



**2025** | **16-20**  
**GIJÓN** | **JUNIO**

**9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL**

# 9CFE-2025

Actas del Noveno Congreso Forestal Español  
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**  
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





**Título de la aportación al 9º Congreso Forestal Español**  
**El papel del bosque urbano como sumidero de carbono frente al Cambio Climático: modelos biométricos urbanos, ecuaciones alométricas y su aplicación en ecosistemas urbanos**

MATEOS MARTÍNEZ E. (1), FIGUEROA LUQUE E. (2), MUÑOZ VALLÉS S. (3),  
 CAMBROLLÉ SILVA J. (1), FIGUEROA LUQUE T. (1), LUQUE PALOMO T. (1), RUBIO  
 GASTÓN J. (1), FIGUEROA CLEMENTE M. (1).

1. Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla.
2. Consultoría Estratégica de Servicios y Territorios; EverTree Partners
3. Departamento de Agronomía, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad de Sevilla.

### Resumen

El CO<sub>2</sub> es un gas que se encuentra presente en la atmósfera de forma natural. El desarrollo industrial provocó aumentos de su concentración en la atmósfera a una velocidad elevada causando efectos en el ambiente, especialmente en los ecosistemas urbanos. Esta investigación se centra en el cálculo del CO<sub>2</sub> absorbido anualmente mediante el proceso fotosintético, así como el almacenado a lo largo del tiempo de las especies *Citrus x aurantium*, *Jacaranda mimosifolia* y *Celtis australis*. Se desarrollaron modelos biométricos basados en árboles urbanos, dando como resultado ecuaciones alométricas que nos permiten conocer la biomasa foliar (kg p.s) de cada especie para un DBH definido. Se desarrolló una metodología para calcular el carbono almacenado en las estructuras leñosas de las especies, desarrollándose ecuaciones alométricas que calculan el carbono almacenado definiendo la edad del ejemplar. Nuestros resultados concluyeron que ejemplares de 30 años de edad acumularon en su biomasa aérea total 16,27 kg de C para *Citrus x aurantium*; 236,58 kg de C para *Jacaranda mimosifolia* y 172,19 kg de C para *Celtis australis*. Conocer el sumidero de CO<sub>2</sub> que supone el bosque urbano y la contribución de las diferentes especies es imprescindible para mejorar su gestión.

### Palabras clave

Cambio Climático, carbono, sumidero, bosque urbano, infraestructura verde urbana, biometría.

#### 1. Introducción

Las áreas urbanas son responsables de emitir una alta proporción de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Churkina, 2008; Grimm et al., 2008; Rosenzweig et al., 2010; Loo & Ochieng, 2024), ya que, a pesar de ocupar tan solo el 2% de la superficie total del planeta son las responsables del 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (The United Nations Human Settlements Program, 2011; Gu & Guo, 2012; Yan et al., 2021), siendo necesario por ello establecer, en relación con las ciudades, estrategias de mitigación del cambio climático (Sówka & Bezyk, 2018). Más de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas, por ello se están convirtiendo en los "primeros intervinientes" en la adaptación y mitigación del Cambio Climático, siendo las ciudades cruciales en los esfuerzos globales de mitigación (Rosenzweig et al., 2010). Las Naciones Unidas estiman que para 2050, la población urbana mundial casi se duplicará, pasando de 3.400 millones a 6.300 millones, lo que



representa la mayor parte del crecimiento demográfico mundial durante ese tiempo. Este aumento demográfico conduce a un aumento del consumo de los recursos energéticos y de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), asociados a un mayor impacto medioambiental, y, a nivel planetario, al calentamiento global origen del Cambio Climático (Petit et al., 1999; Lal, 2004; IPCC, 2023).

El gas que genera mayor preocupación es el dióxido de carbono ya que representa el 80% del total de los gases de efecto invernaderos emitidos. Este gas destaca por desencadenar un importante incremento de la temperatura en la superficie terrestre respecto a otros gases de efecto invernadero. La temperatura global en superficie seguirá aumentando hasta mediados de siglo en todos los escenarios de emisiones considerados, con aumentos superiores a 1,5°C y 2°C durante el siglo XXI a menos que se logren profundas reducciones de las emisiones en las próximas décadas (IPCC, 2023).

