términos porcentuales, el aumento de crecimiento fue mayor a medida que aumentó la disponibilidad hídrica en el sustrato. En términos relativos al testigo T1, las plantas bajo déficit intermedio (T2) disminuyeron su crecimiento un 8% mientras que las plantas bajo déficit severo (T3) la disminución fue del orden del 15% (Tabla 1). Para esta especie, el crecimiento en altura disminuye cuando se limita la disponibilidad hídrica, con diferencias significativas entre los tres tratamientos aplicados.

#### Síntesis de los principales resultados de la variable ALTURA

El crecimiento en altura en las especies evaluadas se vio más influenciado por la aplicación del tratamiento de déficit hídrico severo T3, con diferencias significativas en todos los casos respecto de las plantas testigo T1 (Fig. 4).

*Acacia visco* al estado juvenil presentó un crecimiento similar con tratamientos de riego al 100% de su pérdida por transpiración (T1) y con riegos deficitarios moderados (T2). Esto permite inferir que una restricción hídrica intermedia no afectaría significativamente el crecimiento en altura de las plantas evaluadas.

*Morus alba* presentó diferencias significativas para los tres tratamientos aplicados, es decir que bajo cualquier nivel de restricción hídrica se afecta el crecimiento de esta especie al estado juvenil.

*A. visco* si bien no mostró diferencias estadísticas entre el testigo (T1) y el déficit hídrico moderado (T2), en términos de valores absolutos las plantas bajo restricción moderada evidenciaron un crecimiento mayor con menor aporte hídrico.

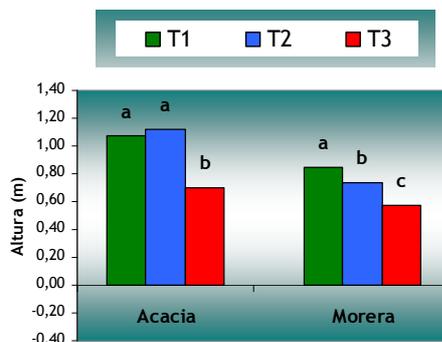
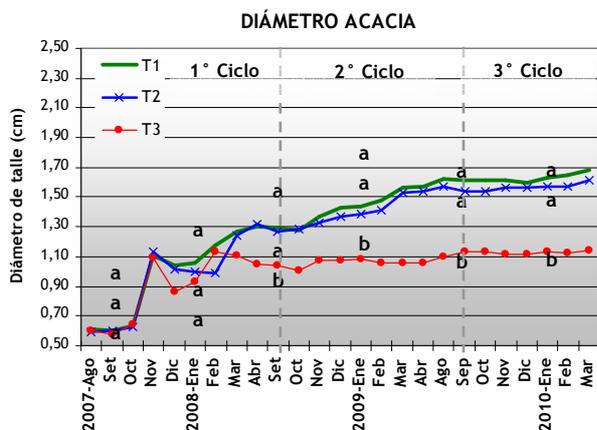


Figura 4: Crecimiento en Altura durante el período de ensayo para las cuatro especies evaluadas. Letras distintas indican diferencias significativas según el Test de Tukey aplicado a la diferencia de alturas entre valores finales e iniciales, para un  $\alpha \leq 0,05$ .

B - Diámetro de tallo

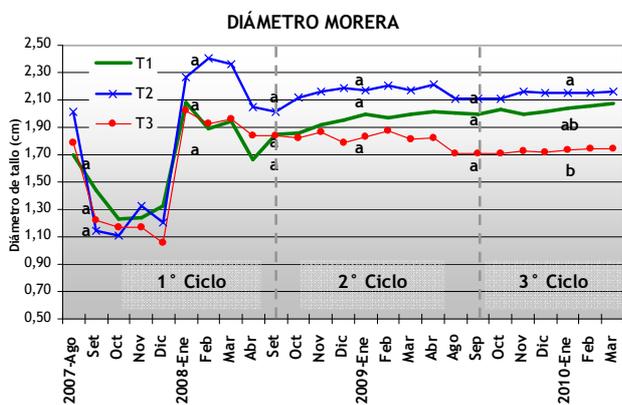
a-



Acacia visco (Fig. 5-a)

