

ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS TÉCNICAS DE REVEGETACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD EN TALUDES CON PENDIENTES SUPERIORES AL 3H:2V

Eugenia ÁLVAREZ ÁLVAREZ^{1*}, Carmelo ASENSIO DOZ², María Mercè MARTÍNEZ MOLINÉ¹, Yolanda MOLINA CÁCERES¹

¹ Direcció General de Carreteres
Generalitat de Catalunya

² Departamento Técnico
Ginesta, S.L.

RESUMEN

La Direcció General de Carreteres de la Generalitat de Catalunya ha impulsado este estudio para conocer los condicionantes y/o limitaciones de técnicas de revegetación que intentan mitigar y/o corregir las afectaciones paisajísticas e inestabilidades geomorfológicas que provoca la implantación de infraestructuras viarias en el territorio.

Sus objetivos son proporcionar los resultados y la metodología para optimizar la aplicación de estas técnicas y al mismo tiempo intentar extrapolar los resultados de integración paisajística a otros taludes de características agroclimáticas y geomorfológicas similares.

Se escogieron dos técnicas diferentes como son la aplicación de hidrosiembra e hidromanta, y se ejecutaron en dos superficies distintas de un mismo talud. Su desarrollo se monitorizó durante un espacio de tiempo determinado.

El método de seguimiento se basa en la observación de la evolución de la cobertura vegetal de las dos superficies a lo largo del tiempo mediante comparaciones cromáticas sobre fotografías.

1. INTRODUCCIÓN

El talud objeto del tratamiento se ejecutó dentro de la actuación de acondicionamiento de la vía en mayo de 2006.

El desmonte presentaba una gran cantidad de material en la cuneta de pie y caídas de bloques decimétricos que invadían la calzada.

Los motivos de la actuación fueron dos: evitar la erosión causada por los agentes meteorológicos (pluviometría, ciclo hielo-deshielo) en la cara del talud y la integración paisajística del talud desnudo de vegetación.

Para dar solución al primer problema se optó por extender una malla de triple torsión y se planteó la posibilidad de ejecutar una hidrosiembra convencional. Esta última se desestimó al no poder extenderse tierra vegetal a causa de la pendiente. Para el segundo problema se pensó en la ejecución de técnicas de revegetación basadas en hidrosiembras modificadas y extensión de mantas o mallas de fibras naturales.

1.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El talud objeto de estudio está situado en la carretera C-38, término municipal de Camprodon, comarca del Ripollès. Georeferenciado por las coordenadas UTM 31N: 447716, 4682121 que corresponden al PK 7 aproximadamente y a una altitud de 920 m.



Fig 1. Carretera C-38, Pk 7.

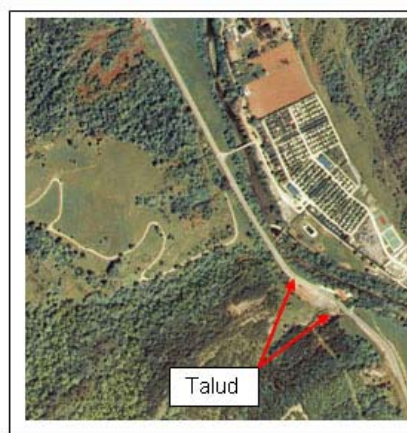


Fig. 2. Ortofotomapa de la zona.

2. CARACTERÍSTICAS DEL TALUD

Este talud está ejecutado en desmante y tiene una altura media de 19 m, 23 m de desarrollo y 102 m de longitud. La cara del talud tiene una orientación NE y una inclinación media de 40° (1:1,25). La carencia grave de vegetación daba lugar a una erosión diferencial de su frente, por un lado el lavado de su matriz que provocaba la colmatación de la cuneta y por otro la caída de bloques decimétricos.

Presenta varios elementos singulares: cuneta trapezoidal profunda (0,50 m x 0,50 m) de pie de talud que desagua en un torrente adyacente, cuneta trapezoidal intermedia a 14 m de altura del pie del talud (se deduce que hubiera tenido que corresponder a una cuneta de coronación y que por motivos desconocidos se ejecutó a esta altura) y su correspondiente bajante.