La vegetación, gracias al proceso fotosintético, posee la capacidad de absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera para sintetizar glucosa a la vez que se produce una emisión de oxígeno y agua en forma de vapor. Una fracción del CO<sub>2</sub> que se absorbe gracias a esta conversión fotoquímica es acumulado durante el proceso de crecimiento, formando parte de las estructuras como tronco, ramas, hojas y raíces. Otra fracción del CO<sub>2</sub> absorbido durante la fotosíntesis es derivado hacia otras reacciones metabólicas, originando metabolitos secundarios que son empleados para otras funciones biológicas importantes como los terpenos, compuestos fenólicos o alcaloides, compuestos orgánicos volátiles biogénicos, que actúan como defensa ante patógenos y como señalizadores, siendo emitidos a través de los estomas (Ávalos y Pérez-Urria, 2009; Shahzad et al., 2013). Dado el papel de los ecosistemas urbanos en la emisión de gases contaminantes, resulta importante proponer medidas de actuación encaminadas a reducir las emisiones de dicho gas, además de incrementar los sumideros naturales existentes, pues, además de su función como emisores de CO<sub>2</sub>, los ecosistemas urbanos también poseen la capacidad de secuestrar carbono, absorbiendo CO<sub>2</sub> atmosférico gracias a la función de los sumideros naturales, cobrando especial relevancia el papel de la infraestructura verde urbana (Nowak, D.J., 1993; Nowak, D.J., 1994; Nowak et al., 2013; Hautamäki, R, et al., 2024; Seun Oladipo, et al., 2024).

Por tanto, la infraestructura verde urbana posee la capacidad de absorber dicho gas mediante el proceso fotosintético y almacenarlo en su estructura durante su desarrollo. Los árboles urbanos presentan especial interés ya que producen mayor biomasa comparados con arbustos y herbáceas, con gran capacidad para absorber y almacenar CO<sub>2</sub> durante su desarrollo. Además de actuar como sumideros de dióxido de carbono, la infraestructura verde urbana nos brinda otros servicios ecosistémicos como el sombreado y la mejora del microclima urbano, disminuyendo el efecto isla de calor urbana, o aumentando la biofilia y biodiversidad en nuestras ciudades, proporcionando espacios que fomentan la convivencia y generan efectos positivos a nivel social y psicológico, lo que se traduce en un aumento la calidad de vida (Georgi & Zafiridias 2006; Figueroa et al., 2021). Conocer el sumidero de CO<sub>2</sub> que supone el arbolado de una ciudad y la contribución de las diferentes especies es imprescindible para mejorar la gestión de la infraestructura verde urbana y elaborar planes de plantaciones futuras dirigidas a una mayor cobertura verde con alta capacidad para retirar CO<sub>2</sub> de la atmósfera, unificándose los esfuerzos hacia la neutralidad de carbono.



## 2. Objetivos

Esta investigación se centra en el cálculo del CO<sub>2</sub> absorbido anual mediante el proceso fotosintético, así como el almacenado en el tiempo de diferentes especies de árboles empleados en los ecosistemas urbanos.

## 3. Metodología

### Modelo biométrico

Se escogieron tres especies de árboles urbanos de la ciudad de Sevilla (*Citrus x aurantium*, *Celtis australis* y *Jacaranda mimosifolia*). Para cada una de las especies se desarrolló un modelo biométrico basado en medidas experimentales in situ de 20 individuos sanos y con porte lo más natural posible, estableciendo un modelo de crecimiento de superficie foliar a lo largo del desarrollo del árbol respecto al diámetro a la altura del pecho (DBH). Para ello se llevaron a cabo medidas biométricas (diámetro a la altura del pecho (DBH), altura del árbol, diámetro de copa e índice de área foliar (LAI)) de las especies, mediante una cinta dendrométrica, ceptómetro (AccuPAR PAR/LAI LP-80), software de análisis de imagen, 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. Esta metodología de cálculo ha sido empleada en numerosos estudios (Muturi et al., 2012; Bravo et al., 2007; Zianis et al., 2005; Santa Regina y Tarazona, 2001; T. Johansson, 1999; Payandeh B., 1981; Malcolm K., 1971). Además, se cuantificó la extinción de luz a través de la copa de los árboles para conocer la intensidad de radiación solar existente en las diferentes capas de la copa, las medidas fueron registradas por método ceptométrico.

