

Efectos del cambio climático sobre los atributos de las comunidades bióticas y funcionamiento del ecosistema en zonas áridas

Enrique Valencia^{1,*}

(1) Departamento de Botánica, Faculty of Science, University of South Bohemia, Branišovská 31, České Budějovice, Czech Republic.

* Autor de correspondencia: E. Valencia [valencia.gomez.e@gmail.com]

> Recibido el 13 de octubre de 2016 - Aceptado el 03 de noviembre de 2016

Valencia, E. 2016. Efectos del cambio climático sobre los atributos de las comunidades bióticas y funcionamiento del ecosistema en zonas áridas. *Ecosistemas* 25(3):154-159 Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-3.21

El cambio climático es uno de los problemas más importantes para la humanidad debido a su gran incidencia sobre la biodiversidad global. Este proceso incluye cambios en los organismos a nivel individual, modificaciones en la composición, distribución o abundancia a nivel de comunidad y alteraciones en la estructura y funcionamiento del ecosistema en su conjunto (Hughes 2000). La magnitud del cambio climático ha generado un gran interés en la comunidad científica, que intenta evaluar no solo los efectos actuales, sino predecir los futuros sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Root et al. 2003). Entre estos se encuentran las zonas áridas que ocupan el 41% de la superficie terrestre y albergan al 38% de la población global, siendo uno de los ecosistemas más vulnerables a los efectos del cambio climático (Maestre et al. 2012 y referencias citadas allí). Sin embargo, nuestro conocimiento sobre los efectos del cambio climático en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de zonas áridas es menor que el que tenemos de otros ecosistemas, como los templados. Dada su importancia, es necesaria más investigación en torno a ellos. En este contexto, el estudio de la respuesta de las comunidades de zonas áridas ante el cambio climático analizadas mediante un enfoque basado en rasgos funcionales apenas se ha explorado. La presente tesis doctoral tiene como objetivo evaluar en ellas el papel de los rasgos funcionales en distintos niveles de organización, desde las plantas individuales hasta la escala de comunidad. Asimismo, se evalúan los efectos de estos cambios sobre el funcionamiento del ecosistema. Para la consecución de este objetivo, se han llevado a cabo una serie de estudios experimentales, a escala local, y observacionales, a escala regional.

Efectos del cambio climático en las especies

La respuesta individual de las plantas ante el proceso de cambio climático puede proporcionar resultados que nos indiquen

su respuesta futura. Con este propósito, se evaluó la respuesta fotosintética y fenológica, y su relación con las características morfológicas de distintas especies (Tabla 1) ante un incremento de temperatura de ~3°C durante dos años con condiciones climáticas muy diferentes (primer año más seco que el segundo). Para ello, se crearon monocultivos de herbáceas de zonas áridas en las instalaciones de la Universidad Rey Juan Carlos. El calentamiento provocó un incremento de la tasa fotosintética al comienzo de la estación de crecimiento del año más seco, así como un adelanto en la fenología floral durante los dos años de estudio, y una reducción de la producción de flores y frutos en el año menos seco (Fig. 1) (Valencia et al. 2016a; 2016b). Estos resultados sugieren un adelanto simulado de la primavera bajo condiciones de calentamiento, dado que al comienzo de la estación de crecimiento las condiciones hídricas no son limitantes; no obstante, las bajas temperaturas si pueden serlo. Esto implica que el incremento de las mismas mediante el tratamiento de calentamiento provoque este resultado (Liancourt et al. 2012). Por otra parte, se estudiaron las diferencias interespecíficas y cómo estas pueden ser determinadas por los rasgos funcionales. En este trabajo se observó que las especies de mayor tamaño y de hojas más pequeñas presentaron mayores tasas fotosintéticas bajo calentamiento al final de la estación de crecimiento que al principio, así como una floración más temprana y con períodos de floración más largos. Por último, los efectos producidos por el calentamiento sobre el tamaño de la planta y la morfología de las hojas estuvieron correlacionados con los cambios producidos en la fenología floral. Las especies en las que el calentamiento provocó un decrecimiento del área foliar o del tamaño de las plantas avanzaron en mayor medida el inicio de la floración y tuvieron una menor producción de flores. Estos resultados subrayan que los rasgos funcionales cambian con el calentamiento y que tales cambios influyen sobre las respuestas fenológicas al mismo, de manera que se produce un desarrollo conjunto de rasgos morfológicos, fisiológicos y