Referente a la vegetación inicial, entre otras, encontramos ejemplares de diente de león (*Taraxum officinalis*), uña de caballo (*Tusilago farfara*), alfalfa (*Medicago sativa*) dácilo (*Dactylis glomerata*), lechuga de liebres (*Sonchus sp.*), *Aphyllantes monspeliensis*, globularia (*Globularia vulgaris*), *Galium maritimum*, orégano (*Origanum vulgare*), *Brachypodium phoenicoides* e incipientes individuos de especies arbóreas de sauce ceniciento (*Salix atrocinerea*), sauce blanco (*Salix alba*) y chopo (*Populus nigra*).



Fig. 3. Foto talud.

3. CLIMATOLOGÍA Y VEGETACIÓN

Los datos climáticos corresponden a la estación meteorológica automática (EMA) de Sant Pau de Segúries (Código CI). Esta estación es la más representativa de la zona de estudio y las variables meteorológicas que mide son: velocidad del viento (10 m), dirección del viento (10 m), temperatura, presión, precipitación, radiación solar global, racha máxima de período (10 m), humedad relativa, dirección de la racha máxima (10 m). El valle se caracteriza por un clima de baja temperaturas y lluvias abundantes.

La vegetación autóctona corresponde a la provincia submediterránea de los robledales secos y pinares de pino silvestre y de pino negral, al dominio del quejigal calcícola submediterráneo con boj (*Buxo-Quercetum pubescentis*) con presencia de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y pino negral (*Pinus nigra*).

Dentro de la división climática correspondería a un clima mediterráneo prepirinaico oriental, con pluviometrías de 850-1.100 mm anuales, una temperatura media de 9-12 °C anual y una amplitud térmica anual que variaría entre 16-19 °C.

Según la clasificación Papadakis nos encontramos dentro de una zona donde le correspondería un clima mediterráneo templado o mediterráneo templado-fresco.

A partir de los datos de la EMA de Sant Pau hemos realizado los siguientes diagramas climáticos.

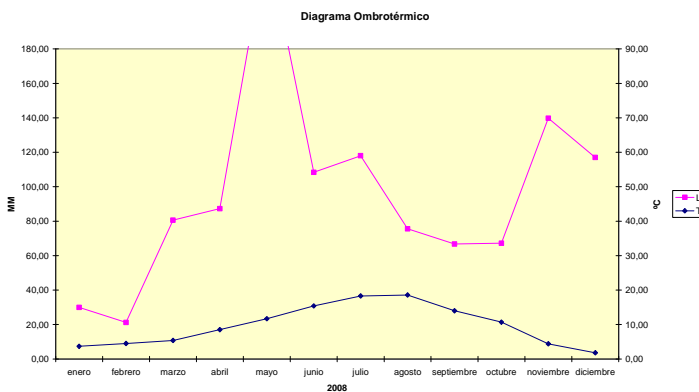


Fig. 4. Diagrama ombrotérmico del año 2008

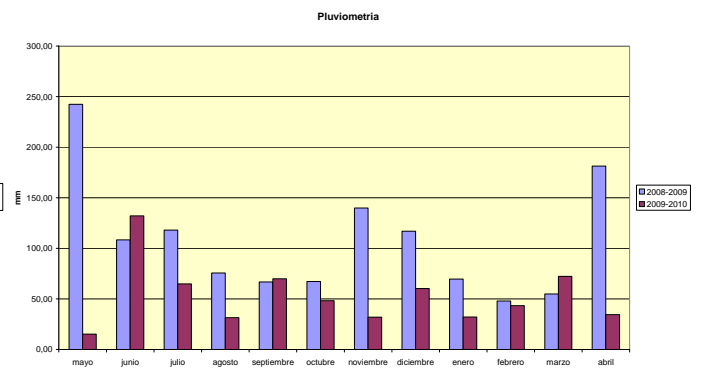


Fig 5. Pluviometría referida al periodo de estudio.

