

# La restauración ecológica aplicada a la minería a cielo abierto en Cataluña: evaluación retrospectiva.

JORBA, M<sup>(1)</sup>, HERETER, A<sup>(2)</sup>, JOSA, R<sup>(2)</sup>, ROMANYÀ, J<sup>(1)</sup>, ROVIRA, P<sup>(1)</sup>, VALLEJO, R<sup>(1,3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Biología Vegetal. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona

<sup>(2)</sup> CEIB-ESAB. Universidad Politécnica de Cataluña

<sup>(3)</sup> Fundación CEAM

## INTRODUCCIÓN

En la minería a cielo abierto, la revegetación es el objetivo principal de las tareas de restauración ecológica y puede evaluarse desde diferentes enfoques. El aspecto paisajístico ha sido hasta la fecha el más ampliamente valorado y frecuentemente suele asimilarse a la presencia de vegetación que disminuye el impacto visual de estas zonas. La frase "está verde" simboliza y resume todo un conjunto de prioridades y una primera etapa de implementación de la ley 12/1981 de la legislación catalana. De hecho, naturalizar los taludes resultantes del cese de la extracción de recursos minerales no es una tarea fácil. El tipo de vegetación obtenido difiere en muchos casos de la vegetación de los sistemas naturales del entorno y genera una disfunción en el contexto paisajístico y ecológico.

Los esfuerzos que se vienen realizando en el sector para mejorar la calidad de las restauraciones son importantes. Son varias, las empresas que poseen personal específico y realizan sus propios ensayos de tratamientos. De todos modos, la obtención de ecosistemas maduros mediante intervenciones se enfrenta ante todo con el desconocimiento del funcionamiento del propio sistema que se genera y de los factores que determinan su establecimiento y evolución.

Si bien la historia de las actuaciones de restauración en minería es, en España, relativamente reciente (15 años aproximadamente), ha generado una gran gama de casos que posibilita la observación de la dinámica de los sistemas creados. Esta fuente de información, poco explorada, ha servido de base al presente estudio.

## CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO

El ámbito de estudio se ha centrado en las explotaciones de caliza del eje comprendido entre las comarcas de Pla de l'Estany, Gironès y Baix Empordà en el extremo norte y Baix Llobregat, Garraf, Alt Penedès, Tarragonès y Alt Camp en el extremo sur. La zona de estudio está comprendida dentro del dominio del encinar litoral y de la máquia litoral para el macizo del Garraf.

Las parcelas establecidas se agrupan en dos climas de condiciones contrastadas (Tabla 1). Se han escogido taludes al considerar que representan la situación más habitual en restauración de canteras (rango entre 12 y 45°). Los diversos tratamientos seleccionados constituyen las actuaciones mayoritarias que se han venido realizando durante estos años (Tabla 2). Las primeras plantaciones intensivas de especies arbóreas, efectuadas entre 1987-1990, responden a las tendencias forestales del momento. Posteriormente, se ha priorizado la estabilización del sustrato mineral repuesto mediante siembras, que representa el tratamiento más ampliamente empleado. En los últimos 5-6 años, el uso de biosólidos (lodos de depuradora) como fertilizante orgánico se ha extendido en el sector y comprende la actuación relevante más reciente. Paralelamente, se establecieron 9 parcelas en bosques cercanos a las zonas de estudio que se han tomado como referencia para algunos parámetros estudiados. Las parcelas SO corresponden a zonas marginales de algunas explotaciones activas o abandonadas donde se habían extendido materiales de origen diverso (materiales de terraplenado, rechazos, etc), pero no representan tratamientos de restauración en sí mismos aunque se han utilizado para valorar el proceso de revegetación espontánea.

El objetivo del estudio ha sido valorar el conjunto de estos tratamientos bajo criterios de mantenimiento y evolución del sistema establecido, tanto desde el punto de vista de la vegetación como del sustrato.

## SUSTRATO: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

La calidad del sustrato utilizado es un factor decisivo de la cual depende a corto, medio y largo plazo el éxito de la revegetación. Los componentes aportados (fracción mineral y enmiendas orgánicas) deben

proporcionar los recursos nutricionales e hídricos para el desarrollo de la vegetación y determinan, a su vez, la evolución de las condiciones edáficas.

Las técnicas de reposición del sustrato pueden determinar profundidades variables en un mismo talud. En una selección de 20 parcelas se han establecido transectos de 10 m para el estudio del subsuelo mediante la técnica del georadar. El horizonte más superficial, en general de mejor calidad, presenta un espesor medio de 30 cm. El núcleo del talud suele aparecer a 1 m de profundidad desde la superficie y el horizonte intermedio oscila entre 70-80 cm con predominio de elementos gruesos.

