

**IDENTIFICACIÓN DE TIPOS MORFOLÓGICOS Y
FUNCIONALES DE PLANTAS EN COMUNIDADES
VEGETALES DE LA PROVINCIA DE TERUEL PARA
LA SELECCIÓN DE ESPECIES ÚTILES PARA LA
LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN EN
UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO**



Esther Bochet y Patricio García-Fayos

IDENTIFICACIÓN DE TIPOS MORFOLÓGICOS Y FUNCIONALES DE PLANTAS EN COMUNIDADES VEGETALES DE LA PROVINCIA DE TERUEL PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES ÚTILES PARA LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN EN UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO*

*Esther Bochet** y Patricio García-Fayos****

RESUMEN

Dadas las predicciones de cambio climático global, es necesario prepararse para dichos cambios y, en su caso, para responder a las consecuencias que pueden tener sobre nuestros montes. Ello requiere del desarrollo de herramientas adecuadas. En este sentido, y dadas las íntimas relaciones que existen entre clima, vegetación y erosión, la utilización de los actuales gradientes de aridez y degradación como contexto de estudio nos permite explorar las adaptaciones de las plantas a la sequía y la erosión.

En el presente trabajo se pretende identificar las variaciones en algunos rasgos morfológicos y funcionales de las especies de encinares mediterráneos abiertos cuando son sometidas a un incremento de la aridez y de la erosión.

Para ello se han medido y analizado distintas características relativas a las hojas, las semillas, las raíces, los tallos y la longevidad de un conjunto de especies inventariadas en comunidades de plantas presentes a lo largo de un gradiente de aridez y sometidas a distintos niveles de erosión.

* Resumen del trabajo realizado con una ayuda concedida por el Instituto de Estudios Turolenses en su XXXI Concurso de Ayudas a la Investigación de 2014.

** esther.bochet@ext.uv.es

*** patricio.garcia-fayos@ext.uv.es

Los resultados obtenidos indican que la erosión y la aridez juegan un papel importante en la selección de los rasgos de las especies. De forma general, la erosión tiende a favorecer a las especies perennes, leñosas, con una raíz pivotante y unos propágulos de peso relativamente elevado, mientras que la aridez favorece a las especies anuales, no rebrotadoras, pero con raíz pivotante y caracterizadas por una elevada área foliar específica y un bajo contenido foliar en materia seca. Esta información puede resultar muy valiosa a la hora de seleccionar especies para la lucha contra la erosión en un escenario de cambio climático.

Palabras clave: vegetación, erosión, aridez, rasgos morfológicos y funcionales, restauración, colonización, longevidad, semilla, raíz, área foliar específica.

ABSTRACT

Identification of morphological and functional types of traits in plant communities of the Teruel Province for the selection of species useful to combat desertification in the context of climate change.

In the actual context of global change, we need to be prepared to respond to the consequences of future changes on our ecosystems with the development of appropriate tools. Due to the strong relationships between climate, vegetation and erosion, the use of present gradients of aridity and degradation allows for the exploration of plant adaptations to drought and erosion.

In this study, we aim to identify the variations in some morphological and functional traits of species living in sparse Mediterranean oak forests that are exposed to an increase in aridity and erosion.

We measured and analyzed different plant traits related to leaves, seeds, stems and longevity of species living in plant communities along an aridity gradient and suffering different levels of erosion severity.

Results indicate that erosion and aridity play an important role in plant trait selection. In general, erosion enhances the presence of perennial, woody, tap-rooted species with quite heavy propagules, whereas aridity enhances annual, non-sprouting, but tap-rooted species displaying high specific leaf area and low leaf dry matter content. These results can be very useful for species selection in order to combat desertification in the context of climate change.

Key words: vegetation, erosion, aridity, plant traits, restoration, colonization, life-form, seed, root, specific leaf area.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas mediterráneos, entre los cuales se encuentran los ecosistemas de la provincia de Teruel, están experimentando alteraciones importantes debidas a las interacciones complejas entre fluctuaciones climáticas y perturbaciones derivadas de la actividad humana. Los escenarios de cambio global apuntan hacia una degradación acelerada de esos ecosistemas con una reducción de su funcionalidad que podría desembocar en un proceso de desertificación. Por ello, la erosión hídrica del suelo, una de las principales causas de desertificación, forma parte de las prioridades actuales de

las políticas ambientales tanto a nivel regional, nacional como internacional (p. ej. Estrategia Aragonesa de Investigación e Innovación para una Especialización Inteligente-RIS 3 Programa, Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020, "Horizonte 2020" de la UE).

El papel primordial de la vegetación en el control de la erosión hídrica ha sido ampliamente tratado y reconocido en numerosos estudios llevados a cabo en las décadas de los años 80-90 del pasado siglo. De forma general, estos estudios describen una disminución lineal o exponencial de las tasas de erosión con un incremento de la cobertura vegetal en una amplia variedad de tipos de vegetación (GYSSELS *et al.*, 2005, ver fig. 1).

