

Respuesta de las intervenciones de restauración a medio plazo: resultados del proyecto EcoQuarry en Cataluña.

Montse Jorba Peiró. *Coordinadora técnica del proyecto 2004-2011. Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona.*

Josep M. Ninot Sugañes. *Coordinador del proyecto 2010-2011. Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona.*

Ramon V. Vallejo Calzada. *Coordinador técnico del proyecto 2004-2011. Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona.*

En el proyecto EcoQuarry patrocinado por el programa Life-Medio Ambiente (2004-2007) se realizaron una serie de experiencias piloto donde se ensayaron diferentes sustratos, composiciones de siembra y plantaciones de especies leñosas. Cinco años después se ha realizado una evaluación del estado de las zonas tratadas, patrocinada por algunas de las empresas participantes en la primera fase del proyecto. En este trabajo se muestran los principales resultados obtenidos a lo largo del tiempo. Se pone de manifiesto que las características del sustrato que se utilice determinan vegetaciones diferentes y estas diferencias se mantienen a medio plazo. La composición de la siembra aplicada también tiene un efecto en la evolución de las plantaciones.

Minería y sostenibilidad

Desde sus inicios la sociedad ha buscado un mayor estado del bienestar utilizando los recursos naturales a su alcance. Los recursos minerales representan una fuente de materiales para desarrollar este objetivo, hasta el punto de que el consumo de áridos y cemento se utiliza como indicador del estado de bienestar de un territorio.

En contrapartida, la minería a cielo abierto tiene una huella ecológica importante con fuertes cambios de relieve, alteración de la red hidrológica, eliminación de vegetación y fauna, y que se traducen a escala global en un deterioro paisajístico y ecológico de larga duración. En Cataluña la superficie afectada por actividades extractivas a cielo abierto es de unas 14.000 hectáreas y un porcentaje significativo de esta superficie se localiza en espacios protegidos o muy cerca de ellos. El ritmo creciente de la demanda de estos materiales, vinculado a la expansión de la construcción y de la obra civil, plantea la necesidad de llegar a un equilibrio entre obtención de recursos y conservación del medio ambiente. La misma sociedad que consume recursos también demanda una mayor calidad ambiental en su entorno, tanto para el momento actual como para las generaciones futuras. La legislación representa la vía administrativa que regula la necesidad de establecer esta sostenibilidad. Tanto la ley 12/1981 de Cata-

luña [1], pionera en su momento a nivel europeo, y la PCAA de finales 2009 [2] establecen que el promotor deba someter un proyecto minero a un Estudio de Impacto Ambiental, establecer un Plan de Restauración y depositar una garantía, mediante depósito de un aval o fianza, para asegurar la ejecución de dicho Plan. Posteriormente, cuando finalizan las tareas de restauración contempladas en el Plan de Restauración, se inicia el periodo de garantía (entre 3 y 5 años según se trate de una zona protegida o no) donde la Administración competente realiza una inspección al inicio y al final de dicho periodo. Si la valoración final es positiva se establece el retorno de las garantías al empresario. Como criterio global de evaluación, una zona sometida a una actividad minera debe quedar integrada en su entorno natural al finalizar la concesión.

La restauración ecológica como herramienta de sostenibilidad

En Cataluña la superficie restaurada, desde la entrada en vigor de la Ley a principios de los 80, es hoy de 3.200 hectáreas y un porcentaje significativo corresponde a recuperaciones agrícolas, básicamente asociadas a la explotación de gravas aluviales, de fácil integración. Sin embargo, cuando la restauración de canteras tiene un enfoque ecológico, acorde con determinados entornos naturales, los resultados son más limitados y la mayor parte de estos espacios presentan una escasa integración y funcionalidad. En estos casos, la explotación sostenible de un recurso minero debería considerar, además de evitar otros aspectos ambientales (vertidos contaminantes, ruidos, etc.), la recuperación del espacio como un objetivo primordial dentro del proceso de compatibilización de estas actividades industriales. Demostrar que una zona explotada puede llegar a funcionar según los patrones ecosistémicos naturales puede facilitar la obtención de nuevas licencias o de ampliaciones de las ya existentes.

Desde la aparición de la Red Natura 2000, existe una mayor preocupación por incorporar estos aspectos dentro de los planes de restauración. Estas zonas con restauraciones bien desarrolladas pueden tener un papel relevante para la creación de hábitats que fomenten la expansión de

especies protegidas. En la misma Guía de Natura 2000 de la Comisión Europea [3] se reconoce la función de estos espacios como promotores de diversidad. Además, el objetivo marcado por la UE en el consejo del 15 de marzo del 2010 es precisamente detener la pérdida de la biodiversidad y la degradación de los servicios ecosistémicos en la UE para el año 2020 y se reconoce que este cambio sólo se producirá si hay un esfuerzo concertado de todos los sectores económicos.

Sin embargo, convertir espacios tan alterados en ecosistemas funcionales no es simple y para ello es importante recurrir a los conocimientos técnicos y científicos, necesarios para desarrollar el proceso de Restauración Ecológica. La información disponible sobre los procesos que intervienen y se desarrollan en la recuperación y estructuración de un ecosistema joven es aún escasa y por ello es especialmente relevante realizar estudios concretos a gran escala que incrementen este conocimiento. Aquí es donde se enmarca el proyecto EcoQuarry.

El proyecto EcoQuarry a medio plazo

El proyecto, cofinanciado por el programa Life-Medio Ambiente y la participación de un elevado porcentaje de empresas extractivas, se desarrolló entre 2004 y 2007. En esta primera etapa se establecieron experiencias piloto de restauración a gran escala bajo un proceso de control de calidad en todas sus etapas de implementación, donde se incorporaban criterios para promover una recuperación más rápida y completa [4]. Las principales actuaciones se centraron en mejorar las características del sustrato mediante la aplicación de compost de Residuos Sólidos Urbanos, diferentes mezclas de especies herbáceas y subarbutivas, y plantaciones de leñosas (ver anexo). Los sustratos utilizados fueron suministrados por cada explotación participante y presentaban características granulométricas contrastadas (rechazos pedregosos y tierras vegetales).

En 2010 se ha realizado una evaluación de estas zonas experimentales, patrocinada directamente por algunas de las empresas participantes. En esta fase los objetivos del proyecto están enfocados a evaluar a medio plazo los tratamientos aplicados en 2005. Dado que este periodo de tiempo podría corresponder al final del periodo de garantía, los criterios de la evaluación se centran en valorar si la vegetación desarrollada, tanto espontánea como introducida, presenta similitudes con la vegetación de los ecosistemas naturales del entorno, tanto en el estrato herbáceo como en el leñoso. Además, es importante saber en que estado del ciclo de vida se encuentran las diferentes especies introducidas para valorar su capacidad de expansión y autosostenibilidad en la zona.