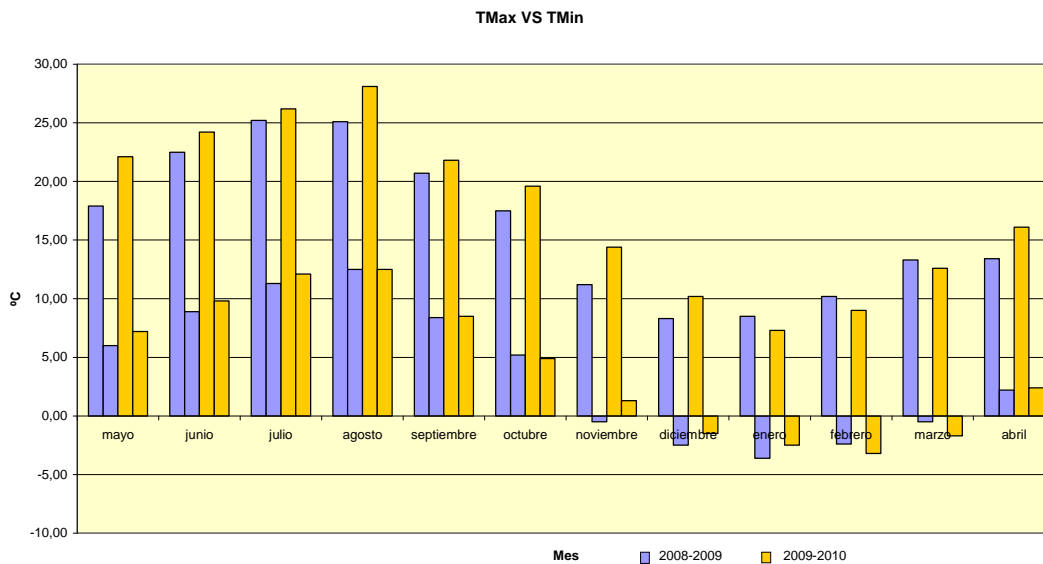


Fig 6. Amplitud térmica. Variación entre máximas y mínimas durante el mismo mes.

Como ejemplo se ha dibujado el diagrama ombrotérmico del año 2008 para ver que tipo de clima se da en la zona. Las épocas más lluviosas son en primavera y otoño y durante los meses de verano la pluviometría baja y aumentan las temperaturas, pero no llegan a interceptarse en el diagrama con lo cual no llega a producirse una época de sequía.

En cuanto a la climatología en los ciclos del estudio se observa que las épocas de máximas pluviométricas en el ciclo primero (2008-2009) son en primavera (abril/mayo) y en otoño (noviembre/diciembre) pero en cambio en el segundo (2009-2010) la pluviometría es bastante irregular y las máximas pluviométricas se dan en verano(junio/julio).

Las pluviometrías acumuladas en estos dos periodos son de 1.289,10 mm y 636,20 mm respectivamente. El primer periodo es más húmedo de lo normal mientras que el segundo está por debajo de la media. Hay una variación entre ciclos de casi 400 mm.

En referencia a la temperatura la media anual correspondería a 9°C y 10,4°C con una amplitud térmica media anual de unos 13 °C y 13,4°C respectivamente.

4. SITUACIÓN GEOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

La zona de estudio se enmarca dentro del Pirineo oriental, dentro de un sistema de cabalgamientos y pliegues que delimitan diferentes mantos estructurales. Los cabalgamientos ponen en contacto formaciones diversas de diferentes épocas y litologías. Concretamente en la zona de estudio, los materiales secundarios (Cretácico-Paleoceno) cabalgan sobre los primarios (Pérmico). Todos ellos se disponen en una dirección general E-W. Posteriormente durante la época Cuaternaria se producen diferentes procesos erosivos que meteorizan los materiales antiguos depositándolos en las zonas deprimidas configurando depósitos de origen aluvial y coluvial.

En este talud se identifican tres litologías:

- **L1:** Unidad Superior del Garumniense (Cretácico). Calizas grises muy fracturadas de color gris azulado con pequeños filones de calcita e intercalaciones de margas gris marronas entre los estratos. Sus capas tienen una orientación 120/42° y su potencia es de 50-60 cm.
- **L2:** Unidad Inferior del Garumniense (Cretácico). Arcillas rojas dispuestas en estratos milimétricos desmenuzados que le otorgan una apariencia y características de suelo. Se intercalan con calizas micríticas muy fracturadas de potencia media de unos 50 cm y de orientación idéntica a las anteriores. Las arcillas tienen alto contenido en agua que les confiere una plasticidad alta. Según clasificación textural de suelos, su matriz corresponde a un suelo entre franco arcillo-arenoso y arcillo-arenoso, con porcentajes aproximados de arena 64,42%, limo 3,23% y arcilla 32,34%.
- **L3:** Cuaternario. Depositado horizontalmente sobre las litologías **L1** y **L2**. Su contacto es discordante y su base erosiva. Se subdivide verticalmente en:
 - **L3a:** Parte inferior: terraza media del río Ter. Depósitos heterométricos granodecrecientes, en su base se acumulan clastos redondeados de tamaño que varía entre 5 y 30 cm de origen metamórfico que decrecen verticalmente. La matriz es arenosa de color rojo. Contiene menor cantidad de agua que **L2**.