### Absorción anual de CO<sub>2</sub>

Las medidas de la tasa fotosintética neta se realizaron mediante un analizador de gases de infrarrojo (LI-6400model, by LI-COR Inc., Neb., USA). Las plantas se aclimataron a diferentes temperaturas (10°C, 20°C y 30°C) y a una humedad relativa del aire conocida. Se aplicaron diferentes intensidades de luz (0, 200, 500, 750, 1000 y 2000  $\mu\text{mol}$  de fotones / $\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) y se registró la tasa fotosintética ( $\mu\text{mol}$  de CO<sub>2</sub>/ $\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) para cada una de las especies.

Para calcular la absorción de CO<sub>2</sub> anual de cada especie, se escogió el tamaño promedio de DBH, siendo de 20 cm en *Citrus x aurantium*, 30 cm en *Celtis australis* y 30 cm en *Jacaranda mimosifolia*. Se calculó el sumidero anual de CO<sub>2</sub> aplicándose el valor de la tasa fotosintética a cada temperatura y la superficie foliar ( $\text{m}^2$ ) generada a partir del modelo biométrico para el clima de la ciudad de Huelva.

### Almacenamiento de CO<sub>2</sub> a lo largo del tiempo

Se tomaron fotografías de 15-20 individuos de diferentes DBH de las especies caducas incluidas en el estudio durante la fase de ausencia de hojas. Se tomaron fotografías del interior de la copa en el caso de la especie *Citrus x aurantium* con el fin de recoger la totalidad de sus ramas primarias y secundarias. Se calculó el volumen de la fracción leñosa (tronco, ramas y ramillas) de cada individuo mediante el software IC Measure, asimilando la forma a un cilindro ( $V = \pi r^2 h$ ). Para calcular la biomasa leñosa se midió también la densidad de la madera de

cada especie por el método de inmersión y desplazamiento de agua de las muestras leñosas previamente secadas a 80°C durante 48 horas en una estufa. En este método el peso del agua desplazada es igual al volumen de la muestra, el nivel del agua aumenta cuando la muestra se encuentra totalmente sumergida (sin tocar los bordes del recipiente) y se estima la equivalencia de  $1\text{g} = 1\text{cm}^3$ . Por lo tanto, la lectura del resultado arrojado por la balanza es igual al volumen de la pieza de madera sumergida. Se realizó un estudio para relacionar el DBH de cada ejemplar con los años de plantación mediante análisis de ortofotos digitales históricas con el fin de establecer una correlación entre el diámetro a la altura del pecho cuantificado y la edad aproximada de cada ejemplar.

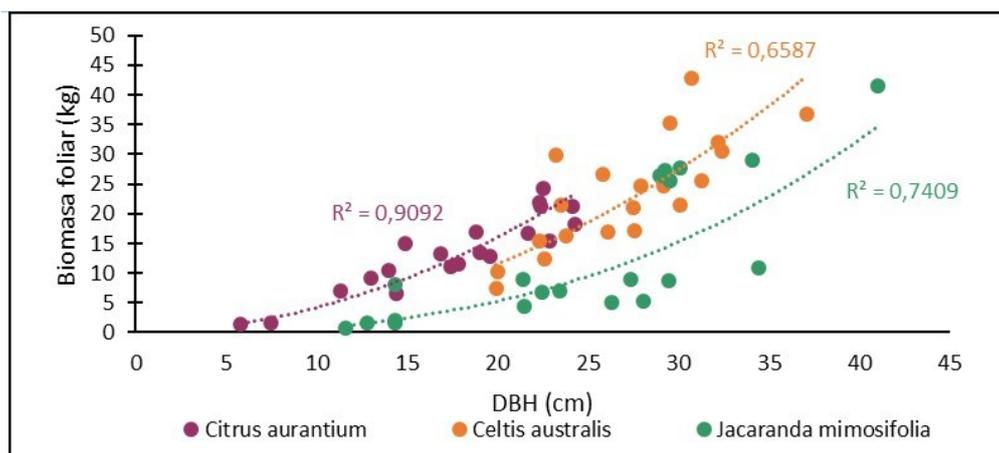
#### 4. Resultados

##### Modelo biométrico

En la tabla 1 se muestran los rangos de diferentes variables biométricas registradas en cada especie. La biomasa foliar total (kg, peso seco) de cada ejemplar se calculó a partir de los valores de superficie foliar total y el valor del peso específico foliar (g p.s/cm<sup>2</sup> de hoja). En la figura 1 se muestra el incremento de biomasa foliar a lo largo del desarrollo del árbol, observándose un aumento diferencial dependiendo de la especie estudiada.