La ecología orientada a la restauración: principales resultados de la experiencia

Las siembras de herbáceas y subarbutivas y la colonización de nuevas especies

En la explotación de recursos minerales se generan espacios libres de organismos vivos, susceptibles de ser ocupados y `ex-

plotados` por las diferentes especies que pueden llegar y desarrollarse. Se desencadena una compleja red de interacciones entre las diferentes especies, cuyo principal objetivo es instalarse y mantenerse a lo largo del tiempo y donde las `alianzas` (relaciones de facilitación) y los `conflictos` (relaciones de competencia) entre las especies presentes, definidas por sus propias estrategias de gestión de recursos (espacio, luz, agua y nutrientes principalmente), marcan la dinámica temporal de cada etapa de la evolución del nuevo ecosistema.

En una restauración la incorporación de las especies vegetales puede tener varios orígenes: las siembras, los materiales utilizados (sustratos, tierras y enmiendas) y la colonización desde el entorno inmediato.

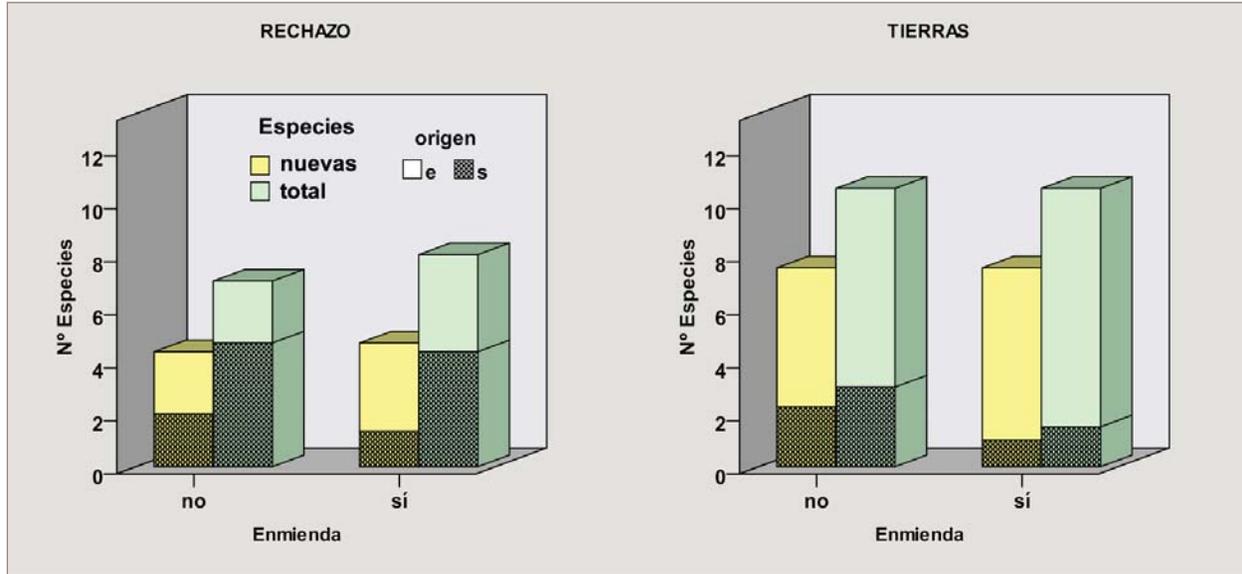
Las siembras han sido y son la forma más habitual de iniciar la revegetación en estas áreas degradadas y determinan, desde el primer momento, una ocupación de estos espacios vacíos. Sin embargo, se puede establecer una primera relación de competencia si los sustratos o enmiendas incorporan un banco de semillas propio. En nuestro caso, las especies introducidas por siembra han dominado cuando se han utilizado rechazos de la propia explotación, libres de semillas y otros propágulos. En cambio, cuando se han incorporado tierras externas con potentes bancos de semillas propios, la presencia de las especies sembradas es menor al ser desplazadas por las especies aportadas por el mismo sustrato (Figura 1). La adición de compost no ha determinado una composición específica diferente. Se observa, además, que en estos últimos 4 años se han incorporado entre 4 y 8 especies al sistema pero la mayor parte corresponden a especies colonizadoras que se dispersan fácilmente con el viento (*Oryzopsis miliacea*, *Avena barbata*, *Bromus rubens* o *Sonchus tenerimus*). También se han observado especies sembradas de germinación tardía (*Anthyllis cytisoides* y *Psoralea bituminosa*).

Cuando se analizan las mezclas de especies sembradas, se observa que la mezcla 1, formada por especies nativas, tiene la mejor respuesta en los dos tipos de sustratos donde prácticamente todas las especies sembradas aparecen (Figura 2). En cambio, las otras mezclas parecen desarrollarse mejor en los rechazos respecto a las tierras externas. Posiblemente en los rechazos las especies sembradas ocuparon el espacio desde el inicio y permanecen a pesar de la colonización desde el entorno.

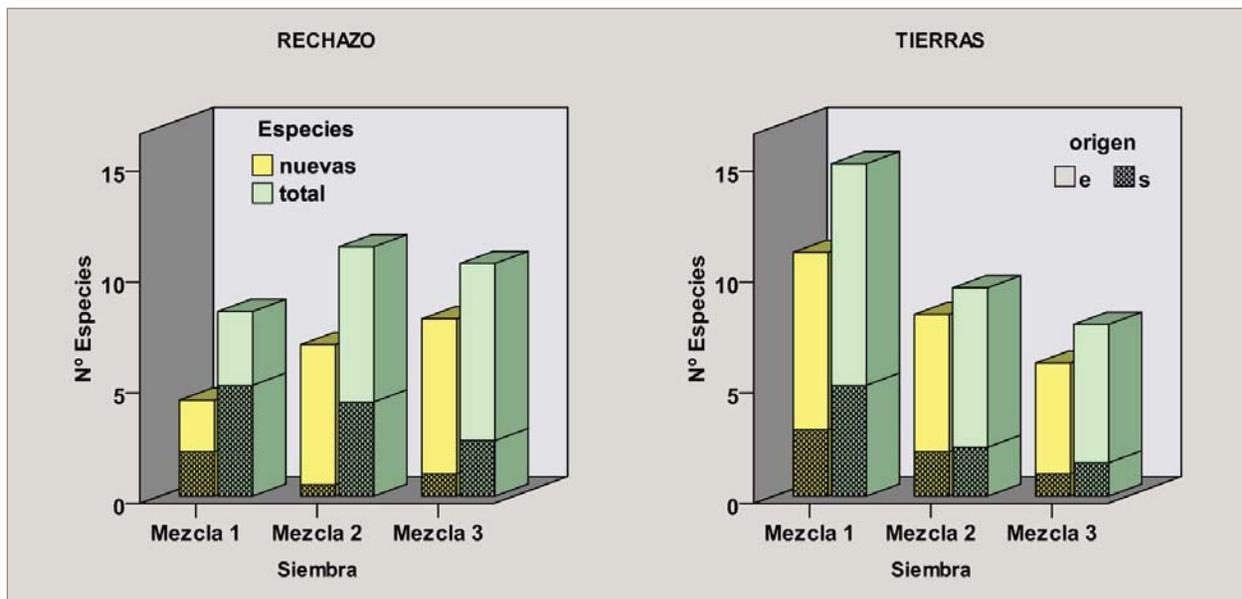
La composición de especies observada en 2010 podría ser uno de los elementos de valoración en el momento de la aceptación de la restauración después de un periodo de garantía de 5 años desde la revegetación.

