

Respuestas estructurales y funcionales de las comunidades riparias mediterráneas a los filtros ambientales

D. Bruno^{1,*}

(1) Departamento de Ecología e Hidrología, Facultad de Biología, Universidad de Murcia, Campus Universitario de Espinardo, 30100 Murcia, España.

* Autor de correspondencia: D. Bruno [dbrunocollados@um.es]

> Recibido el 14 de septiembre de 2016 - Aceptado el 26 de septiembre de 2016

Bruno, D. 2016. Respuestas estructurales y funcionales de las comunidades riparias mediterráneas a los filtros ambientales. *Ecosistemas* 25(3):138-143. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-3.18

Introducción

En ecología, siempre ha existido un interés especial en entender y predecir las respuestas ecosistémicas a los cambios ambientales. En el actual contexto de cambio global, la intensificación del impacto humano está produciendo una pérdida de biodiversidad sin precedentes, resultando especialmente preocupante en los ecosistemas acuáticos continentales, uno de los medios más amenazados a nivel mundial (Saunders et al. 2002). Por lo tanto, es necesario avanzar en la detección de las respuestas biológicas a diferentes perturbaciones humanas, para guiar con éxito los esfuerzos conservacionistas y la gestión fluvial. Las técnicas de evaluación ecológica deberían permitir conocer de manera rápida, mecánica y precisa, las consecuencias de los cambios ambientales sobre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Tradicionalmente, las evaluaciones del estado ecológico han venido apoyándose en indicadores estructurales obviando los indicadores funcionales desarrollados en los últimos años (Cadotte et al. 2011). Sin embargo, las aproximaciones basadas en rasgos funcionales parecen mostrar ventajas claras sobre los métodos taxonómicos para predecir las respuestas biológicas a las condiciones ambientales (ej. mejor comparabilidad entre taxones, conexión con el funcionamiento del ecosistema, capacidad predictiva y menor influencia biogeográfica; McGill et al. 2006).

Dado su carácter transicional entre el medio acuático y terrestre, el estudio de las riberas fluviales ha ocupado un papel secundario tanto en limnología como en ecología terrestre. Sin embargo, estos ecotonos son parte integral de los ríos, afectando a su estructura y funcionamiento (Ward et al. 2002). La vegetación riparia cumple funciones esenciales (ej. fijación de suelo, aporte de materia orgánica), y provee de valiosos bienes y servicios ecosistémicos (ej. materias primas, depuración de agua, recarga de acuíferos). Además, este tipo de vegetación presenta una alta sensibilidad a las presiones humanas, lo que le hace ser una comunidad muy adecuada como indicadora de perturbación (Villarreal et al. 2012). En la cuenca Mediterránea (hotspot de biodiversidad mundial), las riberas fluviales son un ejemplo paradigmático de zonas biológicamente interesantes pero con un alto grado de impacto humano.

En este contexto, la presente tesis estudia las respuestas estructurales y funcionales de estas comunidades a los filtros ambientales, tanto naturales como antrópicos, que afectan y amenazan los ríos mediterráneos, de cara a mejorar las aproximaciones actuales de seguimiento y gestión de los mismos. Todos los estudios que componen los cuatro capítulos de esta tesis han sido llevados a cabo en la Cuenca Hidrográfica del Segura, una cuenca mediterránea situada en el sureste de la península Ibérica que presenta un marcado gradiente ambiental (Fig. 1).



Figura 1. Gradiente ambiental y diversidad de las comunidades riparias en el área de estudio. En la secuencia de imágenes se aprecia la transición riparia de especies de distribución holártica (*Fraxinus* spp., *Populus* spp., *Salix* spp.) en las cabeceras (imágenes superiores) a especies Mediterráneas y norteafricanas a los tramos inferiores (*Tamarix* spp., *Nerium oleander*, *Phoenix dactylifera*).

Figure 1. Environmental gradient and diversity of riverine communities in the study area. Riparian transition from typically European taxa (*Fraxinus* spp., *Populus* spp., *Salix* spp.) in the headwaters (upper images) to Mediterranean and North African ones in the lowlands (*Tamarix* spp., *Nerium oleander*, *Phoenix dactylifera*).

