

Las siembras en la revegetación de zonas afectadas por minería

Las siembras han sido y son la principal, y con frecuencia única, intervención de revegetación de taludes en obra pública o en minería. Su objetivo es obtener recubrimientos vegetales rápidos y continuos para controlar la erosión superficial de las fuertes pendientes habituales en estas zonas. Para ello, se recurre a especies muy agresivas, de germinación rápida y tasas de crecimiento elevadas, donde las gramíneas tienen un especial protagonismo. Muchas de las mezclas incorporan además leguminosas como complemento a la fijación del sustrato desarrollada por las gramíneas que además pueden tener un efecto fertilizante dada su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico.

La mayoría de las especies incorporadas a las mezclas comerciales son perennes aunque se espera que en entornos naturales estas especies sean sustituidas a corto plazo por las nativas propias de cada zona. En estas primeras fases de la revegetación, la dinámica entre especies puede diferir de lo esperado desde un primer momento. Factores como las características físicas y químicas del sustrato o las condiciones meteorológicas post-siembra inciden en la germinación y composición tem-

Los espacios afectados por actividades mineras deben integrarse en su entorno natural según exige la legislación nacional y autonómica vigente. Las siembras representan la actuación de revegetación más extendida en el sector minero. La composición de estas siembras suele favorecer las especies agresivas y de rápido desarrollo (especies starter) aunque la presencia de semillas aportadas por los sustratos usados o procedentes de la diseminación de zonas adyacentes puede determinar el tipo de vegetación final, que pueden llegar a dominar sobre las especies sembradas.

Palabras clave: CANTERA, ENTORNO, ESPACIO, ESPECIE, MINERÍA, REVEGETACIÓN, SIEMBRA, SUSTRATO, TALUD.



M. Jorbá⁽¹⁾, J.M. Ninot⁽¹⁾, y R. Vallejo⁽¹⁾.
Dpto. Biología Vegetal, Fac. Biología,
Universidad de Barcelona

prana de la vegetación (Elmarsdottir et al, 2003; Maestre et al. 2006). De todos modos, los aportes externos de propágulos (semillas, rizomas...) constituyen otro factor determinante en la evolución de la vegetación inicial de estas zonas.

Dentro de la rehabilitación y restauración de espacios tan deteriorados, la aportación de sustratos es esencial para el buen desarrollo del proceso de recuperación aunque su procedencia suele ser diversa. En minería se utilizan frecuentemente rechazos minerales corregidos orgánicamente y mezclados, en función de su disponibilidad, con tierra vegetal de diferentes calidades, habitualmente de origen no forestal. Estas tierras externas suelen contener semillas de la vegetación del lugar de origen. Las especies dispersadas por el viento o por la fauna desde las zonas cercanas a las áreas a restaurar inciden también en la flora final. Todos estos propágulos compiten con las especies de las siembras y los resultados representan una gran gama de relaciones de competencia entre herbáceas por los recursos y por el espacio.

Objetivos

Este estudio tiene como objetivo analizar la capacidad de germinación y establecimiento de mezclas de especies herbáceas de diferentes características, y su comparación con la revegetación espontánea, en el proceso de revegetación de taludes. De este análisis se derivan recomendaciones sobre la selección de mezclas de especies.

Área de estudio

El estudio se ha realizado en nueve canteras que explotan calizas distribuidas en 3 zonas climáticas (Tabla I). Las experiencias se han llevado a cabo en parcelas de 300-500m² con pendiente variable (25-37°) donde se colocaron unos 40 cm de sustrato. Los sustratos tenían distintos orígenes (Tabla II). Los rechazos corresponden a materiales generados a lo largo del proceso productivo, ya sean obtenidos durante la extracción del recurso mineral o durante el proceso de cribado posterior, y sin utilidad comercial. Las mezclas entre rechazos



I Detalle de la mezcla de compost con las tierras externas en Falconera.