Los sustratos utilizados para restauración presentan diversas procedencias y su obtención es uno de los principales problemas para abordar las actividades de revegetación. En algunos casos se aprovechan los residuos minerales procedentes de la extracción y/o de la trituración de áridos (un 40% del total de parcelas estudiado) mientras que en el resto el origen es externo y diverso y, frecuentemente, se mezcla con los rechazos anteriores.

Comparando los dos tipos de residuos minerales (Fig. 1), se observa que el rechazo de trituración suele tener menor pedregosidad. Se origina por cribado y recoge tanto los materiales no calizos interceptados (suelo natural, arcillas, margas, etc.) como el residuo de la trituración de los fragmentos de roca. En cambio, el rechazo de extracción es más pedregoso y la superficie ocupada por piedras y bloques es superior al resto de situaciones estudiadas (29,5%). Corresponde a materiales directamente no utilizables en el proceso productivo de la explotación y suele acopiarse después de la voladura, mezclado con proporciones importantes de fragmentos de roca caliza. La variabilidad mineral vendrá determinada por la heterogeneidad litológica del área de extracción; en este caso corresponde únicamente a explotaciones ubicadas en las estribaciones orientales del macizo del Garraf. Los materiales importados presentan granulometrías más equilibradas y su incorporación mejora los de origen interno.

Asimismo, el rechazo de trituración puede determinar condiciones desfavorables para el desarrollo vegetal si se utiliza inadecuadamente. La presencia de carbonatos es significativamente superior al resto de los orígenes (Fig. 2). Favorece también la formación de delgados horizontes superficiales endurecidos (Fig. 3) que dificultan la emergencia de las plántulas procedentes de las siembras y/o limitan el establecimiento de nuevos individuos por revegetación espontánea.

Comparativamente, el sustrato de restauración todavía presenta unas características muy diferentes de las del suelo natural de su entorno (menor infiltración y menor retención hídrica), incluso en las restauraciones más antiguas. Sin embargo, el aporte de biosólidos mejora algunas condiciones físicas y químicas de los sustratos. La retención hídrica aumenta y representa una reducción del período de sequía efectiva para la vegetación. Se mejoran también las condiciones de transmisión hídrica hacia horizontes más profundos, favoreciendo las reservas de agua en el suelo. Incrementan significativamente el contenido de materia orgánica y fósforo asimilable (Fig. 4). Incluso se superan los valores de los bosques de referencia para el caso del fósforo. No se han podido conocer exactamente las dosis aplicadas de lodos de depuradora pero su cálculo está regulado por un manual específico (Alcañiz, 1997) y según los parámetros determinantes (% tierra fina y % arcilla) deben oscilar entre 150-350 t/ha en peso seco.

## REVEGETACIÓN

### *Descripción de los tratamientos*

La revegetación se aborda por diferentes vías. Gran parte de los tratamientos incluyen la introducción de especies vegetales (arbóreas, arbustivas y herbáceas). La especie arbórea más ampliamente utilizada en las plantaciones es el pino carrasco (*Pinus halepensis*), plantada en 30 de las zonas estudiadas, complementado en algunos casos con pino piñonero (*Pinus pinea*) y encina (*Quercus ilex*), plantadas respectivamente en 8 y 10 de las zonas. Además, en las explotaciones ubicadas en el macizo del Garraf el palmito se utilizó en 7 de las zonas estudiadas. Entre las especies arbustivas más utilizadas se encuentran la retama (*Spartium junceum*) que aparece en 8 de las plantaciones efectuadas, el lentisco (*Pistacia lentiscus*) y la coscoja (*Quercus coccifera*) que aparecen en 7. Parece que, globalmente, las plantaciones arbustivas se realizaban con mayor intensidad en periodos anteriores (Fig. 5). De hecho, únicamente 4 de las explotaciones realizan plantaciones arbustivas intensivas de forma regular.

La mayor parte de las especies leñosas observadas son espontáneas y las más abundantes corresponden a comunidades de etapas sucesionales poco evolucionadas (*Inula viscosa* y *Coriaria myrtifolia*). En menor

proporción aparecen arbustos propios de matorral bajo calcícola (*Dorycnium pentaphyllum*, *Helichrysum stoechas*, *Rosmarinus officinalis*, *Ulex parviflorus*, *Cistus albidus*, *Cistus salviifolius*, *Cistus monspeliensis* y *Thymus vulgaris*) y esporádicamente de encinares, coscojares y matorrales de lentisco y palmito (*Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Juniperus oxycedrus*, *Rhamnus lycioides*, *Rhamnus alaternus* y *Viburnum tinus*). La densidad media de estas especies espontáneas es de 330 pies/ha aunque los máximos se presentan en las parcelas donde se ha incorporado suelo forestal, acopiado durante la fase de extracción de recursos mineros, o en las que están directamente en contacto con áreas de vegetación natural no perturbada. Sin duda, estas situaciones representan las condiciones más favorables para la introducción espontánea de estas especies.