Bajo este criterio, se observa que los tratamientos de revegetación aplicados determinan comunidades vegetales distintas. Las siembras prácticamente generan una composición pratense, mientras que las especies plantadas son propias de matorral mediterráneo (Figura 3). En cambio, las especies espontáneas suelen corresponder a malas hierbas (ruderales). Además, se observa una composición contrastada entre tipos

■ **Figura 1.** Número de especies nuevas (aparecidas entre 2006-2010) y totales (estudio de 2010) según el tipo de sustrato y el tratamiento con compost. (e: especies espontáneas; s: especies sembradas).



■ **Figura 2.** Número de especies nuevas (aparecidas entre 2006-2010) y totales (estudio de 2010) según la mezcla de siembra y el tipo de sustrato. (e: especies espontáneas; s: especies sembradas).



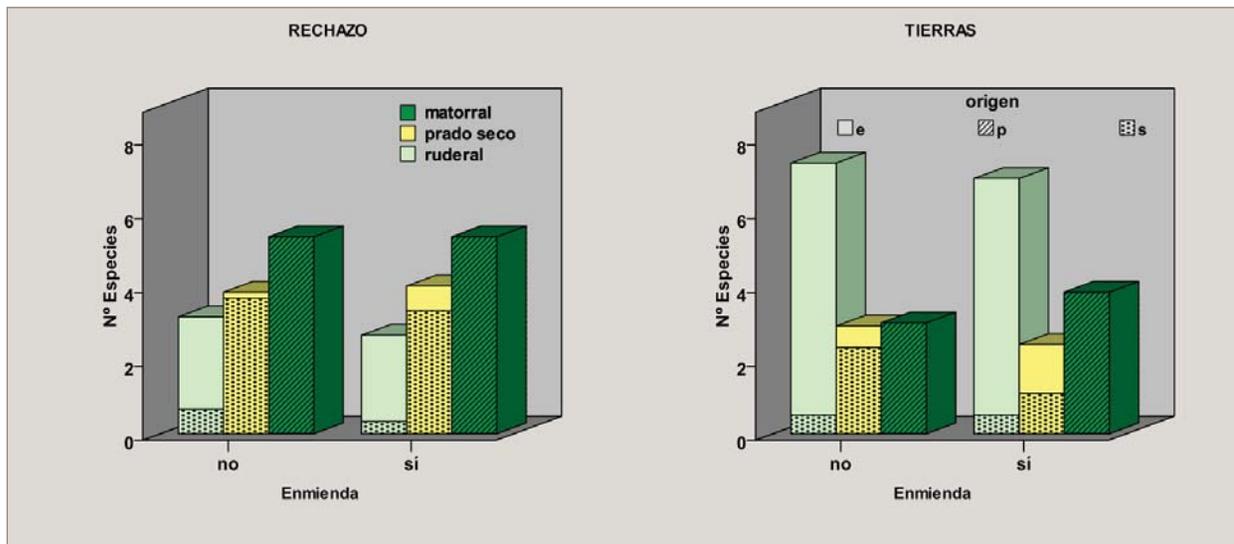
de sustratos. En el caso de los rechazos, el rendimiento de los tratamientos de revegetación es más alto y la composición final presenta mayor similitud con los ecosistemas forestales naturales, con una presencia mayor de especies de matorral. Sin embargo, en las tierras externas la presencia de especies ruderales predomina y parece limitar el desarrollo de las especies propias de los ecosistemas tomados como referencia. Atendiendo a la composición de las siembras, la mezcla con nativas (mezcla 1) presenta un mayor rendimiento de las plantaciones tanto en los rechazos como en las tierras externas, mientras que las siembras con especies comerciales (siembra 2 y 3) determinan una menor presencia de especies de matorral mediterráneo y, especialmente, cuando se utilizan tierras vegetales (Figura 4).

Protección del suelo

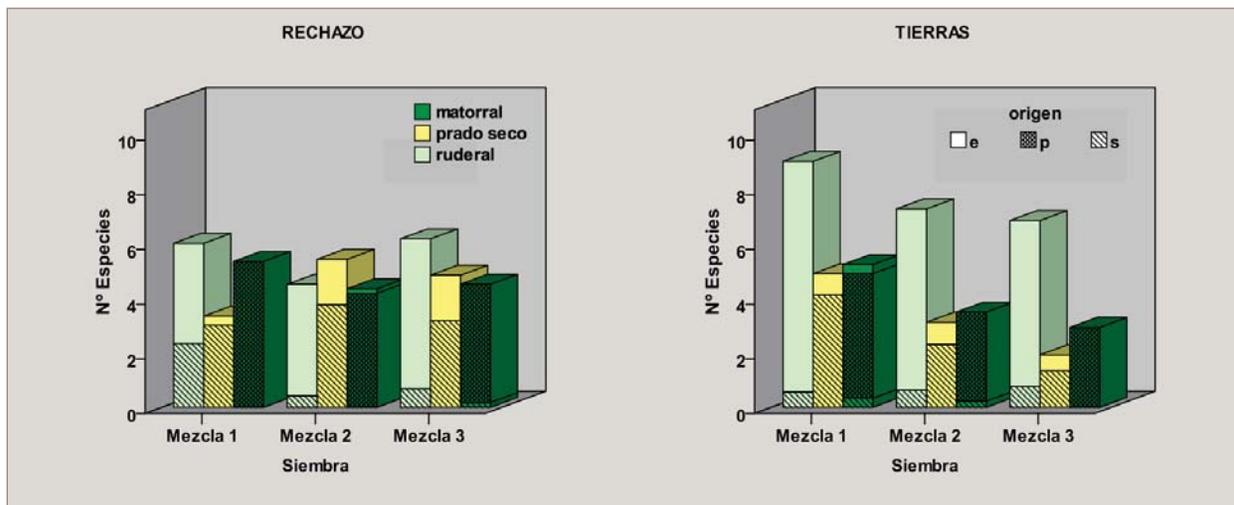
Las características de las precipitaciones tienen una gran relevancia en la función que puede desarrollar la vegetación en los ecosistemas jóvenes. En la cuenca mediterránea las lluvias tienen un marcado régimen estacional y suelen ser agresivas, pero determinan a la vez dilatados periodos secos. Este contexto climático marca prácticamente el calendario de las intervenciones de revegetación, que se planifica para aprovechar los periodos lluviosos.