Respuestas estructurales

Las aproximaciones taxonómicas han sido ampliamente usadas para la evaluación del estado ecológico de los ecosistemas y detectar las respuestas de las comunidades biológicas al estrés y al filtrado ambiental. En el Capítulo 1, se describen los patrones de riqueza y composición de la vegetación riparia. En concreto, se exploran las similitudes y diferencias entre los patrones de la vegetación leñosa y herbácea, y se identifican las principales variables ambientales que los conforman (climáticas, geológicas, topográficas, hidromorfológicas y de usos del suelo) mediante regresiones múltiples través de modelos lineales generalizados (MLGs) para la riqueza de especies y modelos lineales basados en distancias para los patrones de composición (DistLM). Entre estas variables, las hidromorfológicas y los usos del suelo afectaron fuertemente a la composición (Fig. 2) y diversidad de especies leñosas ($R^2 = 0.29$ y $R^2 = 0.17$, respectivamente) y herbáceas ($R^2 = 0.16$ y $R^2 = 0.18$) (Bruno et al. 2014a). Considerando las variables individualmente, la riqueza de especies leñosas estuvo principalmente condicionada por el caudal (máxima en caudales intermedios, MLGs, $R^2 = 0.39$) y la forma del valle (máxima en valles cerrados, $R^2 = 0.37$) mientras que la riqueza de herbáceas resultó ser más dependiente de las características del sustrato, estando relacionada positivamente con el tamaño de grano ($R^2 = 0.17$) y negativamente con la compactación del sustrato ($R^2 = 0.11$). Tanto la composición como la riqueza de especies mostraron un patrón longitudinal siguiendo el gradiente ambiental en la cuenca, aunque éste fue más evidente para las leñosas que para las herbáceas.

Una vez determinada la importancia de los distintos grupos de variables ambientales, el capítulo 2 se centra en el efecto de las principales presiones humanas (intensificación de los usos del suelo y alteración hidromorfológica) sobre las comunidades riparia leñosa y de macroinvertebrados acuáticos (Bruno et al. 2014b). Para ello, se evaluaron y compararon las respuestas de índices de

riqueza y de calidad ecológica de ambas comunidades (Tabla 1), considerando que dichas respuestas podían variar dependiendo de la naturaleza (acuática-terrestre) del grupo, la escala espacial considerada y de los indicadores usados para detectarlas. Las presiones humanas influyeron negativamente tanto a las comunidades acuáticas como riparias, independientemente de la escala espacial utilizada (tramo fluvial o cuenca vertiente), la naturaleza de la presión o el tipo de indicador biológico utilizado (calidad ecológica y diversidad) (Fig. 3). La agricultura ejerció el mayor efecto (negativo) sobre las comunidades riparias mientras que la alteración hidromorfológica lo ejerció sobre las comunidades acuáticas. La extensión e intensidad de la agricultura y la alteración hidromorfológica en la cuenca vertiente (aguas arriba) tuvo un efecto al menos comparable o incluso mayor que las mismas perturbaciones presentes en el propio tramo de estudio. Finalmente, los índices de calidad ecológica fueron más sensibles a las presiones humanas que la riqueza de especies.

Respuestas funcionales

El objetivo del Capítulo 3 fue explorar la respuesta funcional de la vegetación riparia leñosa a los principales filtros ambientales de las cuencas fluviales mediterráneas. En concreto, se estudia cómo la redundancia funcional (un atributo relacionado con la estabilidad, resistencia y resiliencia del ecosistema) responde a la sequía, alteración hidrológica y agricultura así como a sus interacciones, en comparación con otras medidas de diversidad funcional (riqueza, uniformidad y divergencia funcional) (Bruno et al. 2016a). Los valores de todos los índices funcionales descendieron al incrementarse el estrés, especialmente como respuesta a la intensificación agrícola, la presión ambiental más importante para la funcionalidad riparia en el área de estudio. Sin embargo, la redundancia funcional fue más sensible (Tabla 2) que otras medidas funcionales a los filtros ambientales tanto individuales como múltiples, reduciendo su