Entre las especies herbáceas más utilizadas en las siembras destacan *Lolium perenne*, *Festuca arundinacea*, *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa* y *Onobrichys sp* presentes respectivamente en 24, 19, 18, 20 y 17 de los 32 tratamientos con siembra estudiados. Sin embargo, la mayor parte de las especies herbáceas introducidas no se detectan incluso en periodos cortos posteriores a la siembra (3 años) y las observadas presentan abundancias relativas inferiores al 15 % del total de las herbáceas. Dadas las características sincrónicas del estudio, se desconoce si la baja frecuencia de especies sembradas viene determinada por una rápida sustitución por especies espontáneas o si ni siquiera han superado las fases de germinación y establecimiento. Sin embargo, se ha observado con frecuencia que parte de las especies introducidas no llega a prosperar nunca (Andrés *et al.*, 2000; Andrés *et al.*, 1996). *Oryzopsis miliacea* es la especie espontánea predominante y aparece en el 86 % de las parcelas estudiadas.

#### *Recubrimiento vegetal. Grado de protección del suelo*

El estudio de la vegetación se realizó mediante el método del punto-contacto (Gounot, 1969) en 3 transectos lineales de 10 m cada uno. El recubrimiento vegetal medio es elevado (80 %) y únicamente 5 parcelas presentan valores inferiores al 50 %. Estas parcelas pueden resultar deficientes para la protección del suelo ante procesos erosivos. De todas formas, se han detectado 16 parcelas con síntomas de erosión concentrada aunque las causas que han originado dicha erosión pueden ser diversas y no directamente relacionadas con los niveles actuales de protección del suelo, por ejemplo situaciones heredadas desde la construcción del talud o canalizaciones deficientes, pretéritas o actuales, de aguas de escorrentía procedentes de zonas superiores. Comparativamente, los tratamientos que presentan recubrimientos significativamente menores son las plantaciones y plantaciones+siembra, mientras que el tratamiento con adición de lodos genera los porcentajes más elevados (Fig. 6). El clima, dentro del contexto del estudio, no parece determinar recubrimientos ni biomasa vegetal significativamente diferentes.

Durante el otoño de 2000 se repitieron 17 transectos. Los recubrimientos son menores aunque las diferencias entre los valores de primavera y otoño de las mismas parcelas no son significativas. Sin embargo, dos de los transectos estudiados presentan disminuciones del 50 % en su recubrimiento vegetal y 4 parcelas muestran valores inferiores al 50 % durante este periodo.

Además de la protección del dosel vegetal, existen otros elementos que minimizan los efectos de la erosión hídrica, la pedregosidad superficial y la presencia de restos vegetales. Como ya se ha comentado, la existencia de piedras y bloques viene condicionada por el origen del sustrato, mientras que la presencia de restos vegetales viene muy determinada por la existencia y tipo de vegetación. Si se consideran los diferentes tipos de protección de la superficie del sustrato (vegetación, pedregosidad y restos vegetales), el porcentaje medio de suelo desnudo es bajo (9,79 %) aunque los tratamientos de plantación y plantación+siembra presentan valores superiores (aproximadamente del 20 %).

#### *Características de la vegetación. Estructura. Formas vitales. Grado de evolución*

La vegetación observada viene determinada por especies herbáceas (nº especies total versus nº especies herbáceas  $r^2=0.91$ ;  $p<0.05$ ) de origen espontáneo (nº especies total versus nº especies espontáneas  $r^2=0.91$ ;  $p<0.05$ ). La mayor parte de las especies son anuales o perennes que pierden su parte aérea en los periodos desfavorables y determinan cambios estacionales importantes en la biomasa vegetal. Además, gran parte de las especies se pueden considerar propias de ambientes perturbados (especies ruderales).

Atendiendo a criterios fitosociológicos, la vegetación corresponde mayoritariamente a herbazales (60 % de las parcelas) y se dan preferentemente en los tratamientos con aplicación de lodos (SOFA, SOFASE), en parte de las parcelas con siembras (SOSE) y en los controles (SO) más recientes (2-6 años). Algunas de estas parcelas SOSE (6 en total) presentan especies propias de matorrales calcícolas y encinares

introducidas por plantación. Pocas parcelas presentan tendencias hacia estadios sucesionales más avanzados (prados secos mediterráneos o matorrales calcícolas), aunque en fases muy incipientes y/o ruderalizadas. Estas situaciones se dan en los tratamientos de plantaciones (PL, SOSEPL) y en los controles más antiguos (SO). Considerando todos los tratamientos simultáneamente y teniendo en cuenta los años de antigüedad, se observan diferencias significativas por tratamiento respecto a n° de especies ruderales ( $p=0.05$ ). Los valores superiores se presentan en SOPL, SOFA y SOFASE. En cambio, si se considera la presencia de especies de los bosques de referencia como indicador de tendencia evolutiva de la vegetación, se observa que los tratamientos con adición de lodos muestran los valores menores (Fig. 7).

