

Impactos ecológicos de los árboles exóticos invasores en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas fluviales y de ribera

S. Medina-Villar^{1*}

(1) Departamento de Ciencias de la Vida, Facultad de Ciencias, Universidad de Alcalá. Ctra. A2, Km. 33.6. Alcalá de Henares, Madrid, España.

* Autor de correspondencia: S. Medina-Villar [medina_villar@hotmail.com]

> Recibido el 25 de septiembre de 2016 - Aceptado el 29 de septiembre de 2016

Medina-Villar, S. 2016. Impactos ecológicos de los árboles exóticos invasores en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas fluviales y de ribera. *Ecosistemas* 25(3):116-120. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-3.14

Contexto y objetivos de la tesis

Los impactos ecológicos que producen las especies exóticas invasoras (EEI) suscitan una gran preocupación a nivel mundial. La enorme cantidad de EEI existentes, junto con el elevado coste que implica su erradicación, hace necesario priorizar la gestión de aquellas EEI más perjudiciales. En este sentido, los estudios de impacto suponen una información esencial para ayudar a los gestores en la toma de decisiones.

Los ecosistemas riparios son especialmente vulnerables a la invasión por EEI de plantas debido, en parte, a que presentan características favorables, como la disponibilidad de agua o temperaturas más suaves, que benefician tanto a especies nativas como exóticas (Chytrý et al. 2005). Además, la pérdida de la vegetación nativa por la actividad humana deja espacios vacíos que favorecen la entrada de plantas exóticas oportunistas en los ecosistemas riparios. Las plantas exóticas pueden afectar a las propiedades, los procesos y las comunidades presentes tanto en el ecosistema ripario como en el fluvial, a través, por ejemplo, de la caída de diferentes órganos senescentes (de aquí en adelante "hojarasca") de las plantas exóticas en el agua o en el suelo (Fig. 1).

Ailanthus altissima (Mill.) Swingle (familia Simaroubaceae) y *Robinia pseudoacacia* L. (familia Fabaceae) son dos árboles exóticos que se encuentran invadiendo ecosistemas riparios en la península Ibérica. Son de crecimiento rápido y presentan compuestos en sus tejidos con potencial alelopático sobre diferentes especies de plantas (Castro-Díez et al. 2014a). Sin embargo, los impactos ecológicos que producen estos árboles en ecosistemas riparios y fluviales son relativamente desconocidos. Por tanto, el objetivo principal de mi tesis fue evaluar los impactos de EEI sobre propiedades tanto bióticas como abióticas desde un enfoque integrado. Por un lado, estudié los impactos de las EEI sobre la cantidad, calidad y momento de caída de la hojarasca, las especies de plantas del sotobosque (a través de la alelopatía) y los nutrientes, las tasas de mineralización de nitrógeno (N) y fósforo (P) y la comunidad de bacterias del suelo en el ecosistema ripario (Fig. 1). Por otro lado, estudié los impactos de las EEI sobre las tasas de descomposición de la hojarasca, la biomasa fúngica y la comunidad de macroinvertebrados

en el ecosistema fluvial (Fig. 1). Para evaluar dichos impactos se compararon, en ecosistemas del centro peninsular, los mismos parámetros en las EEI *A. altissima* y *R. pseudoacacia*, y en especies nativas de árboles propias de ribera: *Populus alba* L. (familia Salicaceae) y/o *Fraxinus angustifolia* Vahl (familia Oleaceae).

Impactos en el ecosistema ripario por árboles exóticos invasores

Proceso de caída de hojarasca

La caída de hojarasca es un proceso clave para el ciclo de nutrientes y para la transferencia de energía desde las plantas al suelo. El tiempo que la hojarasca permanece en el suelo, así como su efecto sobre las comunidades de plantas y detritívoros, dependen en gran medida de la cantidad de hojarasca producida, de su calidad (e.g. concentración de nutrientes) y la dinámica temporal de caída (Facelli y Pickett 1991). En el presente capítulo comparé la cantidad y calidad de la hojarasca, así como su dinámica temporal de caída en bosques de ribera invadidos y no invadidos (dominados por *P. alba* o *F. angustifolia*). En general, los bosques invadidos no difirieron respecto de los nativos en cuanto a la cantidad y concentración de los nutrientes de la hojarasca, pero sí en cuanto a su dinámica temporal de caída (Medina-Villar et al. 2015a). Específicamente, se observó una caída temprana de hojas en los meses de verano en los bosques invadidos (Fig. 2), posiblemente debido a una menor resistencia de las EEI a la sequía estival propia de los climas mediterráneos. También, las flores de las EEI cayeron dos meses más tarde que las de las especies nativas (Fig. 2).