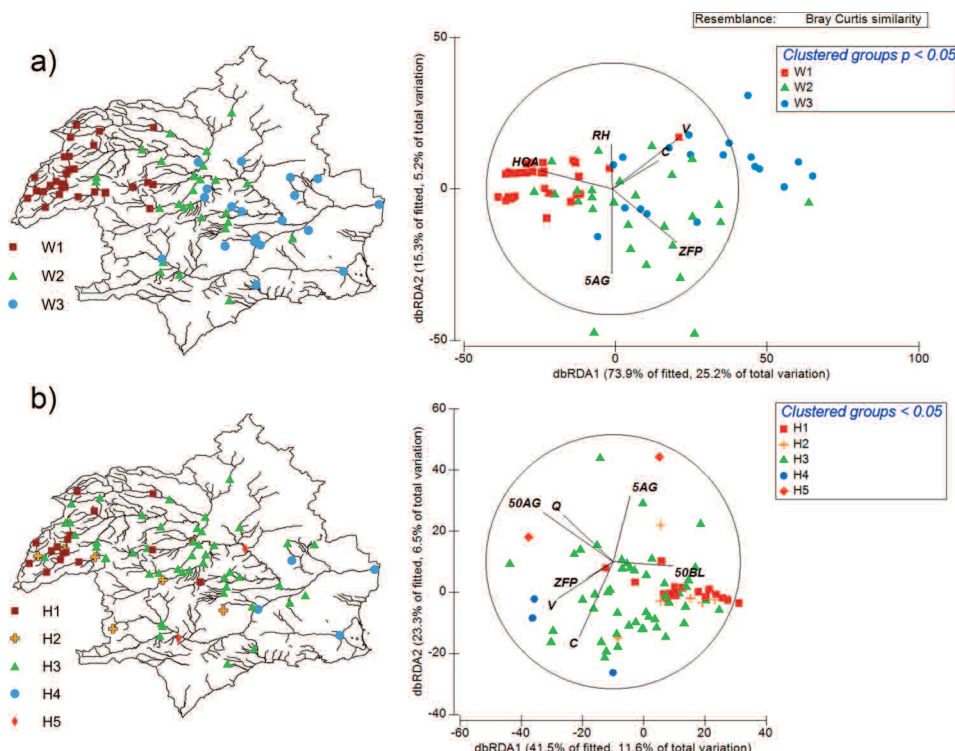


Figura 2. Distribución espacial de las comunidades riparias según su similitud en la composición de especies (agrupación según cluster + gráfico de ordenación) y las variables ambientales significativas que determinan ese patrón para a) especies leñosas y b) herbáceas. RH= Naturalidad del régimen hidrológico, V= Forma del valle, C= Conductividad, ZFP= Temporalidad del flujo, Q= Caudal, 50BL= Bosque en un buffer de 50 metros, HQA= Calidad del hábitat fluvial, 50AG y 5AG= Agricultura en un buffer de 50 y 5 metros, respectivamente.

Figure 2. Spatial distribution of the different clustered assemblages and dbRDA ordination plot relating composition cluster grouping and significant environmental variables for (a) woody species and (b) herbaceous species. HQA= Aquatic habitat quality assessment; RH= Hydrological regime; V=Valley shape; C=Conductivity; ZFP=Zero-flow period duration; Q=Flow; 50BL= Broadleaf/mixed semi-natural forest; 50AG and 5AG= Agriculture in the 50 and 5 m. buffer, respectively.