Para las plantaciones adultas las densidades oscilan entre 900 y 1475 pies/ha. Los tratamientos con plantación (PL y SOSEPL) generan recubrimientos arbóreos importantes (40 %) y se pueden considerar como masas arboladas según el inventario forestal nacional, pero el sotobosque aparece dominado por especies herbáceas (abundancia relativa del 20 %) y la presencia de especies arbustivas suele ser escasa (abundancia relativa del 9 %). Se observa una tendencia a la disminución de las especies herbáceas cuando se cierra el dosel arbóreo aunque las diferencias no son significativas (Fig. 8).

El análisis foliar de 13 plantaciones de pinos (10 plantaciones adultas y 3 de 2-4 años de edad) muestra que ninguna de las situaciones analizadas presenta suficiencia para los tres nutrientes más importantes (N, P y K). Los niveles foliares de referencia se han obtenido a partir de la información recopilada en el área mediterránea francesa (Bonneau, 1988). Para las especies estudiadas se han tomado los niveles críticos correspondientes a coníferas de acícula corta. El nivel crítico se define como la concentración de nutrientes necesaria para obtener el 90 % de la productividad máxima. Por debajo del nivel crítico se define un umbral de carencia que limita las deficiencias severas de las más moderadas. De las plantaciones estudiadas, diez presentaron carencias nutricionales para el fósforo, otras diez para el nitrógeno y nueve para el potasio. Las deficiencias severas (por debajo del umbral de carencia) representaron casi la mitad de los casos estudiados en el caso del fósforo, un tercio para el nitrógeno y una cuarta parte para el potasio. Por otra parte, los niveles de magnesio y calcio fueron óptimos en todos los casos estudiados.

Las plantaciones adultas donde previamente se repuso sustrato (SOPL y SOSEPL) presentan coeficientes mórficos (altura/diámetro basal) superiores a las establecidas directamente sobre margas (PL), (Fig. 9). Asimismo, las plantaciones sobre margas presentan los mínimos foliares para nitrógeno y fósforo.

## CONCLUSIONES

La recuperación de las superficies afectadas por minería se ha asumido como una actividad más dentro de la mayor parte de las empresas del sector aunque se aborde de formas diferentes. La diversidad de las intervenciones ha proporcionado información suficiente para plantear nuevas líneas de trabajo futuras.

Cualquier intervención, incluso la simple reposición de un sustrato de características físicas y químicas adecuadas, acelera el proceso de revegetación, especialmente si éste procede del decapado de las mismas áreas naturales afectadas por la explotación. La utilización de material edáfico poco modificado, con su banco natural de semillas, ofrece posibilidades de restauración difícilmente alcanzables a partir de sustratos artificiales enmendados, y es por lo tanto el factor primario que condicionará la calidad de la restauración. La calidad de la vegetación y el grado de recuperación global respecto al ecosistema maduro es la característica que permite valorar la efectividad de los diferentes tratamientos. En general, el aspecto y el funcionamiento de las zonas restauradas es aún muy diferente de los sistemas que se pretende obtener, aun en las más antiguas. Los componentes que se incorporan (sustrato, enmiendas orgánicas, semillas y plántones) deben interactuar a lo largo del tiempo y en función del ambiente (condiciones climáticas, pendiente, orientación, especies colonizadoras del entorno) hasta llegar a un equilibrio que determina el estado actual y desarrollo futuro del sistema vegetación-suelo, que debe ser equivalente, según exige la legislación, al original afectado. En este sentido, cabe señalar que se deberá prestar mayor atención a la pendiente final de los taludes, ya que si no es adecuada, puede constituir, además de un factor de riesgo, una limitación para llevar el ecosistema al estadio de madurez.

A grandes rasgos, dos de los principales objetivos de la revegetación, disminuir el impacto visual y controlar los procesos erosivos, parecen obtenerse en la mayoría de las situaciones estudiadas independientemente del tratamiento aplicado. La colonización de la vegetación espontánea sería la principal responsable de estos resultados. Sin duda, la adición de lodos de depuradora consigue grandes cambios en poco tiempo, tanto a nivel visual, como de protección y evolución física y química del

sustrato, aunque determine características estructurales y funcionales muy alejadas de la vegetación de referencia que se pretende reproducir. El periodo de tiempo en que se han dado estas intervenciones aún no permite una valoración definitiva sobre este aspecto. De todos modos, el sustrato así corregido promueve en mayor grado la instalación de especies ruderales. Asimismo, parece que limita los procesos de colonización espontánea de ciertas especies leñosas. Posiblemente, el elevado desarrollo vegetal que determinan, dificulta la implantación de nuevos individuos, incluso en la proximidad de fuentes de semillas. Esta misma situación se observa, en menor grado, en zonas donde la siembra se ha considerado un éxito y presenta su máximo recubrimiento.