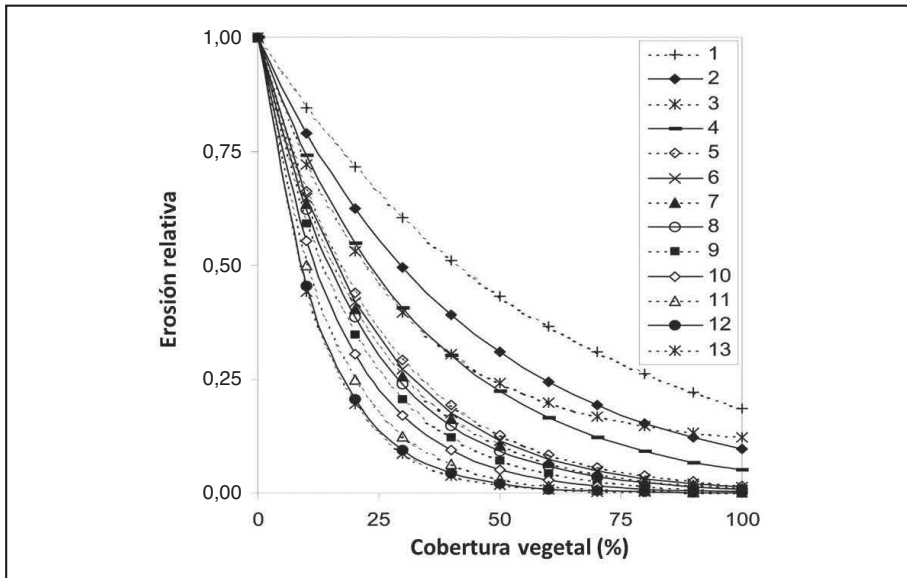


Fig. 1. Relación entre la densidad de cubierta vegetal (en %) y la tasa de erosión relativa del suelo. La erosión relativa equivale a la ratio entre la tasa de pérdida de suelo bajo una cubierta vegetal determinada y la tasa de pérdida de suelo en ausencia de cubierta vegetal. Esta relación pone de manifiesto el papel relevante de la cubierta vegetal en el control de la erosión: a medida que aumenta el recubrimiento del suelo por la vegetación, disminuye de forma lineal o exponencial la tasa de erosión del suelo. Gráfico modificado a partir de GYSSELS *et al.* (2005). Los números de la leyenda (del 1 al 13) hacen referencia a estudios realizados en una amplia variedad de tipos de vegetación y climas, cuyas citas bibliográficas están detalladas en el estudio de GYSSELS *et al.* (2005).

Aunque exista una bibliografía extensa sobre el efecto de la cubierta vegetal en el control de la erosión, poco se sabe, sin embargo, sobre el papel de la erosión como factor que modela la estructura y composición florística de la vegetación, así como las características morfológicas y funcionales de las especies que la componen. No obstante, en estos últimos años esta tendencia está cam-

biando (GARCÍA-FAYOS, 2004). Cada vez existen más estudios que demuestran que la erosión afecta a la vegetación en todas las etapas de la vida de la planta (ver fig. 2), desde la semilla producida por la planta madre que es arrastrada por el agua de escorrentía (GARCÍA-FAYOS y CERDÀ, 1997; GARCÍA-FAYOS *et al.*, 2010; BOCHET, 2015) o tiene que germinar en condiciones adversas de estrés hídrico (GARCÍA-FAYOS *et al.*, 2000; BOCHET *et al.*, 2007) hasta la planta adulta que es afectada bien, directamente, por descalzamiento a causa de la presión del flujo de escorrentía (GYSSELS *et al.*, 2005; BURYLO *et al.*, 2012), bien, indirectamente, por las condiciones del suelo desfavorables a su desarrollo y supervivencia (GUERREO-CAMPO, 1998; PUIGDEFÁBREGAS, 2005).