Sin embargo, en la restauración de áreas mineras existen situaciones de riesgo que deben considerarse. La morfología final de estos espacios adopta el modelo talud-berma como principal

■ **Figura 3.** Número de especies presentes en 2010 según su ecología y su origen en los diferentes tipos de sustratos y tratamientos con enmienda. (e: espontáneas; s: sembradas; p: plantadas).



■ **Figura 4.** Número de especies presentes en 2010 según su ecología y su origen en los diferentes tipos de sustratos en función de la composición de las siembras. (e: espontáneas; s: sembradas; p: plantadas).



fórmula para gestionar la diferencia de cotas del terreno tras la extracción de recursos. En taludes, se suele optar por diseños que están en el límite de estabilidad para maximizar el aprovechamiento de los recursos y esto genera superficies con elevadas pendientes donde los procesos erosivos pueden ser importantes.

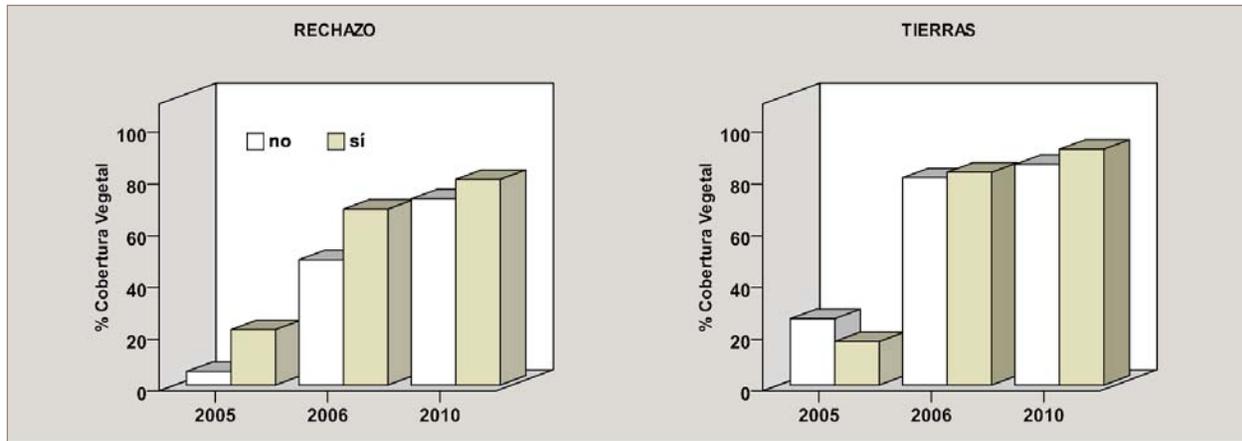
El principal mecanismo que se utiliza en este ámbito para controlar la erosión de taludes es la revegetación con herbáceas. El efecto de las plantas es múltiple. Por un lado, realizan una protección de la superficie del suelo al interceptar la lluvia, disminuyendo la energía del impacto de las gotas, pero también ejercen un control a nivel de la escorrentía, reduciendo la velocidad del agua superficial y potenciando la infiltración. Además, y en función de la estructura de las raíces de cada especie, la vegetación fija mecánicamente el suelo. De todos modos, todos estos efectos son efectivos cuando las plantas son adultas y existe un periodo de riesgo entre la siembra y las primeras lluvias. En general se acepta que una cobertura de un

40% puede ser suficiente para controlar eficazmente los procesos erosivos superficiales [5], aunque esto debe adaptarse a cada situación en concreto.

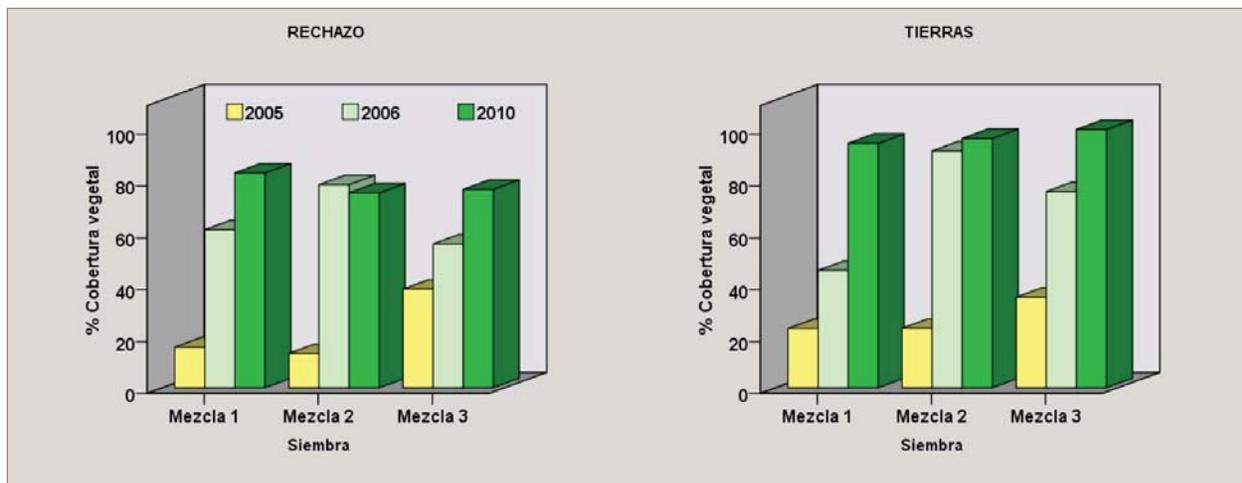
Atendiendo a este umbral, los resultados de cobertura observados tras pocos meses de la siembra serían insuficientes tanto si se aplican enmiendas como según la composición de la siembra (Figuras 5 y 6, respectivamente) ante las primeras lluvias otoñales. Sin embargo, la cobertura un año después es elevada en todos los casos. En los rechazos, la adición de compost determina un incremento de cobertura de aproximadamente un 20%. Este incremento es mucho menor para las tierras externas, con una fertilidad inicial considerable.