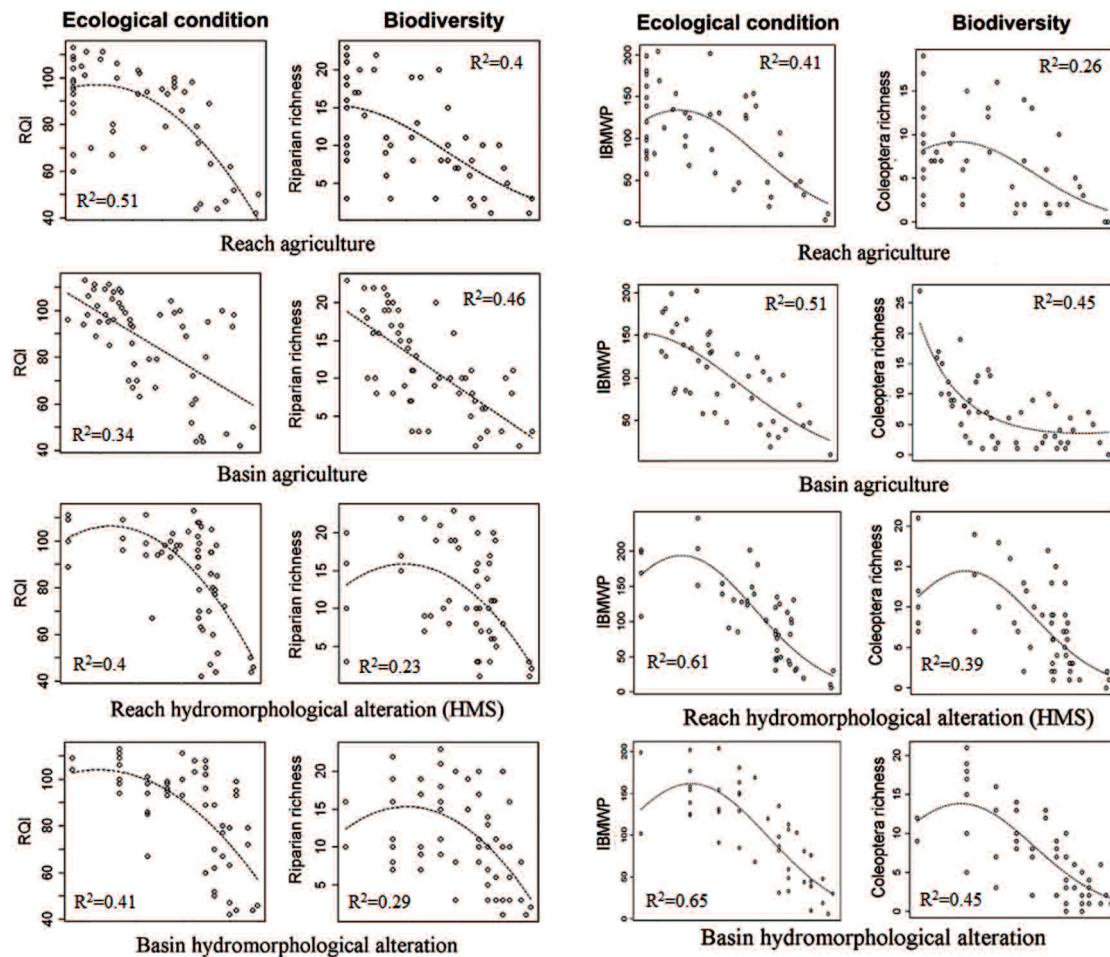


Figura 3. Respuesta de la calidad riparia (RQI), riqueza riparia, calidad de la comunidad acuática (IBMWP), riqueza de coleópteros acuáticos (grupo indicador de las comunidades acuáticas, [Sánchez-Fernández et al., 2006](#)) a la agricultura y a la alteración hidromorfológica a la escala de tramo y de cuenca según los resultados del MLG (Modelos Lineales Generalizados).

Figure 3. Response of riparian quality (RQI), riparian richness, aquatic macroinvertebrate-based quality index (IBMWP) and water beetle richness (good biodiversity indicator in aquatic ecosystems, [Sánchez-Fernández et al., 2006](#)) to agriculture and hydromorphological disturbances at reach and basin scales according to GLM results.

Tabla 1. Resumen de los índices utilizados estructurales y funcionales utilizados en la tesis.

Table 1. Summary of structural and functional indices used in the thesis.

Tipo de índices / Capítulos de la tesis	Capítulo 1	Capítulo 2	Capítulo 3	Capítulo 4
Índices estructurales				
Riqueza de plantas leñosas	X	X		X
Riqueza de plantas herbáceas	X			
Índice de calidad riparia (RQI)		X		X
Riqueza de coleópteros acuáticos		X		
Índice de calidad macroinvertebrados acuáticos (IBMWP)		X		
Índices funcionales vegetación				
Redundancia funcional			X	X
Uniformidad funcional			X	
Riqueza funcional			X	
Divergencia funcional			X	

Tabla 2. Resultados de los modelos de efectos mixtos mostrando las ecuaciones de los mejores modelos, p-valor y bondad del ajuste ($R^2 m$) para los diferentes índices funcionales. A: Agricultura, F: Regulación de caudales, D: Sequía, FRic: Riqueza funcional, FDis= Divergencia funcional, FEve: Uniformidad funcional, y FR: Redundancia funcional. Las interacciones entre las variables se representan con un asterisco. ns: coeficiente no significativo.