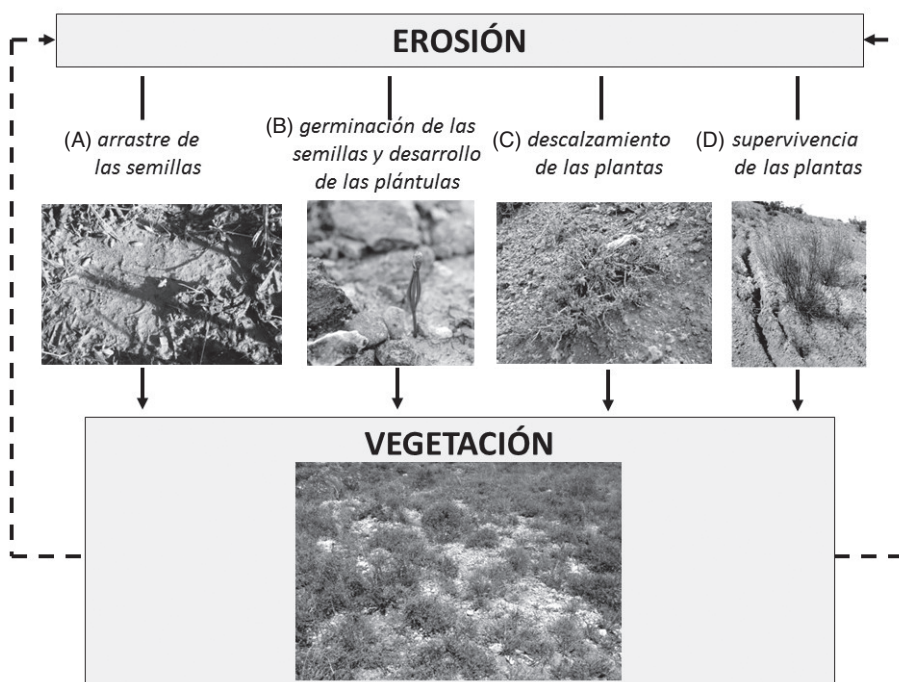


Fig. 2. Distintos procesos a través de los cuales la erosión hídrica afecta a las diferentes etapas de la vida de las plantas y, en consecuencia también, a la vegetación que consigue establecerse en los ambientes erosionados. La erosión (A) provoca el arrastre de las semillas por el flujo de escorrentía, (B) influye negativamente en la germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas al provocar un empobrecimiento del suelo, (C) provoca el descalzamiento de las plantas a causa de la presión del flujo de escorrentía y, finalmente también, (D) influye en la supervivencia de las plantas en unas condiciones del suelo a menudo adversas. A su vez, la vegetación regula la intensidad de los procesos erosivos.

Para predecir la respuesta de la vegetación a perturbaciones de distintos tipos como el pastoreo, los incendios o los cambios de uso, se viene utilizando desde hace pocos años sistemas de clasificación de plantas basados en los tipos morfológicos y funcionales de las plantas (TMF) como alternativa a los sistemas tradicionales de clasificación taxonómica que dependen de las condiciones ambientales locales y presentan, por ello, ciertas limitaciones (LAVOREL *et al.*, 2007). Los TMF pueden definirse como unos grupos de especies que comparten funcionamientos, morfologías, respuestas similares a los factores ambientales y/o desempeñan papeles similares en el ecosistema. Estas similitudes se basan en el hecho de que comparten una misma asociación de rasgos morfológicos y funcionales esenciales (p. ej. CORNELISSEN *et al.*, 2003; LAVOREL *et al.*, 2007).

Según predice la teoría de ensamblaje de las especies en comunidades vegetales (KEDDY, 1992), los TMF responden a un proceso de "filtrado" de las especies desde un amplio conjunto de especies presentes a escala regional. Mediante este proceso, sólo aquellas especies capaces de superar las limitaciones ambientales (p. ej. erosión, aridez= filtros) de una zona dada gracias a sus rasgos morfológicos y funcionales podrán establecerse con éxito en esta zona (ver fig. 3).

Hasta la fecha, poco se sabe sobre los rasgos de las especies que se establecen en ambientes erosionados y áridos. Falta información sobre la relación entre el grado de erosión y de sequía y las estrategias adaptativas de las plantas reflejadas en unos rasgos que podrían ser relevantes para resistir a estas dos fuerzas de selección, como la longevidad de las plantas, la profundidad de sus raíces, su capacidad de rebrotar tras una perturbación, el tipo de hoja y las características de sus semillas.

Por todo ello, en el presente trabajo pretendemos comprobar la selección preferente de algunos rasgos en un gradiente de erosión asociado a un gradiente de aridez con el objetivo de establecer unos criterios novedosos de selección de especies, basados en sus rasgos, que permitan prepararnos para gestionar las zonas sensibles a la erosión en un contexto de cambio climático.

El presente proyecto plantea como hipótesis general que la erosión hídrica del suelo y la aridez ejercen una fuerza selectiva sobre la composición de la vegetación, filtrando a las especies que la componen en función de sus rasgos morfológicos y funcionales. Estos últimos confieren a las especies la capacidad de sobrevivir a la perturbación y estrés causados por la erosión y la aridez.

METODOLOGÍA

La zona de estudio está localizada en la cuenca del río Alfambra (provincia de Teruel), entre 900 y 1.300 m de altitud, y ocupa una superficie de 4.000 m². El patrón estacional es homogéneo en toda la cuenca, pero la cantidad de precipitación y la temperatura media difieren entre los extremos norte y sur de la cuenca con unas consecuencias marcadas sobre las comunidades vegetales. Mientras que en el extremo norte (en adelante "zona húmeda") se registran una temperatura y precipitación media anual de 10,3 °C y 484 mm, respectivamente, en el extremo sur (en adelante "zona seca") estas últimas alcanzan 11,9 °C y 368 mm, respectivamente (datos de la AEMET, www.aemet.es). Estas diferencias dan lugar a un gradiente climático o de aridez que reproduce, además, las previsiones de cambio en temperatura y precipitación de los escenarios de cambio climático para los próximos 30