Si bien el inicio del primer ciclo de análisis mostró un crecimiento sostenido para los tres tratamientos, a partir de diciembre 2007 comenzó a evidenciarse el efecto de los tratamientos en el diámetro de los tallos, con disminuciones en los valores que luego fueron superados en el resto de la estación de crecimiento. Esto se observó particularmente para las plantas bajo los tratamientos T1 y T2. El retardo relativo en el inicio de estos crecimientos durante el primer ciclo probablemente esté vinculado a la respuesta de las plantas a las nuevas condiciones de crecimiento. En el segundo ciclo, el crecimiento de tallos fue constante y sostenido para todos los tratamientos hasta finalizarlo. La curva correspondiente al tratamiento T3 se estabilizó a partir del mes de noviembre 2008 y hasta el final del ensayo, con valores medios de diámetro de tallos inferiores a los registrados en las plantas bajo los tratamientos T1 y T2.

b-



Morus alba (Fig. 5-b)

En el primer ciclo de crecimiento se registraron importantes fluctuaciones en el diámetro de tallos, seguramente asignables a la etapa de adaptación a las nuevas condiciones de crecimiento en vivero y a la aplicación de los distintos tratamientos de riego. Al inicio de este ciclo se produjeron disminuciones en los valores del crecimiento del diámetro del tallo de todas las plantas, continuados por un repentino aumento a partir del mes de enero 2008. Este incremento y algunas fluctuaciones se estabilizaron a partir de septiembre 2008. Durante el segundo ciclo de análisis las curvas de los tres tratamientos manifestaron uniformidad respecto de su evolución, con una leve tendencia de aumento. A partir de este ciclo se observaron mayores diámetros de tallos para las plantas bajo déficit moderado (T2) en comparación con los otros dos tratamientos. No obstante, recién a partir del tercer ciclo de análisis se presentaron diferencias significativas entre las plantas de los tratamientos T1 y T2 respecto de T3.

Figura 5: Evolución del DIÁMETRO DE TALLOS para las dos especies (a- Acacia; b- Morera). Valores medios de mediciones mensuales durante los tres ciclos de ensayo. Las líneas punteadas indican cada ciclo de crecimiento. Letras distintas indican diferencias significativas para los meses de septiembre y enero (Test de Tukey:  $\alpha \leq 0,05$ ).

Como en el caso del análisis de Altura, para la variable Diámetro de tallos también se complementa el análisis del desarrollo de las curvas con el análisis de los valores absolutos resultantes de la diferencia de diámetro entre el inicio y el final del ensayo, y expresados en valores porcentuales y relativos. Es decir relacionando el porcentaje de crecimiento de las plantas bajo tratamientos deficitarios (T2 y T3) en referencia a los valores logrados por las plantas testigo (T1) como puede visualizarse en la Tabla 2:

TRATAMIENTO	ACACIA VISCO			MORERA		
	Variación		Valor relativo al T1 (%)	Variación		Valor relativo al T1 (%)
	(cm)	%		(cm)	%	
T 1 - 100% Testigo	1,07	175,41		0,66	21,76	
T 2 - 66% Déficit moderado	1,02	170,00	-4	0,41	7,46	4
T 3 - 33% Déficit severo	0,53	86,89	-32	0,24	-2,23	-15

Tabla 2: Variación en valores absolutos (cm), porcentuales (%) y relativos al tratamiento T1 (%) de la variable Diámetro de tallos para las cuatro especies y los tres tratamientos entre inicio y final del periodo de ensayo (Agosto 2007-Marzo 2010).

