

Predicción de la distribución geográfica y conservación de nicho de un árbol invasor en México

Jorge E. Ramírez-Albores^{1*}

(1) División de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., Camino a la Presa San José 2055, C.P. 78216, San Luis Potosí, S.L.P., México.

* Autor de correspondencia: Jorge E. Ramírez-Albores [E- mail: jorgeramirez22@hotmail.com]

> Recibido el 31 de agosto de 2016 - Aceptado el 26 de septiembre de 2016

Ramírez-Albores, J. E. 2016. Predicción de la distribución geográfica y conservación de nicho de un árbol invasor en México. *Ecosistemas* 25(3):160-163 Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-3.22

Contexto general

Las invasiones biológicas son un componente importante del Cambio Ambiental Global que atraviesa nuestro planeta debido a la extensión y magnitud que pueden alcanzar estos procesos (Vitousek et al. 1997). Una gran parte de las publicaciones sobre invasiones biológicas de los últimos 20 años se han enfocado en determinar los mecanismos asociados a la expansión poblacional de las especies exóticas (Callaway et al. 2008, He et al. 2009), y a los impactos sobre la biota nativa (Ferguson y Tilman 2005, Maron y Marler 2007). Una línea de investigación más reciente se ha enfocado en determinar las consecuencias a largo plazo de las invasiones biológicas. En este sentido, se ha propuesto que, si transcurre suficiente tiempo desde el inicio de una invasión biológica, es posible que estas especies respondan a las presiones ambientales que existen en el nuevo rango biogeográfico que han colonizado (Blossen y Nötzold 1995, Pyšek y Richardson 2006). Esta tesis se enfoca en este último tipo de aproximaciones, con una especie exótica que lleva más de 450 años en México. Es el caso de *Schinus molle* L. (Anacardiaceae), comúnmente conocido como Pirul o Falso pimentero. Esta especie arbórea tiene su centro de origen en el Altiplano de Perú y Bolivia, en Sudamérica. Según Alzate y Ramírez (1791), sus semillas fueron traídas con fines ornamentales al Valle de México desde Perú por el virrey Antonio de Mendoza, a mediados del siglo XVI. Actualmente se encuentra ampliamente distribuido en el territorio nacional (Fig. 1). Dada la antigüedad y la extensión de esta invasión biológica en México, la efectividad de las acciones de prevención o control que pueden plantearse para el Pirul dependerán de la información científica disponible sobre su distribución en el país.

Nicho Climático de Regeneración

Nuestro estudio abarca en primera instancia, la construcción y evaluación de la exactitud de tres modelos de nicho climático del Pirul en México (generalizado, de adultos y de regeneración). Los modelos de nicho se construyen normalmente con datos de