Table 2. Results of mixed-effect models showing the best-fitting model equation, P-values and goodness-of-fit ($R^2 m$) for the different functional indices. A: Agriculture, F: Flow regulation, D: Drought, FR: Functional redundancy. Pairwise interactions are noted with an asterisk. ns: non-significant coefficient.

Índice funcional	Ecuación del mejor modelo	(A)	(F)	(D)	A*F	A*D	F*D	R ² m
FRic	$y=0.017-0.016A-0.009D+0.01A*D$	< 0.001	ns	0.03	ns	0.018	ns	0.37
FDis	$y=0.253-0.032A$	< 0.001	ns	ns	ns	ns	ns	0.21
FEve	$y=0.809-0.074A-0.097A*F+0.091D*F$	0.004	ns	ns	0.002	ns	< 0.001	0.28
FR	$y=2.66-0.624A-0.642D-0.475F+0.506A*D+0.354A*F$	< 0.001	<0.001	< 0.001	0.002	0.002	ns	0.59

valor con la intensidad del estrés (independiente de la respuesta taxonómica según los modelos nulos). La redundancia funcional fue predicha y proyectada espacialmente para toda la red fluvial de cara a facilitar su uso por parte de los gestores ambientales (Fig. 4).

Finalmente, dado que la redundancia funcional fue el índice funcional más sensible a la alteración, en el Capítulo 4 se testa su aplicabilidad como herramienta de biomonitorio, comparándola con índices convencionales (taxonómicos y de calidad ecológica). Concretamente, se evaluaron tanto las respuestas de estos índices a los filtros antrópicos (alteración hidrológica y superficie agrícola) considerando el estrés natural subyacente (sequía), así como su capacidad para discriminar entre diferentes categorías de intensidad de perturbación humana (Bruno et al. 2016b). Aunque todos

los índices (Tabla 1: capítulo 4) mostraron respuestas significativas, la redundancia funcional fue la más explicativa y sensible, siendo el único índice capaz de detectar impactos humanos de baja intensidad en todos los tipos de río. Además, en base a los valores de redundancia funcional, se establecieron distintas categorías de impacto funcional para los ríos permanentes y temporales del área de estudio (los valores de referencia difirieron según la temporalidad del río). Usando los valores límite de estas categorías de impacto y el mejor modelo de redundancia funcional, se obtuvo un mapa del impacto humano para toda la red fluvial, lo que puede ayudar a los gestores a establecer objetivos y diseñar estrategias para la conservación y restauración a escala de cuenca hidrográfica (Fig. 5).

Functional Redundancy (FR)

