

Nuevo enfoque en restauración de ecosistemas tropicales: usando rasgos funcionales para guiar la recuperación de zonas degradadas



Jarrold M. Thaxton

Department of Biological Sciences, Eastern Kentucky University, Richmond, Kentucky, USA, jarrod.thaxton@eku.edu

En años recientes, la restauración ha surgido como un tema dominante en ecología y conservación. Los esfuerzos de restauración a nivel mundial se han concentrado en la disminución de la pérdida de especies, ya sea recreando ecosistemas dominados por especies nativas o acelerando la recuperación de ecosistemas que ya se están recuperando. Uno de los retos para la restauración es la transferencia de conceptos y estrategias desarrolladas en las zonas templadas hacia los más complejos y diversos ecosistemas tropicales. Los rasgos funcionales tienen el potencial de servir de mejores guías para la restauración en los trópicos. Estos son rasgos que proveen una mejor percepción del papel de cada especie dentro de la comunidad, pero a su vez son relativamente fáciles de medir, y que pueden usarse para predecir cuáles especies, o grupos de especies, serían las más adecuadas para las condiciones medioambientales que están siendo creadas por la restauración en curso. Al echarle una mirada a la diversidad de rasgos funcionales dentro de una comunidad, podemos entender mejor la función de ese ecosistema y la manera de cuantificar el “éxito” de las actividades de restauración. Los estudios de restauración en los trópicos deben enfocarse en comprender el papel de estos rasgos.

Abstract

In recent years, restoration has emerged as a dominant theme in ecology. Restoration efforts worldwide are focused on slowing the loss of species by either recreating native-dominated ecosystems or accelerating the recovery of those that are already recovering. One of the challenges for restoration is to transfer concepts and strategies developed in the temperate zone to more diverse and complex tropical ecosystems. Functional traits have the potential to serve as guides for tropical restoration. These are traits which provide insight into the role of the species in the community, but are relatively easy to measure. They can be used to predict which species, or groups of species, will be best suited to the environmental conditions being created by restoration. Furthermore, looking at the diversity of functional traits within a community may provide insight into ecosystem function and a way to quantify the "success" of restoration activities. Restoration studies in the tropics should focus on understanding the role of these traits.

"Here is the means to end the great extinction spasm. The next century will, I believe, be the era of restoration in ecology" - E. O. Wilson (1992)

Según la predicción del biólogo eminente E.O. Wilson, la restauración ha surgido como un tema dominante en ecología y conservación en las últimas dos décadas. Hoy en día se reconoce que todos los ecosistemas terrestres han sido alterados directa o indirectamente por la actividad humana. Por ejemplo, el uso de terrenos para agricultura y desarrollo, el movimiento de especies no nativas, y la alteración de los regímenes de disturbios ecológicos han contribuido a la disminución y pérdida de especies. Desde el punto de vista de la conservación, es evidente que la sola protección de lo que aún permanece no es suficiente para detener futuras pérdidas. Se requiere de una restauración activa para recuperar las comunidades y ecosistemas que son

fundamentales en el mantenimiento de la biodiversidad y el sostenimiento de la vida en el planeta. Por esta razón, la conservación en el siglo XXI debe estar entrelazada con la restauración, y por esto se están desarrollando a nivel mundial un creciente número de proyectos de restauración. Para lograr éxito en estos presentes y futuros proyectos, es imperativo que incrementemos nuestra habilidad de generalizar el conocimiento obtenido en una parte del mundo hacia otras localidades. En ocasiones, la restauración ha sido criticada como una simple colección de estudios de caso que carece de principios generales (Allen et al., 1997). Para superar esto y desarrollar aún más la ecología de restauración como una disciplina, debemos enfocarnos en crear principios y conceptos generales que formen bases sólidas para la práctica de restauración.