Propiedades, procesos y comunidades del suelo

Las EEI pueden alterar los ciclos de nutrientes, cambiar la estructura de las comunidades de bacterias edáficas o afectar al estado físico de las especies de plantas mediante la introducción en el ecosistema de características diferentes a las de las especies nativas (Skurski et al. 2014). Por ejemplo, respecto de las especies nativas, *A. altissima* y *R. pseudoacacia* presentan: una estrategia menos conservativa de uso del nitrógeno (N), diferente fenología, composición química de sus tejidos y, en general, mayores tasas

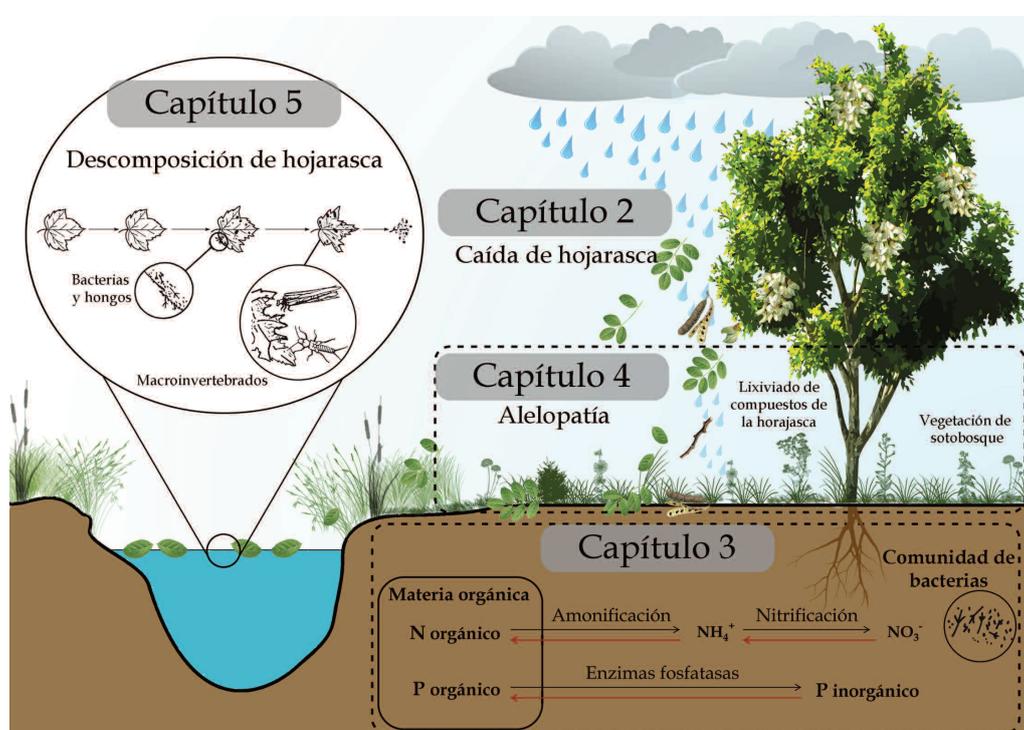


Figura 1. Esquema conceptual de la estructura de la tesis. Cada uno de los capítulos aborda impactos que la presencia de los árboles exóticos invasores (*Ailanthus altissima* y *Robinia pseudoacacia*) pueden producir en diferentes componentes y procesos de los ecosistemas fluviales y de ribera. En el Capítulo 2 se estudia el impacto en el proceso de caída de hojarasca. En el Capítulo 3 se cuantifica el impacto en las tasas de mineralización del N y del P del suelo, así como en la comunidad de bacterias edáficas. En el Capítulo 4 se establece el efecto alelopático que pueden tener los compuestos lixiviados de la hojarasca, sobre las especies de plantas del sotobosque. En el Capítulo 5 se investiga el efecto de la entrada de hojarasca exótica en el río, específicamente en las tasas de descomposición y en las comunidades de hongos acuáticos (Algunas imágenes proceden de Allan, J.D. y Castillo M.M. 2007. Stream ecology. Springer. Dordrecht, The Netherlands).