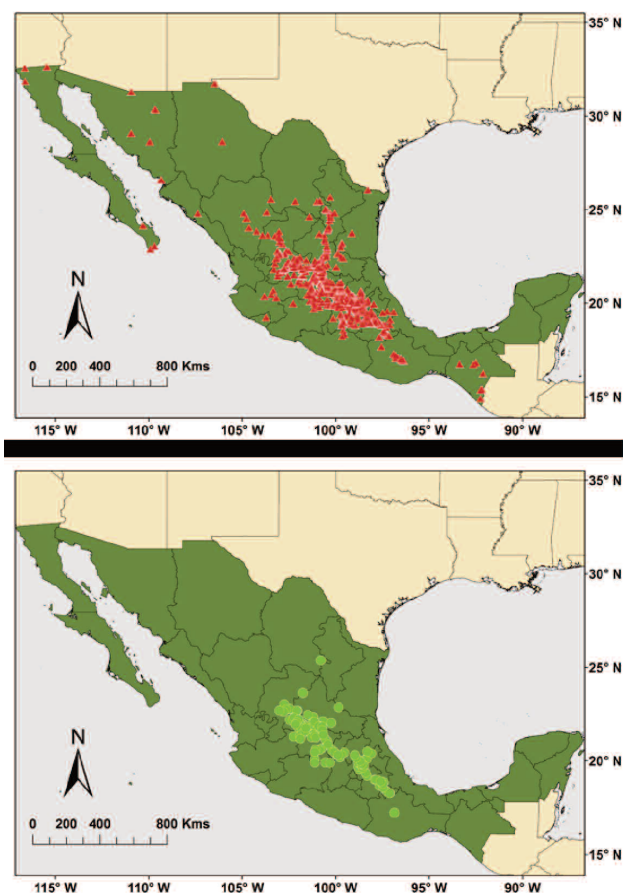


Figura 1. Distribución del Pirul (*Schinus molle* L.) en México. Datos de ocurrencias en ambientes antropizados (i.e., con subsidio humano; A) y en ambientes naturales (i.e., individuos establecidos naturalmente; B).

Figure 1. Peruvian peppertree (*Schinus molle* L.) distribution in Mexico. Occurrence data in anthropic environments (i.e., with human subsidy; A), and in natural environments (i.e., individuals naturally established; B).

ocurrencias de plantas a partir de individuos maduros, porque están disponibles ampliamente en la literatura y en colecciones (Guisan y Thuiller 2005, Elith y Leathwick 2009). Sin embargo, aunque los modelos de nicho climático basados en datos sobre la presencia de individuos maduros son útiles para predecir qué sitios pueden ser ocupados por especies invasoras, pueden sobreestimar sus rangos de distribución potencial. Esto es particularmente válido si la supervivencia de los estadios juveniles de estas plantas está regulada por condiciones climáticas más restrictivas que las que regulan la supervivencia de los adultos. Sin embargo, debido a que las etapas juveniles de las plantas tienen generalmente umbrales de tolerancia más restringidos que los individuos maduros cuando se someten a condiciones ambientales similares, el nicho de regeneración puede ser menor que el de adultos (Grubb 1977). Por tanto, se puede proponer que los posibles rangos de distribución de las plantas invasoras pueden predecirse con mejor exactitud a través de sus nichos climáticos de regeneración, que sólo deben ser modelados con datos de ocurrencias de especies en etapas juveniles. Nuestros resultados indican la falta de coincidencia entre las predicciones del nicho climático generalizado y los obtenidos de los modelos de adultos y de regeneración, sugiriendo que la distribución actual del Pirul en México no se explica completamente con limitaciones climáticas. De hecho, el modelo de nicho generalizado predijo una gama más amplia de distribución que los otros dos modelos (Fig. 2). Esto sugiere que esta especie invasora puede presentarse en lugares situados más allá de los umbrales climáticos que los individuos establecidos de forma natural pueden tolerar. Por tanto, el modelo de nicho climático de regeneración de plantas invasoras puede constituir una herramienta útil para predecir sus posibles distribuciones. Sin embargo, el desarrollo de estos modelos requiere datos sobre la presencia de alta resolución, que debe discriminar entre presencia de individuos establecidos de forma natural y con subsidio humano. La aplicación de este enfoque en las áreas invadidas por plantas agresivas proporciona nuevas oportunidades para analizar si su propagación se rige principalmente por las condiciones ambientales o por las actividades humanas. A su vez, un manejo exitoso de las plantas invasoras depende principalmente de nuestra capacidad para predecir sus posibles distribuciones, este enfoque también proporciona nuevas soluciones de modelos de distribución basados en el nicho. Así como, si somos capaces de determinar qué áreas son más propensas a ser naturalmente invadidas, el esfuerzo económico dirigido a erradicarlas podría centrarse en estos sitios.