*Acacia visco*: El crecimiento en diámetro en términos porcentuales fue mayor a medida que aumentó el aporte de agua de riego (Tabla 2). En términos relativos al testigo T1, las plantas bajo el tratamiento T2 presentaron una disminución del diámetro del 4%, mientras que la disminución fue del 32% para las plantas bajo el tratamiento T3. Al igual que para la altura, hay diferencias significativas para el tratamiento T3 respecto de T1 y T2.

*Morus alba*: Los valores porcentuales calculados en relación al testigo T1, indicaron que las plantas bajo el tratamiento T2 aumentaron un 4% su crecimiento diametral. Por el contrario, las plantas bajo el tratamiento T3 presentaron una contracción de los tallos del 15% respecto de las plantas testigo. Los valores medios del diámetro de tallos en las plantas sometidas a un déficit hídrico moderado (T2) fueron mayores en relación al testigo (T1), aunque sin diferencias significativas entre ambos (Tabla 2). Una disminución moderada del aporte hídrico (T2) no afectaría significativamente el crecimiento en diámetro de tallos de esta especie.

#### Síntesis de principales resultados de la variable DIÁMETRO DE TALLOS

La diferencia de diámetro de los tallos medido entre el inicio y el final del ensayo para cada especie, disminuyó para los tratamientos de riego deficitario severo (T3) en referencia al testigo (T1).

*Acacia visco* obtuvo el mayor rango de crecimiento diametral (175,41% - 86,89%), mostrando que con un riego deficitario intermedio (T2) las plantas tuvieron un crecimiento en diámetro semejante al testigo (T1).

*Morus alba* manifestó un menor rango de variación porcentual para los distintos tratamientos (21,76%; -2,23%), con una reducción del 15% en el tratamiento T3, indicando un efecto negativo en el crecimiento bajo riego deficitario severo; además el 20% de las plantas bajo este tratamiento se secaron antes de terminar el ensayo (Febrero 2010).

La Figura 6 muestra la variación conjunta del diámetro de tallos entre el inicio y el final del ensayo para cada una de las especies evaluadas y los tratamientos aplicados.

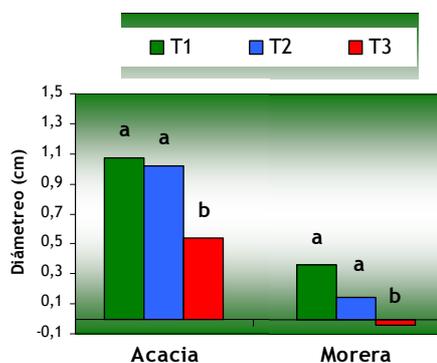


Figura 6: Crecimiento en Diámetro de tallo durante el período de ensayo para las especies evaluadas. Letras distintas indican diferencias significativas según el Test de Tukey aplicado a la diferencia entre valores medios finales e iniciales para un  $\alpha \leq 0,05$ .

#### Resultados del análisis estadístico aplicado

##### Estadística Descriptiva

El análisis de los datos generales arroja que los valores medios de las variables al final del ensayo son mayores que al inicio, con los siguientes rangos de valores medios: 1.80-1.45m para altura de acacias, 1.86-1.61m para altura de moreras; y 1.68-1.14cm para diámetro de acacias y 2.16-1.75cm para el diámetro de moreras. La mediana y la media en general no coincidieron pero se encuentran muy cercanas entre sí. Los coeficientes de variación se encuentran en un rango del 15 al 23%. Tanto el coeficiente de asimetría como el de curtosis varían en signo y magnitud según la variable considerada.

En el caso de las medidas de resumen para cada especie y tratamiento de riego, se observan algunas diferencias que se aprecian mejor en los gráficos de caja o box-plot (Fig. 7). Éstos permitieron observar una mayor variabilidad en los datos para las plantas bajo el tratamiento T2, respecto de los otros dos que puede ser atribuido a que, al disminuir la cuota de riego al 66% del requerimiento por transpiración, las plantas responden con alta variabilidad en el crecimiento.