Por otro lado, la plantación intensiva de árboles, transcurridos algunos años, sería el tratamiento que integra mejor estas zonas en vías de recuperación en el contexto paisajístico circundante. De todos modos, representan las situaciones de menor protección del suelo ante los procesos erosivos debido a la interacción negativa existente entre el desarrollo arbóreo y el estrato herbáceo y a la escasa presencia de estrato arbustivo.

La introducción de especies leñosas no es un tratamiento de revegetación generalizado para la mayoría de las explotaciones analizadas aunque precisamente determine el grado de evolución de la vegetación. La colonización espontánea de estas especies no es despreciable para determinadas situaciones, si bien es un factor que no se contempla en el proyecto de restauración. Sería de gran interés el delimitar en qué condiciones la colonización natural de leñosas es eficiente y cómo se puede favorecer en el proyecto restaurador. Si se pretende dar a estas zonas restauradas su valor ecológico original, tal y como exige la normativa, se deberían considerar aspectos de la dinámica de las propias comunidades y especies a establecer. Quizás para determinadas situaciones ambientales debería existir un compromiso entre desarrollo herbáceo y protección del suelo para favorecer la entrada espontánea de ciertas especies. La plantación de arbustos puede mejorar la estructura de la comunidad vegetal, conjuntando protección del suelo a medio plazo con aceleración de la reconstitución del ecosistema forestal maduro. Es posible que para poder valorar correctamente las tendencias de un sistema de nueva creación deban establecerse períodos de garantía mayores a los vigentes.

Lo expuesto no viene sino a reafirmar la necesidad de tratar los procesos de revegetación y recuperación de estas áreas dentro de un contexto ecológico global que pasa por una mejor comprensión de los mecanismos que interactúan. Los conocimientos de que se dispone en la actualidad sobre estos mecanismos son más completos que hace 10 años y permiten superar el estadio simplemente visual de la restauración y abordar aspectos ecológicos más complejos.

#### Bibliografía de referencia

Alcañiz, J.M.; L. Comellas; M. Pujola. 1996. Manual de restauració d'activitats extractives amb fangs de depuradora: recuperació de terrenys marginals. ed. Junta de Sanejament, Generalitat de Catalunya Barcelona

Andrés, P.; M. Jorba. 2000. Mitigation strategies in some motorway embankments (Catalonia, Spain). *Restoration Ecology*. Vol. 8 N° 3, pp. 268-275

Andrés, P.; V. Zapater; M. Pamplona. 1996. Stabilization of motorway slopes with herbaceous cover, Catalonia, Spain. *Restoration Ecology*. Vol.4 N°1, pp. 51-60.

Bonneau M. 1988. Le diagnostic foliaire. *Revue Forestière Française* 40: 19-28.

Bolòs, A. 1950. Vegetación de las Comarcas Barcelonesas. Instituto Español de Estudios Mediterráneos.

Bolòs, O. 1967. Comunidades vegetales de las comarcas próximas al litoral situadas entre los ríos Llobregat y Segura. Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. vol. 38 n° 1.

Bolòs, O.; J.Vigo; R.M. Masalles; J.M. Ninot. 1990. Flora Manual dels Països Catalans. Edit. Pòrtic. S.A.

Gounot, M. 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Mason. París.

## Agradecimientos

El presente proyecto ha sido patrocinado por fondos FEDER e incluye otros aspectos no contemplados en este artículo. De todos modos, deseamos expresar nuestro agradecimiento a las empresas extractivas participantes por la colaboración e interés que han demostrado, sin el cuál no habría sido posible la realización de este estudio. Igualmente, deseamos agradecer el asesoramiento y ayuda del personal de la sección de actividades extractivas del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya que ha puesto a nuestra disposición sus conocimientos e información. También deseamos expresar nuestro agradecimiento a J. Llopis, M. Toribio y J. García por su intervención en las campañas de campo y elaboración de datos.

Tabla 1. Características climáticas de las comarcas estudiadas según la clasificación de Thornthwaite (1948).

Comarcas	nº parcelas	Precipitación anual (mm)	Temperatura media (°C)	Régimen clima (Thornthwaite, 1948)
Pla Estany	5	825	13-14	subhúmedo
Gironès	8	825	14-15	subhúmedo
Baix Llobregat	12	625-725	12-15	subhúmedo
Baix Empordà	6	625-675	14-16	seco subhúmedo
Garraf	22	525-575	15-16	seco subhúmedo
Alt Penedès	9	575	14-15	seco subhúmedo
Tarragonès	1	525	15-16	seco subhúmedo
Alt Camp	4	525	15-16	seco subhúmedo

\* Los valores de precipitación y temperatura se han obtenido a partir de los mapas climáticos disponibles en la base de datos del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya.