Como es el caso para la biología de conservación, los más grandes retos y oportunidades futuras para la ecología de restauración están en los trópicos. Los ecólogos restauradores se enfrentan a la tarea de tomar los conceptos y enfoques que se han desarrollado en países industrializados de la zona templada y transferirlos a las regiones tropicales, en donde las presiones económicas y ecológicas son muy diferentes. A mi parecer, el campo emergente de la ecología de rasgos funcionales ofrece oportunidades promisorias para los restauradores que buscan formas de hacer esta transición. La ecología de rasgos funcionales hace un llamado hacia un nuevo enfoque en las funciones de las especies más que en su identidad. Aun cuando la identidad de las especies residentes puede cambiar dramáticamente de un sitio a otro y de una región a otra, las funciones de esas especies a nivel del ecosistema no cambian. Al enfocarnos en los rasgos que corresponden a una determinada función ecológica, estamos creando la posibilidad de desarrollar perspectivas más generales para restauración en los trópicos.

El crecimiento de la restauración como ciencia se refleja en los cambios que se han presentado en la definición de lo que significa restaurar exitosamente un lugar. Las primeras definiciones se enfocaron en la restauración como un proceso que restituía a los ecosiste-

mas a su condición original, o lo más cercano a ella. Parte de la crítica inicial recibida por este campo yacía en la inherente dificultad de identificar siquiera esa condición original, y más aún de restaurar de regreso a ese estado (Davis, 2000). Definiciones más recientes de restauración se han enfocado en conceptos de vitalidad y funcionalidad del ecosistema. La definición más ampliamente citada hoy día es la de la Sociedad para la Restauración Ecológica (2004), que declara que “La restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad.” Más recientemente, en ecología en general, ha habido un aumento en el énfasis que se hace en la función y servicios del ecosistema (Arthington et al., 2009; Cadotte et al., 2011). Desde esta perspectiva, la restauración puede ser vista como un proceso por el cual los humanos facilitan el desarrollo de la función de un ecosistema en un sitio degradado. Debido a que esta función es un producto directo de los rasgos de las especies presentes, la ecología de rasgos funcionales sostiene una gran promesa para acentuar la habilidad de los restauradores de generalizar sus enfoques y tener una mayor previsibilidad en el resultado de sus acciones.

El proceso de restauración consiste en una serie de pasos que combinan ciencia y práctica. Después de identificar el lugar a ser restaurado, la restauración comienza con la selección de un modelo ecológico apropiado, seguido por la determinación de las metas de restauración y la evaluación de la condición actual del sitio a la luz del modelo imperante. Dado el predominio de modelos de sucesión en teoría ecológica, una suposición muy común ha sido que las comunidades degradadas pueden ser restauradas mediante la alteración de los factores bióticos y abióticos de manera que se pueda reanudar la sucesión, devolviendo de este modo la comunidad a su condición original anterior al disturbio (Suding et al., 2004). Sin embargo, este abordaje fallaría si la comunidad degradada retiene la retroalimentación que promueve el estado alterno (degradado). En consecuencia, la identificación de un modelo específico es muy importante, y esto puede ser particularmente problemático en los trópicos. La mayoría de los modelos de comunidades ecológicas (p.ej. sucesión, ensamblaje de comunidades) han sido generados basándose en las dinámicas de ecosistemas de zona templada. Una restauración exitosa en los trópicos dependerá de modelos que puedan elucidar principios generales sobre cómo la composición y estructura de la comunidad determina la función del ecosistema. Un enfoque en rasgos funcionales sería crítico para lograr este enlace.