Figure 1. Conceptual scheme of the thesis structure. Each chapter addresses the impacts that the presence of the exotic invasive trees (*Ailanthus altissima* and *Robinia pseudoacacia*) can cause on different components and processes of fluvial and riparian ecosystems. In Chapter 2, I studied the impact on litterfall process. In Chapter 3, I quantified the impact on the mineralization rates of N and P, as well as on the edaphic bacterial community. In Chapter 4, I established the allelopathic effect that the litter leachates can have on the understory plant species. In Chapter 5, I investigated the effect of exotic leaf litter entering the river, specifically the effects on decomposition rates and aquatic fungi. (Some images come from Allan, J.D. and Castillo M.M. 2007. Stream ecology. Springer. Dordrecht, The Netherlands)

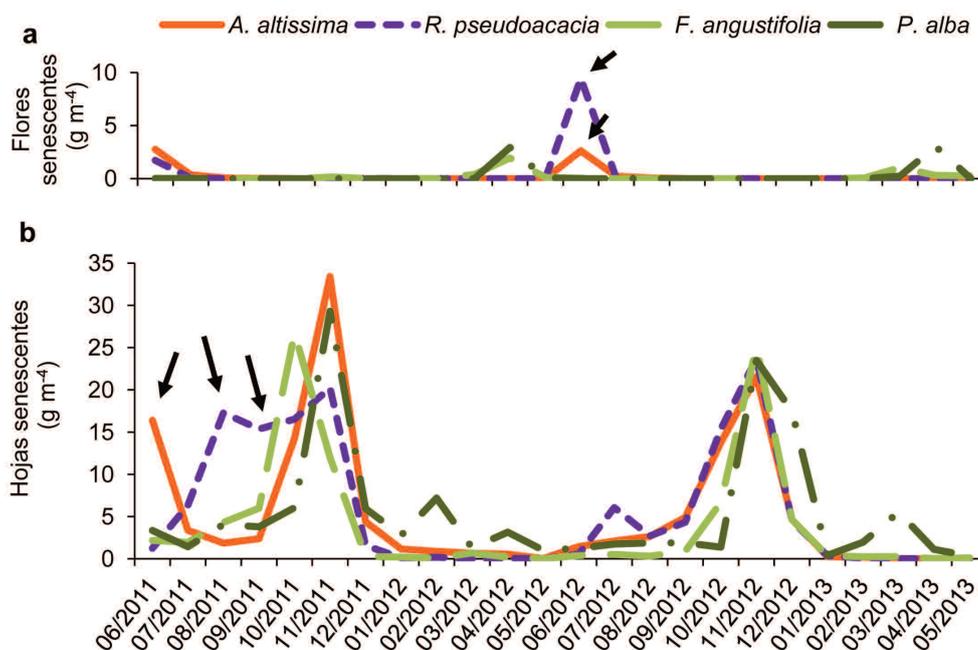


Figura 2. Media de los gramos de (a) flores y (b) hojas senescentes producidos por las especies (*Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus angustifolia* y *Populus alba*) cada mes (desde Junio 2011 a Mayo 2013), expresados por superficie de recolección y área basal de los árboles (g m^{-4}). Las flechas indican los meses en los que las especies invasoras (*A. altissima* y *R. pseudoacacia*) produjeron una gran cantidad de hojarasca (hojas o flores) y las nativas apenas nada. Los errores estándar no se muestran para una mejor claridad (Modificado de: Medina-Villar et al. 2015a).