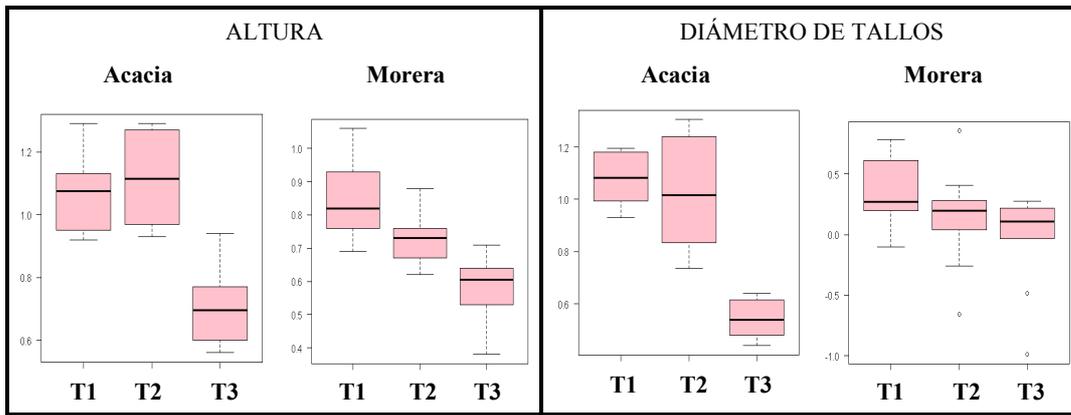


Figura 7: Gráficos de cajas o box plot para la diferencia de valores finales e iniciales. En ordenadas se indica la altura en metros o el diámetro en centímetros y en abscisas cada tratamiento. Se indica el Rango Intercuartílico ( $Q_3-Q_1$ ) mediante el rectángulo o caja, la Mediana a través de la línea horizontal que da idea de la simetría de la distribución y las patillas indican la Dispersión de los datos.

**Análisis de Regresión**

El análisis de regresión lineal indica que la relación entre altura final y diámetro final responde a una asociación lineal. Pero visto el coeficiente  $r^2=0.15$ , el ajuste no fue bueno, y el modelo sólo explicó el 15% de la variabilidad. El análisis de los Residuos estandarizados vs. los valores Predichos muestra cierta tendencia cuadrática. El resultado de esta nueva regresión permitió inferir que existe una relación cuadrática entre altura final y diámetro final. El cálculo del coeficiente de regresión para este modelo fue del 95%.

**Análisis de la Varianza (ANOVA)**

Como resultado de la construcción y el análisis de un gráfico de varianzas en función de medias, se observó la existencia de homogeneidad de varianzas muestrales y se realizó el ANOVA por especie y variable según los modelos indicados en la Tabla 3.

<p><b>a- ANOVA para Altura Final</b>  <math>Y_{1ij} = \mu + \tau_i + aX_{1ij} + \varepsilon_{ij}</math></p>	<p><b>b- ANOVA para Diámetro Final</b>  <math>Y_{2ij} = \mu + \tau_i + aX_{2ij} + \varepsilon_{ij}</math></p>
<p>donde:  <math>Y_{1ij}</math> observación de altura final de la planta del tratamiento <math>i</math> en la repetición <math>j</math>  <math>\mu</math> media poblacional  <math>\tau_i</math> efecto del tratamiento <math>i</math>  <math>X_{1ij}</math> covariable: altura inicial de la planta del tratamiento <math>i</math> en la repetición <math>j</math>  <math>a</math> coeficiente de la covariable <math>X_{1ij}</math>  <math>\varepsilon_{ij}</math> término de error aleatorio asociado a la observación <math>Y_{1ij}</math></p>	<p>donde:  <math>Y_{2ij}</math> observación de diámetro final de tronco del tratamiento <math>i</math> en la repetición <math>j</math>  <math>\mu</math> media poblacional  <math>\tau_i</math> efecto del tratamiento <math>i</math>  <math>X_{2ij}</math> covariable: diámetro inicial de tronco del tratamiento <math>i</math> en la repetición <math>j</math>  <math>a</math> coeficiente de la covariable <math>X_{2ij}</math>  <math>\varepsilon_{ij}</math> término de error aleatorio asociado a la observación <math>Y_{2ij}</math></p>

Tabla 3: Modelos de ANOVA para cada una de las variables analizadas.