- **L3b:** Parte superior: depósitos coluviales. Es una capa con clastos heterométricos angulosos de roca caliza de tamaño variable entre 1-20 cm y una matriz arenosa arcillosa de color marrón rojiza. En general su textura corresponde a un suelo arenoso-franco con porcentajes aproximados de arena 86,36%, limo 3,46% y arcilla 11,53%.

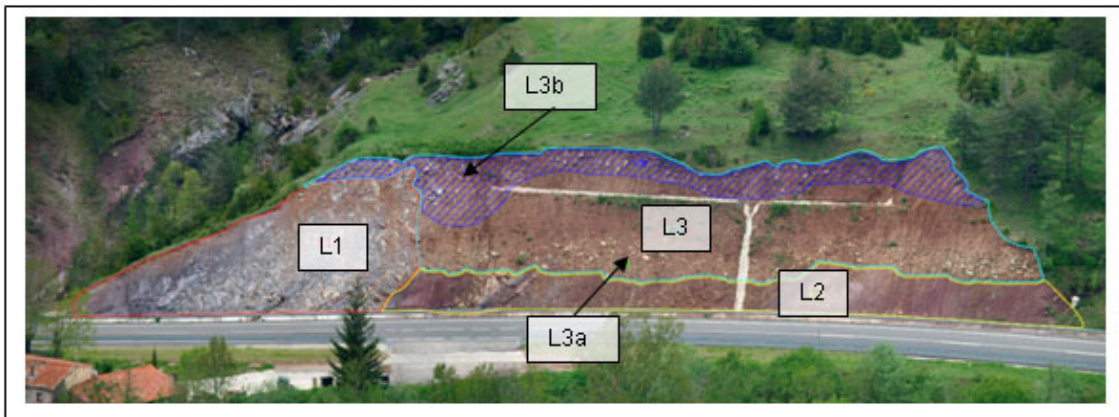


Fig. 7: Esquema de las diferentes litologías que caracterizan el talud

5. MEDIDAS CORRECTORAS APLICADAS

A partir de las litologías del apartado 4 se distinguen dos zonas. La que corresponde a la litología L1 (roca) y el resto que correspondería a las litologías L2 y L3 (tierras).



Fig. 8. División del talud por consistencia. R: área roca y T: área tierras

Para evitar la erosión se han aplicado diferentes técnicas en estas dos zonas. En la zona de roca tan sólo se ha ejecutado la instalación de una malla de triple torsión al ser imposible la aplicación de técnicas de revegetación. En la otra zona, al estar formada por materiales que

presentan una matriz blanda, se optó por la aplicación de la malla de triple torsión y técnicas de revegetación.

En el área T se implementaron dos técnicas diferentes de revegetación: aplicación de una hidromanta (T1) y aplicación de hidrosiembra junto a la instalación de una malla de yute (T2)

Se escogieron estos dos tipos de revegetación porque no era necesario hacer una actuación previa sobre el talud (desbroce y retaluzado) y así aprovechar el poco cubrimiento existente y el posible banco de semillas autóctonas.

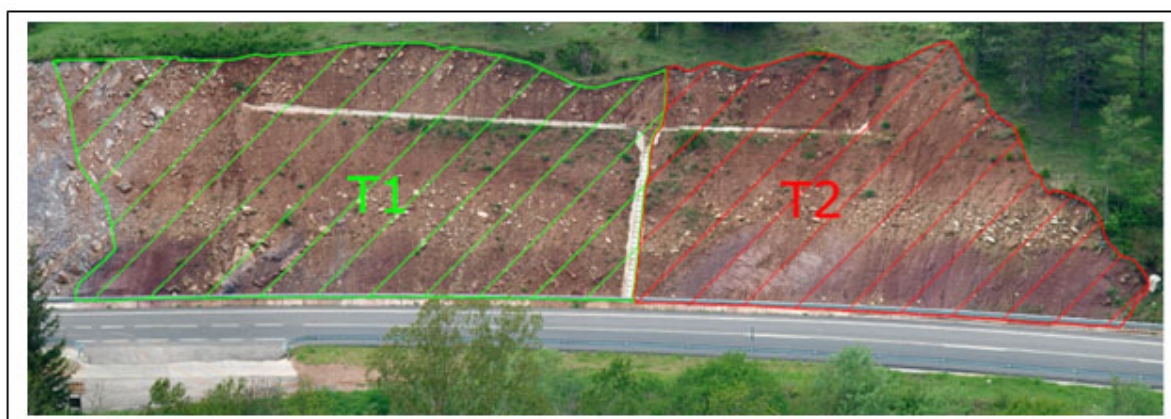


Fig. 9: División del área de tierras del talud según tratamiento aplicado.