Figure 2. Mean grams of senescent (a) flowers and (b) leaves produced by the species (*Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus angustifolia* and *Populus alba*) each month (from June 2011 to May 2013), expressed per collection surface and tree basal area (g m^{-4}). Arrows indicate the months when the invasive species (*A. altissima* and *R. pseudoacacia*) produced a large quantity of litter (flowers or leaves) while the natives virtually any. Standard errors are not shown for clarity. (Modified from: Medina-Villar et al. 2015a).

de crecimiento (Castro-Díez et al. 2014a 2014b). Además, *R. pseudoacacia* es capaz de fijar N atmosférico en simbiosis con bacterias del suelo. Por todo ello, esperaba que las EEI alteraran diferentes propiedades, procesos y comunidades del suelo. En este capítulo comparé diferentes variables del suelo entre sitios de ribera invadidos y nativos (dominados por *P. alba*). Los sitios invadidos mostraron una mayor concentración de nitrato y mayor ratio nitrato:amonio que los sitios nativos (Fig. 3a y b) (Medina-Villar et al. 2016), lo que puede deberse a la peor eficiencia en el uso del N de las EEI (Castro-Díez et al. 2014a). Los suelos de los sitios invadidos por *A. altissima* presentaron menor concentración de N total y amonio, tasa neta de nitrificación y actividad fosfomonoesterasa, encargada de la mineralización del P, que los suelos de los sitios nativos (Fig. 3a) (Medina-Villar et al. 2016); mientras que los sitios invadidos por *R. pseudoacacia* exhibieron mayor concentración de N total y mineral, tasa neta de amonificación y actividad fosfomonoesterasa del suelo que los sitios nativos (Fig. 3b) (Medina-Villar et al. 2016). Además, la estructura de la comunidad de bacterias del suelo difirió claramente entre sitios invadidos por *A. altissima* y sitios nativos (Fig. 3c) (Medina-Villar et al. 2016). Las diferencias no fueron tan claras en la comparación entre *R. pseudoacacia* y *P. alba* (Fig. 3d) (Medina-Villar et al. 2016).

Para evaluar el potencial alelopático de las EEI (*A. altissima* y *R. pseudoacacia*) medí el crecimiento radicular de seis especies nativas de plantas del sotobosque en presencia de extractos acuosos de hojas senescentes (a partir de aquí, extractos) de las EEI y de las especies nativas (*P. alba* y *F. angustifolia*). Según la *Hipótesis de las Nuevas Armas* (Callaway y Ridenour, 2004), las especies nativas no están adaptadas a los nuevos compuestos presentes en las hojas de las EEI ya que no han co-evolucionado con ellas. Por ello, esperaba un mayor efecto alelopático de los extractos de las EEI. Mis resultados mostraron que los extractos de las EEI fueron más efectivos que los de *F. angustifolia* reduciendo el crecimiento radicular de las especies nativas del sotobosque y además los extractos de *R. pseudoacacia* fueron también más efectivos que los de *P. alba* (Fig. 4, datos sin publicar).

Impactos en el ecosistema fluvial por árboles exóticos invasores

La invasión de los ecosistemas de ribera supone la entrada en el ecosistema fluvial de hojarasca de diferente calidad, lo que puede afectar a los procesos y las comunidades de detritívoros. En el presente capítulo comparé la tasa de descomposición y la colonización