Tabla 1. Información de las especies evaluadas en los estudios experimentales a escala local.**Table 1.** Information about the species evaluated in experimental studies at local scale.

Especies	Familia	Especies con medidas de fotosíntesis	Especies con medidas de fenología	Especies en experimento con distintos niveles de riqueza
<i>Achillea millefolium</i>	Asteraceae			X
<i>Agropyrum cristatum</i>	Poaceae	X	X	X
<i>Anthyllis vulneraria</i>	Fabaceae		X	
<i>Asphodelus fistulosus</i>	Xanthorrhoeaceae		X	
<i>Astragalus lusitanicus</i>	Fabaceae			
<i>Bituminaria bituminosa</i>	Fabaceae	X	X	X
<i>Brachypodium phoenicoides</i>	Poaceae			
<i>Briza media</i>	Poaceae			X
<i>Bromus inermis</i>	Poaceae			X
<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae		X	X
<i>Dianthus barbatus</i>	Caryophyllaceae			X
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	Fabaceae	X	X	X
<i>Echium boissieri</i>	Boraginaceae		X	X
<i>Echium plantagineum</i>	Boraginaceae		X	X
<i>Eryngium campestre</i>	Apiaceae			X
<i>Festuca ovina</i>	Poaceae	X	X	X
<i>Festuca rubra</i>	Poaceae			X
<i>Hedysarum coronarium</i>	Fabaceae	X	X	
<i>Lolium perenne</i>	Poaceae			X
<i>Lotus corniculatus</i>	Fabaceae			X
<i>Lygeum spartum</i>	Poaceae	X		X
<i>Medicago lupulina</i>	Fabaceae			X
<i>Medicago sativa</i>	Fabaceae	X	X	X
<i>Melilotus officinalis</i>	Fabaceae			X
<i>Onobrychis viciifolia</i>	Fabaceae			X
<i>Phlomis herba-venti</i>	Lamiaceae	X		
<i>Plantago lanceolata</i>	Plantaginaceae	X	X	X
<i>Poa pratensis</i>	Poaceae		X	
<i>Sanguisorba minor</i>	Rosaceae	X	X	X
<i>Saponaria ocymoides</i>	Caryophyllaceae			X
<i>Trifolium pratense</i>	Fabaceae			X
<i>Trifolium repens</i>	Fabaceae			X

fenológicos. Siempre que estos cambios mejoren el rendimiento o la supervivencia de las plantas, significa que son capaces de presentar respuestas adaptativas para mitigar los efectos del calentamiento.

Efectos del cambio climático en la estructura de la comunidad y el funcionamiento de los ecosistemas

Para evaluar los efectos del cambio climático se utilizó un marco conceptual conocido como esquema respuesta-efecto, basado en la premisa de que los mismos rasgos funcionales pueden capturar a la vez tanto la respuesta de la comunidad a los cambios como los efectos sobre los procesos ecosistémicos (Fig. 2). Se evalúa la estructura funcional de comunidades naturales de espartal y matorral de zonas áridas Mediterráneas, muestreadas a lo largo de un gradiente de aridez, desde el centro al sureste de España, considerando los resultados obtenidos en las condiciones de mayor

