



Madera y Bosques

ISSN: 1405-0471

mabosque@inecol.edu.mx

Instituto de Ecología, A.C.

México

Mongil, Jorge; Navarro, Joaquín; Díaz, Virginia  
Esquema ecológico aplicado a una restauración forestal en cárcavas de la Sierra de Ávila  
(centro de España)  
Madera y Bosques, vol. 21, núm. 1, 2015, pp. 11-19  
Instituto de Ecología, A.C.  
Xalapa, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61738656002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



# Esquema ecológico aplicado a una restauración forestal en cárcavas de la Sierra de Ávila (centro de España)

## An ecological framework applied to a forest restoration program on badlands in Sierra de Ávila (Central Spain)

Jorge Mongil<sup>1</sup>\*, Joaquín Navarro<sup>2</sup> y Virginia Díaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Hidrología y Conservación. Universidad Católica de Ávila. España

<sup>2</sup> Unidad de Hidráulica e Hidrología. E.T.S. Ingenierías Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid. España

\* Autor de correspondencia. jorge.mongil@ucavila.es

### RESUMEN

La restauración ecológica de un bosque en un terreno desertificado y afectado por erosión grave es un proceso a largo plazo, que requiere un exhaustivo análisis de la estructura, composición y funcionamiento del bosque, y las actuaciones que lo dirijan hacia el ecosistema objetivo. Se ha analizado una restauración hidrológico-forestal de 50 años de antigüedad, en el centro de España, utilizando un esquema ecológico de restauración forestal, que comprende fundamentalmente una fase de rehabilitación de la cubierta forestal y otra de seguimiento. Aunque falta mucho tiempo aún para la recuperación del robledal-encinar natural, mediante el establecimiento de un bosque de pinos se ha conseguido la rehabilitación del ecosistema, lo que implica que se han solucionado casi totalmente los graves problemas de erosión en un corto periodo, y se ha actuado positivamente sobre los procesos edafogenéticos, en la reintroducción natural de brinzales de encina y roble, así como en la regularización del ciclo hidrológico.

**PALABRAS CLAVE:** dinámica vegetal, ecohidrología, erosión, reforestación, restauración ecológica.

### ABSTRACT

Ecological restoration of forest in desertified lands, where the soil has been seriously damaged by erosion, is a long-term process. Understanding this process requires an exhaustive analysis of the forest structure, composition and function, and the actions necessary to reach the appropriate ecosystem. We analyzed a fifty year-old hydrology-forest restoration in central Spain, using an ecological forest restoration framework with phases of forest cover rehabilitation and subsequent monitoring and follow-up. Although full recovery the previously existing oak forest is still a longer-term goal, the short-term establishment of a pine forest has helped to restore ecosystem function and to mitigate serious erosion problems. The establishment of pine forest allowed progress in reconstituting the soil, introducing native oak seedlings, and regulating the hydrological cycle.

**KEY WORDS:** vegetation dynamics, ecohydrology, erosion, afforestation, restoration ecology.

### INTRODUCCIÓN

La restauración ecológica es el proceso de ayudar de manera activa o pasiva al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2004). En otras palabras, el proceso de restauración ecológica consiste en la alteración intencionada de un lugar para ayudar a la auto-regeneración de un ecosistema dañado o transformado a otro uso de suelo, cuyo objetivo

es emular la estructura, funcionamiento (recuperando los servicios ecosistémicos), diversidad y dinámica del ecosistema histórico y autóctono (Franklin, 1988; Hobbs y Norton, 1996; Vallauri, 1998; Ehrenfeld, 2000; SER, 2004; Kremen y Ostfeld, 2005; Cadotte *et al.*, 2011).

La restauración hidrológico-forestal suele definirse como el conjunto de obras o actuaciones necesarias para la conservación, defensa y recuperación de la estabilidad y

fertilidad del suelo, la regulación de escorrentías, la consolidación de cauces fluviales y laderas, la contención de sedimentos y, en general, la defensa del suelo contra la erosión, mediante el empleo principalmente de la vegetación (Ferrer, 2009). Por lo tanto, una restauración hidrológico-forestal pretende la recuperación de los servicios hidrológicos de los bosques (Brauman *et al.*, 2007; Kaimowitz, 2004) y la conservación del suelo y del agua, frenando la erosión en laderas y cauces, mediante la recuperación del bosque; esta acción conlleva una regeneración del paisaje natural y la creación de hábitat o regeneración del ecosistema perdido.