**Tabla 1. Valores de los parámetros cuantificados para elaborar el modelo biométrico. Se muestran los valores mínimos y máximos.**

DBH	(cm)	Altura (m)	Diámetro de copa (m)	LAI	Superficie foliar total (m <sup>2</sup> )	Peso específico foliar (g p.s/cm <sup>2</sup> )
<i>Citrus x aurantium</i>	5.8-24.3	3.6-6.3	2-6.8	2.8-5.32	9.34-165.52	0.015
<i>Celtis australis</i>	19.9-37.1	4.5-9.9	4.6-9.5	3.94-8.04	91.46-518.98	0.008
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	18.1-39.7	5.6-15.9	4.7-10.3	1.91-4.33	13.05-717.36	0.006



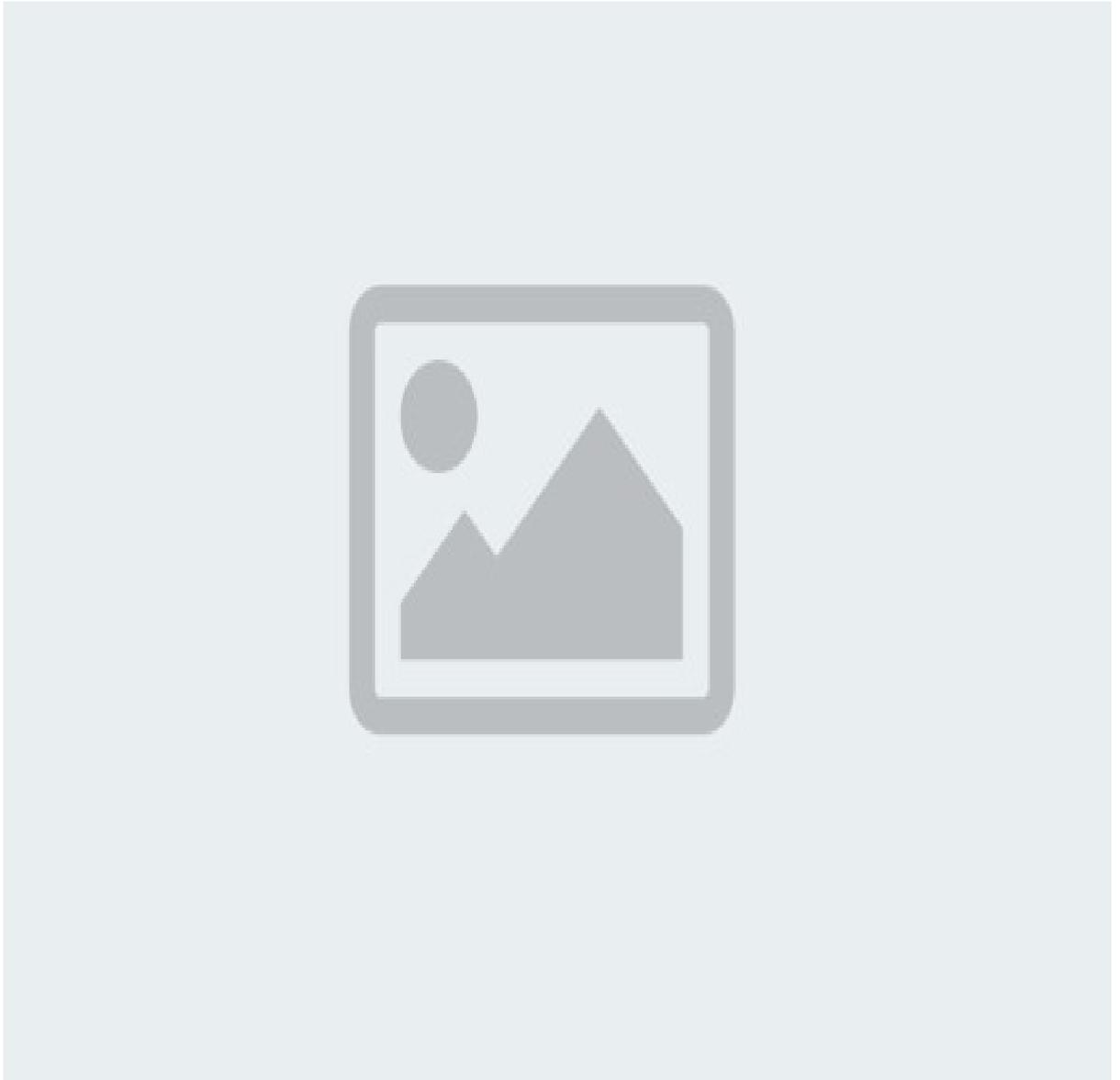
**Figura 1. Incremento de la relación entre la biomasa foliar (kg p.s) y el asociado a un incremento en el DBH. Se muestran los valores del coeficiente de determinación para un  $p < 0.05$ .**