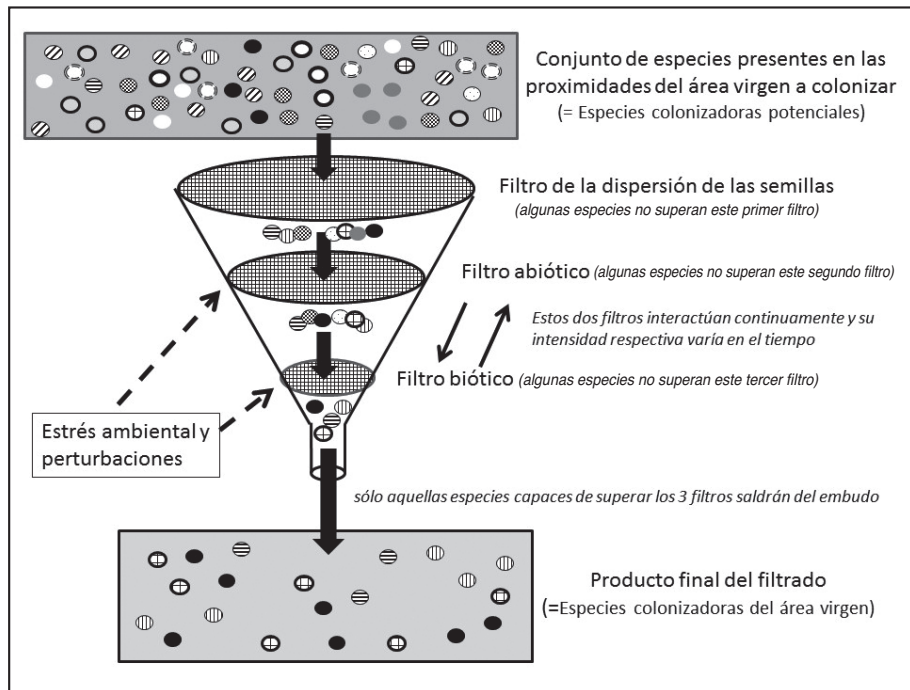


Fig. 3. Ilustración de la teoría del ensamblaje de las especies en comunidades de plantas (*assembly rules*, en inglés) a partir del proceso de filtrado de las especies. Para poder formar parte de una nueva comunidad de plantas, las nuevas especies (representadas por círculos en el dibujo) tienen que ser capaces de llegar por dispersión desde las zonas adyacentes (filtro de la dispersión), de hacerse con las condiciones del medio (filtro abiótico), y también de competir con las demás especies establecidas (filtro biótico). Los distintos filtros dependen unos de otros al estar conectados entre sí a través del *pool* de especies establecidas. Por ello, los filtros tienen un carácter dinámico y el tamaño de su malla es constantemente reajustado como consecuencia de la existencia de procesos internos de retroalimentación, así como de la posible intervención de elementos externos al sistema (perturbaciones y estrés). Por ejemplo, si las mallas del filtro abiótico “se abren” como consecuencia de las modificaciones de las condiciones del medio a medida que transcurre la sucesión, dejará paso a un mayor número de especies y, consecuentemente, el filtro biótico tenderá a “cerrarse” al verse reducida la superficie de espacios disponibles para la llegada de propágulos y posterior establecimiento de nuevas plántulas. Al contrario, unas condiciones ambientales extremas provocarán el cierre prácticamente total del filtro abiótico, a la vez que se abrirá el filtro biótico por la falta de competencia entre las pocas especies establecidas, capaces de soportar las condiciones adversas del medio.

años (un incremento de temperatura de 2 °C y una reducción de un 25 % de precipitación, DE CASTRO *et al.*, 2005). Además de este gradiente de aridez, se eligieron para el estudio dos situaciones geomorfológicas distintas en cada extremo del gradiente, que responden a estados erosivos diferentes. Por un lado, se seleccionaron zonas llanas sin signos aparentes de erosión (en adelante, “No

erosión") y, por otro, laderas de 25 a 30° de inclinación con signos evidentes de erosión, como surcos y cárcavas (en adelante, "Erosión"). En la actualidad, las laderas erosionadas se caracterizan por una cubierta vegetal poco densa, parcheada, en la que predominan unas especies arbustivas y herbáceas. En los llanos no erosionados, sin embargo, se mantiene una cubierta vegetal arbórea con claros colonizados por especies arbustivas y herbáceas. En resumen, se han definido los siguientes cuatro ambientes para el análisis de la vegetación (ver fig. 4): "Húmedo-no erosionado", "Húmedo-erosionado", "Seco-no erosionado" y "Seco-erosionado", correspondientes a las zonas de Villarejo, Cosa, Carrascalejo y Pocopan, respectivamente.

