



CÁLCULO DEL RIEGO NECESARIO PARA ÁRBOLES URBANOS, UN RETO ESENCIAL ANTE LA EMERGENCIA CLIMÁTICA

E. Mateos-Martínez ¹, M.E. Figueroa ², J. Cambrollé ³, E. Figueroa-Luque ⁴

^{1,2,3}Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla

⁴Consultoría Estratégica de Servicios y Territorios (CESYT)

¹elematmar@alum.us.es

²figueroa@us.es

³cambrolle@us.es

⁴efigueroa@cesyt.e

RESUMEN

El objetivo del estudio es presentar una metodología para cuantificar la transpiración de las diferentes especies bajo condiciones controladas sin causar daños en la corteza, desarrollando un modelo matemático aplicable a diferentes escenarios climáticos, obteniendo un valor específico de riego para cada especie vegetal en el entorno de plantación según el modelo biométrico observado. Las especies escogidas fueron *Catalpa bignonioides*, *Platanus hispanica* y *Styphnolobium japonicum*, en la ciudad de Sevilla, mostrándose diferencias en cuanto a las necesidades hídricas. La especie con menor necesidad de riego fue *Styphnolobium japonicum*, con 44,92-96,05 hl/año y un valor elevado asociado de WUE (5,87 $\mu\text{moles CO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$). *Catalpa bignonioides* mostró valores intermedios de 70,70- 110,47 hl/año con un WUE de 2,52 $\mu\text{moles CO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$ similar a *Platanus hispanica* (2,85 $\mu\text{moles CO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$) siendo esta última especie la que presentó valores más elevados de gasto hídrico anual (85,30-310,10 hl). El agua procedente de lluvias disponible para la vegetación se reduce a los meses invernales, siendo esencial el riego durante la mayor parte del año. En verano el gasto de agua es mayor, siendo mínimo en invierno debido a la ausencia de hojas de los árboles caducifolios. Durante la primavera aumenta la necesidad de riego, disminuyendo en el otoño.

Palabras clave

Riego, uso eficiente del agua, cambio climático, infraestructura verde urbana, recursos hídricos, transpiración.

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales y el clima están cambiando a nivel global. Los escenarios climáticos futuros prevén un aumento de las temperaturas y una modificación de los regímenes hidrológicos, disminuyendo la frecuencia de lluvias y aumentando su intensidad [1]. La limitación de los recursos hídricos puede llegar a ser un factor limitante para mantener la productividad del arbolado de nuestras ciudades, bajo escenarios futuros más áridos debido al Cambio Climático [2].

El riego de la infraestructura verde urbana es esencial cuando la frecuencia de agua de lluvia no es suficiente para reponer el agua empleada en el proceso de transpiración. Las necesidades hídricas dependerán de las necesidades de crecimiento y desarrollo de la planta. El agua absorbida por las plantas se pierde mayormente por transpiración, siendo una pequeña parte retenida y empleada en el crecimiento y el proceso fotosintético. Se puede considerar por tanto que el consumo de agua es equivalente a la transpiración [3]. El método de cálculo del riego de jardines más generalizado se desarrolla a partir de una serie de datos procedentes del estudio desarrollado por Costello y su equipo en 1999 publicado en el II manual WUCOLS (Water Use Classification of Landscape Species) [4]. Este estudio muestra diferentes coeficientes de referencia para cada especie, agrupados en categorías cualitativas desde muy bajo a alto. Estos datos hacen referencia a plantas ubicadas en diferentes regiones climáticas de California, por lo que debe comprobarse su validez en la región donde se desea aplicar. Esta metodología de cálculo presenta varias limitaciones, como la ausencia de un valor específico para cada tamaño de árbol de una especie determinada o el nivel de poda ejecutado en cada ejemplar, empleándose un valor generalizado de coeficiente de densidad dependiendo del porcentaje de suelo sombreado. Tener en cuenta estos factores es esencial para lograr conocer la cantidad de agua destinada al riego, pues la transpiración total de un árbol depende de la superficie foliar y la luz que penetra a través su copa, que será diferente según el tamaño del árbol, la especie y las podas realizadas.

Determinar el consumo de agua que se da para procesos metabólicos, transpiración y reserva permite estimar el grado de tolerancia de la especie a condiciones de estrés por sequía y formación de embolismo, así como estimar la tolerancia de mortalidad y sobrevivencia en estaciones secas prolongadas [5], además de estimar el potencial impacto de actividades de mantenimiento como la poda [6].