Sin embargo, las especies tienen diferentes estrategias para superar los periodos desfavorables y perdurar, y esto puede determinar cambios estacionales de cobertura. En el caso de las especies anuales, su ciclo vital es corto y pasan gran

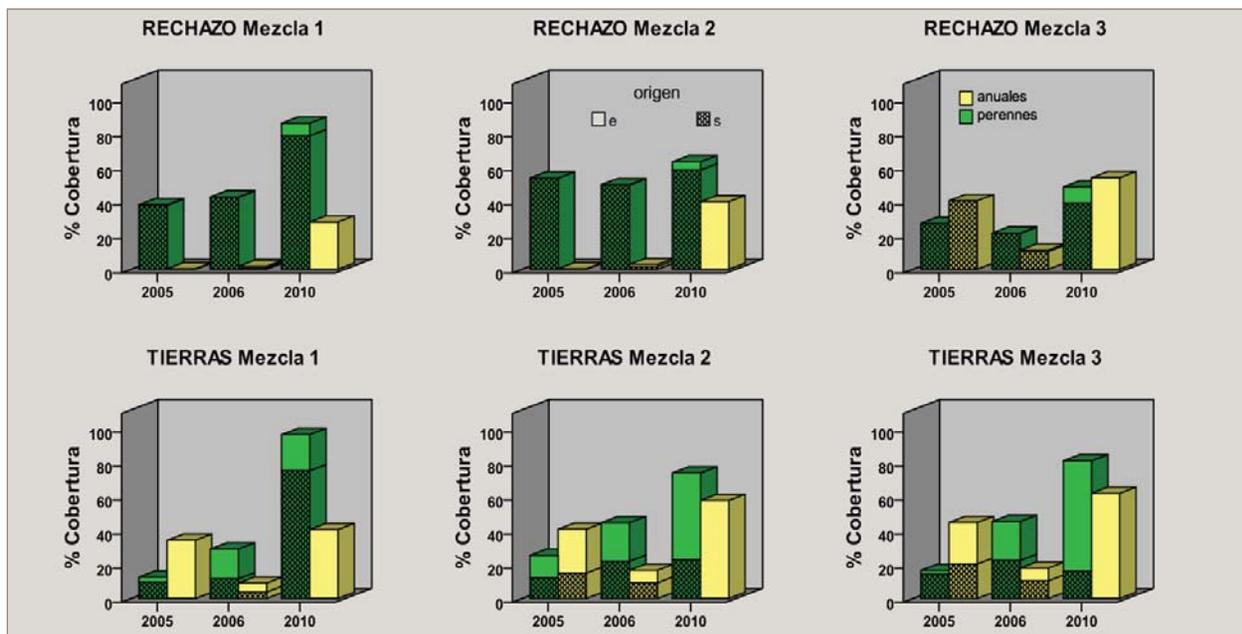
■ **Figura 5. Evolución de la cobertura vegetal en los diferentes tipos de sustratos según el tratamiento de mejora con compost (no: sin compost; sí: con compost).**



■ **Figura 6. Evolución de la cobertura vegetal en los diferentes tipos de sustratos según la composición de la siembra.**



■ **Figura 7. Evolución de la cobertura vegetal según el ciclo vital y el origen de las especies en los diferentes sustratos y mezclas de siembras (e: espontáneo; s: siembra).**



parte del año en estado latente en forma de semilla. Estas especies tienen variaciones estacionales de cobertura importantes y determinan una protección de la superficie del suelo discontinua y corta. Las especies perennes presentan órganos vivos durante todo el año aunque también pueden presentar cambios en su desarrollo aéreo como adaptación ante la sequía.

Si se tiene en cuenta este aspecto, la cobertura de las especies sembradas tiene mayor permanencia en el tiempo (Figura 7). La mezcla 1 proporciona una cobertura superior a los 5 años aunque su desarrollo ha sido progresivo a lo largo del tiempo. Las especies que básicamente determinan esta cobertura son *Brachypodium phoenicoides*, *Brachypodium retusum* y *Dorycnium pentaphyllum*. En la mezcla 2, se observa también un incremento de *Dorycnium pentaphyllum*, acompañado por *Psoralea bituminosa* y *Santolina chamaecyparissus* pero *Sanguisorba minor*, *Lotus corniculatus* y *Dactylis glomerata* se mantienen en el tiempo o disminuyen ligeramente. La siembra con especies comerciales (siembra 3) presenta ligeros incrementos de *Dorycnium pentaphyllum*, *Psoralea bituminosa* y *Santolina chamaecyparissus* mientras que *Medicago sativa* disminuye y *Lolium multiflorum* y *Onobrychis viciifolia* prácticamente desaparecen.

Entre las especies espontáneas aportadas con los sustratos en las primeras etapas destacan especies anuales como *Atriplex patula*, *Chenopodium album*, *Kochia scoparia* o *Amaranthus retroflexus* [6]. En esta primera etapa también se desarrollaron especies dispersadas por el viento como *Silybum marianum*, *Oryzopsis miliacea* y *Cynodon dactylon*. En cambio, en 2010 predominan las especies de ciclo corto o con variaciones estivales de cobertura importantes y diseminadas por el viento como *Avena barbata*, *Bromus rubens*, *Oryzopsis miliacea* o *Sonchus tenerimus*. En estas primeras etapas de la revegetación pueden instalarse especies invasoras o exóticas que pueden comprometer la evolución de estas zonas. En nuestro caso, la especie que podría dar lugar a situaciones de riesgo es *Arundo donax*, que apareció desde etapas iniciales con las tierras externas y que ha proliferado en el tiempo.

Las leñosas en restauración ecológica

Los criterios para la evaluación de una restauración están enfocados a garantizar si la zona es autosostenible en el tiempo tanto desde el punto de vista de la estabilidad de los taludes y el suelo como en términos de funcionamiento del ecosistema (reciclaje de nutrientes, mantenimiento de las poblaciones vegetales y animales, interacciones entre los distintos elementos). En áreas donde el entorno es eminentemente forestal, la valoración de la restauración contempla la presencia de especies leñosas que se desarrollen en el tiempo y completen su ciclo reproductivo. El establecimiento de individuos juveniles de las diferentes especies leñosas de interés representa la fase final del ciclo y la autopropagación de las poblaciones arbóreas, arbustivas y subarbustivas y, por tanto, un buen indicador del éxito de la restauración en los aspectos de reforestación.

Además, la presencia de vegetación con una estructura similar a los sistemas naturales favorece la frecuentación de la fauna que es también un objetivo de una restauración. Dado que gran parte de las especies leñosas de la vegetación mediterránea necesitan que sus semillas pasen por el tracto digestivo de animales para facilitar su germinación, su dispersión está vinculada a la presencia de fauna, básicamente pájaros [7]. Sin embargo, los estímulos para que esta fauna visite la zona repoblada pueden ser varios. En el caso de pájaros, es importante que existan atalayas o perchas para que se puedan posar, pero el atractivo más poderoso es la disponibilidad de alimento. Así, la plantación de especies leñosas de porte arbóreo o arbustivo con frutos, que combinan los dos aspectos, puede ser una buena opción para fomentar y establecer estos vínculos entre fauna y vegetación, que pueden promover, a la vez, la incorporación de nuevos individuos vegetales pasivamente [8].

Según este planteamiento, debe buscarse la práctica donde la supervivencia y desarrollo de las leñosas sea mayor. En nuestra experiencia, las plantaciones han tenido un resultado escaso si se considera la totalidad de las explotaciones (Figura 8). Sin embargo en algunas canteras la supervivencia ha sido buena para casi todas las especies y precisamente esto demuestra que es posible introducir la mayor parte de especies leñosas características de nuestros sistemas naturales si se tienen en cuenta una serie de consideraciones técnicas.