Conservación del Nicho Climático

En segunda instancia, se propuso que este árbol pudo haber respondido a presiones selectivas locales desde su introducción, siendo posible que en México exhiba rasgos adaptativos diferentes a los que presenta en el Altiplano Andino. Los modelos se construyeron correlacionando información climática con la presencia del Pirul en cada uno de estos rangos biogeográficos. La posterior comparación entre estos modelos permitió establecer si los rangos de distribución del Pirul en México y Sudamérica están regulados por condiciones climáticas similares o diferentes. Además, de evaluar si esta especie se ha establecido con éxito en todos los hábitats óptimos (i.e., si ha alcanzado el equilibrio geográfico; Araújo y Pearson 2005, Václavík y Meentemeyer 2011). Los resultados del nicho climático del Pirul en México indican que no existe la posibilidad de una mayor expansión hacia nuevos ambientes, el 100% del nicho climático en nuestro país se encuentra anidado dentro del área de distribución nativa (Figs. 3, 4). Además, una fracción sustancial de los hábitats potenciales predichos desde la perspectiva del rango nativo hacia el rango invadido no ha sido colonizada por esta especie invasora. El modelo de distribución predicho a partir del rango invadido indica que esta especie no ha ocupado el total de las regiones geográficas predichas a partir del modelo de distribución del rango nativo (Fig. 4). Al vincular estas evidencias concluimos que el nicho climático del Pirul se conserva, es decir, el proceso de