Los supuestos de Normalidad y Homocedasticidad se cumplieron en los dos casos. Los resultados del ANOVA indicaron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos para cada especie, según los resultados del test de Tuckey aplicado. Dichas diferencias pueden visualizarse en Figura 8.

ALTURA				DIÁMETRO			
Acacia		Morera		Acacia		Morera	
T3	a	T3	a	T3	a	T3	a
T1	a	T2	b	T2	a	T2	a
T2	b	T1	c	T1	b	T1	b

Figura 8: Resultados de la comparación múltiples de medias. Test de Tukey aplicado por especie para las dos variables analizadas y para un nivel de confianza  $\alpha \leq 0,05$ .

**CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN**

**Conclusiones respecto de las variables de crecimiento analizadas**

La variabilidad en el crecimiento de las plantas indicó durante el primer ciclo del ensayo, procesos de aclimatación y adaptación a un nuevo sustrato y condiciones de crecimiento, con consecuentes implicancias en el inicio del desarrollo vegetativo individual. A partir del segundo ciclo de análisis las plantas comenzaron a reflejar con más claridad la respuesta a la restricción hídrica y a los tratamientos de riego diferencial.

Las diferencias entre las medias de los tratamientos fueron significativas a partir del tercer período evaluado, observando que la evolución del crecimiento en las distintas variables según especie y tratamiento se sostenía en el tiempo.

Para las dos especies evaluadas, las plantas bajo tratamiento de riego deficitario severo (T3) presentaron disminuciones en las dos variables de crecimiento consideradas. Se infiere entonces, que de mantenerse en el tiempo condiciones de estrés hídrico severo, se observarían drásticas disminuciones del crecimiento durante ciclos vegetativos sucesivos como ha sido observado por otros autores (Roig, 1989; Schweingruber, 2007).

#### *Conclusiones respecto del análisis estadístico*

El Análisis de la Varianza (ANOVA) realizado permite inferir las siguientes conclusiones:

- *Respecto de la variable Altura*

*Acacia visco*: el 63% de la variabilidad de los datos es explicada por el modelo. Hay diferencias significativas para el tratamiento T3 respecto de T1 y T2. Es decir que con un riego deficitario moderado (T2) las plantas tienen un crecimiento en altura semejante al testigo (T1), con menos cuota de riego para un nivel de confianza del 95%.

*Morus alba*: el 68% de la variabilidad es explicada por el modelo. Hay diferencias significativas entre los tres tratamientos. A mayor aporte hídrico, mayor crecimiento en altura y en forma inversa, la altura de las plantas se ve afectada ante cualquier nivel de restricción hídrica.

- *Respecto de la variable Diámetro de tallos*

*Acacia visco*: el 85% de la variabilidad es explicada por el modelo estadístico. Al igual que para la altura, hay diferencias significativas entre el tratamiento T3 respecto de T1 y T2. Es decir que con un riego deficitario moderado (T2) las plantas tienen un crecimiento en diámetro semejante al testigo (T1), con menor aporte de riego.

*Morus alba*: el modelo sólo explica el 40% de la variabilidad. Se observan diferencias significativas para los tratamientos T1 y T2 respecto de restricción severa T3.

Para ambas especies el crecimiento en diámetro de tallos disminuyó para los tratamientos de riego deficitario severo T3 en referencia al testigo T1.