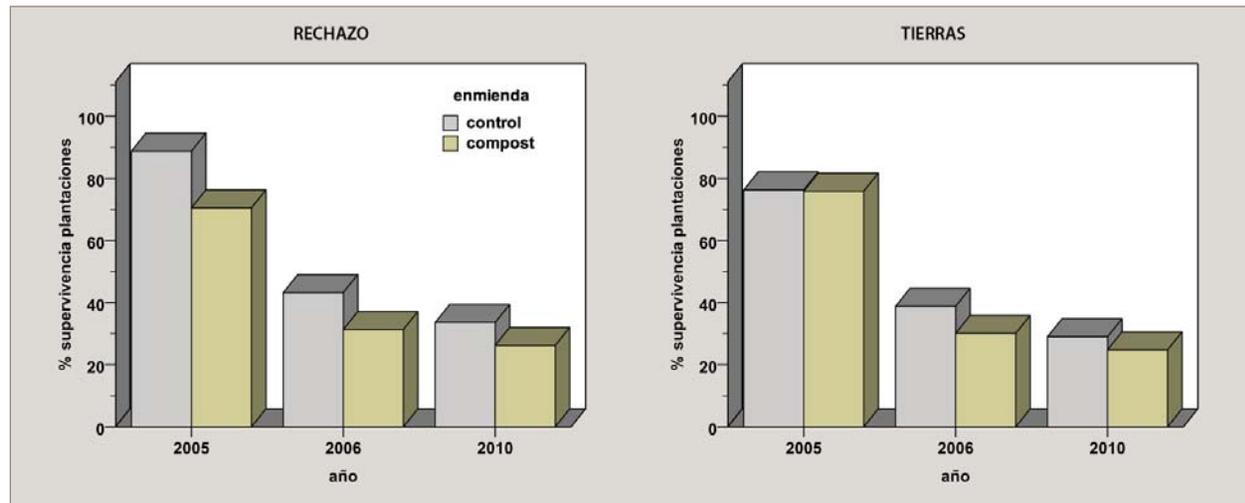
Se ha observado que la aplicación de compost puede presentar problemas porque reduce la supervivencia global de la plantación (Figura 8). Este mismo efecto negativo de la adición de enmiendas orgánicas ha sido descrito también en otros estudios donde se han utilizado lodos de depuradora [9], y puede deberse tanto al incremento de la salinidad inducida por la aplicación de la enmienda como a la mayor proliferación de herbáceas que determina y que pueden competir con las leñosas [10]. En este sentido, la dosis de enmienda aplicada parece ser decisiva para un equilibrio entre beneficios y desventajas. En nuestro caso, el aladierno ha sido la especie más sensible y ha presentado una mortalidad de un 30% al aplicar compost. Pino y romero también se ven afectadas pero con mortalidades inferiores (15-20%). En cambio, la adición de compost determina un crecimiento superior en casi todas las especies (Tabla 1). Este crecimiento prácticamente se duplica cuando se aplica compost a los rechazos, pero los resultados son más limitados cuando se trata de tierras externas, donde la fertilidad inicial era ya elevada.

Otro aspecto relevante es la competencia entre herbáceas y leñosas. Esta interacción se ha puesto de manifiesto al analizar las siembras ensayadas. Las siembras con nativas (mezcla 1) favorecen la supervivencia de las leñosas frente al resto de mezclas (Figura 9 y 10). Posiblemente el crecimiento más gradual en el tiempo de estas especies permite que los plantones se desarrollen entre cubiertas herbáceas poco densas donde la competencia por los recursos, básicamente agua, sería menor. En cambio, tanto las mezclas 2 como 3, desarrollaron cubiertas herbáceas densas tras las lluvias otoñales del 2005, momento en que se realizó la plantación. En estas primeras fases, tanto los plantones como

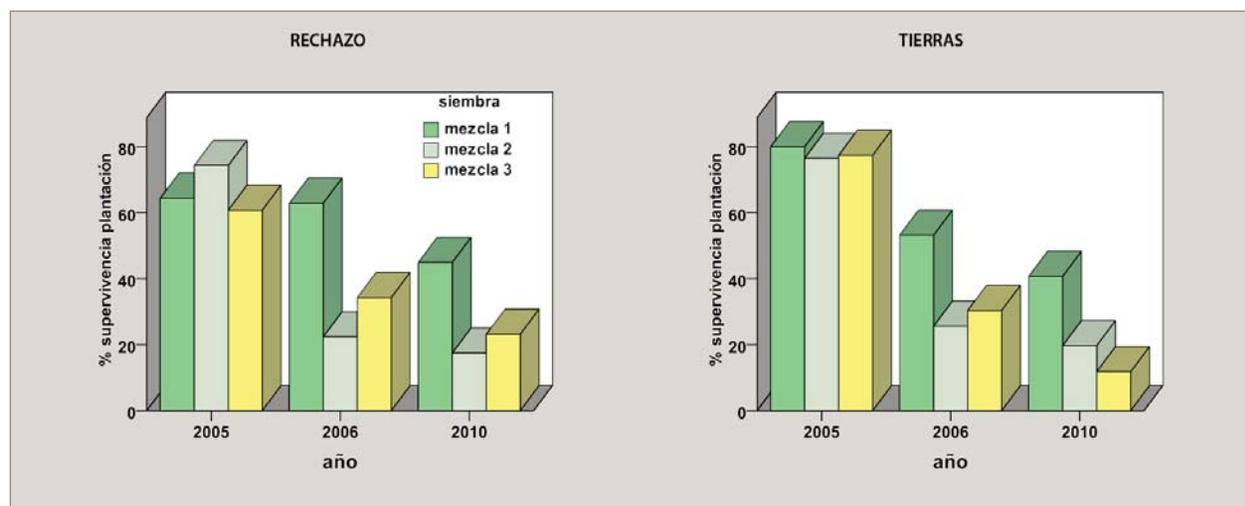
■ **Tabla 1.** Altura (cm) de algunas especies plantadas a corto y medio plazo en función de la aplicación de compost.

Año	Enmienda	Pino	Lentisco	Aladierno	Romero	Espino negro
2006	Compost	25,44	18,02	21,91	23,32	21,68
	Sin compost	24,20	16,43	22,41	19,35	19,30
2010	Compost	120,02	49,91	73,45	86,01	60,59
	Sin compost	102,13	48,71	68,03	78,79	41,08

■ **Figura 8.** Evolución de la supervivencia global de las plantaciones en los diferentes sustratos según el tratamiento con compost.



■ **Figura 9.** Evolución de la supervivencia global de las plantaciones en los diferentes sustratos según la composición de las siembras.



las herbáceas parecen explotar los mismos recursos del sustrato, debido al escaso desarrollo del sistema de raíces de los brinzales plantados (aproximadamente unos 15 cm).