Esta disciplina nace en Europa a mediados y finales del siglo XIX, debido a la necesidad creciente de restauración forestal que tenían los territorios montañosos que aparecían deforestados, y que generaban graves problemas en las poblaciones e infraestructuras que se desarrollaban en ellos (Del Palacio, 1999). Actualmente la restauración hidrológico-forestal está muy extendida en diversos países tanto europeos como americanos o asiáticos. Por otra parte, en los últimos años se ha desarrollado de forma manifiesta la valoración de los servicios hidrológicos que prestan los ecosistemas forestales (Brauman *et al.*, 2007; Monterroso-Rivas *et al.*, 2009; Benavides-Dorio *et al.*, 2008), destacándose su significación económica (López-Paniagua *et al.*, 2007) y la importancia que en el mantenimiento de estos servicios tiene la conservación (Manson, 2004) y la restauración de los bosques.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es analizar la evolución de la vegetación forestal en la cuenca alta del río Corneja (sierra de Ávila, provincia de Ávila, centro de España), desde los procesos que motivaron su deforestación y su transformación en un terreno acarcavado, hasta la restauración, mediante la aplicación de un esquema para programas de restauración forestal desarrollado por Vallauri (1998). Se trata de un esquema conceptual que comprende las principales fases de una restauración forestal, que parte del ecosistema degradado y alcanza el ecosistema forestal objetivo.

## APLICACIÓN A LA RESTAURACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CORNEJA

La restauración hidrológico-forestal de la cuenca alta del río Corneja se sitúa en la provincia de Ávila (España) (Fig. 1), más concretamente en la sierra de Ávila, que forma parte del Sistema Central, cordillera que se extiende de oeste a este en el centro de la Península Ibérica. El relieve es muy accidentado, con cotas entre 1100 m y 1550 m, formado sobre rocas graníticas que se presentan muy meteorizadas. Los suelos que se han desarrollado son Orthents y Xerepts (USDA, 2010), fundamentalmente con textura franco-arenosa y con pH alrededor de 6. La precipitación anual media es 571 mm y la temperatura media anual 10,6 °C. Los cambios en la vegetación sucedidos a lo largo de los últimos siglos se describirán seguidamente, destacándose los diferentes procesos de deforestación y la restauración, iniciada en 1964 (Fig. 2).

En este trabajo se analiza el proceso restaurador desde un punto de vista ecológico, pero sin olvidar la relación entre los ecosistemas, la dinámica geomorfológica y

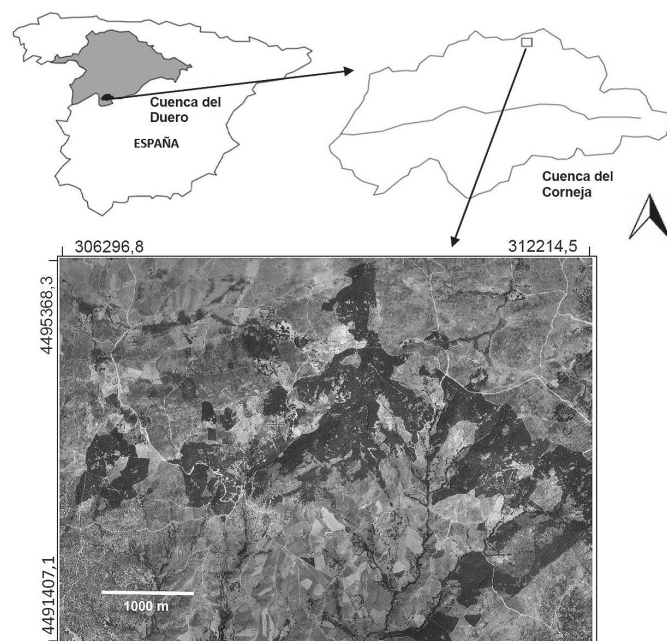


FIGURA 1. Localización del área de estudio.

Las manchas oscuras constituyen las zonas restauradas de la cuenca del río Corneja.