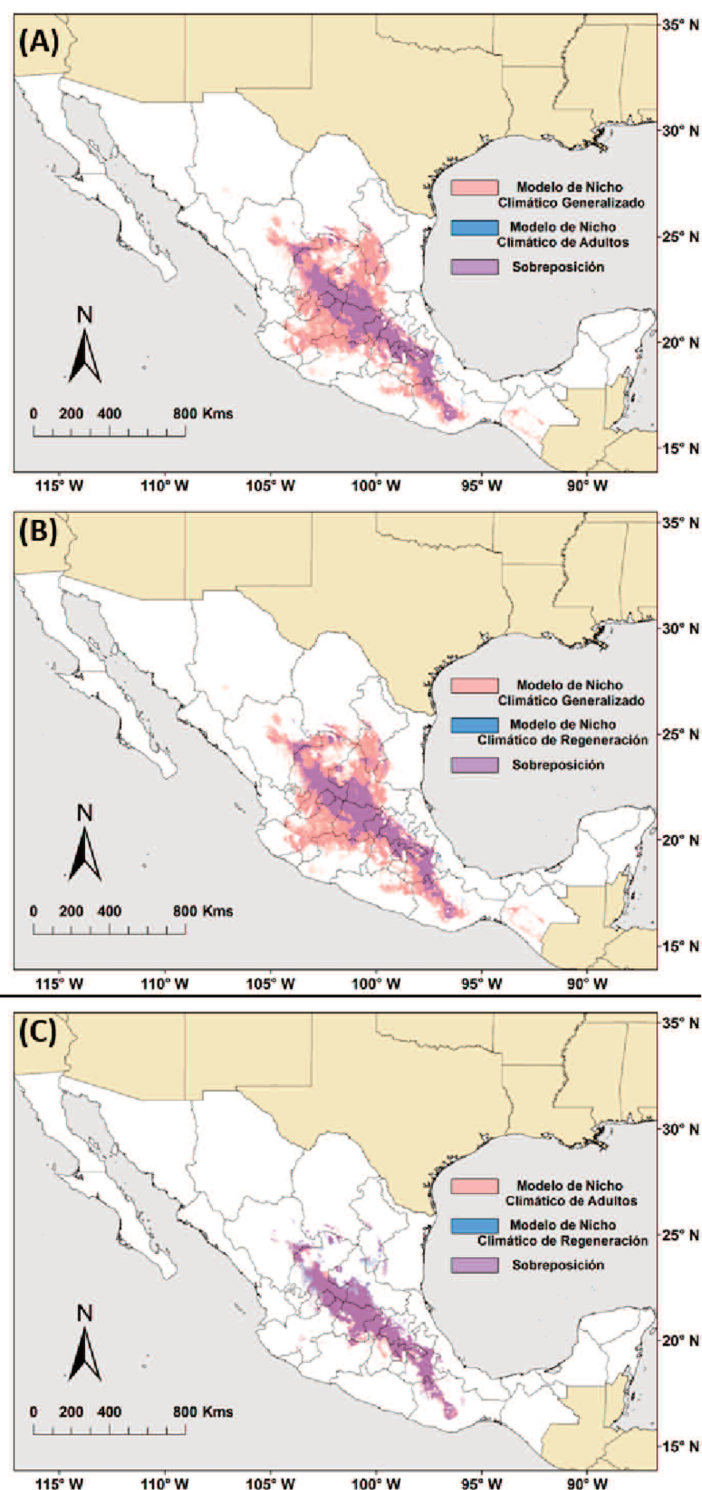


Figura 2. Modelos de nicho climático para el Pirul en México, obtenidos a través de MaxEnt (Phillips et al. 2006). Se muestra la sobreposición de los modelos de nicho climático de adultos (A) y de regeneración (B; modelos construidos con datos de ocurrencia en ambientes naturales) en el modelo de nicho climático generalizado (modelo construido sin discriminar el origen de los datos); y la sobreposición del modelo de nicho climático de regeneración en el modelo de nicho climático de adultos (C).

Figure 2. Climatic niche models for Peruvian peppertree in Mexico, obtained by MaxEnt (Phillips et al. 2006). Shown the overlaying of adult niche model (A) and regeneration niche model (B) in the generalized niche model; and overlaying of regeneration niche model in the adult niche model (C).

invasión se ha producido sólo dentro de áreas con condiciones climáticas análogas entre el rango nativo e invadido. A pesar de que hay espacios en el nicho sin cubrir y biotopos no ocupados, esta especie se encuentra en equilibrio biogeográfico y no existe disponibilidad de más hábitats óptimos para ser ocupados por esta especie.

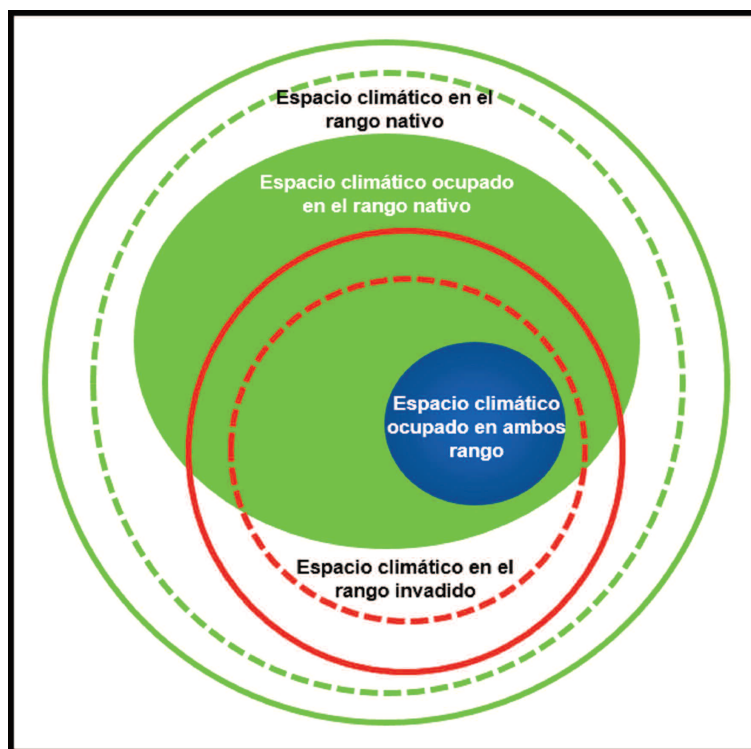


Figura 3. Representación esquemática del resultado del análisis de componentes principales realizado con las densidades de ocurrencia del Pirul en México, de acuerdo a las propuestas de Broenniman et al. (2012) y Petitpierre et al. (2012). La figura muestra los espacios climáticos estimados para esta especie en su región nativa (verde) y la región invadida (azul), pudiéndose apreciar que el espacio climático de la región invadida se halla completamente anidado dentro del espacio climático de la región nativa. Las líneas de contorno continuas y discontinuas indican el 100% y el 75%, respectivamente, del trasfondo climático en la región nativa (líneas verdes) e invadida (líneas rojas).