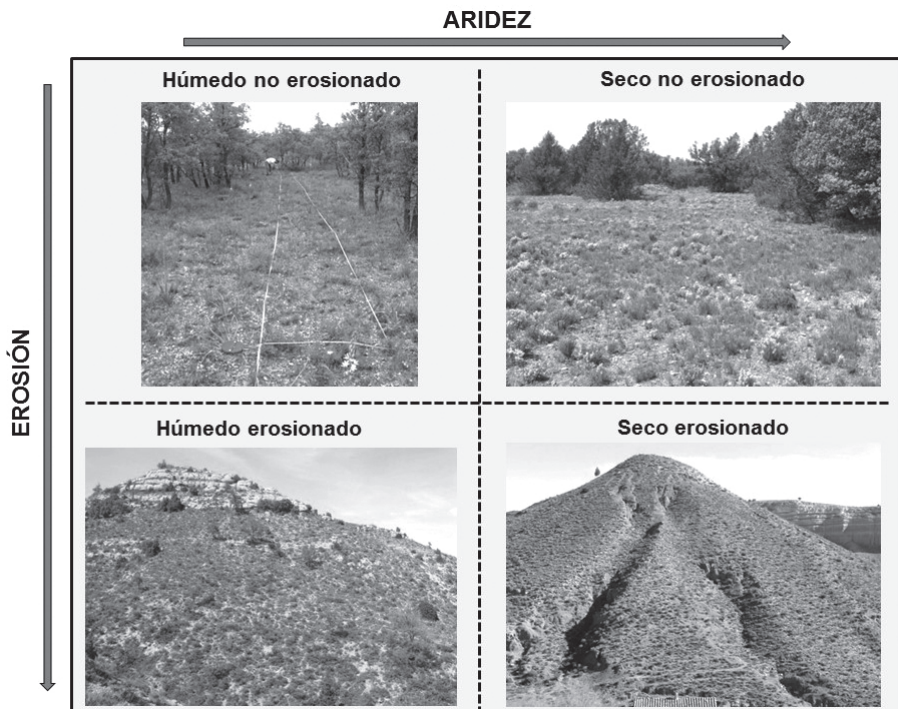


Fig. 4. Aspecto general de los cuatro ambientes estudiados a lo largo de los gradientes de erosión y aridez: "Húmedo-no erosionado" (llanos de Villarejo), "Húmedo-erosionado" (laderas de Cosa), "Seco-no erosionado" (llanos de Carrascalejo) y "Seco-erosionado" (laderas de Pocopan).

Para analizar el efecto de la interacción de la erosión y de la aridez sobre los rasgos de las especies, se utilizaron los listados de especies inventariadas en esos cuatro ambientes, a razón de 15 inventarios por ambiente, en un estudio previo llevado a cabo en la misma zona por GARCÍA-FAYOS y BOCHET (2009). Para un total de 152 especies, se realizaron muestreos en el campo de hojas y semillas para su posterior medición en el laboratorio. Se hicieron también excavaciones de plantas en el

campo para la observación y descripción de su sistema radicular. Se analizaron finalmente las siguientes variables por su relevancia en la resistencia de las plantas a la erosión y/o a la sequía:

- La *longevidad* (anual vs. perenne) y el *grado de lignificación* de las plantas (herbáceo vs. leñoso): estos dos rasgos fueron determinados mediante observaciones de campo y datos bibliográficos. El carácter perenne y leñoso se ha relacionado con la aridez y la erosión (GUÁRDIA, 1995).
- El *peso* de los propágulos (unidad de dispersión de las plantas): se midió el peso de 25 propágulos por especie (submuestra de una amplia muestra de propágulos recogidos en 10 individuos diferentes) con una balanza de precisión (10 µg). Se considera que los propágulos de mayor peso son más resistentes al arrastre por erosión (GARCÍA-FAYOS, 2004; GARCÍA-FAYOS *et al.*, 2010).
- *Sistema radicular y capacidad de rebrote*: se desenterraron tres plantas por especie para observar y clasificar sus raíces en función de su extensión lateral y profundidad, de acuerdo con la clasificación propuesta por GUERRERO-CAMPO (1998). Se determinó también su capacidad de rebrote. Tener una raíz profunda constituye una ventaja en ambientes áridos, donde el recurso del agua es limitado, y ser capaz de rebrotar permite a las plantas mantenerse tras una perturbación (GUERRERO-CAMPO *et al.*, 2008).
- El *área foliar específica* o SLA (área foliar de la hoja saturada/peso seco de la hoja) y el *contenido foliar en materia seca* o LDMC (peso seco de la hoja/peso saturado de la hoja): se midió la superficie foliar en 10 hojas por especie de 10 individuos diferentes con un programa de análisis de imagen. Se determinaron también, con una balanza de precisión (10 µg), el peso fresco de la hoja tras su saturación en agua durante 36 h y el peso seco de la hoja tras su secado en una estufa a 80 °C durante 48 h. Mientras que el SLA ha demostrado ser un buen indicador del crecimiento relativo de las plantas y de su capacidad de competir con otras plantas, el LDMC da una buena indicación de la eficiencia de la planta en la adquisición y uso de los recursos (CORNELISSEN *et al.*, 2003).
- El *mecanismo de dispersión* y la *presencia de apéndices* en las semillas, ambos relacionados con la distancia alcanzada por las semillas una vez dispersadas desde la planta madre. A partir de distintas bases de datos disponibles (MOLINER y MÜLLER, 1938; VAN DER PIJL, 1972; HENSEN, 1999), se clasificaron todas las especies en dos grandes categorías de dispersión: por un lado, la categoría de "larga distancia", que incluye a las especies anemócoras, endo- y exozoócoras, y por otro lado la categoría de "corta distancia", que agrupa a las especies barócoras, autócoras, balísticas y mirmecócoras (más detalles en BOCHET *et al.*, 2009). Mediante observaciones, se determinó también la presencia/ausencia de estructuras de tipo ala, vilano, arista, gancho y pelos en los propágulos. Aunque no se espera que estas variables de dispersión estén influenciadas por una aridificación del clima o una intensificación de los procesos erosivos, su análisis podría proporcionar una información valiosa sobre los procesos que controlan la presencia de las especies en los cuatro ambientes estudiados, en caso de que ninguna de las demás variables analizadas demuestre tener relación con los dos factores estudiados. No obstante, algunos estudios indican que la presencia de apéndices en los propágulos proporciona una mayor resistencia de las semillas al arrastre por erosión en zonas de pendiente (GARCÍA-FAYOS, 2004).