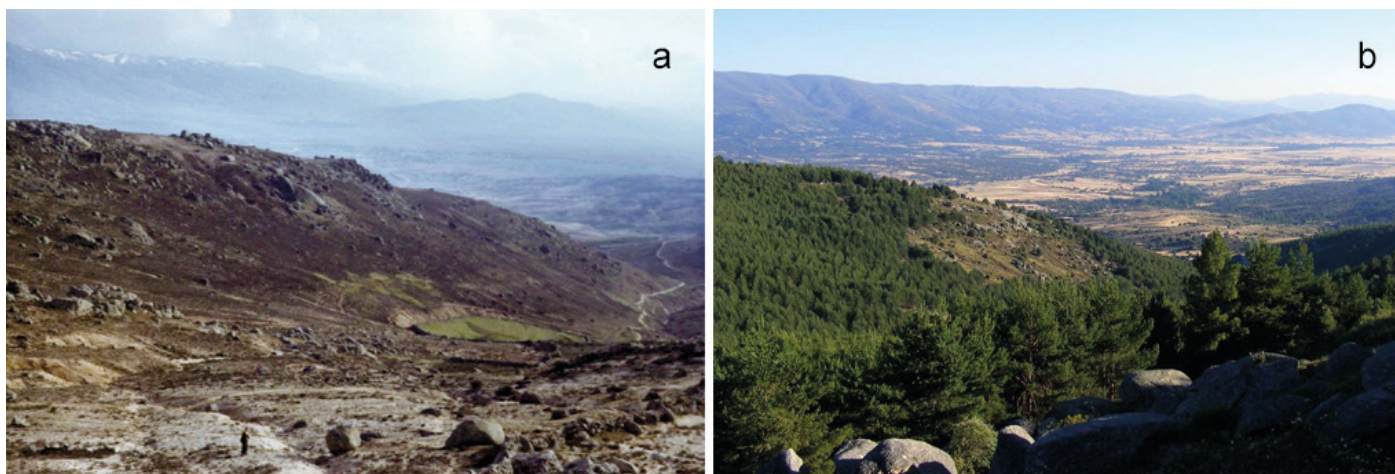


FIGURA 2. a) Estado de la cuenca alta del río Corneja, absolutamente deforestada y con problemas graves de erosión, en 1964 (fondo documental Archivo General Confederación Hidrográfica del Duero); b) Estado de la cuenca en 2014, con una cubierta forestal principalmente de pinos.

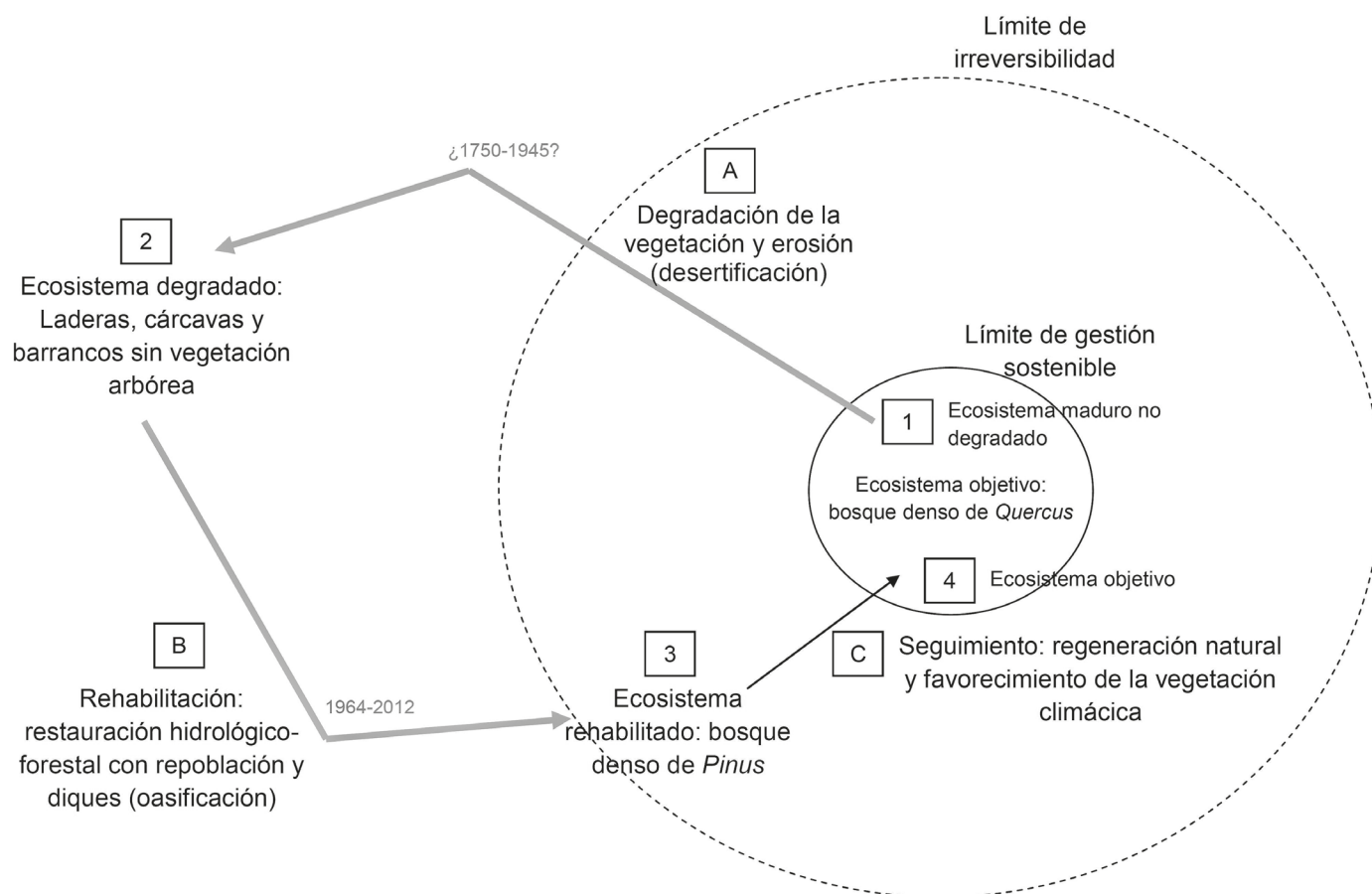


FIGURA 3. Cuadro conceptual de la restauración ecológica para la cuenca alta del río Corneja, basado en el modelo propuesto por Vallauri (1998).

el ciclo hidrológico. Para ello se ha realizado el esquema que se muestra en la figura 3, que resulta de la aplicación de la teoría expuesta por Vallauri (1998) a la restauración que se analiza en este trabajo. De acuerdo con lo indicado en esta figura, se pueden destacar las etapas que se describen a continuación.