##### Absorción anual de CO<sub>2</sub>

Las especies mostraron valores máximos de fotosíntesis neta a 20°C. En la figura 2 se observa que *Citrus x aurantium* y *Celtis australis* presentan los valores mínimos



a 30°C mientras que *Jacaranda mimosifolia* presenta valores inferiores a 10°C. Los ajustes realizados para cada temperatura se emplearon para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> total absorbido a lo largo de un año natural, conociendo la intensidad de radiación solar y la temperatura ambiental. Nuestros resultados (tabla 2) mostraron que un *Citrus x aurantium* que exhibe un DBH de 20 cm posee la capacidad de absorber 265.75 kg de CO<sub>2</sub> al año, siendo la especie que presenta mayor capacidad de sumidero, seguida de *Jacaranda mimosifolia* con 207.69 kg de CO<sub>2</sub> anuales y por último *Celtis australis* con 127.61kg de CO<sub>2</sub> al año.



**Figura 2. Tasas de fotosíntesis neta por unidad de superficie foliar ajustadas al modelo de Michaelis-Menten.**

**Tabla 2. Valores calculados de capacidad de sumidero de carbono de ejemplares desarrollados en la ciudad de Huelva.**

Especie	DBH	kg CO <sub>2</sub> /año	kg C/año
<i>Citrus x aurantium</i>	20	265.75	72.78
<i>Celtis australis</i>	30	127.61	34.80
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	30	207.69	56.64

### Almacenamiento de CO<sub>2</sub>

A partir de la estimación del volumen de la madera realizado en las diferentes secciones de la fracción leñosa arbórea (tronco, ramas principales, ramas secundarias, ramas terciarias y ramillas) y la densidad de la madera (g peso seco/volumen fresco) siendo 0.50g/cm<sup>3</sup> para *Citrus x aurantium*; 0.58 g/cm<sup>3</sup> para *Celtis australis* y 0.61g/cm<sup>3</sup> para *Jacaranda mimosifolia*, se calculó la biomasa aérea asociada a la fracción leñosa. Se realizó el sumatorio de las biomásas de cada fracción leñosa y se desarrolló un análisis de regresión entre la biomasa total y el DBH. En la tabla 3 se muestran las ecuaciones potenciales del ajuste realizado donde la variable dependiente es la biomasa total de madera seca (kg p.s.) y la variable independiente es el DBH. Todas las especies mostraron valores más elevados de correlación con el ajuste potencial. Para ejemplares con un DBH de 30 cm, la biomasa leñosa calculada a partir del ajuste potencial es mayor en *Jacaranda mimosifolia* (355.85 kg), *Celtis australis* (256.52 kg) en relación con el *Citrus aurantium* (148.91 kg).

**Tabla 3. Fórmulas potenciales para el cálculo de la biomasa de la fracción leñosa (kg p.s) obtenidas del análisis de regresión para las especies estudiadas. Se señala el número de ejemplares (N) para cada especie y el coeficiente de determinación para un p<0.05.**

Especie	N	Rango DBH (cm)	Fórmula de ajuste potencial	R <sup>2</sup>
<i>Citrus x aurantium</i>	15	5.7-24.3	$y = 0,1453x$ <sup>2.0382</sup>	0.931
<i>Celtis australis</i>	20	14.6-49.7	$y = 0,0757x$ <sup>2.3898</sup>	0.987
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	20	7.4-104.9	$y = 0,0863x$ <sup>2.4475</sup>	0.979