Revegetación

minerales de la propia explotación y aportes externos fueron los sustratos más utilizados (5 canteras). Se desconoce la proporción entre los distintos materiales en la mayoría de casos de mezclas excepto en *la Fou*, donde la dosificación entre rechazo utilizado y tierras externas fue de 3:1. En todos los casos se añadió compost de residuos sólidos urbanos en una dosis suficiente para aumentar un 0,75% el contenido de materia orgánica de la tierra fina (fracción inferior a 2mm) respecto al inicial de cada sustrato (**Fig. 1**). Las características físicas y químicas de las mezclas finales se describen en la *Tabla II*.

Los sustratos de Cuevas, Telégrafo y Fou eran los más pedregosos y corresponden a rechazos prácticamente sin correcciones. En el caso de Cuevas y Fou los materiales proceden de la fase de extracción, donde las impurezas de la caliza determinan qué cantidades de materiales deben ser desechadas después de las voladuras. En el caso de Telégrafo, el rechazo se genera durante el cribado y corresponde a la zahorra natural, según la terminología del sector.

Tratamientos de siembra

En cada una de las canteras se realizaron tres siembras de herbáceas con composiciones distintas: mezcla con especies nativas (**S1**), mezcla con especies poco agresivas (**S2**) y mezcla con especies agresivas (**S3**). La dosis final fue de 25 g/m² para las tres mezclas. En la *Tabla III* se detalla la proporción de cada una de las especies estudiadas en las distintas mezclas.

Las siembras se aplicaron mediante hidrosiembra (**Fig. 2**). El resto de los componentes de la hidrosiembra fue el mismo para las tres mezclas: 100g/m² de cobertura (fibras Hortifibra), 10g/m² de fijador (Estable Plus) y 30m³/ha de agua. En el momento de la aplicación de la hidrosiembra no se observó ninguna germinación de plantas espontáneas.

Durante los dos veranos (de junio a agosto) siguientes a las siembras se aplicaron riegos de apoyo con la misma dosis en todas las parcelas de cada cantera.

Metodología de estudio

El estudio de la vegetación consta de dos seguimientos de la germinación (mayo y setiembre) durante los 5 meses posteriores a la siembra y de la realización de inventarios florísticos estacionales según el método de *Braun-Blanquet*. Los inventarios se obtuvieron en 2-3 zonas de 5m² delimitadas anteriormente a la aplicación de la hidrosiembra. La abundancia de cada especie se ha obtenido considerando el valor medio de cada clase de recubrimiento (índices de *Braun-Blanquet*), y asignando el valor de 0,1% a las especies poco

[TABLA I].- Localización de las experiencias agrupadas según clima y características de la vegetación de las zonas cercanas a las parcelas experimentales.

Cantera	Clima (Clasific. de Thornthwhite)	Vegetación del entorno
La Fou	Seco subhúmedo	Vegetación arbórea y arbustiva natural
El Telégrafo	Seco subhúmedo	Zona restaurada con dominio de herbáceas
Les Cubetes	Seco subhúmedo	Zona restaurada con dominio de herbáceas
Corral del Carro	Seco	Vegetación ruderal
Las Cuevas	Seco	Vegetación ruderal
La Falconera	Seco	Vegetación ruderal
Vallcarca	Seco	Zona restaurada con dominio de herbáceas
La Ponderosa	Semiárido	Vegetación ruderal
La Martinenca	Semiárido	Vegetación ruderal

Cantera	Origen	% TF (<2mm)	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura	% C	% Nt	P mg/kg
La Fou	Mezcla	20,60	26	37	37	Fr-arc	1,21	0,08	5,22
El Telegrafo	Rechazo	44,81	75	10	15	Fr-are	0,69	0,03	3,24
Les Cubetes	Mezcla	54,20	43	36	21	Fr	1,13	0,09	8,06
Corral del Carro	Mezcla	74,11	30	49	21	Fr	1,35	0,33	33,00
Las Cuevas	Rechazo	35,63	44	28	28	Fr-arc	1,22	0,28	38,00
La Falconera	Tierra externa	67,35	51	27	22	Fr-Arc-Ar	1,02	0,07	7,80
Vallcarca	Rechazo	43,06	25	50	25	Fr	0,71	0,06	7,51
La Ponderosa	Mezcla	57,52	31	45	24	Fr	1,06	0,14	72,00
La Martinenca	Rechazo	57,80	30	26	44	Arc	0,88	0,07	3,55

[TABLA II].- Origen y características de los sustratos para cada cantera una vez mezclados con compost. [TF]: Tierra Fina. [C]: Carbono orgánico. [N]: Nitrógeno total. [P]: Fósforo asimilable.