Finalmente, del análisis realizado se concluye que hay un efecto diferencial del riego sobre el crecimiento de las dos especies seleccionadas. Realizar un tratamiento estadístico de ANOVA Multivariante podría verificar estas conclusiones.

#### *Consideraciones generales*

La incorporación de vegetación en los espacios urbanos es considerada una importante herramienta de mitigación de los diversos impactos negativos sobre del ambiente construido. Sin embargo la presencia de bosques urbanos en áreas con marcado déficit hídrico obedece a la disponibilidad de agua para su irrigación. Sin este recurso disponible en tiempo y forma se compromete el crecimiento de los árboles y su permanencia en el tiempo en un hábitat con características disímiles a los del ecosistema de origen (sellamiento del suelo, escasez de nutrientes, polución ambiental, intervenciones reiterada por podas, etc).

La evaluación del crecimiento de distintas especies que constituyen el bosque urbano del AMM ha permitido detectar respuestas diferenciales en las variables evaluadas, según el nivel de déficit hídrico aplicado durante tres ciclos vegetativos. El análisis del crecimiento realizado para *A. visco* y *M. alba* ha generado información sobre la biología y la ecología de dos especies que integran de manera relevante el bosque urbano en la ciudad de Mendoza y que además son de uso frecuente en forestaciones de otras ciudades (Nowak, 1994; Saldías, 1994; Dwyer, 2002).

Los resultados alcanzados sugieren que es posible un crecimiento aceptable cuando se emplean cuotas menores de riego a las establecidas para los testigos, con un consecuente ahorro en el recurso hídrico destinado al riego del bosque urbano. Si bien estas determinaciones han involucrado árboles jóvenes, de los resultados obtenidos pueden surgir pautas de manejo forestal que optimicen el uso del recurso hídrico a nivel urbano, al recomendar láminas y frecuencias de riego según especie.

De las dos especies evaluadas y en función de sus respuestas de crecimiento en términos de altura y diámetro de tallos se concluye que *Acacia visco* bajo un riego de déficit hídrico moderado (T2) manifiesta una respuesta elástica ante dicha restricción. Esto sugiere que la posibilidad de ser considerada en la selección de especies arbóreas que por su comportamiento ante condiciones de sequía o limitación hídrica, podría ser incorporada a las nuevas forestaciones de la ciudad de Mendoza.

Los resultados obtenidos pueden ser considerados en el marco de un manejo integrado del bosque urbano inserto en zonas áridas, lo cual propiciaría ciudades energética, económica y ambientalmente sustentables, que contribuyan a la sustentabilidad regional y a un uso racional de los recursos, en particular el recurso hídrico.

#### **REFERENCIAS**

- Akbari H., Davis S., Dorsano S. Huang J. and Winert S. (1992). Cooling our Communities- US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.
- 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 AVERMA. Vol. 7, N° 1: 01.29- 01.34.
- Correa, E.; de Rosa C.; Lesino, G. (2006). Impact of the urban design strategies on the urban climate in arid regions. The case of Mendoza's Metropolitan Area, in Argentina. "Living in Deserts: Is a sustainable urban design still possible in Arid and hot regions". Ghardaïa, Algeria.
- Di Pace, M. y Carida Bartrons, H. (2004). Ecología de la ciudad. 1ª edición, pp. 15-23. Universidad Nac. de Sarmiento, Bs.As. 372 p.