El éxito más destacable de las plantaciones realizadas es la evolución del ciclo vital de las diferentes especies leñosas en un plazo tan corto. En restauración, el principal objetivo de la introducción de las especies vegetales es precisamente acelerar el proceso de revegetación natural, que suele ser muy lenta, donde la llegada de semillas y su establecimiento vienen determinados por muchos factores ambientales,

algunos de difícil modificación. Si estas especies plantadas llegan a producir semillas viables que germinan y generan nuevos individuos, la revegetación espontánea de leñosas parece garantizada.

Bajo este punto de vista, el romero es la única especie que ha completado todo su ciclo vital en todas las explotaciones, con presencia de flores, frutos y individuos jóvenes promovidos desde la misma plantación (Figura 11). El pino también está desarrollando piñas, no maduras, de diferentes dimensiones en casi todas las explotaciones. El aladierno ha fructificado

■ *Figura 10. Detalle del efecto inhibitor de la cubierta herbácea en el desarrollo de pino.*



únicamente en dos de las localidades, aunque profusamente en un 10% de los individuos y algunos de los frutos podrían ser del año anterior (Figura 11). En cambio, tanto el enebro, el espino negro como la coscoja presentan una menor cantidad de fructificaciones respecto a las especies anteriores y en una proporción menor de individuos. No se ha observado ningún individuo de sabina con floración ni fructificación, y algunos individuos de lentisco presentaban ya estadios incipientes de desarrollo floral. Se puede decir que casi todas las especies, excepto la sabina, podrían culminar su ciclo vital a corto plazo, dentro de los límites del periodo de garantía establecido en la normativa.

■ *Figura 11. Romero joven establecido a partir de la plantación (izquierda) y aladierno plantado en 2005 con frutos (derecha).*



Conclusiones

Vegetación herbácea

El factor que ha condicionado principalmente las características de la cubierta herbácea, tanto a corto como medio plazo, ha sido el tipo de sustrato utilizado. Los rechazos inertes y con limitaciones hídricas y nutricionales importantes han promovido básicamente las especies introducidas por la siembra a corto plazo. Al cabo de 5 años se han seleccionado las especies sembradas mejor adaptadas a las condiciones de sequía edáfica, proliferando las especies sembradas características de prados secos, y esto es especialmente evidente cuando se siembran especies nativas. En estos sustratos la colonización desde el entorno es mucho más lenta ya que el mismo sustrato, muy limitante, actúa de filtro para la instalación de especies poco adaptadas. Además, las nuevas especies deben competir con las siembras ya establecidas, que incluyen especies mejor adaptadas a las condiciones ambientales. La respuesta de la vegetación en estos sustratos ante la adición de compost es importante, generando un incremento de cobertura.

En cambio, en las tierras externas la dinámica ha sido distinta. Estos materiales incorporaban un banco de semillas propio y han desarrollado una cubierta densa de malas hierbas que ha dificultado el desarrollo de las siembras desde etapas muy tempranas. Esto se ha combinado con la fertilidad moderada-alta de estas tierras que ha promovido también un desarrollo herbáceo superior a los rechazos. Sin embargo, la composición florística de estas zonas ha evolucionado en el tiempo. Han desaparecido las especies de ciclo corto iniciales, aportadas con el sustrato, pero se han introducido especies de amplia dispersión, propias de etapas de sucesión muy preliminares. En estos casos, las características del mismo sustrato, con mayores recursos hídricos y nutricionales, pueden sostener cubiertas herbáceas densas desde las etapas iniciales de la revegetación. Como consecuencia, las especies sembradas se mantienen en el tiempo en proporciones bajas, aunque las especies nativas presentan un marcado incremento cinco años después de la siembra. La adición de enmienda, en estos casos, promueve incrementos en la cubierta vegetal poco significativos.



Plantaciones

Dos factores parecen ser decisivos en la evolución y desarrollo de las leñosas plantadas. Por un lado, las características físicas y químicas del sustrato establecen el principal umbral ecológico para el éxito de la introducción de las especies leñosas. En general, la adición de compost reduce el rendimiento de las plantaciones, disminuyendo la supervivencia de pinos, aladiernos y romeros pero determina un mayor crecimiento en todas las especies, casi duplicándolo en el caso de los sustratos menos fértiles y más pedregosos (rechazos). El crecimiento en tierras fértiles cuando se añade compost es moderado.

El otro factor limitante es la presencia excesiva de especies herbáceas. Esto genera una fuerte competencia entre las diferentes especies presentes por los recursos hídricos y nutricionales que se traduce en una mortalidad de las leñosas superior, especialmente durante las primeras etapas post-plantación. Este efecto es significativo en las tierras externas, que pueden desarrollar mayor cobertura por sus características físicas y químicas o cuando las siembras incorporan especies de crecimiento rápido. Las siembras con especies de crecimiento inicial moderado promueven la supervivencia de las plantaciones.

Sin embargo, la mayor parte de las especies plantadas han llegado a la fase de floración y fructificación, incluso generando individuos nuevos como en el caso del romero. El aladierno parece ser la especie más precoz, con fructificaciones a los 4 años de la plantación y puede ser una buena especie para promover las interacciones con la fauna dispersora.

Enmiendas

Según nuestros resultados, la aplicación de enmiendas puede no ser necesaria cuando se utilizan tierras o suelos naturales con fertilidades suficientes, evitándose así los posibles problemas derivados de esta práctica. Cuando se utilicen mayoritariamente rechazos, habitualmente poco fértiles, la corrección con alguna enmienda orgánica parece necesaria, aunque se deben intentar minimizar los efectos negativos a nivel de supervivencia de plantones descritos, aplicando dosis mínimas.

Los nuevos planteamientos. Propuestas orientadas a la mejora de resultados a medio plazo

Para optimizar el periodo de garantía y obtener resultados mucho más efectivos con los tratamientos de revegetación, es importante que la gestión de la cubierta vegetal sea cuidadosa y esté planificada de acuerdo con las condiciones ambientales donde debe desarrollarse la restauración y sus objetivos.

Según nuestros resultados, el sustrato que se utiliza tiene un peso decisivo en la evolución de la cubierta vegetal a corto y medio plazo. Sus características físicas, químicas y biológicas condicionan el rendimiento de las actuaciones de revegetación y es importante disponer de una caracterización detallada para poder diseñar la secuencia de intervenciones posteriores.

Atendiendo a esto, el esquema siguiente (Tabla 2) pretende facilitar un protocolo simplificado donde se recogen algunas intervenciones necesarias para obtener mejores resultados en menos tiempo, básicamente enfocadas a establecer sistemas forestales mediterráneos. Hay que considerar que en estos ambientes la disponibilidad de agua representa uno de los factores limitantes para el desarrollo de la vegetación. Por ello, las directrices principales se enfocan para controlar cubiertas de herbáceas excesivas y evitar interacciones negativas con los plantones, potenciando así el establecimiento de las especies leñosas.