[Fig. 2]. Hidrosiembra en "Fou" (arriba) y en "Vallcarca" (abajo).



I [Figura 3]. Retículo instalado para el seguimiento de las germinaciones.

abundantes. Para el control de las germinaciones se instalaron retículos de 0,5 x 0,5m en estas mismas zonas delimitadas y las observaciones se realizaron en 20 cuadrículas de 5x5 cm correspondientes a las dos diagonales (Fig. 3).

Resultados

1. Aportes externos de propágulos

La distinta procedencia de los sustratos ha determinado que la composición de las especies de la vegetación haya sido diversa. Se ha

evaluado la carga de propágulos inicial de cada sustrato considerando la tipología de se-

» La distinta procedencia de los sustratos ha determinado que la composición de las especies de la vegetación haya sido diversa«.

Nativas (S1)		Poco agresivas (S2)		Agresivas (S3)	
especie	g/m ²	especie	g/m ²	especie	g/m ²
<i>Brachypodium phoenicoides</i>	10	<i>Dactylis glomerata</i>	15	<i>Medicago sativa</i>	5
<i>Psoralea bituminosa</i>	0,07	<i>Lotus corniculatus</i>	7	<i>Lolium multiflorum</i>	5
<i>Sanguisorba minor</i>	14	<i>Psoralea bituminosa</i>	0,03	<i>Dactylis glomerata</i>	10
		<i>Sanguisorba minor</i>	3	<i>Onobrychis viciifolia</i>	5

I [TABLA III].- Composición de las tres mezclas de siembras aplicadas.

Nativas (S ₁)		Poco agresivas (S ₂)		Agresivas (S ₃)	
especie	% germ	especie	% germ	especie	% germ
<i>Brachypodium phoenicoides</i>	17,47	<i>Dactylis glomerata</i>	16,33	<i>Medicago sativa</i>	30,58
<i>Psoralea bituminosa</i>	0,00	<i>Lotus corniculatus</i>	5,87	<i>Lolium multiflorum</i>	43,60
<i>Sanguisorba minor</i>	3,10	<i>Psoralea bituminosa</i>	0,00	<i>Dactylis glomerata</i>	0,62
		<i>Sanguisorba minor</i>	5,07	<i>Onobrychis viciifolia</i>	4,45

I [TABLA IV].- Porcentajes medios de germinación de las distintas especies en cada mezcla.

millas y frutos de cada especie desarrollada en los distintos inventarios realizados.

Se han establecido tres posibles orígenes de las especies desarrolladas: especies aportadas por el mismo sustrato (barocoria), especies dispersadas desde las zonas adyacentes por el viento (anemocoria) y semillas sembradas. Según esta clasificación se observa que los sustratos poseen cargas biológicas contrastadas que han determinado una evolución diferente en las siembras.

En la Fig. 4 se observa que los sustratos de *Corral del Carro*, *Ponderosa*, *Falconera*, *Cubetas* y *Vallcarca* contenían una gran cantidad de propágulos de sus zonas de origen (Primavera del 2005 y verano del 2005). Corresponden a sustratos obtenidos a partir de mezclas con rechazos y tierras de aportes externos. En cambio, *Martinenca*, *Telégrafo*, *Cuevas* y *Fou* presentan básicamente las especies sembradas. En el caso de *Fou*, aunque se aportó tierra externa, la dosis o las características de esta tierra no ha conllevado el desarrollo de especies espontáneas.

En verano del 2005, la proporción de especies anemócoras aumentó especialmente en las canteras con entornos alterados.