En el pasado, se definía el “éxito” de un proyecto como el retorno de un ecosistema degradado a su estado original. Este abordaje se enfocaba en identificar un lugar de referencia o un conjunto de condiciones referenciales que se asumían como características del ecosistema en un tiempo anterior a la degradación; haciendo uso posterior de estas referencias como objetivo para las actividades de restauración (Ehrenfeld, 2000). En la práctica, este enfoque resulta inmanejable cuando (1) el nivel actual de degradación es tal, que un retorno a la condición de referencia inicial no es posible o (2) cuando no existen condiciones de referencia muy claras. Esto ha forzado a los ecólogos de restauración a reenfocar su definición de las metas de restauración, cambiando de unas condiciones de referencia hacia un conjunto de funciones y servicios del ecosistema como lo esencial. En este caso, cobra importancia definir cuáles son las funciones deseables de ese ecosistema en cuestión, y determinar la manera más eficiente de generar esa función. Además, en vista de que los ecosistemas son entes dinámicos, se hace necesario fijar múltiples metas que a su vez respondan a las necesidades sociales (Choi, 2007). De ahí la necesidad de desarrollar enmiendas de restauración que puedan producir una variedad de resultados. El tener un enfoque hacia rasgos funcionales y diversidad funcional sería de vital importancia para lograr esta meta, particularmente en ecosistemas tropicales.

La fijación de metas cuantificables y realistas es un paso crítico en cualquier proyecto de res-

E Los rasgos funcionales tienen el potencial de ser mejores guías para la restauración en los trópicos. McGill et al. (2006) propusieron a los rasgos funcionales como un marco óptimo dentro del cual se pueden hacer predicciones de los resultados de las interacciones entre especies dentro de una comunidad. Estos rasgos proveen un mejor entendimiento de la función ecológica de una especie determinada y se pueden emplear para predecir la respuesta de una comunidad vegetal a los cambios en el ambiente (Westoby y Wright, 2006). Para plantas en particular, varios de los rasgos funcionales son fáciles de cuantificar y son relevantes en la evaluación del papel que juega esa especie en su comunidad (Cornelissen et al., 2003). Estos incluyen los rasgos de hojas, tallos, raíces y semillas. Por ejemplo, el área foliar específica (área foliar/peso seco de la hoja) se correlaciona positivamente con la tasa potencial de crecimiento, y negativamente con la inversión en mecanismos de defensa. De igual manera, el peso y forma de la semilla predicen su supervivencia en el banco de semillas (Funes et al., 1999) y el grosor de la corteza y arquitectura de las ramas predicen la supervivencia a fuegos (Schwilk y Ackerly, 2001). Dentro de los últimos 10 años, ha habido un notable cambio en ecología hacia el uso de rasgos y grupos funcionales, antes que rasgos específicos, para la predicción de la respuesta vegetal. Además, la diversidad funcional (más que la diversidad de especies) se ha reconocido como el principal atributo de la comunidad que decide la función del ecosistema (Cadotte et al., 2011). Este cambio se está trasladando también a la ecología de restauración como lo evidencia un

reciente incremento de más de un 600% en el número de artículos (según el “ISI Web of Science”) que contienen palabras claves tales como restauración y rasgos funcionales, que se ha dado del año 2005 al 2013.

Los rasgos funcionales de las plantas se pueden emplear como predictores de la forma en la que las especies responden a los diferentes tratamientos de restauración, pero la mayoría de estudios que han mostrado esto se han realizado en las zonas templadas. Clark et al. (2012) y Sandel et al. (2011) mostraron recientemente que los rasgos de una especie vegetal poseen una sólida capacidad para predecir cómo una especie de las praderas templadas podría responder a la restauración. Clark et al. (2012) analizaron los datos de diez sitios de restauración de praderas en el Canadá y Oeste de Estados Unidos y encontraron que los rasgos funcionales explicaban la variación entre los sitios. Sandel et al. (2011) mostraron que los rasgos funcionales predicen cómo una especie de la pradera responde a una reducción experimental en la fertilidad de suelos y una presencia de aumento en disturbios. Del mismo modo, Hedberg et al. (2013) encontraron, trabajando en pantanos templados, que al enfocarse en los rasgos funcionales podían llegar a un mejor entendimiento de los mecanismos por los cuales los tratamientos de restauración afectan a los ecosistemas, lo cual incrementa la capacidad de generalizar resultados. Finalmente, la diversidad de rasgos funcionales se puede recuperar más rápidamente que la diversidad de especies.