5.1. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS Y MATERIALES UTILIZADOS

Hidrosiembra : proyección con cañón o manguera, en una o varias fases, de una mezcla de agua y una serie de productos, semillas, fertilizantes orgánicos e inorgánicos, fibras vegetales y un estabilizante adherente natural, con el objetivo de conseguir una cubierta herbácea inicial que sirva como base vegetal para el posterior establecimiento de especies autóctonas. Las semillas son una mezcla de especies adaptadas agroclimáticamente a la zona. En este caso, la mezcla de semillas utilizada estaba formada por un 65% de gramíneas y un 35% de leguminosas.

Componente	Dosis
Agua	2 l/m ²
Semillas	30 g/m ²
Paja de cereal picada	90 g/m ²
Mulch	60 g/m ²
Estabilizante	20 g/m ²
Abono mineral	20 g/m ²
Abono orgánico	30 g/m ²

Tabla 1. Componentes y dosis.
Hidrosiembra

Especie	Porcentaje (%)
Phleum pratense	15
Festuca rubra	25
Bromus inermes	15
Agropyrum cristatum	10
Trifolium pratense	15
Onobrychis viciaefolia	20

Tabla 2. Porcentaje de especies.
Hidrosiembra

Red de yute: está compuesta por fibras vegetales biodegradables que favorecen el desarrollo de la vegetación gracias al aporte de materia orgánica que facilita el crecimiento de las plantas. El desarrollo de la estructura reticular aumenta de manera progresiva la resistencia del talud, proporcionando una protección natural frente a los efectos de la erosión. Estas redes se fabrican con diversas densidades, la que se utilizó en este caso tenía una densidad de 500 g/m².

Hidromanta: es una mezcla de fibras de madera, agentes ligantes especiales, activadores orgánicos y minerales. Aplicada por proyección hidráulica, de manera similar a la hidrosiembra se adapta perfectamente a toda la superficie del terreno formando una membrana fibrilar que permite la conservación del suelo y de las semillas. Una vez instalada la vegetación, esta hidromanta se biodegrada enriqueciendo el terreno.

Componente	Dosis
Agua	3 l/m ²
Semillas	30 g/m ²
Fibras + ligantes	300 g/m ²
Abono mineral	20 g/m ²
Abono orgánico	30 g/m ²

Tabla 3. Componente y dosis.
Hidromanta

La mezcla de semillas que se utilizó fue la misma que para la hidrosiembra. Es importante destacar que tanto la red de yute como la hidromanta actúan como reservorio hídrico.

Malla de triple torsión: es una malla de alambre de acero galvanizado, de torsión triple y tejido simple, con capacidad para resistir determinados esfuerzos de tracción si se encuentra convenientemente vinculado. El tipo de malla corresponde a 5x7-13, alambre Ø2 mm que debe cumplir con las normas UNE 36-722, UNE 37-502 i UNE 37-506. La resistencia media de rotura a tracción longitudinal 33,74 kN/m de ancho de tela. La resistencia media de rotura a tracción transversal 20,73 kN/m de ancho de tela.

En cuanto a los costes de cada tratamiento presentamos el siguiente cuadro.

Tratamiento 1		Tratamiento 2	
Hidromanta	3,5-4 €/m ²	Red de yute	6-7 €/m ²
Malla TT	8-9 €/m ²	Hidrosiembra	1-1,5 €/m ²
		Malla TT	8-9 €/m ²
Total	11,5-13 €/m²	Total	15-17,5 €/m²

Tabla 4. Valoración económica aproximada del coste de cada tratamiento

La hidromanta es una técnica más económica que la red de yute+hidrosiembra. La diferencia de coste entre la hidromanta y la red de yute+hidrosiembra es de aproximadamente del 50%.

6. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE SEGUIMIENTO Y RESULTADOS

El método de seguimiento se basa en la observación de la evolución de la cobertura vegetal de varias superficies diferentes a lo largo del tiempo mediante comparaciones cromáticas sobre fotografías. Estas fotografías se han realizado desde el mismo punto a una distancia de 400-450 m del talud y a una cota 1.025 m. Las fotografías se tomaron con un teleobjetivo para evitar posibles distorsiones.