— < 2

— 2 - 2.5

— 2.51 - 3

— 3.01 - 4

— > 4

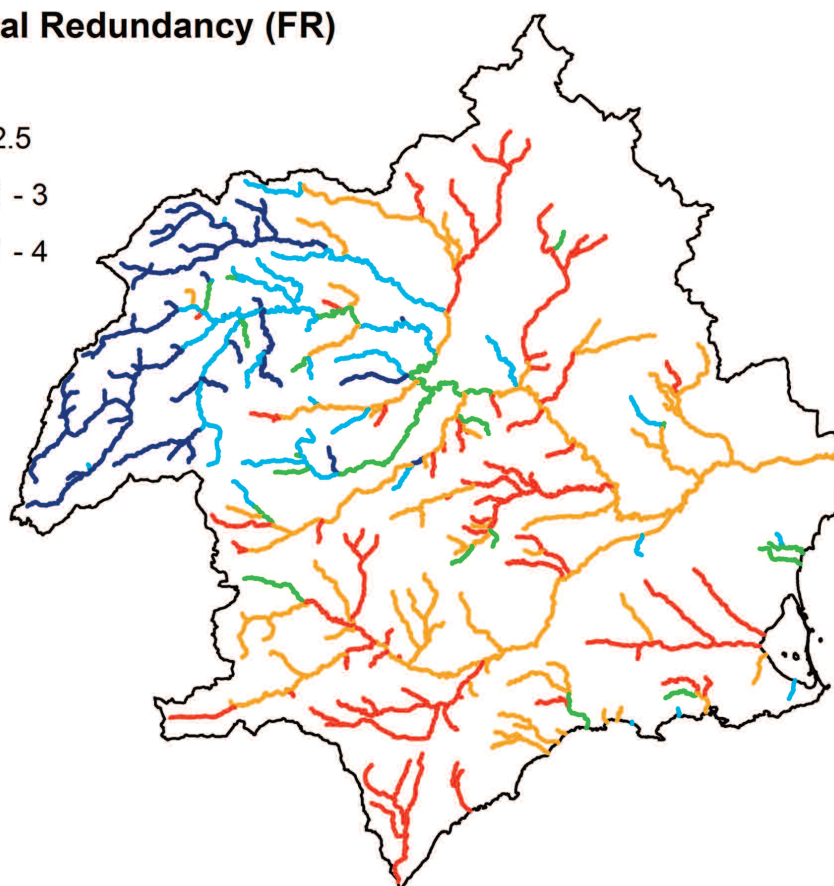


Figura 4. Valores de Redundancia Funcional predichos para la vegetación de ribera a lo largo de la red fluvial de la Cuenca del Segura.

Figure 4. Predicted functional redundancy values for riparian communities in the entire river network of the Segura basin.