La estimación de la capacidad de almacenamiento a lo largo del tiempo de carbono de las especies de árboles estudiadas se realizó a partir de los datos de la edad de los ejemplares obtenidos a partir de las ortofotos digitales. Se realizó el sumatorio de la biomasa leñosa y la biomasa foliar para obtener el valor total de biomasa aérea (kg,p.s) de cada ejemplar arbóreo. Se llevó a cabo un análisis de regresión mediante el cual se estima la cantidad total de carbono almacenado en un ejemplar con una edad determinada. En la tabla 4 se muestran las ecuaciones potenciales del ajuste realizado donde la variable dependiente es la biomasa total aérea (kg p.s.) y la variable independiente es la edad (años). Si aplicamos la fórmula obtenida tras el análisis de regresión, el carbono almacenado en ejemplares de 20 años de edad es en *Celtis australis* de 97.51 kg de C, 90.74 kg de C en *Jacaranda mimosifolia* y 10.73 kg de C en *Citrus x aurantium*.

El modelo potencial mostró el mejor ajuste entre las variables siendo,

$$y = ax^b$$

Donde

y=kg de C

x= edad del árbol

a,b= constantes de ajuste

**Tabla 4. Valores de las constantes del ajuste potencial mediante el cual obtenemos el carbono total almacenado (kg de C) en la biomasa aérea total (kg p.s) para las especies estudiadas.**

Especie	a	b	r
<i>Citrus x aurantium</i>	0.4943	1.0273	0.99
<i>Celtis australis</i>	1.4595	1.4026	0.98
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0.0764	2.3633	0.99

## 5. Discusión

La estimación precisa de la superficie foliar de los árboles urbanos es esencial para poder evaluar la capacidad de captación de carbono mediante el proceso fotosintético (Lee et al., 2016). Las ecuaciones alométricas emplean el diámetro del tronco a la altura del pecho (DBH) y la altura del árbol como variables independientes para construir modelos de regresión que generen datos como la superficie foliar o la biomasa de un árbol (Wang, 2006). A pesar de que se hayan realizado numerosos estudios para calcular el sumidero de carbono en espacios verdes públicos urbanos empleando ecuaciones alométricas, existen algunas limitaciones en este enfoque ya que existe una falta de datos de biomasa de árboles urbanos y la recolección de datos de campo es costosa y requiere de mucho tiempo (Jenkins et al., 2003). Yoon et al. (2013) argumentaron que las ecuaciones alométricas establecidas en base a entornos naturales pueden sobreestimar la biomasa de los árboles urbanos y es necesario establecer una ecuación alométrica única para medir con mayor precisión la biomasa y la capacidad de sumidero de carbono de los árboles urbanos. Es por eso que el desarrollo de mediciones biométricas de ejemplares que se han desarrollado en ecosistemas urbanos resulta esencial para poder desarrollar modelos biométricos que permitan estimar parámetros cuya cuantificación requiere de un mayor esfuerzo, como la superficie foliar o la biomasa foliar, a partir de otros como el DBH, que consideren la arquitectura propia del árbol urbano.

La vegetación juega un papel fundamental en mejorar el cambio climático global (Niemelä et al., 2010). La vegetación urbana almacena carbono a través de procesos de fotosíntesis y crecimiento y desempeña un papel importante en la compensación de las concentraciones de CO<sub>2</sub> debido a sus propiedades fisiológicas y ecológicas únicas (Nowak et al., 2006). Encontramos que las especies de árboles y los parámetros característicos de los árboles (DBH, altura, edad del árbol, LAI) también desempeñan roles cruciales en la tasa de captura de carbono. Incluso dentro de la misma especie de planta, diferentes tamaños de plantación pueden llevar a diferentes tasas de captura de carbono, de forma que los ejemplares más grandes juegan un papel clave en el aumento de la captura de carbono en plantaciones urbanas, los árboles grandes mostraron tasas de captura de carbono



más altas que los árboles pequeños y arbustos (Othman et al., 2019). Nuestro estudio pone de manifiesto que ejemplares de árboles más pequeños como el *Citrus x aurantium* (DBH 20 cm), frente a otros de mayor tamaño como *Celtis australis* (DBH 30 cm), presenta mayor capacidad de sumidero de carbono asociado a una mayor tasa fotosintética neta, por lo que no siempre un mayor tamaño del porte arbóreo se asocia con una mayor capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> (Mateos-Martínez E, Tesis Doctoral en elaboración).