aridez como las posibles respuestas de estos ecosistemas ante el cambio climático. Se observó que las especies dentro de estas comunidades se distribuyen en torno a ejes de especialización, relacionados con rasgos funcionales como la arquitectura de las plantas y el tamaño y morfología de las hojas (Fig. 3). También se evaluó cómo afecta el filtrado ambiental del hábitat (véase Maire et al. 2012 y referencias citadas allí) y la diferenciación de nicho (véase Maire et al. 2012 y referencias citadas allí) a la estructura de la comunidad vegetal. Se denomina filtrado ambiental al mecanismo por el que las condiciones ambientales imponen un proceso de selección de rasgos viables en estas condiciones, afectando a las especies que no dispongan de los mismos (Maire et al. 2012). A nivel de comunidad, este proceso conduce a un cambio en la identidad de las especies dominantes ("community-weighted trait") y puede reducir la diversidad funcional, ya que las especies convergen en el rasgo que es más viable, eliminando las especies que no poseen esta característica. Por otra parte, la

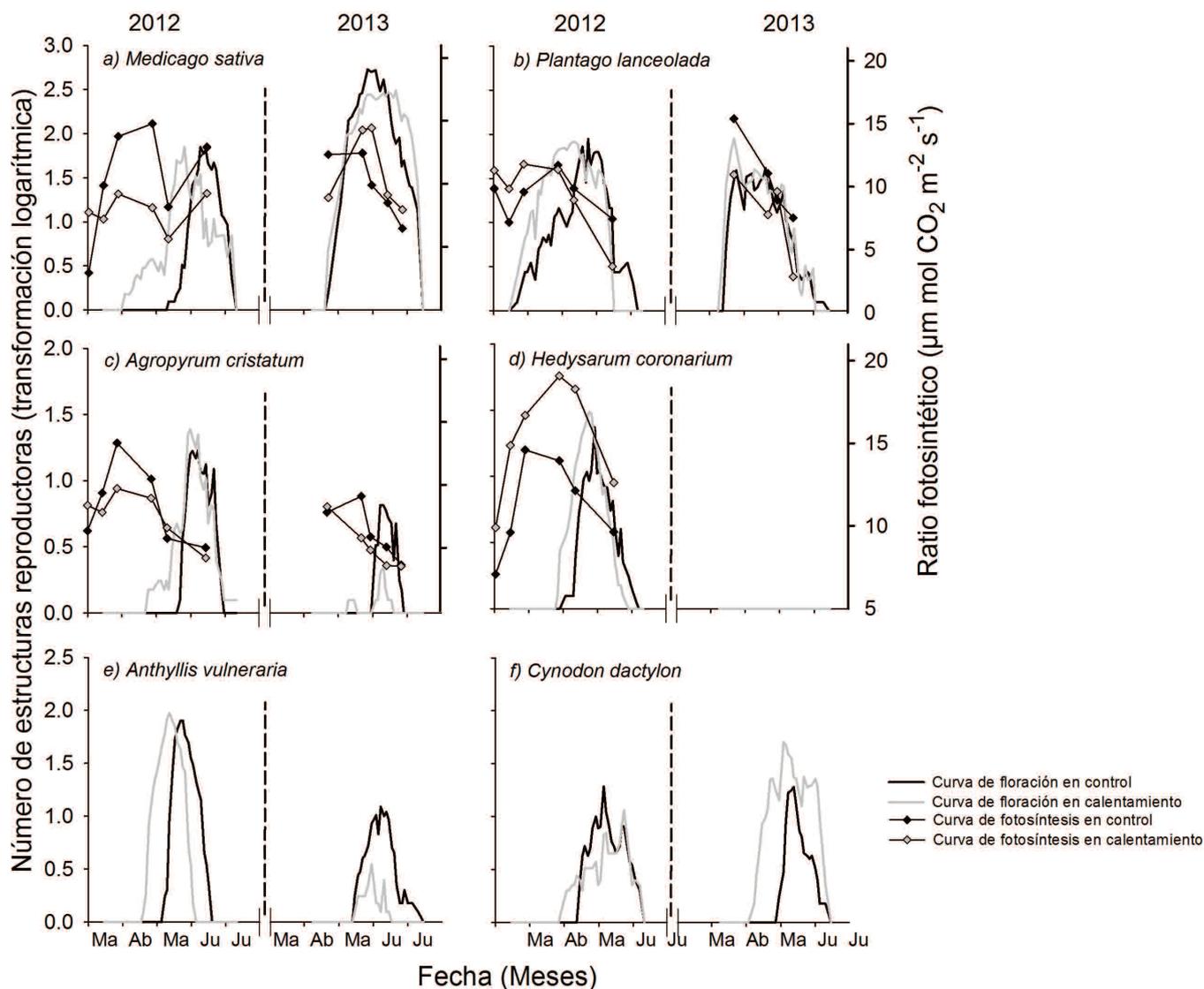


Figura 1. Ejemplos de la dinámica temporal del ratio fotosintético y la floración de algunas de las especies estudiadas. El eje de ordenadas izquierdo representa el número de unidades reproductivas, y el eje de ordenadas derecho la tasa fotosintética. Las medidas fotosintéticas y fenológicas no son coincidentes en todas las especies (Tabla 1). $n=4$ por tratamiento.

Figure 1. Examples of temporal dynamics of photosynthetic rate and flowering phenology of studied species. Left axis represents the number of flowering units, and the right axis photosynthetic rate. Photosynthetic and phenological measures were not taken in all the species (Table 1). $n=4$ per treatment.

diferenciación de nicho está relacionada con procesos que seleccionan especies con rasgos funcionales contrastados, permitiendo la coexistencia de especies con rasgos diferenciados (Maire et al. 2012). Este mecanismo puede ser consecuencia directa de los cambios ambientales, debido a que especies funcionalmente muy diferentes