En primavera del 2006 descendió significativamente la presencia de especies barócoras y a finales de verano del 2006 el recubrimiento de especies anemócoras fue superior. A finales del estudio, las explotaciones *Telégrafo*, *Cuevas* y *Fou* presentaban una clara dominancia de las especies sembradas.

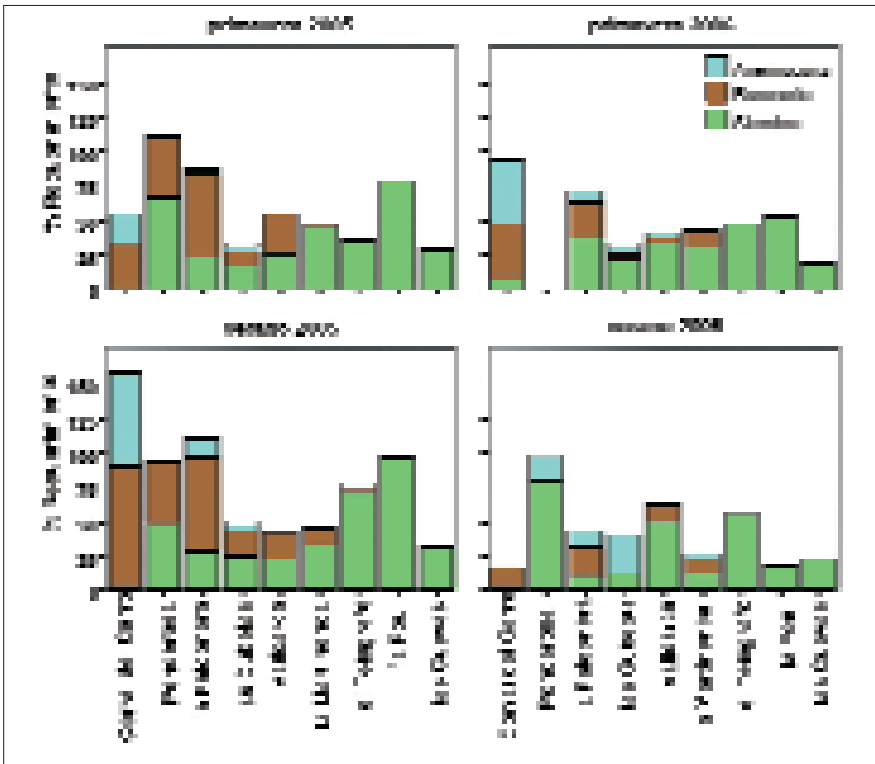
En base a estos resultados, pueden establecerse dos grupos de sustratos atendiendo a la riqueza de propágulos: sustratos inertes y sustratos con diásporas.

2. Efecto de la presencia de un banco propio de semillas en la germinación de las especies sembradas.

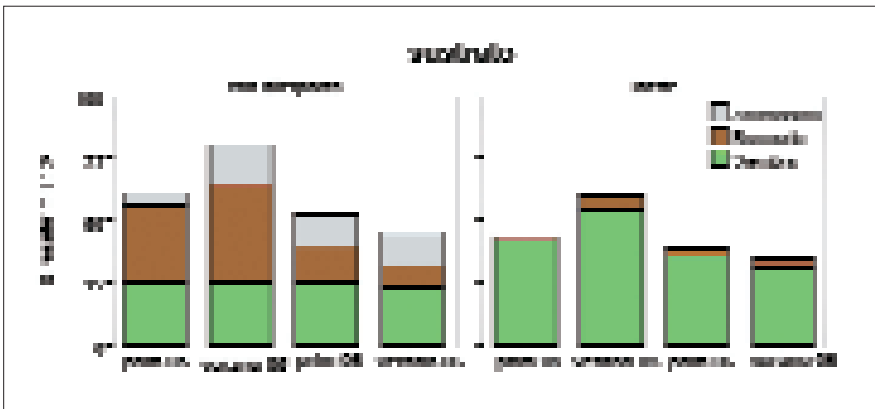
La mezcla con especies agresivas ha presentado el porcentaje de germinación superior y *Lolium multiflorum* y *Medicago sativa* son las especies con mayor respuesta (Tabla IV). Tanto *Dactylis glomerata* como *Brachypodium phoenicoides* presentan resultados similares en las siembras poco agresivas y nativas respectivamente. *Sanguisorba minor* presentó resultados variables dependiendo de la mezcla. No se ha observado ninguna germinación de *Psoralea bituminosa* durante el periodo de estudio. Posteriormente (otoño del 2006) se observaron germinaciones en bajas densidades. En esta especie, la presencia de una testa potente en la semilla ha retardado su aparición en las zonas experimentales.