El arbolado urbano, debido a su elevada capacidad de desarrollo, posee un papel esencial en el secuestro de carbono, ya que la biomasa asociada a las diferentes secciones que conforman la totalidad de la arquitectura arbórea resulta elevada en comparación con especies arbustivas, de matorral o herbáceas. En torno al 50% de la biomasa cuantificada como biomasa en peso seco, corresponde a biomasa de carbono acumulado. Por lo tanto, resulta esencial identificar y comprender la distribución de las fuentes y sumideros de dióxido de carbono en los ecosistemas urbanos, a fin de abordar eficazmente los desafíos relacionados con el cambio climático y promover prácticas sostenibles en el desarrollo urbano, mejorando la capacidad de sumidero de las áreas urbanas (Figueroa M.E. y Redondo S., 2007; Figueroa M.E y Figueroa-Luque E, 2021).

6. **Conclusiones** Resulta esencial desarrollar modelos biométricos basados en ejemplares urbanos para poder realizar modelos que permitan calcular su capacidad de sumidero de CO<sub>2</sub>, integrando en estos la arquitectura arbórea propia de los individuos cuyo crecimiento se da en ecosistemas urbanos, evitando la sobreestimación de parámetros biométricos determinantes en el cálculo como la superficie foliar total o la biomasa foliar por el empleo de ecuaciones alométricas forestales ya existentes. La función como sumidero natural de carbono dependerá de la capacidad fotosintética de la especie, la arquitectura arbórea que presenta a lo largo de su desarrollo y la proporción de dióxido de carbono que se destina a la producción de biomasa vegetal, lo que corresponde con la función de almacén de carbono. El desarrollo de estudios enfocados en la funcionalidad del arbolado urbano es importante para poner de manifiesto la necesidad de su conservación y su correcta gestión, así como la correcta elección de especies dependiendo de la región bioclimática, logrando así potenciar los servicios ecosistémicos que brinda la infraestructura verde urbana ante el cambio climático.
7. **Agradecimientos** Esta investigación ha sido desarrollada en el marco de un proyecto concedido por el Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (CDTI) llevado a cabo entre Consultoría Estratégica de Servicios y Territorios (CESYT) y la Universidad de Sevilla. Agradecemos el soporte administrativo que facilita la Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla (FIUS).
8. **Bibliografía**

Avalos Garcia A. y Perez-Urria E.; 2009. Metabolitos secundarios en plantas. *Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal*. 2 (3): 119-145.

Bravo Oviedo F, Delgado J.A, Gallardo Lancho J.F, Bravo Oviedo J.A, Ruiz-Peinado R, Merino García A, Montero G, Cámara Gómez A, Navarro R, Ordóñez Alonso C, Canga Líbano E.; 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. *Ed. Fundación Gas Natural*, 65-112.



Churkina, G. 2008. Modeling the Carbon Cycle of Urban Systems. *Ecological Modelling*, 216:107-113.

Figueroa Clemente, M. E y Redondo Gómez, S.; 2007. Los Sumideros Naturales de CO<sub>2</sub>. Una estrategia sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial. *Ed. Universidad de Sevilla. Colección Sostenibilidad* n°9, 110-115. Sevilla.

Figueroa Clemente, m.e. y Figueroa-Luque, e (coords.); 2021. La ciudad como sistema complejo en un paisaje de incertidumbre. *Editorial Universidad de Sevilla (Colección Sostenibilidad, n°. 9)*. 80-92. Sevilla.

Grimm N.B., Faeth S.H., Golubiewski N.E., Redman C.L., Wu Jianguo, Bai Xuemei, Briggs John M.; 2008. *Global Change and the Ecology of Cities*. *Science* 319, 756.

Grimmond, C.S., King, T.S., Cropley, F.D., Nowak, D.J., Souch, C.; 2002. Local-scale fluxes of carbon dioxide in urban environments: methodological challenges and results from Chicago. *Environ Pollut.* 116 Suppl 1: S243-54.

Gu, C., Guo, C.; 2012. The influence of industrial structure change on China's CO<sub>2</sub> emissions. *China Populat. Resour. Environ.* 22: 15-20

Hautamäki, R., Puustinen T, Merikoski T, Staffans A.; 2024. Greening the compact city: Unarticulated tensions and incremental advances in municipal climate action plans. *Cities*, art. no. 105251.152.

Jenkins, J.C., Chojnacky, D.C., Heath, L.S., Birdsey, R.A.; 2003. National scale biomass estimators for United States Tree Species. *For. Sci.* 49, 12–35.