conviven al tener una respuesta diferente, pero igual de óptima, frente a las mismas condiciones ambientales. A nivel de comunidad, una alta diferenciación de nicho conlleva una alta diversidad funcional. Se observó que ambos procesos actúan de manera simultánea, pero sobre diferentes ejes de especialización de la comunidad, y dependiendo de las condiciones de aridez (Gross et al. 2013). Los cambios producidos en la estructura funcional de la comunidad promueven efectos en los procesos ecosistémicos (Fig. 2). Nuestro estudio mostró que los procesos ecosistémicos son explicados conjuntamente por los rasgos funcionales de las especies dominantes y por la diversidad funcional y, en menor medida, por los efectos directos de la aridez y la abundancia de matorrales (Fig. 3) (Valencia et al. 2015). La promoción de la diversidad funcional en estas comunidades mediante especies rebrotadoras es una pieza clave para el

mantenimiento de los procesos ecosistémicos ante incrementos de aridez, como los pronosticados por los modelos de cambio climático.

Finalmente, el análisis de distintos niveles tróficos es necesario para tener una visión más integradora de la complejidad de los ecosistemas (Zak et al. 2003). Para ello, se planteó un estudio experimental para evaluar los efectos del cambio climático (incremento de temperatura y reducción de la precipitación) y la riqueza de especies sobre los procesos ecosistémicos, y analizar si estos efectos están mediados únicamente por los cambios producidos en la estructura de la comunidad de plantas o también por las relaciones con otros niveles tróficos, como pueden ser distintas comunidades de microorganismos. Los resultados indicaron que tanto los tratamientos de cambio climático como la riqueza influyen en la estructura funcional de la comunidad de plantas, así como en la abundancia de bacterias (Fig. 4). Sin embargo, los efectos directos en los procesos ecosistémicos fueron poco importantes, siendo los efectos indirectos mediados por la estructura funcional de las comunidades de plantas y la abundancia de bacterias y protistas los que explicaban mayormente la