### Ecosistema maduro (I)

El ecosistema maduro no degradado se corresponde con un encinar de *Quercus ilex* ssp. *ballota* (Desf.) Samp., fundamentalmente (*Junipero oxicedri-Querceto rotundifoliae sigmetum*) (Rivas-Martínez, 1987). En las zonas más altas y en las más frescas y húmedas, el roble (*Quercus pyrenaica* Willd.) se mezcla con la encina, llegando incluso a formar algunos rodales (*Luzulo forsteri-Querceto pyrenaicae sigmetum*) (Rivas-Martínez, 1987). La composición del ecosistema original ha podido conocerse con base en zonas aledañas y documentación histórica (Mongil *et al.*, 2013).

### Proceso de degradación (A)

En la región mediterránea los ecosistemas han sufrido fuertes perturbaciones debido a la deforestación para el cultivo o el pastoreo, e incendios forestales (Barbero *et al.*, 1987; Barbero *et al.*, 1990). En el sitio de este estudio, la degradación antrópica de la vegetación natural se ha producido a lo largo de los siglos por el aprovechamiento excesivo de leñas y maderas (combustible, construcción urbana y militar), seguido de una transformación del bosque para impulsar la ganadería, y finalmente por sobrepastoreo. Desde la Edad Media, la cabaña ganadera, especialmente de ovino, ha sido muy abundante, lo que produjo un favorecimiento de los pastos frente a las zonas boscosas, mediante roturaciones e incendios.

El Catastro de Ensenada, documento histórico de carácter fiscal fechado en 1752, informa de que en la zona existía un “monte alto todo poblado de encinas”, de 840 fanegas (unidad antigua que equivaldría a unas 586 ha) y del que se aprovechaba la leña y la bellota. Este monte arbolado de encinas, que cita también Madoz (1850), actualmente ha desaparecido casi por completo. La pérdida de la

vegetación arbórea y su sustitución por un matorral generalmente claro de *Thymus zygis* Loebl. Ex L., *Cistus albidus* L., *Lavandula stoechas* Lam. y *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss., entre otras especies, supuso la falta de protección del suelo, que fue erosionado gracias a la desaparición del manto de hojarasca e incremento de la escorrentía, primero en su horizonte húmico formado bajo el bosque y, posteriormente, los horizontes minerales formados por la intensa meteorización del granito, potenciada por las temperaturas extremas propias del clima de la zona.

Xu *et al.* (2010), por ejemplo, han encontrado una tasa de degradación del horizonte A en los suelos negros del Noreste de China, por un deficiente uso del suelo, de 0,5 cm a 0,83 cm al año en un periodo de 60 años originándose en la zona en torno a 250 000 cárcavas que han destruido 483 000 hm<sup>2</sup> de tierras agrícolas. Con base en la documentación histórica, se puede pensar que la degradación de los terrenos situados en la zona de estudio y el alcance del límite de irreversibilidad propuesto en la figura 3 podrían haber ocurrido relativamente rápido, en un periodo del orden de unos 50-80 años, entre 1850, en que todavía se cita el monte de encina, y 1900-1930 en los que la degradación conduce a que en 1964 se desarrollen los estudios y proyectos de repoblación forestal.

### Ecosistema degradado (2)

El ecosistema degradado resultante se conforma sobre un paisaje intensamente meteorizado, por la acción del hielo y la nieve invernales y el soleamiento excesivo del estío, donde se desarrollan abundantes cárcavas y barrancos promovidos por la arroyada superficial, deslizamientos, procesos de reptación, así como de erosión laminar y en regueros en las laderas que se extienden entre ellos. Esta dinámica erosiva, típica en las zonas acarcavadas (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2009; Clarke y Rendell, 2010; Navarro *et al.*, 2014), se ve retroalimentada y favorecida por la falta de vegetación leñosa protectora, el sobrepastoreo y la torrencialidad de la lluvia (el índice de agresividad del clima de Fournier (1960) es 41 mm y el factor R de erosividad de la lluvia (Wischmeier y Smith, 1978) es 86 hJ·cm·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> (860 MJ·mm·ha<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) (Icona, 1988).