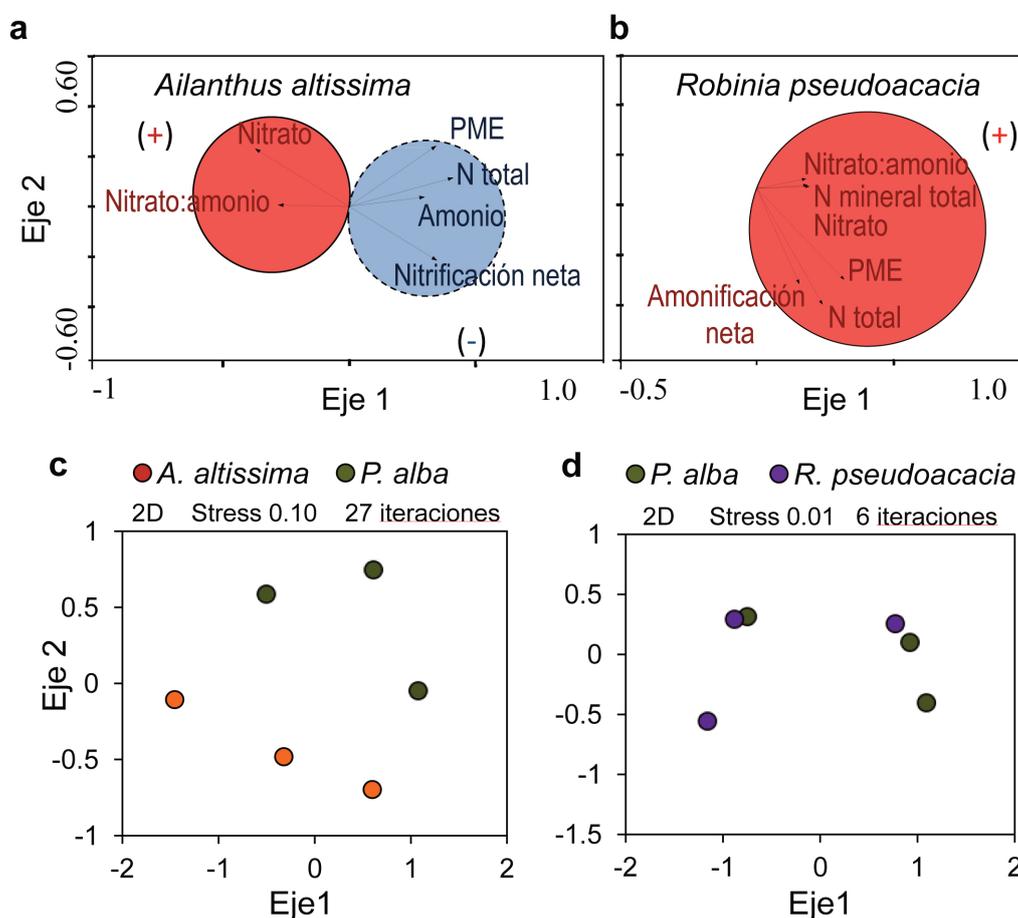


Figura 3. Comparación de propiedades del ecosistema ripario entre las especies exóticas invasoras y la especie nativa *Populus alba*. Gráficas a y b. Biplots del valor t mostrando la relación entre las variables del suelo (vectores) y la invasión por (a) *Ailanthus altissima* o (b) *Robinia pseudoacacia* en comparación con sitios no invadidos (dominados por *Populus alba*). Las variables del suelo dentro del círculo rojo son significativamente mayores ($P < 0.05$) en los sitios invadidos y aquellas dentro del círculo azul son significativamente menores ($P < 0.05$) que en el sitio nativo. Variables: N total (%), N mineral (mg kg^{-1}), nitrato (mg kg^{-1}), amonio (mg kg^{-1}), nitrificación ($\mu\text{g g suelo}^{-1} \text{ día}^{-1}$), amonificación ($\text{g suelo}^{-1} \text{ día}^{-1}$), actividad fosfomonoesterasa (PME) ($\mu\text{mol para-nitrofenol g suelo}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y ratio nitrato:amonio. Gráficas c y d. Resultado de un análisis multidimensional no métrico basado en la presencia y ausencia de grupos de bacterias del suelo en sitios: invadidos por (c) *A. altissima* o (d) *R. pseudoacacia* y no invadidos (dominados por *P. alba*). Modificado de Medina-Villar et al. (2016).