No existieron diferencias significativas de germinación entre los sustratos (inertes y con diásporas) para las especies de la mezcla más agresiva, pero la germinación fue menor

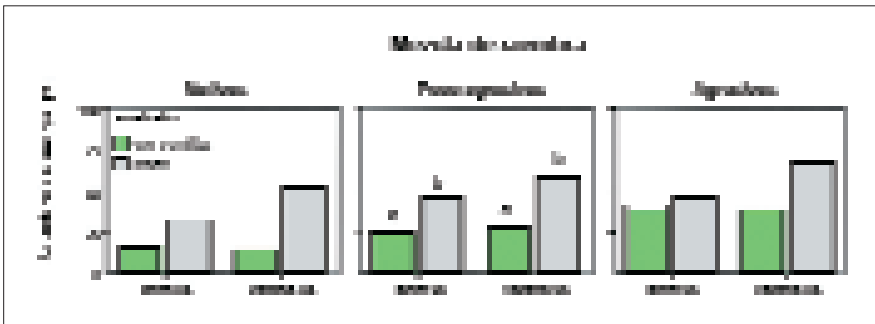
Revegetación



[Figura 4].- Evolución estacional del recubrimiento de las especies según su origen (barocoria, anemocoria y siembra) en las distintas explotaciones estudiadas.



[Figura 5].- Evolución estacional del recubrimiento de las especies en los sustratos inertes y los sustratos con aportación de propágulos según su origen.



[Figura 5].- Evolución estacional del recubrimiento de las distintas mezclas en los sustratos inertes y en los sustratos con aportación de propágulos.

para *D.glomerata* y *L.corniculatus* en los sustratos no inertes.

3. Abundancia de las especies

Entre las especies aportadas con los sustratos destacan *Atriplex patula* (16%), *Chenopodium murale* (6,25 %), *Kochia scoparia* (4,6%), *Chenopodium album* (4,8%), *Amaranthus retroflexus* (3,65 %). Las especies dispersadas por el viento más abundantes han sido: *Centaurea jacea* (15%), *Silybum marianum* (9,24%), *Oryzopsis miliacea* (3,5 %), *Cynodon dactylon* (4,14%), *Cyperus rotundus* (1,42 %).

El recubrimiento de las especies sembradas fue significativamente superior en los sustratos inertes frente a los sustratos no inertes para cada estación considerada excepto en verano del 2006 (Fig. 5).

En el caso de las especies sembradas, las especies agresivas presentaron recubrimientos superiores: *Medicago sativa* (27,5 %), *Lolium multiflorum* (18 %), *Lotus corniculatus* (12,4 %), *Sanguisorba minor* (10 %), *Dactylis glomerata* (8,5%). Se observó que las especies más agresivas presentaron abundancias no significativamente distintas entre sustratos (Fig. 6). En cambio, las especies menos agresivas y las nativas se vieron más afectadas por la presencia de especies espontáneas.