Las zonas acarcavadas, a pesar de que suelen representar una pequeña extensión en el área mediterránea, son fuente importante de los sedimentos que se movilizan en las cuencas donde se ubican (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2009; Clarke y Rendell, 2010). Por ello, es de esperar que la erosión en esta área se dejara notar aguas abajo de la cuenca del Corneja tanto en los usos del agua como en la magnitud y frecuencia de las crecidas y el aterramiento de presas y azudes. El autor del proyecto de restauración ya hacía estas consideraciones en 1964: “Está la zona que nos ocupa despoblada de vegetación arbórea, existiendo solamente matorral y erosiones frecuentes, que proporcionan gran cantidad de arrastres que a través del río Corneja van al río Tormes, aguas arriba del embalse de Santa Teresa” (Azcarratza, 1964).

Alteraciones actuales similares a las acontecidas en la zona de estudio son descritas por Xu *et al.* (2010) en el noreste de China. Allí se ha comprobado cómo el desarrollo de cárcavas y barrancos por un deficiente uso agrícola ha llevado a una mayor torrencialidad de los ríos Nen y Songhua desde 1980. Martínez-Casasnovas y Poch (1998) demostraron que una pequeña área acarcavada de unos 33 km<sup>2</sup> fue causa de los graves aterramientos que llevaron en 1995 a la inutilización de las compuertas de fondo del embalse de Barasona, en el río Ésera (España), cuya cuenca vertiente era de 1500 km<sup>2</sup>. Otros casos de estudio sobre erosión en terrenos de cárcavas pueden consultarse, por ejemplo, en Poesen y Hooke (1997), Cantón *et al.* (2001), Martínez-Murillo *et al.* (2013), Navarro *et al.* (2014) y Díaz *et al.* (2014).

### Rehabilitación (B)

La rehabilitación enfatiza en la reparación de los procesos, la productividad y los servicios de un ecosistema, pero se diferencia de la restauración en que esta se fija como meta también el restablecimiento de la integridad biótica preexistente, en cuanto a la composición de especies y a la estructura de la comunidad (SER, 2004). Se trata de la fase más importante dentro de un programa de restauración, puesto que la mayor parte de los ecosistemas degradados presentan una dinámica vegetal muy lenta e

incluso nula, por lo que necesitan principalmente actuaciones biológicas que reviertan el proceso de degradación, y aceleren la sucesión vegetal (Guerrero *et al.*, 2008; Gómez-Aparicio, 2009).

En la cuenca alta del río Corneja, entre 1964 y 1971, se ejecutaron varios proyectos de restauración hidrológico-forestal, que en resumen consistieron en la repoblación forestal con coníferas (*Pinus sylvestris* L., *P. pinaster* Arr., 1789 y *P. halepensis* Miller) en las laderas acarcavadas y frondosas (*Populus x euramericana* Guinier, *P. nigra* L. y *Alnus glutinosa* L.) en las vaguadas, y en la construcción de más de un centenar de diques de gaviones para la retención de sedimentos en los barrancos y cárcavas. La superficie de actuación fue 4050 ha, aproximadamente.

### Ecosistema rehabilitado (3)

Cuando la fase de rehabilitación es exitosa, el resultado es un ecosistema capaz de seguir su propia dinámica. Generalmente este ecosistema está formado por especies pioneras, capaces de sobrevivir y desarrollarse en hábitat degradados, que preparan lentamente la llegada de otras especies y del ecosistema objetivo (Vallauri, 1998).

En este caso, el ecosistema rehabilitado es una masa forestal densa de pinar, que ha revertido numerosos beneficios sobre el suelo (edafogénesis) y sobre el ciclo hidrológico. La pinocha y otros restos vegetales han cubierto 100% del suelo de las zonas reforestadas, formando una cubierta protectora de 2 cm a 6 cm que regula las temperaturas del terreno, permite la presencia de microfauna, favorece la infiltración y reduce la escorrentía superficial -el número de curva (NRCS, 2003) ha pasado de 56 en el matorral a 44 en el pinar-, y disminuye la pérdida del suelo por erosión hídrica (el factor de erosionabilidad K de la USLE vale 0,15 y para el mismo suelo, pero sin contar con la materia orgánica, vale 0,21; es decir, el suelo sería 1,37 veces más susceptible a la erosión si no hubiera tenido el aporte de materia orgánica). A pesar de ello, la formación de humus ha sido muy lenta (unos 15 mm, como promedio, en 47 años). Se puede asegurar que la dinámica erosiva y degradadora se ha invertido al menos en 90% del territorio estudiado: lo que era destrucción del suelo

por erosión hídrica, ahora se ha convertido en formación de suelo, aunque sea lenta.

Por otra parte, los diques han cumplido su misión de forma sobresaliente. La mayoría de los diques están aterrados parcial o totalmente, consolidando las laderas adyacentes y evitando que los sedimentos lleguen a los cauces fluviales. En un estudio realizado por los autores sobre los sedimentos retenidos en los diques se ha estimado que, en una zona acarcavada con 15 diques, la retención media es de  $6,40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  (Díaz *et al.*, 2014). No obstante, la erosión continúa en el monte, favorecida por la meteorización del granito, cuyos regolitos caen primero por gravedad (caída de detritus y reptación) y después son arrastrados por el agua.