Por ejemplo, las praderas que son funcionalmente equivalentes a un sitio de referencia están predichas a recuperarse en menos de la mitad de los años que se requieren para crear una comunidad que tenga una composición de especies equivalente a ese mismo sitio de referencia (Woodcock et al., 2011). Estos resultados señalan la gran utilidad que el enfoque en rasgos funcionales representa para la restauración.

Una diversidad funcional alta debería ser la meta de la mayoría de proyectos de restauración. La diversidad funcional está relacionada con las características de las especies que afectan la composición y función de la comunidad. A menudo la distribución de rasgos funcionales, o la diversidad de tipos funcionales, son empleados como indicadores de la diversidad funcional. Esta diversidad está siendo amenazada por el cambio global causado por los humanos, sin embargo la biología de conservación se ha enfocado históricamente solo en la diversidad de especies (Cadotte et al., 2011). Si el enfoque estuviera dirigido hacia la diversidad funcional se daría la posibilidad de restaurar comunidades que sean más resistentes a invasión y que tengan una mejorada funcionalidad del ecosistema. Funk et al. (2008) argumentan que al generar comunidades restauradas con especies que tengan rasgos funcionales similares a los de los invasores, sería posible crear comunidades más resistentes a la

invasión. Recientemente, Byun et al. (2013) han encontrado apoyo empírico para esta hipótesis en plantas de humedales. De esta manera, podría ser apropiado el uso de la diversidad funcional como una forma de medir el éxito de la restauración (D'Astous et al., 2013).

La restauración en ecosistemas tropicales debería cada vez más enfocarse en los rasgos funcionales y en cómo estos rasgos se relacionan con la diversidad funcional. Dada la alta diversidad taxonómica de la mayoría de ecosistemas tropicales, junto con las restricciones de tiempo y presupuesto de muchos proyectos de restauración, existe una gran necesidad de desarrollar maneras de enfocar los proyectos hacia resultados funcionales que se puedan generalizar a muchos lugares. Para empezar, debería haber un énfasis en la identificación de múltiples rasgos funcionales que se relacionen con el crecimiento durante la restauración. Por ejemplo, Martínez-García et al. (2013) encontraron que tanto el crecimiento y la supervivencia de especies plantadas en pastizales abandonados en los trópicos estaban determinados por rasgos relacionados con el peso de las semillas y el tamaño de la copa, en lugar de por rasgos foliares.