Figure 3. Schematic representation of the result of Principal Component Analysis (PCA) performed with Peruvian peppertree occurrence densities in Mexico, according to proposals from Broennimann et al. (2012) and Petitpierre et al. (2012). The figure shows the estimated climatic spaces for Peruvian peppertree in its native region (green) and the invaded region (blue), being able to appreciate that the climatic space in the invaded region is completely nested within the climatic space of the native region. The continuous and discontinuous lines indicate contour 100% and 75%, respectively, of climatic background in the native region (green lines) and the invaded region (red lines).

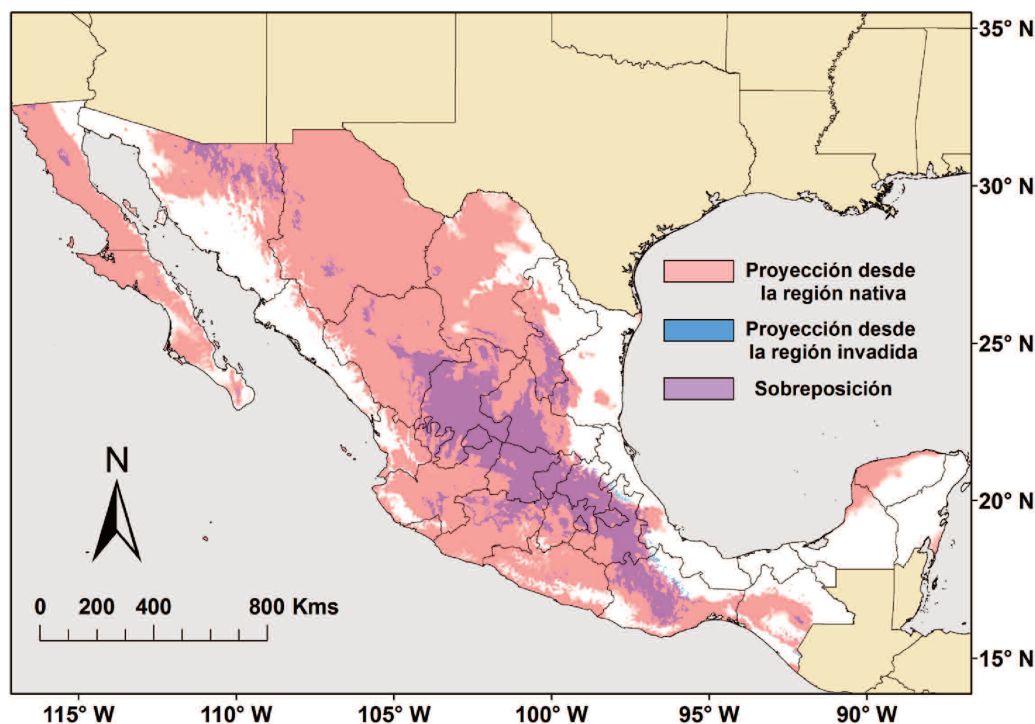


Figura 4. Comparación recíproca de las proyecciones de los modelos de nicho climático del Pirul, obtenidas a partir de MaxEnt (Phillips et al. 2006). Se muestran los modelos de nicho climático obtenidos desde la región invadida (i.e., distribución predicha en México con datos tomados en este país) hacia la región nativa, y desde la región nativa hacia la región invadida.

Figure 4. Reciprocal comparison of climatic niche model projections of Peruvian peppertree, obtained by MaxEnt (Phillips et al. 2006). Shown the climatic niche models obtained from invaded region (i.e., predicted distribution in Mexico using data obtained in this country) to the native region, and from the native region to the invaded region.

Conclusión

La distribución del Pirul en México está fuertemente asociada a una componente sociocultural, la cual no puede ser ignorada al momento de modelar su distribución. Los resultados de nuestras investigaciones indican que esta especie está presente a lo largo de la zona central del país. No obstante, observamos que el rango de distribución general del Pirul es más amplio que el rango de distribución en el cual se observan los individuos que están reclutando y se están propagando de manera exitosa en ecosistemas naturales, y en campos de cultivo y de pastoreo abandonados en México. Aunque de manera muy preliminar, esto indicaría que las actividades humanas están “expandiendo” el rango de distribución del Pirul más allá de los límites que la especie puede colonizar naturalmente sin la intervención del hombre. Esto permite sugerir que la propagación de las invasiones biológicas puede tener una componente social importante, donde este componente se arraigaría más fuertemente en las culturas locales mientras más tiempo haya transcurrido desde el momento de la introducción de la especie exótica.