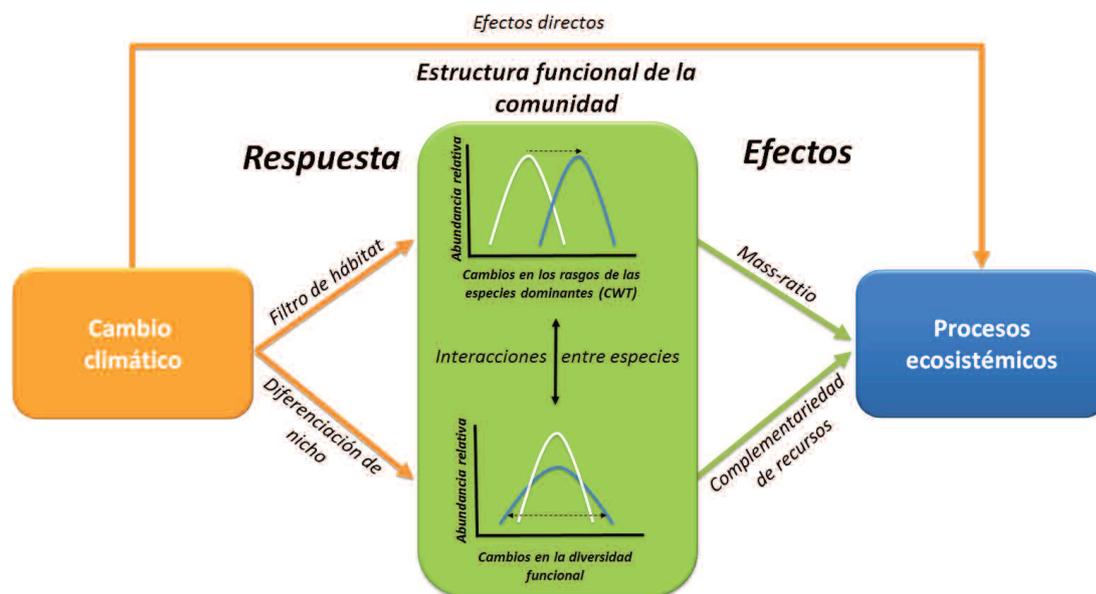


Figura 2. Marco conceptual conocido como esquema respuesta-efecto, basado en que los mismos rasgos funcionales pueden capturar a la vez tanto la respuesta de la comunidad a los cambios como los efectos sobre los procesos ecosistémicos (adaptado de Valencia et al. 2015 y referencias citadas allí). La literatura destaca fundamentalmente dos mecanismos para describir las respuestas de la comunidad a los cambios (parte izquierda de la figura): el filtrado ambiental del hábitat y la diferenciación de nicho. Asimismo, los cambios producidos en la estructura funcional de la comunidad promueven efectos en los procesos ecosistémicos (parte derecha de la figura) y también pueden ser explicados mediante dos mecanismos: “mass-ratio” (Grime 1998) y complementariedad de recursos (Loreau et al. 2001). Las curvas blancas representan una distribución de rasgos funcionales en una hipotética comunidad y las curvas azules representan los cambios en la distribución de rasgos funcionales en esa comunidad producidos por un factor, como puede ser el cambio climático, aumentando el valor promedio de los rasgos de las especies dominantes y la diversidad funcional. CWT: Community Weighted Trait, media del rasgo funcional estudiado en la comunidad ponderado por la abundancia de cada especie.

Figure 2. Conceptual figure of the “response-effect framework”. The hypothesis of this framework is that same functional traits can simultaneously explain both the community response to changes, and the effects on ecosystem functioning (adapted from Valencia et al. 2015 and references therein). The literature highlights two main mechanisms to explain the community responses to changes (left part of the figure): habitat filtering and niche differentiation. Also, changes in functional structure of the communities may promote effects on ecosystem functioning, and can be explained via two mechanisms: “mass-ratio” (Grime 1998) and niche complementary (Loreau et al. 2001). The white curves represent a functional trait distribution in a hypothetical community and the blue curves represent the changes in functional trait distribution of this community promoted by a factor, such as climate change, increasing the average trait value of the dominant species and functional diversity. CWT: Community Weighted Trait, the mean trait value of a community weighted by the relative abundance of each species.