Tabla 2. Tratamientos estudiados y rango de antigüedades.  
SO: reposición de suelo; PL: plantación de especies  
arbóreas; SE: siembra de herbáceas; FA: aplicación de  
lodos de depuradora

Tratamientos	Antigüedad de la restauración	nº total parcelas
SO	2-12	14
PL	12	3
SOPL	10-12	3
SOSE	2-13	19
SOSEPL	9-10	4
SOFA	2-6	6
SOFASE	2-4	9



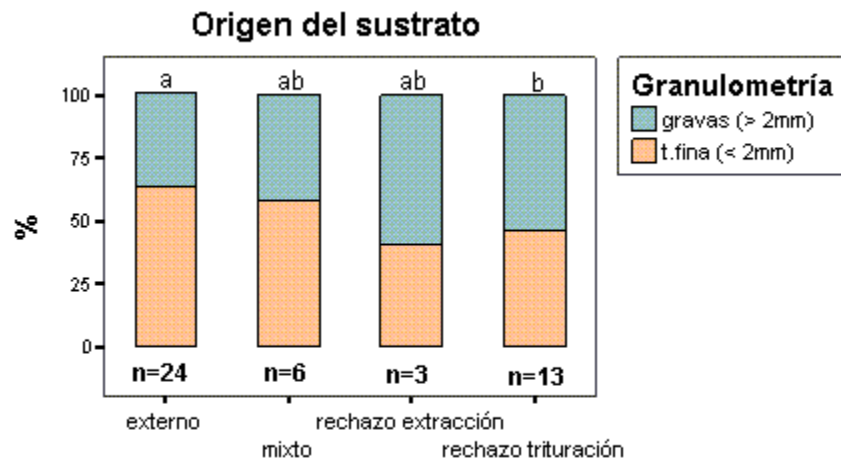


Figura 1. Granulometría media según los distintos orígenes del sustrato identificados. Las letras no coincidentes muestran resultados significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ). n= n° de parcelas estudiadas.

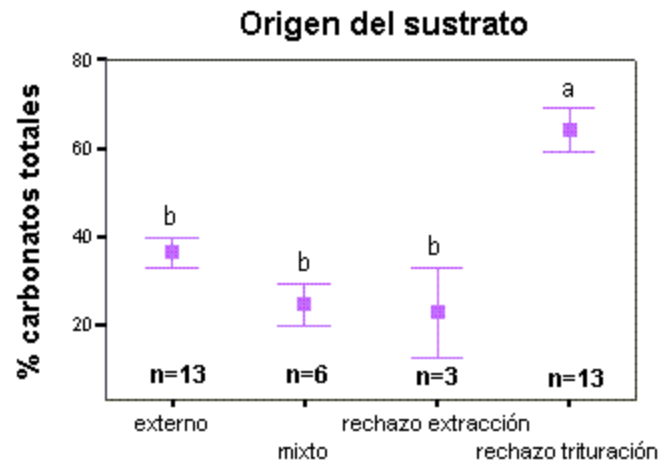


Figura 2. Contenido de carbonatos totales atendiendo al origen del sustrato. Los puntos representan los valores medios. Las líneas representan el error típico de la media. Las letras no coincidentes indican valores significativamente diferentes para  $p < 0.05$  (test de Scheffer). n= nº de parcelas.

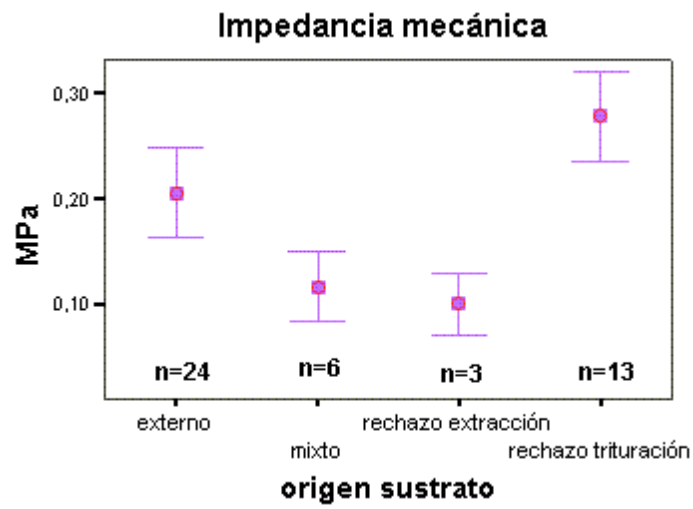


Figura 3. Resistencia mecánica del sustrato atendiendo al origen. Los puntos representan los valores medios. Las líneas representan el error típico de la media. n= n° de parcelas.