- Dwyer, J.F., Nowak, D.J., and G.W. Watson. (2002). Future directions for urban forestry research in the United States. *Journal of Arboriculture*. 28(6): 221-225.
- Fritts, H.C. 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London. 567p.
- Ganci, C. (1995). Novedades sobre plagas del arbolado público urbano de Mendoza. *Multequina* 4: 89-92, Mendoza, Argentina.
- Herrera, M.C.; S. Carrieri; J. Llera; E. Escribano; L. Cánovas; R.Codina; N. Martinengo; M. Holgado y G. Fasciolo. (2004). Diagnóstico de la calidad del arbolado vial urbano: criterios para una ciudad de zona árida bajo riego. II Reunión Binacional de Ecología 2004.
- Joss, K. (1987). *Urban Dendrochronology*. Proceedings of the International Symposium on Ecological Aspects of Tree-Ring Analysis. New York. Pp 426-429.
- Konijnendijk, C.; Gauthier, M.; Van Veenhuizen, R. (2005). Árboles y Ciudades Creciendo Juntos. *Revista Agricultura Urbana*. Vol. 13: 1-7. [www.ruaf.org](http://www.ruaf.org) - [www.ipes.org/au](http://www.ipes.org/au)
- Malagnoux, M.; Sène, E.H. y Atzmon, N. (2007). Bosques, árboles y agua en las tierras áridas: un equilibrio delicado. *Unasyva* 229, Vol. 58: 24-29.
- Martinez, C. F. (2011). Incidencia del déficit hídrico en forestales de ciudades oasis: caso del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. Tesis Doctoral. Programa de Posgrado en Biología PROBIOL, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina
- Martinez, C.; Roig, F.; Cavagnaro, B.; Cantón, A. (2008). 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.
- McPherson, E.G. (1988) Functions of Buffer Plantings in Urban Environments. *Agric., Ecosystems and Environ.* Vol 22: 281-298.
- Mendez, E. (2000). Flora nativa del arbolado público en los centros urbanos. Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Vol. 32: 41-47.
- Nowak D. J. (1994). Urban forest structure: the state of Chicago's urban forest. McPherson, E. G. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago urban forest climate project. Gen. Tech. Rep. NE-186, 140-164. Radnor, USDA Forest Service.
- Roig, F. A. (1989). Ensayo de detección y control de la desertificación en el Oeste de la Ciudad de Mendoza, desde el punto de vista de la vegetación. En: Roig, F. A. (Ed.) *Detección y Control de la Desertificación UNEP-CONICET/IADIZA-CRICYT*:196-232p.
- Saldías, M. (1994). Guía para uso de árboles en sistemas agroforestales para Santa Cruz, Bolivia. Lawrence A. Pennington T. Johnson J. (Ed.) *Centro de investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical, Royal Botanic Gardens, KEW, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Universidad Gabriel René Moreno, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia*.
- Salisbury, F.; Ross C. W. (2000). 3. *Fisiología de las Plantas*. Editorial Parainfo. 410 p.
- Scholander, P.; Hammel, H.; Bradstreet, E. and Hemmingsen E. (1965). Sap pressure in vascular plants. Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148: 339-346.
- Schweingruber, F. H. (1996). *Tree Rings and Environment: Dendroecology*. Hall Haupt Publishers, Berne and Stuttgart.
- Schweingruber, F. H. (2007). *Wood structure and environment*. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2003). *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company. Inc. 380p.
- Tukey, J. (1977). *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley.
- Turner, N. C. (1979) Stress physiology in crop plants. In H. Mussell and R. C. Staples (eds.). *Interscience*, New York-London. 343p.
- Whitlow, T. H., N. L. Bassuk and D. L. Reichert. (1992). A 3-year study of water relations of urban street trees. *J. Applied Ecol.* 29:436-450.

#### ABSTRACT

The urban development model of Mendoza's Metropolitan Area is based on a forest matrix associated with an irrigation system. Given the arid conditions of the site and in order to apply strategies to ensure the permanence of the green in the urban environment, it is necessary to quantify the degree of water deficit tolerance that reaches the tree-species in the city. The paper presents the methodology and the impact evaluation of water restriction treatments on growth of young trees of two species used in alignment: *Acacia visco*- as a native specie- and *Morus alba* -as an exotic one-. The results show that the growth variables, height and diameter of stems, are directly related to the availability of water resource. A deficit irrigation which provides 66% of the transpired water, results in growth comparable to the witness for *Acacia visco*.

**Keywords:** urban forest, water deficit, sustainable development.