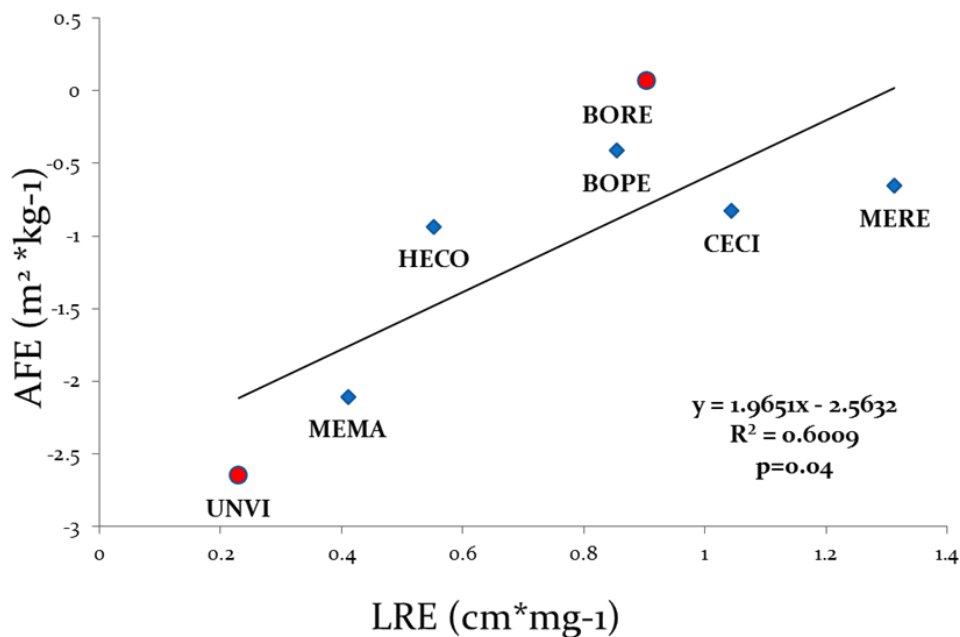


Figura 1: Rasgos de hojas y raíces en pastos encontrados dentro de bosque seco degradado en Puerto Rico. Las especies no-nativas invasoras incluyen: *Bothriocloa pertusa* (BOPE), *Cenchrus ciliaris* (CECI), *Heteropogon contortus* (HECO), *Megathyrsus maximus* (MEGA), *Melinis repens* (MERE); las especies nativas son *Uniola virgata* (UNVI) and *Bouteloua repens* (BORE). Hay una relación lineal significativa entre el Area Foliar Específica y la Longitud Radical Específica, indicando potenciales diferencias en las estrategias ecológicas entre especies. Los pastos nativos con rasgos funcionales similares a los invasores no-nativos podrían ser usados más eficientemente en restauración de sitios degradados.

En mi propio trabajo de investigación en bosques secos de Puerto Rico, he encontrado que los rasgos de hojas y raíces de pastos nativos e introducidos en bosques degradados son altamente variables entre las especies, y que parece existir una compensación entre alto crecimiento y tolerancia a la sequía (Figura 1). Algunas especies de pastos invasores no-nativos parecen presentar estrategias conservadoras de tolerancia a la sequía, mientras otras invierten más hacia alto crecimiento. Al enfocarnos en múltiples rasgos ha sido posible identificar especies de pastos nativos con estrategias ecológicas similares a las especies invasoras y hacer uso de esas especies nativas en la restauración. Por ejemplo, identificamos una especie nativa, *Uniola virgata*, que posee una combinación de rasgos de hojas y raíces similar a la

del invasor problemático, *Megathyrsus maximus*. Estamos ahora investigando el potencial de efectuar plantaciones del pasto nativo dentro de sitios dominados por *M. maximus* para mitigar los efectos de este invasor y así proveer micrositios para especies leñosas nativas (Figura 2). Hasta ahora, nuestros resultados indican que la supervivencia de plántulas de leñosas nativas trasplantadas bajo cobertura de pastos nativos es significativamente más alta que bajo la especie invasora (supervivencia 51% vs. 16%), lo que sugiere un gran potencial para uso de una especie de pasto nativo como “planta nodriza” en sitios degradados (García-Cancel, 2013). Si se continúa con un enfoque hacia rasgos funcionales, sería posible identificar otras especies nativas en otros ecosistemas que puedan ser usadas de igual manera.

La restauración ha sido proclamada como una “prueba de fuego” para la ecología, en la medida en que el recrear la estructura y función de un ecosistema es una prueba a nuestro conocimiento de cómo funciona ese ecosistema. Pasar esta prueba, particularmente en los trópicos, es el reto más grande que enfrentan los ecólogos en el siglo XXI. La rápida expansión de la lista de publicaciones dentro de la ciencia de restauración, y el gran número de proyectos de restauración activos a través del mundo, sugieren un gran avance en este sentido, pero aún queda mucho por aprender. Al destacar “función” como la variable crítica que se busca entender y realzar mediante la restauración, estamos colocándonos en una mejor posición para enfrentar los retos que un planeta cambiante supone para los humanos y ecosistemas alterados.



Figura 2: El pasto nativo *Uniola virgata* provee micrositios que promueven el establecimiento y supervivencia de especies nativas leñosas dentro de sitios degradados en bosque seco.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Juan G. García-Cancel, Tatiana Velázquez Rojas y otros estudiantes de la Universidad de Puerto Rico por sus contribuciones a las ideas y los datos mencionados en este ensayo. Virginia Vélez-Thaxton tuvo la gentileza de traducir este ensayo de inglés al español.