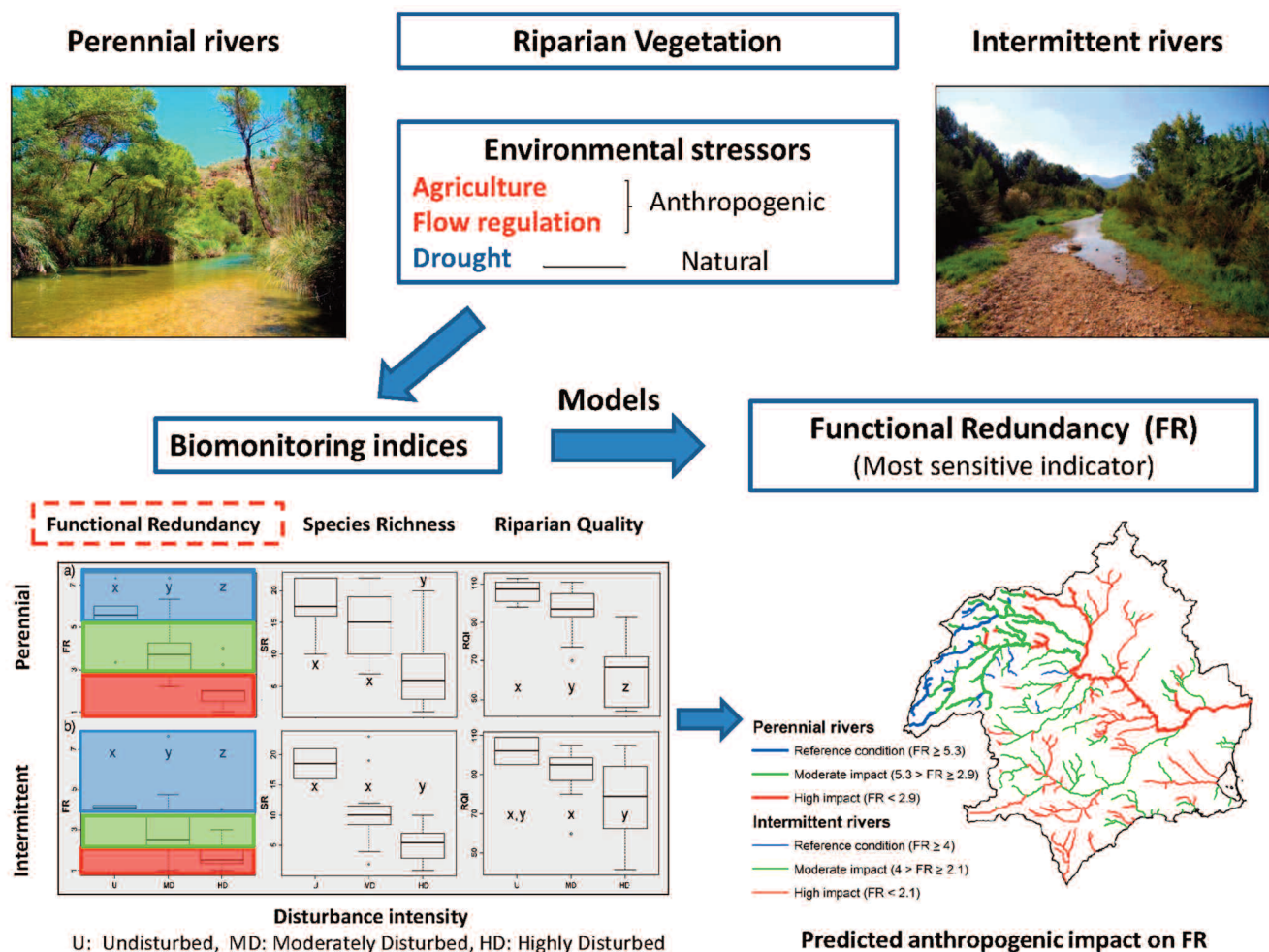


Figura 5. Aproximación utilizada en el cuarto capítulo de la tesis para testar la aplicabilidad de la Redundancia Funcional en biomonitorio.

Figure 5. Approach used in the fourth chapter of the thesis to test the applicability of functional redundancy in biomonitoring.

Conclusiones

Las comunidades riparias mediterráneas experimentan cambios en la composición de especies conforme se intensifica el estrés ambiental, tornándose menos diversas y reduciéndose su calidad, diversidad funcional y redundancia funcional. Esto puede comprometer la capacidad de las riberas fluviales para hacer frente a nuevas perturbaciones (baja resistencia y resiliencia) así como la cantidad y calidad de los bienes y servicios que aportan. Aunque la riqueza taxonómica, la calidad riparia y los índices de diversidad funcional respondieron claramente a los impactos antrópicos, la redundancia funcional resultó ser más sensible. Además de aportar información exclusiva y complementaria sobre cómo las comunidades biológicas responden al estrés, su cálculo puede ser realizado al mismo tiempo que el de los índices estructurales ya que solo necesitamos saber la identidad (y si es posible abundancia) de las especies y el grupo funcional al que pertenecen, no requiriendo una formación más específica que la de los índices tradicionalmente utilizados para biomonitorio. Su uso puede ayudar a anticipar cambios en la cantidad y estabilidad de las funciones que desempeñan las comunidades biológicas, como consecuencia del impacto humano.

Finalmente, la redundancia funcional puede ser predicha para cuencas fluviales completas o áreas administrativas grandes utilizando variables geográficas obtenidas a través de SIG, y actualmente disponibles para la mayoría de regiones. Los gradientes de estrés natural subyacentes, que influyen los patrones taxonómicos y funcionales en ríos mediterráneos, deben ser tenidos en

cuenta a la hora de evaluar las comunidades fluviales en estas áreas. La redundancia funcional fue el único índice biológico capaz de detectar desde perturbaciones menores a grandes impactos tanto en ríos permanentes como temporales. En consecuencia, indicadores funcionales como la redundancia funcional se perfilan como una herramienta útil a ser incorporada en el seguimiento y evaluación del estado ecológico, ya que muestra claras ventajas sobre los índices tradicionalmente usados en biomonitorio. Finalmente, la ordenación del territorio y la planificación hidrológica a escala de cuenca resultan complementos esenciales a las medidas tradicionales de conservación y restauración a nivel local si queremos preservar los ecosistemas fluviales con éxito.

Agradecimientos

Esta Tesis Doctoral ha sido financiada mediante una beca predoctoral de Formación de Profesorado Universitario (FPU, AP2009-0432) del Ministerio de Educación y Ciencia de España.