Para reducir la cantidad de agua de riego sin afectar al desarrollo de la planta, conocer la eficiencia en el uso del agua contribuirá sustancialmente a la conservación de este recurso [7,8]. La eficiencia en el uso del agua muestra la relación entre la cantidad de dióxido de carbono absorbido y el gasto de agua asociado por transpiración. Un valor más elevado indica una menor pérdida de agua en relación con el dióxido de carbono captado. Si hay restricciones hídricas para un clima determinado, valores más altos de eficiencia en el uso del agua significan que una determinada especie podrá captar dióxido de carbono con menor disponibilidad de agua. Conocer este dato, así como la evapotranspiración, es esencial para una eficiente y efectiva gestión del agua, empleando un método de riego específico según las necesidades hídricas de las diferentes especies.

Para calcular el gasto de agua de las diferentes especies de árboles, existen diferentes metodologías. Una de las técnicas más empleadas es el método de estimación de flujo de savia por transferencia calórica que consiste en estimar la velocidad a la cual se mueve la savia a través del xilema durante un tiempo determinado mediante un pulso calórico y con

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

ello estimar el volumen de agua que es transportado a una parte del árbol [9]. Esta técnica ocasiona daños en el árbol debido a la perforación del tronco y la retirada de la corteza en la zona de colocación de los sensores.

Para poder estimar el agua necesaria para el mantenimiento de los árboles urbanos sin causar daños en ellos, proponemos un método inocuo basado en medidas de transpiración de las hojas de diferentes especies de árboles a diferentes intensidades de luz, con el fin de establecer una herramienta de cálculo de gasto de agua para cada especie de árbol y tamaño determinado a partir de modelos biométricos específicos del conjunto de arbolado existente. Este cálculo puede aplicarse a diferentes escalas desde la provincial, municipal hasta jardines o parques concretos.

2. METODOLOGÍA

Se estudiaron tres especies de árboles representativas en los ecosistemas urbanos (*Catalpa bignonioides*, *Platanus hispanica* y *Styphnolobium japonicum*) en la ciudad de Sevilla.

Se llevaron a cabo medidas biométricas (diámetro a la altura del pecho (DBH), altura del árbol, anchura de copa, superficie foliar y biomasa) de las especies. Para ello empleamos cinta métrica, ceptómetro (AccuPAR PAR/LAI LP-80), software de análisis de imagen (HOJAS), balanza de precisión y escáner, desarrollando un modelo matemático de cálculo de variables mediante ecuaciones alométricas alimentadas por variables de sencilla medición como el DBH [10]. Esta metodología de cálculo ha sido empleada en numerosos estudios [11;12;13;14;15].

La transpiración y fotosíntesis de las diferentes especies se midió mediante IRGA (Analizador de Gases por Infrarrojos), aclimatando a las especies de estudio a distintas temperaturas (10°C, 20°C y 30°C) y a diferentes intensidades de luz (0-2000 $\mu\text{mol fotonos m}^2\text{s}^{-1}$), manteniéndose el sustrato a capacidad de campo. Las medidas se llevaron a cabo en cámaras climatizadas de los Servicios Generales de Investigación de la Universidad de Sevilla.

3. RESULTADOS

El valor de eficiencia en el uso del agua (WUE, Water Use Efficiency), nos indica cómo de eficientes en el uso del agua son las diferentes especies en los distintos climas. La especie *Styphnolobium japonicum* mostró un valor de WUE de 5,87 $\mu\text{moles CO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$, siendo 2,85 $\mu\text{moles CO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$ para *Platanus hispanica* y 2,52 $\mu\text{moles CO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$ para *Catalpa bignonioides*.

El cálculo del riego asociado para compensar el gasto de agua por transpiración mostró que, la especie *Platanus hispanica* con 11,94 m^2 de hojas requiere de 85,30 hl/año, siendo 310,10 hl/año cuando presenta una superficie foliar de 45,46 m^2 . *Catalpa bignonioides* requiere 70,70hl/año con 42,91 m^2 de hojas, siendo 110,47 hl/año cuando aumenta su desarrollo foliar a 67,06 m^2 . Por último, *Styphnolobium japonicum* mostró un gasto anual de 44,92 hl de agua con 34,1 m^2 de superficie foliar, aumentando a 96,05 hl/año cuando presenta 72,93 m^2 de hojas.