Literatura citada

Allen, E.B., W.W. Covington, y D.A. Falk. 1997. Developing the conceptual basis for restoration ecology. *Restoration Ecology* 5: 275-276.

Arthington, A.H., R.J. Naiman, M.E. McClain y C. Nilsson. 2009. *Freshwater Biology* 55: 1-16.

Byun, C., S. de Blois, y J. Brisson. 2013. Plant functional group identity and diversity determine biotic resistance to invasion by an exotic grass. *Journal of Ecology* 101: 128-139.

Cadotte, M.W., K. Carscadden, y N. Mirotchnick. 2011. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology* 48: 1079-1087.

Choi, Y.D. 2007. Restoration ecology to the future: a Call for new paradigm. *Restoration Ecology* 15: 351-353.

Clark, D.L., M. Wilson, R. Roberts, P.W. Dunwiddie, A. Stanley y T.N. Kaye. 2012. Plant traits – a tool for restoration? *Applied Vegetation Science* 15: 449-458.

Cornelissen, J.H.C., S. Lavorel, E. Garnier, S. Diaz, N. Buchmann, D.E. Gurvich, P.B. Reich, H. ter Stegge, H.D. Morgan, M.G.A. van der Heijden, J.G. Pausas y H. Poorter. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51: 335-380.

D'Astous, A., M. Poulin, I. Aubin, y L. Rochefort. 2013. Using functional diversity as an indicator of restoration success in a cut-over bog. *Ecological Engineering* 61: 519-526.

Davis MA. 2000. "Restoration"—a misnomer? *Science* 287:1203

Ehrenfeld, J. G. 2000. Defining the limits of restoration: The Need for Realistic Goals. *Restoration Ecology* 8: 2-9.

Funes, G., S. Basconcelo, S. Diaz and M. Cabido 1999. Seed size and shape are good predictors of seed persistence in soil in temperate mountain grasslands of Argentina. *Seed Science Research* 9: 341-345.

Funk, J.L., E.E. Cleland, K.N. Suding, y E.S. Zavaleta. Restoration through reassembly: plants traits and invasion resistance. *Trends in Ecology and Evolution* 23(12): 695-703.

García-Cancel, J.G. 2013. Effects of Native and Non-native Grasses on Woody Species Regeneration in a Puerto Rican Subtropical Dry Forest. Master's Thesis, University of Puerto Rico - Mayagüez Campus, Mayagüez, Puerto Rico.

Hedberg, P., P. Saetre, S. Sundberg, H. Rydin, y W. Kotowski. 2013. A functional trait approach to fen restoration analysis. *Applied Vegetation Science* 16(4): 658-666.

Martinez-Garcia, C., F. Bongers, y L. Poorter. 2013. Are functional traits good predictors of species performance in restoration plantings in tropical abandoned pastures? *Forest Ecology and Management* 303: 35-45.

McGill, B.J., B.J. Enquist, E. Weiher, y M. Westoby. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 178-285.

Sandel, B., J.D. Corbin, and M. Krupa. 2011. Using plant functional traits to guide restoration: a case study in California coastal grassland. *Ecosphere* 2(2):art23. doi:10.1890/E510-00175.1

Schwilk, D. W. y D.D. Ackerly. 2001. Flammability and serotiny as strategies: correlated evolution in pines. *Oikos* 94: 326-336.

Suding, K.N., K.L. Gross and G.R. Houseman. 2004. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 46-53.

Westoby, M. and S.J. Wright. 2006. Land-plant ecology on the basis of functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 261-268.

Wilson, E.O. 1992. *The Diversity of Life*. New York: Norton.

Woodcock, B.A., A.W. McDonald, y R.F. Pywell. 2011. Can long-term floodplain meadow recreation replicate species composition and functional characteristics of target grasslands? *Journal of Applied Ecology* 48: 1070-1078.