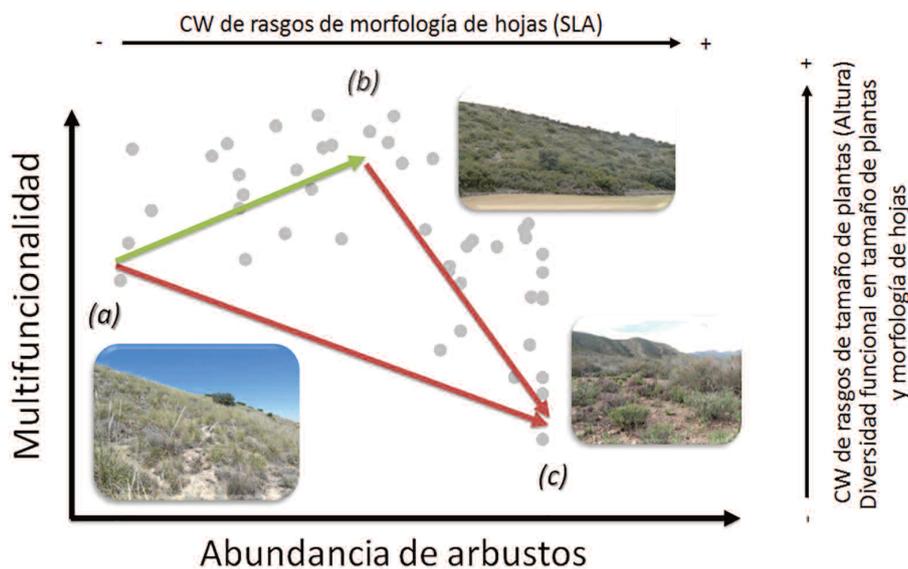


Figura 3. Relaciones entre la abundancia de arbustos en 45 parcelas, repartidas lo largo de un gradiente de aridez que va desde el centro hasta el SE de España, y la multifuncionalidad (i.e. prestación de múltiples funciones y servicios de los ecosistemas de forma simultánea). La vegetación de estas parcelas era espartal dominado por *Stipa tenacissima* (a) o matorral dominado por arbustos no rebrotadores como *Rosmarinus officinalis* (c). En ambos tipos de comunidades se seleccionaron algunas parcelas con arbustos rebrotadores, fundamentalmente *Quercus coccifera* (b). Las diferencias entre las comunidades estudiadas se explican mediante su estructura funcional: la morfología de las hojas permitió diferenciar comunidades de matorral y de espartal, y el tamaño de las plantas hizo lo propio entre las comunidades en las que se dan arbustos rebrotadores y las que no. CW: Community Weighted trait.

Figure 3. Relationships between the abundance of shrubs in 45 sites, along an aridity gradient from central to south-east of Spain, and multifunctionality (i.e., the provision of several ecosystem functions and services simultaneously on ecosystem). Vegetation at these sites was grassland dominated by *Stipa tenacissima* (a) or shrubland dominated by non-sprouting shrubs such as *Rosmarinus officinalis* (c). In both types of communities, we selected some sites with sprouting shrubs (such as *Quercus coccifera* (b)). The differences between the communities studied are explained by their functional structure: leaf morphology traits can differentiate shrublands and grasslands, and plant size traits can separate the communities with sprouting shrubs and without sprouting shrubs. CW: Community Weighted trait.

variabilidad de los procesos ecosistémicos. Por tanto, el estudio de las comunidades de microorganismos es fundamental para tener una visión más precisa de los factores que afectan a los procesos ecosistémicos (Fig. 4).