La erosión se concentra en dos escenarios: en las zonas no repobladas, ya sea porque no se llevó a cabo en su día o porque fracasó; y en los caminos de servicio del monte (incluyendo la plataforma, las cunetas y los taludes). En los caminos es donde la erosión es actualmente más grave, produciéndose arrastres importantes de materiales durante las precipitaciones intensas e, incluso, generando nuevas cárcavas al concentrarse el agua en determinadas zonas.

No obstante, las zonas reforestadas bien establecidas en zonas de cárcavas constituyen una barrera que detiene y filtra una buena parte de los sedimentos movilizados y reducen considerablemente la emisión de sedimentos hacia la red de drenaje (Rey, 2003; Rey *et al.*, 2004; Navarro *et al.*, 2014). En este sentido, Vallauri *et al.* (2002) señalan que la restauración de 120 años de *Pinus nigra* Arn. ssp. *nigra* Host., realizada en las *badlands* al suroeste de los Alpes consiguió detener los  $0,7 \text{ mm} \cdot \text{año}^{-1}$  de rebajamiento que sufría el terreno en esta zona cuando se hallaba desnudo.

Esto tiene pleno significado en la zona aquí estudiada, ya que, a partir del estudio que los autores realizaron sobre la retención y emisión de sedimentos, con una muestra de 15 diques en la zona, y de los datos suministrados por el organismo de cuenca sobre la calidad de las aguas, se ha podido estimar que, en la actualidad, los sólidos en suspensión no superan los  $25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  en las aguas del río Corneja (Díaz *et al.*, 2014) ningún año; lo que supone una clara mejora, en

relación con los testimonios de Azcarretazábal (1964), sobre los graves problemas erosivos y en la calidad de las aguas, durante la redacción de los proyectos de restauración.

### Seguimiento (C)

Después de la fase de rehabilitación, es necesaria una fase de seguimiento que conduzca a la recuperación del ecosistema original, que es a la vez el ecosistema objetivo. En la cuenca alta del río Corneja aún no se ha promovido esta etapa; que debe consistir en favorecer el desarrollo de los brinzales naturales de las frondosas climácicas que ya van apareciendo en el sotobosque, además de siembras y plantaciones de encina y roble, así como claras del estrato dominado del pinar que favorezcan la instalación de un bosque denso de encinas y robles en las zonas más propensas para ello (suelo más desarrollado, mejor orientación y exposición, sombra protectora, puesta en luz progresiva,...). Algunos criterios para la intervención en esta fase pueden encontrarse en los trabajos de Lugo (1997), Gómez *et al.* (2004), Pausas *et al.* (2004), Montoya y Mesón (2004), Chazdon (2008) y Rey-Benayas *et al.* (2008). De esta manera, y con una adecuada gestión selvícola, se conseguiría recuperar el ecosistema natural en cuanto a su estructura, diversidad y funcionamiento, a la vez que se favorece la edafogénesis y el control a largo plazo de los procesos erosivos.

### Ecosistema objetivo (4)

El fin a largo plazo de un proceso restaurador es conseguir el ecosistema objetivo, que se define como el ecosistema autóctono e histórico, que se había degradado, dañado o destruido, y que contiene suficientes recursos bióticos y abióticos para continuar su desarrollo sin ayuda adicional (SER, 2004). Este ecosistema objetivo no es necesariamente el correspondiente a la vegetación climácica, sino será la mejor alternativa elegida de acuerdo con un uso sostenible del territorio (Vallauri, 1998).

En este caso, el ecosistema objetivo se corresponde con las formaciones forestales existentes antes de la degradación, es decir, un encinar denso de *Quercus ilex* ssp. *ballota*, con robledal de *Q. pyrenaica* en las zonas más altas y/o



húmedas. Estas masas, con los tratamientos selvícolas de regeneración y mejora adecuados, actuaciones de recuperación de la diversidad, así como un buen diseño y ejecución de las infraestructuras de la zona, supondrán la completa restauración del ecosistema y el final de los procesos erosivos. La localización de este ecosistema estable en la cabecera de la cuenca del río Corneja, además de incrementar el valor biológico de la zona, mejorar intrínsecamente el paisaje e incrementar el patrimonio natural, supone una notable influencia en la mejora de la calidad de las aguas, en la regularidad de las aportaciones aguas abajo (Chang, 2003), pero también proporciona una mayor estabilidad de otros ecosistemas conectados o dependientes de este, en función del gradiente altitudinal y la conectividad de las redes de drenaje, así como de las infraestructuras para el almacenamiento, distribución de agua y producción de energía hidroeléctrica que se nutren de las escorrentías de esta cuenca.