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Si calculamos el gasto de agua por superficie de área foliar, *Platanus hispanica* presenta valores más elevados (6,98 hl/m² de hojas), siendo *Styphnolobium japonicum* la especie que presenta menor gasto de agua con 1,32 hl/m² de hojas durante un año.

Las necesidades de riego se verán modificadas dependiendo de la precipitación y la evapotranspiración potencial de un enclave geográfico concreto. Por ello, para calcular el riego necesario para una especie concreta de árbol, debemos integrar estas variables climatológicas. El presente estudio se localiza en Sevilla, España. En la tabla 1 se muestran los valores promedios de precipitación y evapotranspiración potencial en Sevilla en el periodo histórico 1961-2000, obtenidos de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. La precipitación total anual es de 557 mm siendo la evapotranspiración total anual de 1490 mm, por tanto, existe déficit hídrico. La cantidad de agua evaporada desde la superficie del suelo (EPT) debe ser sumada a la cantidad de agua calculada requerida para compensar el gasto de agua por transpiración.

Tabla 1. Datos de precipitación (P) y evapotranspiración potencial (EPT) de Sevilla, y cálculo del agua de lluvia disponible. Promedios del periodo histórico 1961-2000 de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Junta de Andalucía.

	P media mensual (L/m²)	EPT media mensual (L/m²)	Agua disponible mensual (L/m²)
Enero	66	40	26
Febrero	50	50	0
Marzo	36	90	0
Abril	54	130	0
Mayo	30	180	0
Junio	10	190	0
Julio	2	240	0
Agosto	5	210	0
Septiembre	27	160	0
Octubre	68	100	0
Noviembre	91	60	31
Diciembre	99	40	59




El agua procedente de lluvias disponible para la vegetación se reduce a los meses de mayor intensidad de precipitaciones, siendo en este caso los meses invernales, tomando las prácticas de riego un papel esencial durante la mayor parte del año para asegurar el mantenimiento de la vegetación urbana, especialmente durante el periodo primaveral y estival.

Para elaborar un plan de gestión de los recursos hídricos destinados al riego, es necesario conocer el gasto de agua de cada especie durante las diferentes estaciones del año, especialmente en aquellos meses donde el riego resulta esencial para que la infraestructura verde permanezca en su estado óptimo. La tabla 2 muestra el gasto diario de agua promedio asociado a la transpiración durante las diferentes estaciones del año de las especies incluidas en el estudio. En verano el gasto de agua es mayor, siendo mínimo en invierno debido a la ausencia de hojas de los árboles caducifolios. Durante la primavera aumenta la necesidad de riego, disminuyendo en el otoño.

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Tabla 2. Promedio del gasto diario de agua (litros) para compensar la pérdida de agua por transpiración durante las diferentes estaciones del año en Sevilla.

	 <i>Platanus hispanica</i>	 <i>Catalpa bignonioides</i>	 <i>Styphnolobium japonicum</i>
primavera	26,04	28,66	12,92
verano	39,79	36,51	22,94
otoño	25,80	12,48	12,98
invierno	3,16	0,13	1,08

4. CONCLUSIONES

Las especies de árboles urbanos presentan diferentes necesidades hídricas, siendo variable a lo largo del desarrollo del árbol. Los árboles de mayor tamaño, con una mayor superficie foliar, requieren de un mayor aporte de agua para compensar las necesidades hídricas asociadas al proceso de transpiración. La especie con menor necesidad de riego fue *Styphnolobium japonicum*, con un valor elevado asociado de WUE. *Catalpa bignonioides* mostró valores intermedios, con un WUE similar a *Platanus hispanica*, siendo esta última especie la que presentó valores más elevados de gasto hídrico.

El presente estudio muestra los valores diferenciales de gasto de agua diario durante las diferentes estaciones del año. El gasto de agua es mínimo en invierno, aumentando durante la primavera, alcanzándose valores máximos en verano, disminuyendo las necesidades hídricas durante el otoño.

En la ciudad de Sevilla, los valores de precipitación son mínimos durante el verano, con una evapotranspiración potencial elevada, una situación que se agravará según los escenarios futuros de cambio climático previstos, donde aumentarán los periodos de sequía. Es por ello que conocer ecofisiológicamente las especies de árboles empleadas en los ecosistemas urbanos es esencial y permite establecer un criterio de gestión de los recursos hídricos con el fin de desarrollar medidas para garantizar un uso eficiente del agua, empleando el conocimiento de las necesidades hídricas y WUE en los nuevos planes de plantaciones, facilitando las buenas prácticas de riego, y escogiendo especies cuyo gasto de agua sea menor ante la emergencia climática que vivimos.