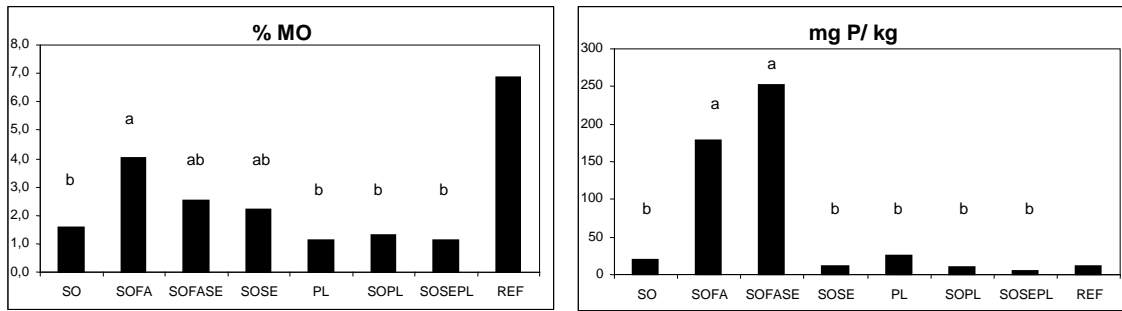


Figura 4. Contenido de materia orgánica y fósforo asimilable en los suelos de las parcelas agrupadas según tratamiento. Las letras no coincidentes indican valores significativamente diferentes para  $p < 0.05$  (test de separación de medias Student-Newman-Keals)

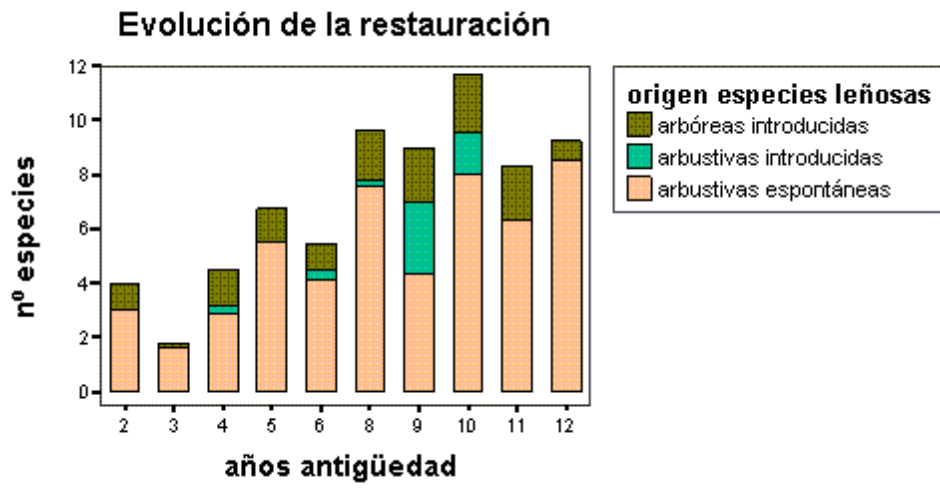


Figura 5. Origen de las especies leñosas. Tendencias en la tipología de las plantaciones a lo largo del tiempo.

### % Recubrimiento vegetal

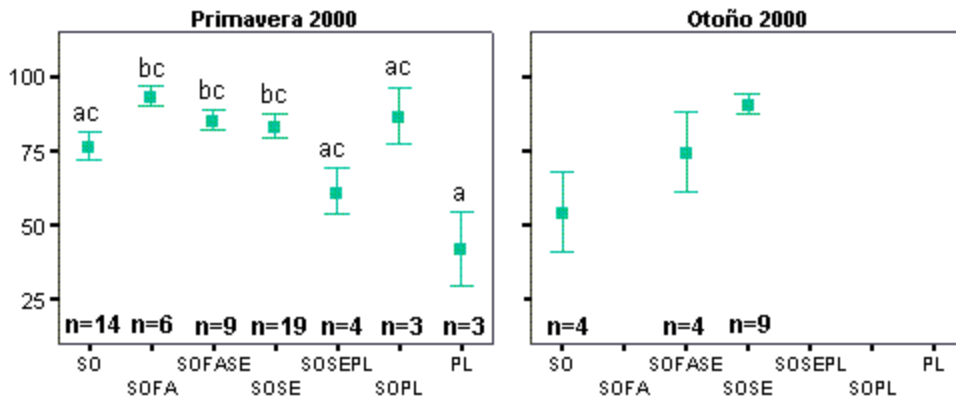


Figura 6. Media y error típico de los recubrimientos vegetales en los distintos tratamientos estudiados durante la primavera y el otoño del 2000. Las letras no coincidentes indican valores significativamente diferentes para  $p < 0.05$  (test de Scheffer). n= nº de parcelas.