El análisis final de la selección de rasgos en función del grado de erosión y aridez se hizo mediante un modelo lineal general (glm) en el que se determinó el efecto de los factores, erosión y aridez, sobre el valor medio y la frecuencia del rasgo (para rasgos continuos o categóricos, respectivamente) en cada uno de los inventarios de los cuatro ambientes estudiados.

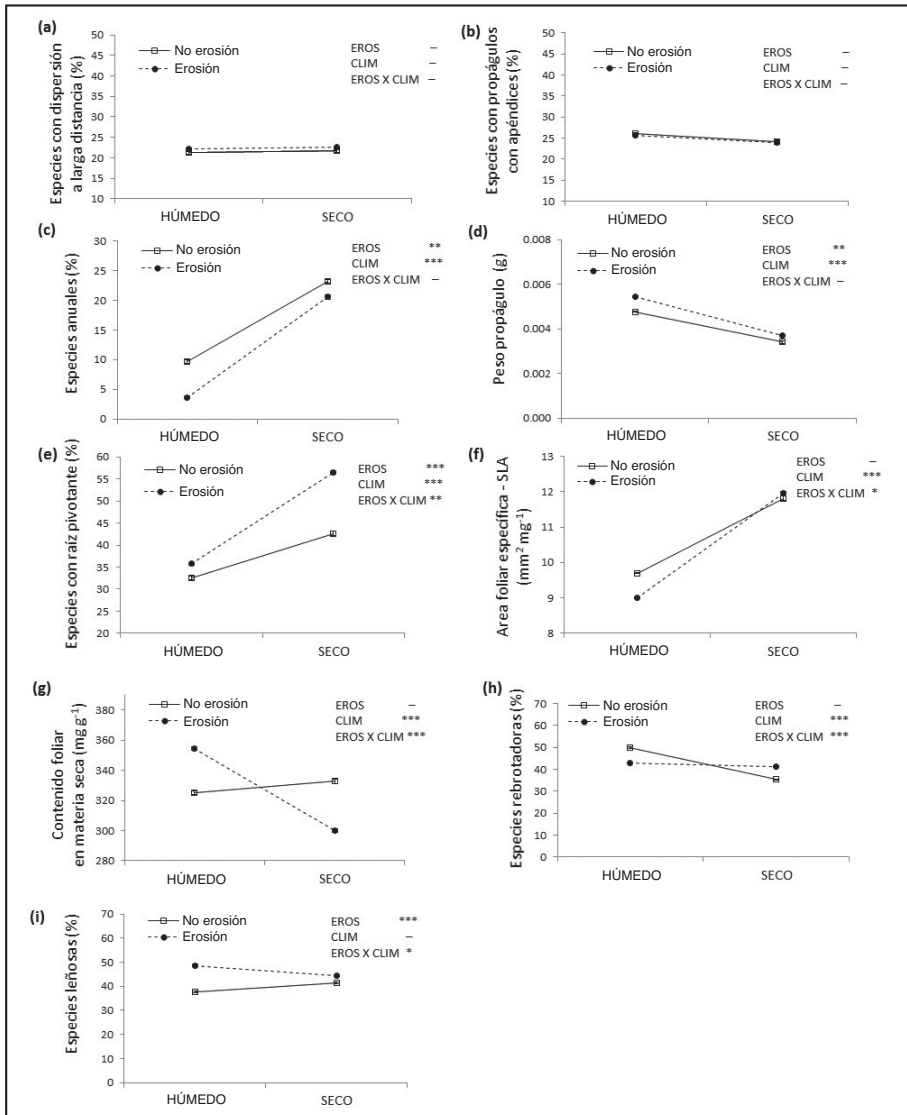
RESULTADOS

Los resultados obtenidos demuestran que la erosión y la aridez juegan un papel importante en la selección de los rasgos morfológicos y funcionales de las plantas presentes en la zona de estudio. Efectivamente, todos los rasgos analizados, excepto los que están estrechamente relacionados con la capacidad dispersiva de las semillas, están fuertemente influenciados por la erosión y la aridez y la interacción de ambos factores (fig. 5).

Como era de esperar, el mecanismo de dispersión de las semillas y la presencia de apéndices en los propágulos no tienen relación alguna con el grado de erosión o de aridez (fig. 5a-b). Sin embargo, se aprecia un efecto significativo, aunque contrario, de ambos factores sobre la longevidad de las plantas y el peso de los propágulos. Efectivamente, la frecuencia de especies anuales aumenta fuertemente desde las zonas más húmedas a las zonas más secas, pero disminuye, sin embargo, desde las zonas no erosionadas a las zonas erosionadas (fig. 5c). De forma similar, el peso del propágulo tiende a disminuir desde las zonas húmedas a las zonas secas, pero aumenta desde las zonas no erosionadas hacia las zonas erosionadas (fig. 5d). La erosión y la aridez también influyen de forma significativa sobre la morfología del sistema radicular, provocando ambas un aumento de la proporción de especies con raíz pivotante (fig. 5e). Existe además un efecto significativo de la interacción de ambos factores sobre la morfología del sistema radicular, siendo la magnitud del efecto de la erosión sobre esta variable mayor en las zonas secas que en las zonas húmedas (efecto sinérgico de la interacción "erosión x aridez", fig. 5e). Asimismo, los resultados indican también un efecto significativo de la interacción de ambos factores sobre otras variables como el SLA, el LDMC, la frecuencia de especies rebrotadoras y la frecuencia de especies leñosas (fig. 5f-i). El valor de SLA aumenta significativamente con una aridificación del clima, siendo esta tendencia más pronunciada en las zonas erosionadas (fig. 5f). Al contrario, la aridificación influye negativamente sobre el LDMC y sobre la proporción de especies rebrotadoras, resultando ser esta tendencia especialmente acusada en las zonas erosionadas para el LDMC y en las zonas no erosionadas para la frecuencia de especies rebrotadoras (fig. 5g-h). Finalmente, la frecuencia de especies leñosas aumenta significativamente con la erosión, aunque lo haga de forma más pronunciada en la zona húmeda que en la zona seca (fig. 5i).