## CONCLUSIONES

La restauración forestal es un proceso a largo plazo y basado en el conocimiento y la comprensión de los procesos hidrológicos y ecológicos. Gracias al establecimiento de un bosque formado mayoritariamente por especies del género *Pinus*, se ha rehabilitado el ecosistema, lo que implica que se han solucionado casi totalmente los graves problemas de erosión laminar, en regueros, en cárcavas y en barrancos, en un plazo bastante corto de tiempo (unos 20 años), y se ha incidido positivamente en los procesos de edafogénesis y en la regularización del ciclo hidrológico. En lo referente a la composición de especies y la estructura de la comunidad, la restauración del ecosistema requiere mucho más tiempo, así como las actuaciones que establezcan la integridad biótica que existía antes de la degradación.

Todo ello pasa por el reconocimiento, puesta en valor, seguimiento e investigación de los resultados y procesos derivados de estas acciones restauradoras que en muchos casos pasan o han pasado desapercibidas a las generaciones presentes. Los trabajos y proyectos de reforestación, restauración hidrológico-forestal, lucha contra la desertificación u oasisificación constituyen una tarea de varias generaciones de ingenieros forestales e investigadores. Por ello, acciones

desarrolladas hace más de medio siglo deben ser objeto de seguimiento y atención para reconducir de manera adecuada los ecosistemas degradados hacia los ecosistemas naturales objetivo. La restitución de una cubierta arbórea, donde tiempo atrás el bosque dio paso al desierto, no es un punto final, sino, como se intenta subrayar en este trabajo, una fase antecedente a la restauración del ecosistema natural perdido, además de un laboratorio de campo donde analizar, procesar y comprender las bases, procesos e interacciones implicados en la restauración ecológica.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a D. Vallauri su colaboración en la elaboración de este trabajo y a J. Aronson la revisión del manuscrito.

## REFERENCIAS

- Azcarratázabal, D. 1964. Proyecto de repoblación forestal y restauración de laderas en la cuenca del río Corneja. Tramo I, término municipal de Tórtoles. Confederación Hidrográfica del Duero. Valladolid. 74p.
- Barbero, M., G. Bonin, R. Loisel y P. Quezel. 1990. Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of Mediterranean basin. *Vegetatio* 87:151-173.
- Barbero, M., G. Bonin, R. Loisel, F. Miglioretti y P. Quezel. 1987. Impacts of fires on structure and architecture of Mediterranean ecosystems. *Ecología mediterránea* 13(4):39-50.
- Benavides-Solorio, J., M. González-Guillén, C. López-Paniagua y R. Valdez-Lazalde. 2008. Oferta hídrica de la cuenca forestal Tapalpa, Jalisco, orientada hacia los servicios ambientales. *Madera y Bosques* 14(2):5-28.
- Brauman, K.A., G.C. Daily, T.K. Duarte y H.A. Mooney. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environmental Resources* 32:67-98.
- 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(5):1079-1087.



- Cantón, Y., F. Domingo, A. Solé-Benet y J. Puigdefábregas. 2001. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology* 252(1-4):65-84.
- Chang, M. 2003. Forest Hydrology: An introduction to water and forests. CRC Press. Boca Raton. 474p.
- Chazdon, R.L. 2008. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* 320:1458-1460.
- Clarke, M.L. y H.M. Rendell. 2010. Climate-driven decrease in erosion in extant Mediterranean badlands. *Earth Surface Processes and Landforms* 35:1281-1288.
- Del Palacio, E. 1999. La restauración hidrológico-forestal. Gestión sostenible de los recursos suelo, agua y vegetación. O.A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 75 pp.
- Díaz, V., J. Mongil y J. Navarro. 2014. Topographical surveying for improved assessment of sediment retention in check dams applied to a Mediterranean badlands restoration site (Central Spain). *Journal of Soils and Sediments* Special Issue: Sediments in Mediterranean Rivers, DOI 10.1007/s11368-014-0958-5.
- Ehrenfeld, J.G. 2000. Defining the limits of restoration: the need for realistic goals. *Restoration Ecology* 8(1):2-9.
- Ferrer, M. 2009. La restauración hidrológico-forestal. *Foresta* 43:181-185.
- Fournier, F. 1960. Climat et érosion. Presses Universitaires de France. París.
- Franklin, J.F. 1988. Structural and functional diversity in temperate forests. Biodiversity. National Academy Press. Washington, D.C. p:66-175.
- Gómez, L., R. Zamora, J.M. Gómez, J.A. Hódar, J. Castro y E. Baraza. 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications* 14(4):1128-1138.
- Gómez-Aparicio, L. 2009. The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: a meta-analysis across life forms and ecosystems. *Journal of Ecology* 97(6):1202-1214.
- Guerrero-Campo, J., S. Palacio y G. Montserrat-Martí. 2008. Plant traits enabling survival in Mediterranean badlands in northeastern Spain suffering from soil erosion. *Journal of Vegetation Science* 19(4):457-464.
- Hobbs, R.J. y D.A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4(2):93-110.
- Icona (Instituto para la Conservación de la Naturaleza). 1988. Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la ecuación universal de pérdidas de suelo. Instituto para la Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 39 p.
- Kaimowitz, D. 2004. Forests and water: a policy perspective. *Journal of Forest Research* 9:289-291.
- Kremen, C. y R.S. Ostfeld. 2005. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(10):540-548.
- López-Paniagua, C., M. González-Guillén, J.R. Valdez-Lazalde y H.M. de los Santos-Posadas. 2007. Demanda, disponibilidad de pago y costo de oportunidad hídrica en la cuenca Tapalpa, Jalisco. *Madera y Bosques* 13(1):3-23.
- Lugo, A.E. 1997. The apparent paradox of reestablishing species richness on degraded lands with tree monocultures. *Forest Ecology and Management* 99:9-19.
- Madoz, P. 1850. Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar. Ámbito. Edición facsímil (2000), Ávila. Madrid.
- Manson, R.H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10(1):3-20.
- Martínez-Casasnovas, J.A. y R. Poch. 1998. Estado de conservación de los suelos de la cuenca del embalse Joaquín Costa. *Limnetica* 14:83-91.
- Martínez-Casasnovas, J.A., M.C. Ramos y D. García-Hernández. 2009. Effects of land-use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedès region (northeast Spain). *Earth Surface Processes and Landforms* 34:1927-1937.
- Martínez-Murillo, J.F., E. Nadal-Romero, D. Regüés, A. Cerdà y J. Poesen. 2013. Soil erosion and hydrology of the western Mediterranean badlands throughout rainfall simulation experiments: A review. *Catena* 106:101-112.
- Monterroso-Rivas, A.I., J.D. Gómez-Díaz y J.A. Tinoco-Rueda. 2009. Servicios ambientales hidrológicos bajo escenarios