Estas recomendaciones pretenden dar ciertas garantías en el resultado final de la restauración y poder solicitar el retorno de la fianza en el menor tiempo posible aunque se deben considerar aspectos complementarios como por ejemplo la red de drenaje o las características de los taludes [11], no contemplados en el presente documento. Es importante tener en cuenta que los controles periódicos son necesarios para poder determinar la necesidad e intensidad de las intervenciones de mantenimiento sugeridas. El concepto de restauración integrada, desarrollado en Cataluña, promueve que las zonas restauradas adquieran una estructura y una funcionalidad a lo largo de grandes periodos de tiempo, mientras dura la explotación del recurso mineral, pero la devolución de las fianzas se efectúa para la totalidad de la concesión minera, es decir, hasta que toda la superficie queda restaurada y muchas zonas llegan a tener antigüedades muy superiores al periodo de garantía establecido en normativa. Si se mejoran los resultados de las restauraciones a medio plazo, demostrando su sostenibilidad en el tiempo y su funcionalidad ecológica, se podrían obtener devoluciones parciales que mejorarían la liquidez de las empresas.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer el interés del sector extractivo catalán en el desarrollo de estos estudios de investigación que pueden mejorar y rentabilizar las intervenciones de restauración.

Concretamente, este estudio ha sido patrocinado por las siguientes empresas y asociaciones que participaron también en la primera etapa del proyecto EcoQuarry: Canteras Roca S.A., Cementos Molins Industrial S.A., Cemex España S.A., Lafarge S.A., Promsa, Uniland Cementera S.A., Ciment Català y Gremi d'Àrids de Catalunya.

Bibliografía

- [1] Llei 12/1981, de 24 de desembre, per la qual s'estableixen normes addicionals de protecció dels espais d'especial interès natural afectats per activitats extractives. (DOGC num. 189, de 31.12.1981).
- [2] Llei 20/2009, del 4 de desembre, de prevenció i control ambiental de les activitats. (DOGC num.5524, de 11.12.2009).
- [3] European Commission. "Guidance on undertaking new non-energy extractive activities in accordance with Natura 2000 requirements". Guidance Document, July 2010. 142 pp.

■ **Tabla 2. Directrices generales para la mejora del rendimiento de los tratamientos de revegetación a corto y medio plazo.**

DIRECTRICES GENERALES		OBJETIVO				
		Corrección fertilidad	Control erosión Incremento diversidad Introducción de nativas	Promover cambios de composición florística Eliminar especies no deseadas	Promover diversidad Creación de estructura vertical Promover interacciones con la fauna	Incrementar la supervivencia y el crecimiento de leñosas
Sustrato	Características más frecuentes	Adición de enmiendas	Siembras	Mantenimiento	Plantaciones	Mantenimiento
Rechazos	Pedregosos	Necesaria (Dosis moderadas)	Rápido crecimiento	Siegas periódicas y/o resiembras con nativas preferentemente	Diversidad de especies	Siegas de herbáceas del alcorque
	Poco fértiles Biológicamente inertes		Crecimiento progresivo (recomendado)	Resiembras con nativas preferentemente		Especies con frutos
Tierras externas	Granulometría equilibrada Fertilidad media-alta Banco de semillas	Opcional en función de la fertilidad (dosis moderadas)	Opcional según procedencia	Siegas periódicas y/o resiembras con nativas preferentemente	Mayoritariamente plantaciones de 1 savia Individuos adultos aislados (atalayas)	Riegos directos en el alcorque Hidrogeles en alcorques (fase plantación) Fertilización directa en alcorques (opcional con precauciones)
Creación de la morfología		Calendario aproximado de las intervenciones de restauración				
		Año 1	Año 1	Año 2-5	Año 1-2	Año 2-5

■ **Anexo. Relación de especies sembradas en febrero (izquierda) y plantadas (derecha).**

MEZCLA	Especies herbáceas	Especies subarborescentes	Especie	Nombre común
1	<i>Brachypodium retusum</i> <i>Psoralea bituminosa</i> <i>Sanguisorba minor</i> <i>Brachypodium phoenicoides</i>	<i>Dorycnium pentaphyllum</i> <i>Helichrysum stoechas</i> <i>Santolina chamaecyparissus</i> <i>Bupleurum fruticosum</i> <i>Anthyllis cytisoides</i>	<i>Pinus halepensis</i>	Pino carrasco, pino de Alepo
2	<i>Dactylis glomerata</i> <i>Lotus corniculatus</i> <i>Psoralea bituminosa</i> <i>Sanguisorba minor</i>		<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco
3	<i>Medicago sativa</i> <i>Lolium multiflorum</i> <i>Dactylis glomerata</i> <i>Onobrychis sativa</i>		<i>Quercus coccifera</i>	Coscoja
			<i>Juniperus phoenicea</i>	Sabina
			<i>Juniperus oxycedrus</i>	Enebro
			<i>Rhamnus alaternus</i>	Aladierno
			<i>Rhamnus lyciodes</i>	Espino negro
			<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero

[4] Jorba, M. y Vallejo, V.R. La restauración ecológica en minería: el proyecto ecoquarry. *Cemento y Hormigón*, 2006 (891), 16-23.

[5] Thornes, J. B. "The interaction of erosional and vegetational dynamics in land degradation: spatial outcomes". En: Thornes, J. B. (Ed.) *Vegetation and Erosion*, pp: 41-53. John Wiley & Sons Ltd. Chichester. 1990.

[6] Jorba, M., Ninot, J y Vallejo, V.R. Las siembras en la revegetación de zonas afectadas por minería. *Ingeopres*, 2007(166), 58-61.

-
- [7] Verdú, M., García-Fayos, P. "Nucleation processes in a Mediterranean bird-dispersed plant". *Functional Ecology*, 1996 (10), 275-280.
- [8] Jorba, M., de Dios, J., Ninot, J.M. Evolución vegetal a medio plazo de parcelas restauradas según distintos tratamientos en canteras de caliza. *Ingeopres*, 2009 (116), 42-47.
- [9] Valdecantos, A., Cortina, J., Fuentes, D. Utilización de biosólidos en la restauración forestal. En: Vallejo V.R., Alloza J.A. (Eds.), *Avances en el estudio de la gestión del monte Mediterráneo*, pp. 313-344. Fundación CEAM, Alicante, España. 2004.
- [10] Fuentes, D., Valdecantos, A., Llovet, J., Cortina, J., Vallejo, V.R. "Fine-tuning of sewage sludge application to promote the establishment of *Pinus halepensis* seedlings". *Ecological Engineering*, 2010 (36), 1213–1221.
- [11] Jorba, M. y Vallejo, V.R. (Ed). *Manual para la restauración de caliza de roca caliza en clima mediterráneo* Departament de Medi Ambient i Habitatge (Generalitat de Catalunya) 2010, 100 pp.

ieca publicidad