Referencias

- Bruno, D., Belmar, O., Sánchez-Fernández, D., Velasco, J. 2014a. Environmental determinants of woody and herbaceous riparian vegetation patterns in a semi-arid mediterranean basin. *Hydrobiologia* 730(1): 45-57.
- Bruno, D., Belmar, O., Sánchez-Fernández, D., Guareschi, S., Millán, A., Velasco, J. 2014b. Responses of Mediterranean aquatic and riparian communities to human pressures at different spatial scales. *Ecological Indicators* 45: 456-464.

- Bruno, D., Gutiérrez-Cánovas, C., Sánchez-Fernández, D., Velasco, J., Nilsson, C. 2016a. Impacts of environmental filters on functional redundancy in riparian vegetation. *Journal of Applied Ecology* 53: 846-855.
- Bruno, D., Gutiérrez-Cánovas, C., Velasco, J., Sánchez-Fernández, D. 2016b. Functional redundancy as a tool for bioassessment: A test using riparian vegetation. *Science of The Total Environment* 566-567: 1268-1276.
- Cadotte, M.W., Carscadden, K., Mirotnick, N. 2011. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology* 48: 1079-1087.
- McGill, B.J., Enquist, B.J., Weiher, E., Westoby, M. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 178-185.
- Sánchez-Fernández, D., Abellán, P., Mellado, A., Velasco, J., Millán, A. 2006. Are water beetles good indicators of biodiversity in Mediterranean aquatic ecosystems? The case of the Segura river basin (SE Spain). *Biodiversity and Conservation* 15: 4507-4520.
- Saunders, D.L., Meeuwig, J.J., Vincent, A.C.J. 2002. Freshwater protected areas: Strategies for conservation. *Conservation Biology* 16: 30-41.
- Villarreal, M.L., Drake, S., Marsh, S.E., McCoy, A.L. 2012. The influence of wastewater subsidy, flood disturbance and neighbouring land use on current and historical patterns of riparian vegetation in a semi-arid watershed. *River Research and Applications* 28: 1230-1245.
- Ward, J.V., Tockner, K., Arscott, D.B., Claret, C. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47: 517-539.

DANIEL BRUNO

Structural and functional responses of Mediterranean riparian communities to environmental filters. Respuestas estructurales y funcionales de las comunidades riparias mediterráneas a los filtros ambientales

Tesis Doctoral

Departamento de Ecología e Hidrología, Facultad de Biología, Universidad de Murcia

Diciembre 2015

Directores: Josefa Velasco García, David Sánchez-Fernández

Publicaciones resultantes de la tesis

- Bruno, D., Belmar, O., Sánchez-Fernández, D., Velasco, J. 2014. Environmental determinants of woody and herbaceous riparian vegetation patterns in a semi-arid mediterranean basin. *Hydrobiologia* 730(1): 45-57.
- Bruno, D., Belmar, O., Sánchez-Fernández, D., Guareschi, S., Millán, A., Velasco, J. 2014. Responses of Mediterranean aquatic and riparian communities to human pressures at different spatial scales. *Ecological Indicators* 45: 456-464.
- Bruno, D., Gutiérrez-Cánovas, C., Sánchez-Fernández, D., Velasco, J., Nilsson, C. 2016. Impacts of environmental filters on functional redundancy in riparian vegetation. *Journal of Applied Ecology* 53: 846-855.
- Bruno, D., Gutiérrez-Cánovas, C., Velasco, J., Sánchez-Fernández, D. 2016. Functional redundancy as a tool for bioassessment: A test using riparian vegetation. *Science of The Total Environment* 566-567: 1268-1276.

Artículos de divulgación

- Cómo evaluar la salud de los ríos y mejorar su conservación, *Agencia SINC*, Mayo 2016. <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Como-evaluar-la-salud-de-los-rios-y-mejorar-su-conservacion>
- Functional redundancy and how river ecosystems respond to stress. *The Freshwater Blog*, Febrero 2016. <https://freshwaterblog.net/2016/02/16/functional-redundancy-and-river-ecosystem-responses-to-stress/>
- River ecosystems damaged by agriculture and dams at local and basin scales, *Science for Environment Policy*, Octubre 2014. http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/agriculture_damages_river_ecosystems_390na3_en.pdf