Referencias

- ALBALADEJO, J., ÁLVAREZ, J., QUEREJETE, J., DÍAZ, E., & CASTILLO, V. 2000. *Three hydro-seeding revegetation techniques for soil erosion control on anthropic steep slopes*. Land Degradation & Development. 11, 4: 315-325.
- ANDRÉS, P. & JORBA, M. 2000. *Mitigation strategies in some motorway embankments* (Catalonia, Spain). Restoration Ecology. 8, 3:268-275.
- ANDRÉS, P., ZAPATER, V., & PAMPLONA, M. 1996. *Stabilization of motorway slopes with herbaceous cover*, Catalonia, Spain. Restoration Ecology. 4, 1:51-60.
- ELMARSDOTTIR, A., ARADOTTIR, A.L., & TRILICA, M.J. 2003. *Microsite availability and establishment of native species on degraded and reclaimed sites*. Journal of Applied Ecology. 40, 5: 815-823.
- GONZÁLEZ, R., SANTIN, I. 2001. *Primeros ensayos de control de malas hierbas en suelos agrícolas plantados con Pinus halepensis*. Congreso 2001 de la Sociedad Española de Malherbología. León.
- MARTÍNEZ-RUIZ, C. 2000. *Dinámica de la recuperación de zonas alteradas por movimientos de tierra: sucesión vegetal y clasificación de especies según su actividad colonizadora*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- MATESANZ, S., VALLADARES, F., TENA, D., COSTA-TENORIO, M. & BOTE, D. 2006. *Early dynamics of plant communities on revegetated motorway slopes from Southern Spain: is hydroseeding always needed?*. Restoration Ecology Vol. 14, Nº. 2, pp. 297-307.
- TORMO, J. 2007. *Factores que influyen en la colonización vegetal y la revegetación de taludes de carreteras en ambiente mediterráneo*. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.

Discusión y conclusiones

Los resultados de las siembras fueron variables y en muchas ocasiones gran parte de las especies de las siembras no aparecieron o desaparecieron poco después de la aplicación. Este hecho descrito por diversos autores (Andrés et al., 1996, Andrés & Jorba, 2000, Martínez Ruiz, 2000) pone de manifiesto la baja eficacia de algunas de las mezclas utilizadas, con especies poco adaptadas a las condiciones locales. Los resultados obtenidos en esta experiencia vienen a reforzar esta hipótesis. El hecho de que la presencia de especies espontáneas, básicamente ruderales, desplace a las especies comerciales, plantea dudas sobre la idoneidad o la necesidad de las siembras en algunas situaciones (Matesanz et al., 2006). Las especies más agresivas como *Lolium* o *Medicago* parecen competir activamente con las especies espontáneas instaladas pero en sí mismas pueden representar una limitación para la sucesión posterior.

Ante los resultados obtenidos, aplicar siembras en sustratos con un potente banco de semillas propio puede ser poco rentable si se considera la relación beneficio/coste. El problema es conocer de antemano el potencial biológico de cada material externo para poder escoger la mejor alternativa de revegetación. Además, desde el punto de vista del control de la erosión, se desconoce la función de estas especies espontáneas, frecuentemente de gran porte pero de ciclo corto, que dejan desprotegido el suelo durante los períodos de mayor vulnerabilidad. Los elevados desarrollos en altura de algunas

de estas especies ruderales también pueden competir activamente por la luz con la plantación de leñosas heliófilas como el pino carrasco (González et al., 2001), habitualmente introducido en las actividades de restauración del sector extractivo.

Desde el punto de vista de la gestión de estos espacios, sería necesario desarrollar el conocimiento de las relaciones de competencia entre estos distintos grupos de especies herbáceas para poder establecer recomendaciones de revegetación más adaptadas a las características de cada situación. El seguimiento y la manipulación de estas primeras fases de la revegetación pueden ayudar a mejorar los resultados finales de las restauraciones y a rentabilizar las intervenciones. Además, para que un proceso de revegetación pueda ser más rentable, debe existir un mercado de especies disponibles especializado, que permita dar una mejor respuesta a cada caso (Tormo, 2007). Sin embargo, este mercado no se desarrollará adecuadamente si las exigencias ecológicas en los resultados de las recuperaciones y las restauraciones de ambientes degradados siguen siendo escasas y no potencian una demanda de productos de mayor calidad.

Agradecimientos. Este estudio se ha realizado dentro del proyecto "EcoQuarry" patrocinado por fondos LIFE (LIFE04 ENV/ES/000195). Los autores quieren expresar su agradecimiento a M. Toribio, L. Ganzer, A. Petit, E. Llop, R. Blasco, A. Riera y O. Grau por su inestimable colaboración durante la recogida de datos.