Johansson, T.; 1999. Biomass equations for determining fractions of pendula and pubescent birches growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass and Bioenergy* 16: 223-238.

Lal, R.; 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*. Jun 11;304(5677):1623-7.

Lee, J.H., Ko, Y.K., McPherson, E.G.; 2016. The feasibility of remotely sensed data to estimate urban tree dimensions and biomass. *Urban For. Urban Green.* 16, 208–220.

Loo, B. P. Y., & Ochieng, W. Y.; 2024. The nexus of people, environment and infrastructure in future cities. *Sustainable Cities and Society*, 105501. 109.

Malcolm K. Hughes.; 1971. Tree Biocontent, Net Production and Litter Fall in a Deciduous Woodland. *Oikos*, 1971, Vol. 22, No. 1: 62-7

Muturi G.M, Kariuki J.G, Poorter L. and Godefridus M. J. Mohren.; 2012. Allometric equations for estimating biomass in naturally established *Prosopis* stands in Kenya.

Niemela, J., Saarela, S-R., Soderman, T., Kopperoinen, L., Yli-Pelkonen, V., Vañre, S., Kotze., D.J.; 2010. Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodivers Conserv* 19:3225–3243.

Nowak, D.J.; 1993. Atmospheric carbon reduction by urban trees. *Journal of Environmental Management* 37 (3), 207-217.

Nowak, D.J.; 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (Eds.), *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. USDA Forest Service General Technical Report NE-186, Radnor, PA. 83-94



Nowak D. J., Crane d.E., Stevens J.C.; 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 4:115–12

Nowak, D.J.; Greenfield, E.J., Hoehn, R. E, Lapoint, E; 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution* Volume 178, 229 – 236.

Oladipo, Lorenzo, Quesada-Ruiz, Caparros-Santiago.; 2024. .Methodology for selecting potential CO<sub>2</sub> sinks in Macaronesia: The case of Gran Canaria Seun Trees. *Forests and People* Volume 18, 100698.

OTHMAN, R., SUID, S., MOHD NOOR, N. F., BAHARUDDIN, Z. M., HASHIM, K. S. H.Y., LUKMAN HAKIM MAHAMOD, L. H.; 2019. Estimation of carbon sequestration rate of urban park with linear and curvilinear design landscape setting. *Applied Ecology and Environmental Research* 17(4):8089-8101.

Payandeh B.;1981. Choosing regression models for biomass prediction models. *The Forestry Chronicle* 57:229-32

Petit, J.-R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J.-M., Basile, I., et al.; 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core. *Antarctica. Nature*, 399(6735), 429–436

Rosenzweig, C., W. Solecki, S.A. Hammer, and S. Mehrotra.; 2010: Cities lead the way in climate-change action. *Nature*, 467, 909-911

Santa Regina I & Tarazona T.; 2001. Organic matter and nitrogen dynamics in a mature forest of common beech in the Sierra de la Demanda, Spain. *Ann. For. Sci.* 58:301–31

Shahzad A., Shaheen A., M. Kozgar M.I., Sahai A. and Sharma S.; 2013. Phytoactive Compounds from In Vitro Derived Tissues. M. Shahid y cols. (eds.), *Recent Trends in*

*Biotechnology and Therapeutic 1 Applications of Medicinal Plants. Springer Science+Business Media Dordrecht.*

Sówka, I.; Bezyk, Y.; 2018. Greenhouse Gas Emission Accounting at Urban Level: A Case Study of the City of Wroclaw (Poland). *Atmos. Pollut. Res.* 9: 289–298.

The United Nations Human Settlements Program, 2011.

Wang, C.K.; 2006. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. *For. Ecol. Manag.* 222, 9–16.

Yan, Y.; Pan, A.; Wu, C.; Gui, S.; 2021. Factors influencing indirect carbon emission of residential consumption in China: A case of Liaoning province. *Sustainability* 11: 4414

Yoon, T.K., Park, C.W., Lee, S.J., Ko, S., Kim, K.N., Son, Y., et al.; 2013. Allometric equations for estimating the aboveground volume of five common urban street tree species in Daegu. Korea Urban For. *Urban Green.* 12, 344–349.

Zianis, D., Muukkonen P., Mäkipää r and Mencuccini M.; 2005. Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4: 63.