Figure 3. Comparison of the riparian ecosystem properties between the exotic invasive species and the native species *Populus alba*. Figures a and b. T-value biplots showing the relationship between soil variables (vectors) and the invasion by (a) *Ailanthus altissima* and (b) *Robinia pseudoacacia* in comparison with non-invaded sites (dominated by *Populus alba*). Soil variables within the red circle mean that they are significantly greater in invaded than in native sites ($P < 0.05$) while those soil variables within the blue circle indicate the opposite. Variables: total N (%), mineral N (mg kg^{-1}), nitrate (mg kg^{-1}), ammonium (mg kg^{-1}), nitrification ($\mu\text{g g soil}^{-1} \text{ day}^{-1}$), ammonification ($\text{g soil}^{-1} \text{ day}^{-1}$), Phosphomonoesterase activity (PME) ($\mu\text{mol para-nitrophenol g soil}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and nitrate:ammonium ratio. Figures c and d. Result of a non metric multidimensional scaling based on the presences and absences of soil bacterial groups in sites: invaded by (c) *A. altissima* or (d) *R. pseudoacacia* and non-invaded (dominated by *P. alba*). Modified from Medina-Villar et al. (2016).

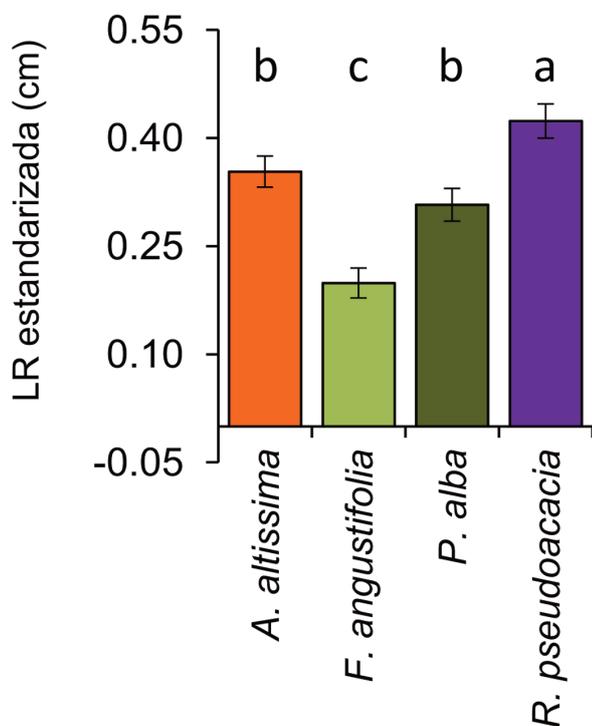


Figura 4. Media (\pm error estándar) de la longitud de radícula (LR) estandarizada (diferencia entre LR del control y LR del tratamiento dividido por LR del control) de 6 especies de sotobosque en presencia de extractos acuosos de hojas (tratamientos) procedentes de las especies *Ailanthus altissima*, *Fraxinus angustifolia*, *Populus alba* y *Robinia pseudoacacia*. Los controles constaban de agua destilada. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

Figure 4. Mean (\pm standard error) standardized radicle length (LR) (subtraction between LR of controls and LR of treatments divided by LR of controls) of 6 understory species caused by leaf litter aqueous extracts (treatments) from the species *Ailanthus altissima*, *Fraxinus angustifolia*, *Populus alba* and *Robinia pseudoacacia*. Controls consist of deionized water. Different letters mean significant differences among treatments ($P < 0.05$).

fúngica (biomasa) en hojas senescentes (de aquí en adelante, hojas) de las EEI y de las especies nativas (*P. alba* y *F. angustifolia*) en un arroyo de cabecera del río Henares. La biomasa fúngica fue mayor en las hojas de las especies nativas (Fig. 5, Medina-Villar et al. 2015b). Este resultado apoya la Hipótesis de las Nuevas Armas, según la cual los hongos acuáticos no estarían adaptados a las hojas de las EEI. Sin embargo, la tasa de descomposición fue dependiente de la especie, descomponiéndose más rápido las hojas de *F. angustifolia* y *A. altissima*, que las de las otras especies (Fig. 5, Medina-Villar et al. 2015b). Las hojas de *R. pseudoacacia* fueron las más lentas en descomponerse (Fig. 5, Medina-Villar et al. 2015b).