Los resultados de la presente tesis permiten concluir que el estudio de la ecología de los rasgos funcionales ayuda a determinar

cómo se dan los procesos de ensamblaje de la comunidad. El esquema de respuesta-efecto se considera una aproximación muy útil para la evaluación de las distintas comunidades, así como para la predicción de su comportamiento futuro en un contexto de cambio climático, teniendo aplicaciones directas en la restauración ecológica o la ecología de la conservación.

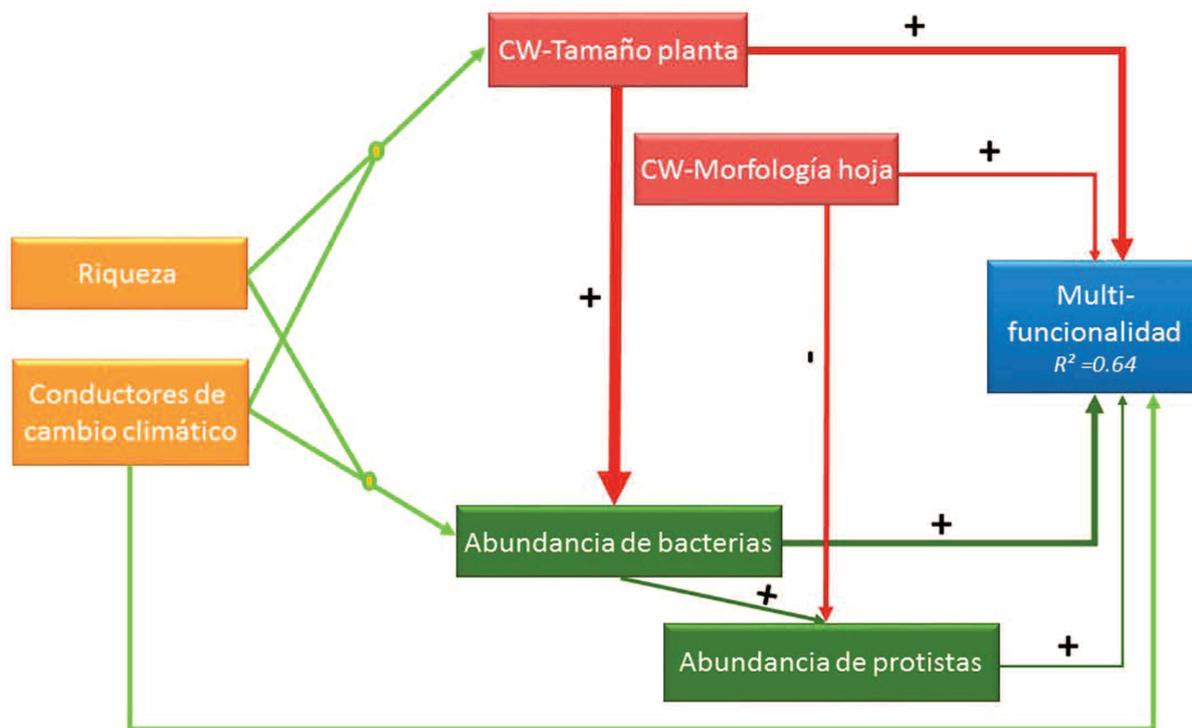


Figura 4. Efectos del cambio climático (incremento de temperatura y reducción de la precipitación), la riqueza de especies (3 niveles), la estructura funcional de las plantas y la abundancia de bacterias y protistas, en la multifuncionalidad. La anchura de las flechas es proporcional al tamaño del efecto. Las flechas provenientes de las variables de riqueza y conductores de cambio climático no tienen signo, puesto que son variables cualitativas. En estas comunidades simuladas las especies se agrupan en torno a rasgos funcionales relacionados con la arquitectura de la planta y la morfología de la hoja (CW: Community Weighted trait).