DISCUSIÓN

La erosión y la aridez han demostrado tener una influencia importante en todos los rasgos estudiados excepto, como era de esperar, en los rasgos exclusivamente relacionados con la dispersión de los propágulos. De forma general, nuestro estudio demuestra que la erosión tiende a favorecer a las especies perennes, leñosas, con una raíz pivotante y unos propágulos de peso relativamente ele-



vado, mientras que la aridez tiende a favorecer a las especies anuales, no rebrotadoras, pero con raíz pivotante y caracterizadas por una elevada área foliar específica y un bajo contenido foliar en materia seca. Las variaciones en los rasgos estudiados coinciden generalmente con los escasos estudios existentes llevados a cabo en ambientes semiáridos sometidos a una intensa erosión. Se ha descrito, por ejemplo, en repetidas ocasiones una disminución de la frecuencia de especies anuales con una erosión creciente en zonas semiáridas de *badlands* fuertemente erosionadas (GUÀRDIA, 1995; GUERRERO-CAMPO *et al.*, 2008; GARCÍA-FAYOS y BOCHET, 2009). Asimismo, GUÀRDIA (1995) y GUERRERO-CAMPO *et al.* (2008) han observado una mayor frecuencia de especies con una raíz pivotante (que de especies con una raíz ramificada) y una mayor frecuencia de especies leñosas (que de especies herbáceas), respectivamente, en laderas de *badlands* sometidas a una intensa erosión. Nuestros resultados confirman además, en cierta medida, el modelo matemático de arrastre de semillas por la erosión propuesto por GARCÍA-FAYOS *et al.* (2010), que predice una mayor tasa de arrastre por el flujo de escorrentía de las semillas de bajo peso que de semillas de peso elevado, y en consecuencia una mayor resistencia de estas últimas en las laderas erosionadas. Sin embargo, no se ha podido confirmar la relación evidenciada en estudios anteriores entre la capacidad rebrotadora de las plantas y la persistencia de estas últimas en zonas de *badlands* expuestas a una doble perturbación, no solamente por la intensa erosión, sino también por el importante estrés hídrico al que están sometidos (GUÀRDIA, 1995; GARCÍA-FAYOS *et al.*, 2000).

Con respecto a la aridez, nuestro estudio confirma la tendencia repetidamente descrita en estudios anteriores de un aumento de la proporción de especies anuales a medida que se aridifican las condiciones climáticas del ambiente (CAIN, 1950; GRIME, 1977). Esta tendencia podría explicar a su vez el aumento del SLA, la disminución del LDMC y la reducción de la frecuencia de especies rebrotadoras, observados inesperadamente en el extremo más árido del gradiente, dado que estas tres variables están estrechamente relacionadas con la longevidad de las plantas ($t=-5,48$, g.l.=118, $p=0,000$ para SLA; $t=2,62$, g.l.=57, $p=0,011$ para LDMC; coeficiente de contingencia $G=0,366$ y $p=0,000$ para rebrote). Efectivamente, las plantas anuales suelen caracterizarse por un lado por unas tasas de crecimiento relativo, y por lo tanto unos valores de SLA más elevados que las plantas perennes; por otro lado, por una eficiencia en la conservación de los nutrientes y adquisición de carbono, y por lo tanto unos valores de LDMC más bajos que las plantas perennes. Además las plantas anuales, por definición, no tienen capacidad de rebrotar.

Para concluir, nuestro estudio aporta una información novedosa sobre el efecto de la interacción de dos factores analizados conjuntamente, la erosión y la aridez, sobre algunos rasgos de las plantas que son relevantes para su establecimiento, desarrollo y supervivencia en ambientes perturbados. Esta información puede resultar no solamente beneficiosa para la comunidad científica, sino que incidirá también positivamente en la lucha contra la desertificación y de forma más concreta en el desarrollo de aplicaciones prácticas, como la recuperación y restauración de terrenos degradados por erosión con especies autóctonas apropiadas en un escenario de cambio climático.

La amplia aplicabilidad territorial de los resultados del presente trabajo en la provincia de Teruel trasciende además el ámbito aragonés, al haber sido objeto de estudio unas especies y unos ambientes ampliamente representados no sólo en el resto de la España mediterránea, sino también en el resto de países ribereños del mar Mediterráneo, tanto europeos como norteafricanos.