Conclusiones

Los resultados de esta tesis muestran la capacidad de *A. altissima* y *R. pseudoacacia* para producir importantes impactos ecológicos tanto a nivel de ecosistema como de comunidad y especie. La invasión en ecosistemas riparios por estas especies exóticas puede alterar la dinámica de caída de hojarasca, aumentar la concentración de nitrato del suelo, retrasar el crecimiento de especies de plantas del sotobosque y disminuir la biomasa fúngica en el ecosistema fluvial. Además, *A. altissima* modifica claramente la comunidad de bacterias edáficas, disminuye las tasas de mineralización de nutrientes en el suelo y produce hojarasca que se descompone a gran velocidad en el ecosistema fluvial. Por el contrario, *R. pseudoacacia* produce hojarasca de lenta descomposición en el ecosistema fluvial y aumenta en el suelo el N y las tasas de mineralización de nutrientes. En conjunto, esta tesis aporta información esencial

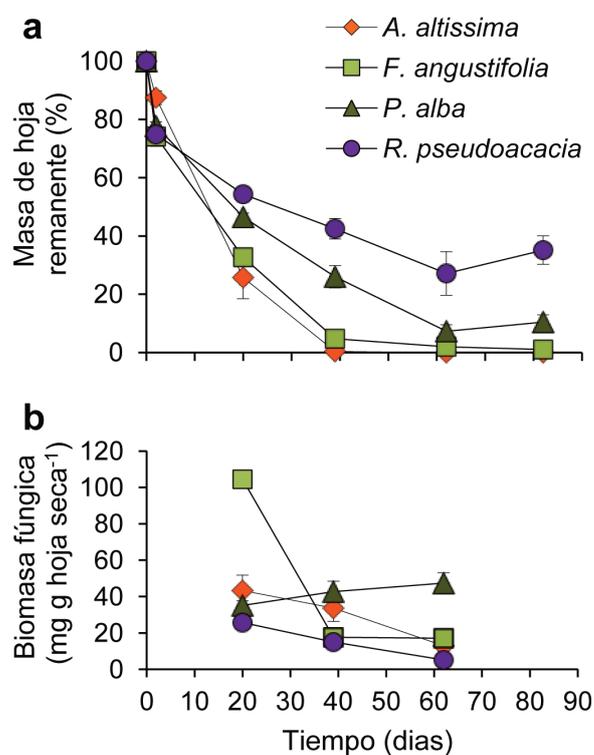


Figura 5. Media (\pm error estándar) de (a) la masa de hoja remanente y (b) de la biomasa fúngica (b) para cada especie estudiada en el periodo de estudio (Modificado de: Medina-Villar et al. 2015b).

Figure 5. Mean (\pm standard error) of (a) leaf mass remaining and (b) fungal biomass for each studied species along the study period (Modified from: Medina-Villar et al. 2015b)

para la conservación y restauración de los ecosistemas riparios que estos árboles exóticos invaden.

Agradecimientos

La Tesis Doctoral presentada se ha desarrollado gracias a una beca FPI del Ministerio de Economía y Competitividad (BES-2011-048379) y todos sus objetivos se desarrollan en el marco de los proyectos POI10-0179-4700, CGL2010-16388/BOS y CCG2013/EXP-054 y los Programas REMEDINAL-2 S2009/AMB-1783 y REMEDINAL-3 S2013/MAE-2719. Agradezco a Luciano Pataro su ayuda con el esquema conceptual.

Referencias

- Callaway, R.M., Ridenour, W.M., 2004. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 436–443.
- Castro-Díez, P., González-Muñoz, N., Alonso, A., 2014a. *Los árboles exóticos de las riberas españolas ¿Una amenaza para los ecosistemas?* Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Madrid, España. 94 p.
- Castro-Díez, P., Valle, G., González-Muñoz, N., Alonso, Á., 2014b. Can the life-history strategy explain the success of the exotic trees *Ailanthus altissima* and *Robinia pseudoacacia* in Iberian floodplain forests? *PLoS One* 9: e100254.
- Chytrý, M., Pyšek, P., Tichý, L., Knollová, I., Danihelka, J., 2005. Invasions by alien plants in the Czech Republic: a quantitative assessment across habitats. *Preslia* 77: 339–354.