La metodología aplicada resulta novedosa, demostrando la capacidad de cuantificar la transpiración de las diferentes especies bajo condiciones controladas sin causar daños en la corteza, desarrollando un modelo matemático aplicable a diferentes escenarios climáticos,

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

obteniendo un valor específico de riego para cada especie vegetal en el entorno de plantación según el modelo biométrico observado.

AGRADECIMIENTOS

Reconocemos al CDTI la financiación de esta investigación a través del proyecto IDI-20180775, en ejecución por la Consultoría Estratégica de Sistemas y Territorios (CESYT) en colaboración con el Grupo de Investigación “Ecología, Citogenética y Recursos Naturales” del Departamento de Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Sevilla.

Nomenclatura

WUE	Water Use Efficiency (Uso eficiente del agua)
DBH	Diameter at Breast Height (Diámetro a la altura del pecho)
P	Precipitación
EPT	Evapotranspiración potencial

REFERENCIAS

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “Climate Change 2021 - the Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. Cambridge University Press, In Press, Published: 9 August 2021.

- [2] Fisher, G., M. Shah, H. van Velthuis and Nachtergaele, F. “Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st Century: methodology and result”, International Institute for Applied Systems Analysis and Food and Agriculture Organization of the United Nations, January. 2002.

- [3] Martín Rodríguez A., Ávila Alabarces R., Plaza Zarza R., Navas Quesada A., Fernández Gómez R., “Manual de riego de jardines”. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. 2003, pp 31.

- [4] L.R. Costello, N.O. Matheny, J.R. Clark and K.S. Jones. “Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Coefficient Method and WUCOLS III". University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources. August. 2000.

- [5] Gandhi, K., & Herms, D. "Direct and indirect effects of alien insect herbivores on ecological processes and interactions in forests of eastern North America". *Biol. Invasions*, 2010. pp. 389–405.
- [6] Alvarado-Barrientos, M., Hernandez-Santana, V., & Asbjornsen, H. "Variability of the radial profile of sap velocity in *Pinus patula* from contrasting stands within the seasonal cloud forest zone of Veracruz, Mexico". *Agric. For. Meteorol.* 2013. pp. 108-119.
- [7] Ferrini Francesco y Fini Alessio. "Sustainable management techniques for trees in the urban areas". *Journal of Biodiversity and Ecological Sciences JBES IAU of Tonekabon Branch Tonekabon, Iran.* 2010.
- [8] Symes Peter and Connellan Geoff. "Water Management Strategies for Urban Trees in Dry Environments: Lessons for the Future". *Arboriculture and Urban Forestry* no 39(3). 2013, pp. 116-124
- [9] Matyssek, R., Wieser, G., Patzner, K., Blaschke, H., & Haberle, K. "Transpiration of forest trees and stands at different altitude: consistencies rather than contrasts?" *Eur JFor Res.* 2009, pp. 579-596
- [10] Parresol B., "Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons". *Forest Science*, no 45(4). 1999, pp. 573-593.
- [11] HH Bartelink "Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L)". *Ann Sci For*, no 54. 1997, pp. 39-50

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

- [12] E. Cienciala, M. Černý, J. Apltauler, Z. exnerová “Biomass functions applicable to European beech”. *Journal of Forest Science*, no 51. 2005, pp. 147–154.
- [13] Arnór Snorrason y Stefán Freyr Einarsson “Single-tree biomass and stem volume functions for eleven tree species used in Icelandic forestry”. *Icelandic Forest Research*, Mógilsá, IS-116, no 19, Reykjavik, Iceland. 2006, pp 15-24
- [14] Gabriel M. Muturi¹, Jason G. Kariuki, Lourens Poorter and Godefridus M. J. “Mohren. Allometric equations for estimating biomass in naturally established *Prosopis* stands in Kenya”. *Journal of Horticulture and Forestry* Vol. 4(2). February 2011, pp. 69-77
- [15] Bao Huy, Krishna P. Poudel, Karin Kralicek, Nguyen Dinh Hung, Phung Van Khoa, Vu Tan Phing and Hailemariam Temesgen. “Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Tropical Dipterocarp Forests of Vietnam”. *Forests*, no 7. 2016, pp. 180