Referencias

- Alzate y Ramírez, J.A. 1791. Utilidad de los árboles del Perú. *Gaceta de Literatura de México* 2: 145-146.
- Araújo, M.B., Pearson, R.G. 2005. Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography* 28: 693-695.
- Blossey, B., Nötzold, R. 1995. Evolution of increased competitive ability in invasive non-indigenous plants: a hypothesis. *Journal of Ecology* 83:887-889.
- Broennimann, O., Fitzpatrick, M.C., Pearman, P.B., Petitpierre, B., Pellissier, L., Yoccoz, N.G., Thuiller, W., Fortin, M.J., Randin, C., Zimmermann, N.E., Graham, C.H., Guisan, A. 2012. Measuring ecological niche overlap from occurrence and spatial environmental data. *Global Ecology and Biogeography* 21: 481-497.
- Callaway, R.M., Cipollini, D., Barto, K., Thelen, G.C., Hallett, S.G., Prati, D., Stinson, K., Klironomos, J. 2008. Novel weapons: invasive plant suppresses fungal mutualists in America but not in its native Europe. *Ecology* 89:1043-1055.
- Elith, J., Leathwick, J.R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40: 677-697.
- Fergione, J.E., Tilman, D. 2005. Diversity decreases invasion via both sampling and complementarity effects. *Ecology Letters* 8:604-611.
- Grubb, P.J. 1977. The maintenance of species richness in plant communities: the importance of regeneration niche. *Biological Review* 52: 107-145.
- Guisan, A., Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
- He, W.M., Feng, Y., Ridenour, W.M., Thelen, G.C., Pollock, J.L., Diaconu, A., Callaway, R.M. 2009. Novel weapons and invasion: biogeographic differences in the competitive effects of *Centaurea maculosa* and its root exudates ($\pm$)-catechin. *Oecologia* 159:803-815.
- Maron, J., Marler, M. 2007. Native plant diversity resists invasion at both low and high resource levels. *Ecology* 88:2651-2661.
- Petitpierre, B., Kueffer, C., Broennimann, O., Randin, C., Daehler, C., Guisan, A. 2012. Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders. *Science* 335: 1344-1348.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Pyšek, P., Richardson, D.M. 2006. The biogeography of naturalization in alien plants. *Journal of Biogeography* 33: 2040-2050.
- Václavík, T., Meentemeyer, R.K. 2011. Equilibrium or not? Modelling potential distribution of invasive species in different stages of invasion. *Diversity and Distributions* 18: 73-83.
- Vitousek, P.M., D'Antonio, C.M., Loope, L.L., Rejmanek, M., Westbrooks, R. 1997. Introduced species: a significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology* 21:1-16.

JORGE E. RAMÍREZ-ALBORES

Prediction of the geographical distribution and conservatism niche of an invasive tree in Mexico . Predicción de la distribución geográfica y conservación de nicho de un árbol invasor en México

Tesis Doctoral

División de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Agosto de 2016

Co-directores: Ernesto Iván Badano y Ramiro O. Bustamante

Publicaciones resultantes de la tesis

Ramírez-Albores, J.E., Badano, E.I. 2013. Perspectiva histórica, sociocultural y ecológica de una invasión biológica: el caso del Pirul (*Schinus molle* L., Anacardiaceae) en México. *Boletín de la Red Latinoamericana para el Estudio de Especies Invasoras* 3: 4-15.

Ramírez-Albores, J.E., Avendaño-González, M., Badano, E.I. 2015. El Pirul, el árbol que vino del sur. *Biodiversitas* 117: 6-11.

Ramírez-Albores, J.E., Bustamante, R.O., Badano, E.I. 2016. Improved predictions of the geographic distribution of the invasive plants using climatic niche models. *PLoS ONE* 11:e0156029.