- Facelli, J.M., Pickett, S.T.A., 1991. Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review* 57: 1–32.
- Medina-Villar S., Alonso A., R. Vázquez de Aldana B., Pérez-Corona E., Castro-Díez P. 2015b. Decomposition and biological colonization of native and exotic leaf litter in a Central Spain stream. *Limnetica* 34 (2): 293–310.
- Medina-Villar, S., Castro-Díez, P., Alonso, A., Cabra-Rivas, I., Parker, I.M., Pérez-Corona, E. 2015a. Do the invasive trees, *Ailanthus altissima* and *Robinia pseudoacacia*, alter litterfall dynamics and soil properties of riparian ecosystems in Central Spain?. *Plant and Soil* 396: 311-324.
- Medina-Villar, S., Rodríguez-Echeverría, S., Lorenzo, P., Alonso, A., Pérez-Corona, E., Castro-Díez, P. 2016. Impacts of the alien trees *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle and *Robinia pseudoacacia* L. on soil nutrients and microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 96: 65-73.
- Skurski, T.C., Rew, L.J., Maxwell, B.D., 2014. Mechanisms underlying non-indigenous plant impacts: a review of recent experimental research. *Invasive Plant Science and Management* 7, 432–444.

SILVIA MEDINA VILLAR

Ecological impacts of exotic invasive trees on the structure and functioning of fluvial and riparian ecosystems. Impactos ecológicos de los árboles exóticos invasores en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas fluviales y de ribera

Tesis Doctoral

Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá

Julio 2016

Directores: Álvaro Alonso Fernández y Esther Pérez Corona

Publicaciones resultantes de la tesis

- Castro-Díez, P., Alonso, A., Gutiérrez López, M., de las Heras Puñal, P., Medina-Villar, S., Pérez-Corona, E., Trigo Aza, D., R. Vázquez de Aldana, B. 2014. Integration of ecological impacts by invasive exotic plants: a methodological approach. *Ecosistemas* 24 (1): 12-17.
- Medina-Villar, S., Alonso, A., Castro-Díez, P. 2011. Las invasiones de plantas exóticas de ribera: impactos sobre los ecosistemas fluviales. En: J. Aguado, M. Blanco, G. Ros y M.A. Hidalgo (Eds.). *Terceras Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Universidad de Alcalá*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, pp. 127-136. ISBN: 978-84-8138-925-8.
- Medina-Villar, S., Alonso, A., Pérez-Corona, E., Castro-Díez, P. 2013. Impacto de las especies exóticas en los ecosistemas de ribera. En: G. Ros, A. Guerrero, J. Aguado y M. A. Hidalgo (Eds.) *Cuartas Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Universidad de Alcalá*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, pp. 93-103. ISBN 978-84-15834-15-1.
- Medina-Villar, S., Castro-Díez, P., Alonso, A., Cabra-Rivas, I., Parker, I.M., Pérez-Corona, E. 2015. Do the invasive trees, *Ailanthus altissima* and *Robinia pseudoacacia*, alter litterfall dynamics and soil properties of riparian ecosystems in Central Spain?. *Plant and Soil* 396: 311-324. (Capítulo 2).
- Medina-Villar, S., Alonso, A., R. Vázquez de Aldana, B., Pérez-Corona, E., Castro-Díez, P. 2015. Decomposition and biological colonization of native and exotic leaf litter in a Central Spain stream. *Limnetica* 34 (2): 293-310. (Capítulo 5).
- Medina-Villar, S., Rodríguez-Echeverría, S., Lorenzo, P., Alonso, A., Pérez-Corona, E., Castro-Díez, P. 2016. Impacts of the alien trees *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle and *Robinia pseudoacacia* L. on soil nutrients and microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 96: 65-73. (Capítulo 3).
- Medina-Villar, S., Pérez-Corona, E., Alonso, A., Castro-Díez, P. 2016. Efectos alelopáticos de árboles exóticos invasores y nativos: ¿el suelo importa?. En: G. Ros, A. Guerrero, J. Aguado y M. A. Hidalgo (Eds.) *Quintas Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Universidad de Alcalá*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, pp. 325-334. ISBN: 978-84-16133-98-7.