- de cambio climático en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. *Madera y Bosques* 15(2):5-26.
- Mongil, J., J. Navarro, V. Cruz, V. Díaz. 2013. Destrucción y restauración de la cubierta forestal en la cuenca alta del río Corneja (Ávila): análisis histórico de un proceso de gestión cambiante. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 38:107-113.
- Montoya, J.M. y M. Mesón. 2004. Selvicultura. Mundi-Prensa. Madrid. 354 p.
- Navarro, J., J.C. De Araújo y J. Mongil. 2014. Assessment of 80 years of ancient-badlands restoration in Saldaña, Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*. DOI: 10.1002/esp.3541
- NRCS. 2003. National Engineering Handbook, part 630, Hydrology. Consultado 14 nov. 2012. Disponible en: <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/hydro/hydro-techref-neh-630.html>.
- Pausas, J.G., C. Blade, A. Valdecantos, J.P. Seva, D. Fuentes, A. Alloza, A. Vilagrosa, S. Bautista, J. Cortina, R. Vallejo. 2004. Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: new perspectives for an old practice-a review. *Plant Ecology* 171:209-220.
- Poesen, J.W.A. y J.M. Hooke. 1997. Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography* 21(2):157-199.
- Rey, F. 2003. Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies. *Catena* 50:549-562.
- Rey, F., J.L. Ballais, A. Marre y G. Rovéra. 2004. Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *Comptes Rendus Geoscience* 336(11):991-998.
- Rey-Benayas, J.M., J.M. Bullock y A.C. Newton. 2008. Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(6):329-336.
- Rivas-Martínez, S. 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España. Instituto para la Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- SER (Society for Ecological Restoration). 2004. The SER International primer on ecological restoration. Consultado 14 nov. 2012. Disponible en <http://www.ser.org>.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2010. Keys to Soil Taxonomy. Consultado 14 nov. 2012. Disponible en <http://soils.usda.gov/technical/classification>.
- Vallauri, D. 1998. Toward a long term ecological framework for forest restoration programs: an illustration from restoration for erosion control on badlands in south-western Alps (France). *Ecologie* 1:189-192.
- Vallauri, D.R., J. Aronson y M. Barbero. 2002. An analysis of forest restoration 120 years after reforestation on badlands in the Southwestern Alps. *Restoration Ecology* 10(1):16-26.
- Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Agricultural Handbook. 537p.
- Xu, X.Z., Y. Xua, S.C. Chen, S.G. Xu y H.W. Zhang. 2010. Soil loss and conservation in the black soil region of Northeast China: a retrospective study. *Environmental Science and Policy* 13:793-800.

Manuscrito recibido el 1 de marzo de 2013.

Aceptado el 4 de noviembre de 2014.

Este documento se debe citar como:

Mongil, J., J. Navarro y V. Díaz. 2015. Esquema ecológico aplicado a una restauración forestal en cárcavas de la Sierra de Ávila (centro de España). *Madera y Bosques* 21(1):11-19.