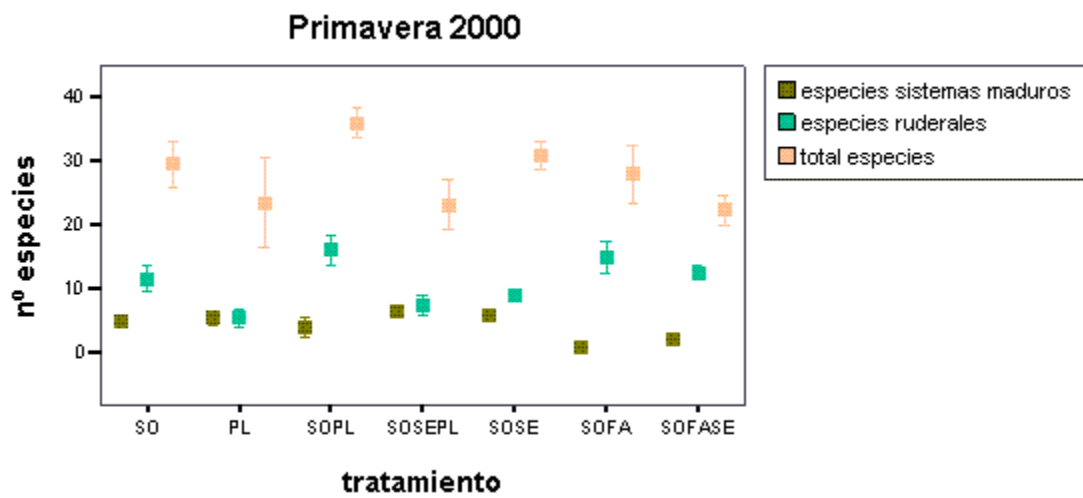


Figura 7. Indicadores del grado de evolución de la vegetación (especies ruderales y especies de ecosistemas maduros) atendiendo a los tratamientos realizados. Los puntos representan los valores medios. Las líneas representan el error típico de la media.

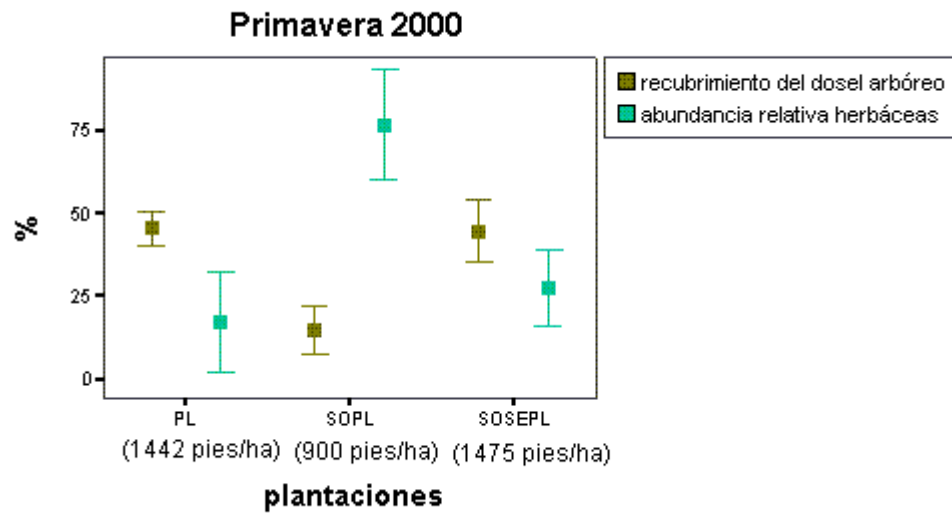


Figura 8. Interacción entre el recubrimiento arbóreo y la presencia de herbáceas en las plantaciones adultas de *Pinus halepensis*. Los puntos representan los valores medios. Las líneas representan el error típico de la media



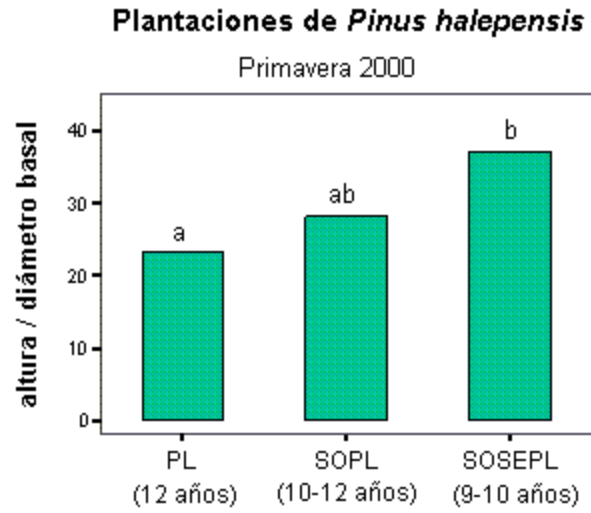


Figura 9. Relación altura/diámetro basal en las plantaciones adultas de *Pinus halepensis*. Las letras no coincidentes indican valores significativamente diferentes para  $p < 0.05$  (test de Scheffer).