Figure 4. Effects of climate change drivers (warming and rainfall exclusion), plant species richness (3 levels), functional structure and soil microorganism abundance on multifunctionality. The width of each arrow is proportional to the standardized path coefficients. The arrows from species richness and climate change drivers are without sign, because they are qualitative variables. The species in the microcosms segregated along functional traits related with plant size and leaf morphology (CW: Community Weighted trait).

Referencias

- Grime, J.P. 1998. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology* 86:902–910.
- Gross, N., Börger L., Soriano-Morales, S.I., LeBagousse-Pinguet, Y., Quero, J.L., García-Gómez, M., et al. 2013. Uncovering multiscale effects of aridity and biotic interactions on the functional structure of Mediterranean shrublands. *Journal of Ecology* 101:637–649.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in ecology & evolution* 15:56–61.
- Liancourt, P., Spence, L.A., Boldgiv, B., Lkhagva, A., Helliker, B.R., Casper, B.B., et al. 2012. Vulnerability of the northern Mongolian steppe to climate change: insights from flower production and phenology. *Ecology* 93:815–824.
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., et al. 2001. Ecology - Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science*, 294:804–808
- Maestre, F.T., Salguero-Gómez, R., Quero, J.L. 2012. It's getting hotter in here: determining and projecting the impacts of global change on drylands. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 367:3062–3075.
- Maire, V., Gross, N., Börger, L., Proulx, R., Wirth, C., Pontes, L.D.S, et al. 2012. Habitat filtering and niche differentiation jointly explain species relative abundance within grassland communities along fertility and disturbance gradients. *New Phytologist* 196: 497–509.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C., Pounds, J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57–60.
- Valencia, E., Maestre, F.T., Bagousse-Pinguet, L., Quero, J.L., Tamme, R., Börger, L., et al. 2015. Functional diversity enhances the resistance of ecosystem multifunctionality to aridity in Mediterranean drylands. *New Phytologist* 206: 660–671.
- Valencia, E., Méndez, M., Saavedra, N., Maestre, F.T. 2016a. Plant size and leaf area influence phenological and reproductive responses to warming in semiarid Mediterranean species. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 21: 31–40.
- Valencia, E., Quero, J.L., Maestre, F.T. 2016b. Functional leaf and size traits determine the photosynthetic response of ten dryland species to warming. *Journal of Plant Ecology* rtv081.
- Zak, D.R, Homes, W.E., White, D.C., Peacock, A.D., Tilman, D. 2003. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: Are there any links?. *Ecological Society of America* 84:2042–2050.

ENRIQUE VALENCIA GÓMEZ

Effects of climate change on biotic communities and ecosystem functioning in dry areas. Atributos de las comunidades bióticas y funcionamiento del ecosistema en zonas áridas: Efectos del cambio climático e implicaciones para la restauración

Tesis Doctoral

Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica, Universidad Rey Juan Carlos

Octubre 2015

Directores: Fernando T. Maestre Gil y José L. Quero Pérez

Publicaciones resultantes de la tesis

- Gross, N., Börger L., Soriano-Morales, S.I., LeBagousse-Pinguet, Y., Quero, J.L., García-Gómez, M., Valencia, E., Maestre, F.T. 2013. Uncovering multiscale effects of aridity and biotic interactions on the functional structure of Mediterranean shrublands. *Journal of Ecology* 101:637-649.
- Valencia, E., Maestre, F.T., Bagousse-Pinguet, L., Quero, J.L., Tamme, R., Börger, L., García-Gómez, M., Gross, N. 2015. Functional diversity enhances the resistance of ecosystem multifunctionality to aridity in Mediterranean drylands. *New Phytologist* 206: 660-671.
- Valencia, E., Méndez, M., Saavedra, N., Maestre, F.T. 2016. Plant size and leaf area influence phenological and reproductive responses to warming in semiarid Mediterranean species. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 21: 31-40.
- Valencia, E., Quero, J.L., Maestre, F.T. 2016. Functional leaf and size traits determine the photosynthetic response of ten dryland species to warming. *Journal of Plant Ecology* rtv081.