BIBLIOGRAFÍA

- BOCHET, E. (2015), «The fate of seeds in the soil: a review of the influence of overland flow on seed removal and its consequences for the vegetation of arid and semiarid patchy ecosystems», *Soil*, 1, pp. 131-146.
- BOCHET, E.; GARCÍA-FAYOS, P.; ALBORCH, B. y TORMO, J. (2007), «Soil water availability effects on seed germination account for species segregation in semiarid roads slopes», *Plant and Soil*, 295, pp. 179-191.
- BOCHET, E.; GARCÍA-FAYOS, P. y POESEN, J. (2009), «Topographic thresholds for plant colonization on semi-arid eroded slopes», *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, pp. 1758-1771.
- BURYLO, M.; REY, F.; BOCHET, E. y DUTOIT, T. (2012), «Plant functional traits and species ability for sediment retention during concentrated flow erosion», *Plant and Soil*, 353, 1-2, pp. 135-144.
- CAIN, S.A. (1950), «Life-forms and phytoclimate», *The Botanical Review*, XVI, 1, pp. 1-32.
- CORNELISSEN, J.H.C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E.; DÍAZ, S.; BUCHMANN, N.; GURVICH, D.E.; REICH, P.B.; TER STEEGE, H.; MORGAN, H.D.; VAN DER HEIJDEN, M.G.A.; PAUSAS, J.G. y POORTER, H. (2003), «A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide», *Australian Journal of Botany*, 51, pp. 335-380.
- DE CASTRO, M.; MARTÍN-VIDE, J. y ALONSO, S. (2005), «El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el S. XXI», en MORENO, J.M. (ed.), *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 1-64.
- ESTRATEGIA ARAGONESA DE INVESTIGACIÓN PARA UNA ESPECIALIZACIÓN INTELIGENTE-RIS 3. <http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/IndustrialInnovacion/AreasTematicas/Investigacion/>
- ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Y DE INNOVACIÓN 2013-2020. <http://www.idi.mineco.gob.es/portal/site/MICINN/>
- GARCÍA-FAYOS, P. (2004), «Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica», en VALLADARES, F. (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autónomo de Parques Naturales, pp. 309-334.
- GARCÍA-FAYOS, P. y BOCHET, E. (2009), «Indication of antagonistic interaction between climate change and erosion on plant species richness and soil properties in semiarid Mediterranean ecosystems», *Global Change Biology*, 15, pp. 306-318.
- GARCÍA-FAYOS, P. y CERDÀ, A. (1997), «Seed losses by surface wash in degraded Mediterranean environments», *Catena*, 29, pp. 73-83.
- GARCÍA-FAYOS, P.; BOCHET, E. y CERDÀ, A. (2010), «Seed removal susceptibility through soil erosion shapes vegetation composition», *Plant and Soil*, 334, pp. 289-297.
- GARCÍA-FAYOS, P.; GARCÍA-VENTOSO, B. y CERDÀ, A. (2000), «Limitations to plant establishment on eroded slopes in southeastern Spain», *Journal of Vegetation Science*, 11, pp. 77-86.
- GRIME, J.P. (1977), «Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory», *American Naturalist*, 111, pp. 1169-1194.
- GUÀRDIA, R. (1995), *La colonització vegetal de les àrees erosionades de la conca de la Baells (Alt Llobregat)*, Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona.
- GUERRERO-CAMPO, J. (1998), *Respuesta de la vegetación y de la morfología de las plantas a la erosión del suelo. Valle del Ebro y Prepirineo aragonés*, Zaragoza, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Serie Investigación.

- GUERRERO-CAMPO, J.; PALACIO, S. y MONTSERRAT-MARTÍ, G. (2008), «Plant traits enabling survival in Mediterranean badlands in northeastern Spain suffering from soil erosion», *Journal of Vegetation Science*, 19, pp. 457-464.
- GYSSELS, G.; POESEN, J.; BOCHET, E. y LI, Y. (2005), «Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review», *Progress in Physical Geography*, 29, pp. 1-28.
- HENSEN, I. (1999), «Life strategies in a semi-arid grassland community—mechanisms of dispersal and reproduction within *Lapiedro martinezii-Stipetum tenacissimae* (Southeastern Spain)», *Feddes Repertorium*, 110, pp. 265-285.
- HORIZONTE (2020), <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>
- KEDDY, P.A. (1992), «Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology», *Journal of Vegetation Science*, 3, pp. 157-164.
- LAVOREL, S.; DÍAZ, S.; CORNELISSEN, H.; GARNIER, E.; HARRISON, S.P.; MCINTYRE, S.; PAUSAS, J.G.; PÉREZ-HARQUINDEGUY, N.; ROUMET, C. y URCELAY, C. (2007), «Plant functional types: are we getting any closer to the Holy Grail?», en CANADELL, J.; PATAKI, D. y PITEKKA, L.F. (eds.), *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*, New York, Springer-Verlag, pp. 171-186.
- MOLINIER, R. y MÜLLER, P. (1938), *La dissémination des espèces végétales*, Paris, Imprimerie André Lesot, France.
- PUIGDEFRÁBREGAS, J. (2005), «The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands», *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, pp. 133-147.
- VAN DER PIJL, L. (1972), *Principles of dispersal in higher plants*, Berlin, Springer-Verlag.

Recibido el 25 de noviembre de 2015
Aceptado el 15 de diciembre de 2015