Para medir la evolución del cubrimiento se ha utilizado un criterio adimensional como es el porcentaje para evitar posibles errores de escala en las fotografías. Los porcentajes se han calculado en referencia al área considerada y en función de dos criterios:

- Evolución en el tiempo del cubrimiento según tratamiento (T1, T2)
- Evolución en el tiempo del cubrimiento según litologías y tratamiento.

Se tomaron 4 fotografías en este periodo del estudio según los pies de foto:

6.1. CUBRIMIENTO POR ÁREAS DE TRATAMIENTO



Fig.10. Estado inicial. 14/05/2008.






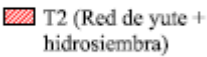

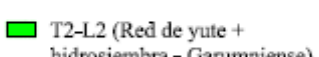
Fig. 11. 17/09/08. A los 76 días de la ejecución del tratamiento.



Fig. 12. 21/05/09. A los 322 días de la ejecución del tratamiento



Fig. 13. 18/05/10. A los 734 días de la ejecución del tratamiento

 T1 (Hidromanta)	 T1-L3 (Hidromanta-Cuaternario)	 T2-L3 (Red yute + hidrosiembra-Cuaternario)
 T2 (Red de yute + hidrosiembra)	 T1-L2 (Hidromanta-Garumniense)	 T2-L2 (Red de yute + hidrosiembra - Garumniense)

6.2. CUBRIMIENTO POR LITOLOGÍAS Y TRATAMIENTO

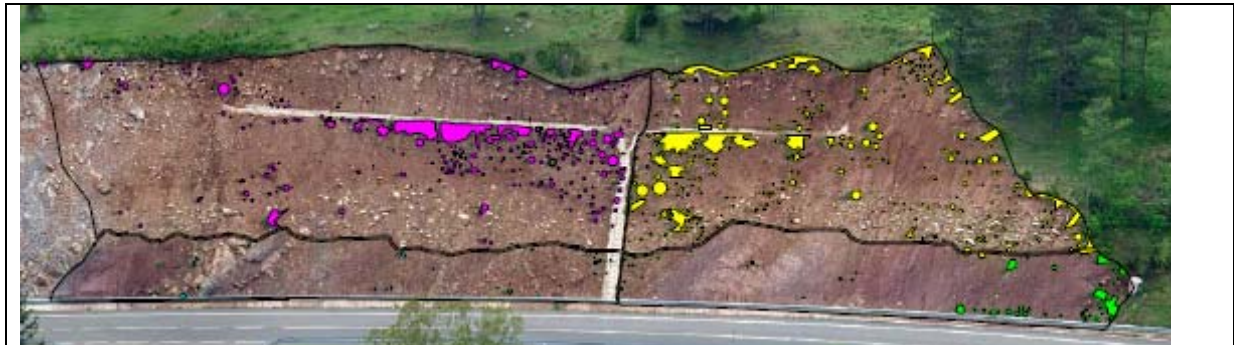


Fig. 14. Estado inicial. 14/05/2008.

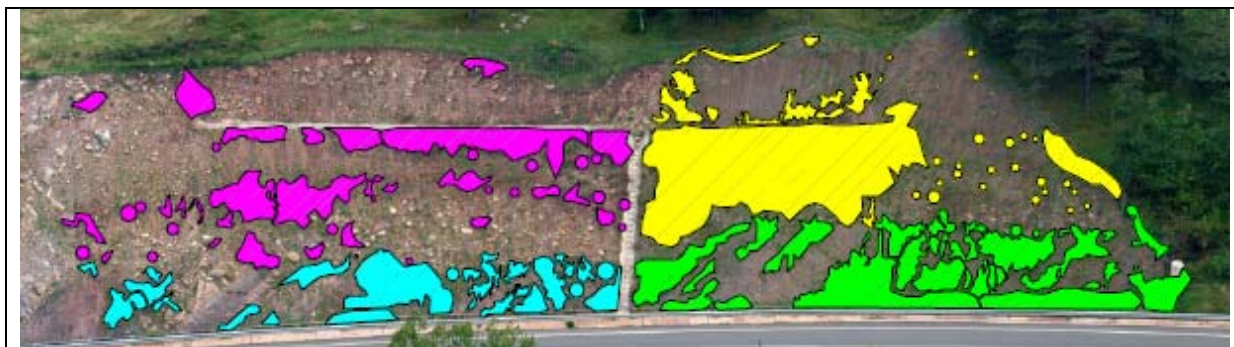


Fig. 15. 17/09/08. A los 76 días de la ejecución tratamiento.

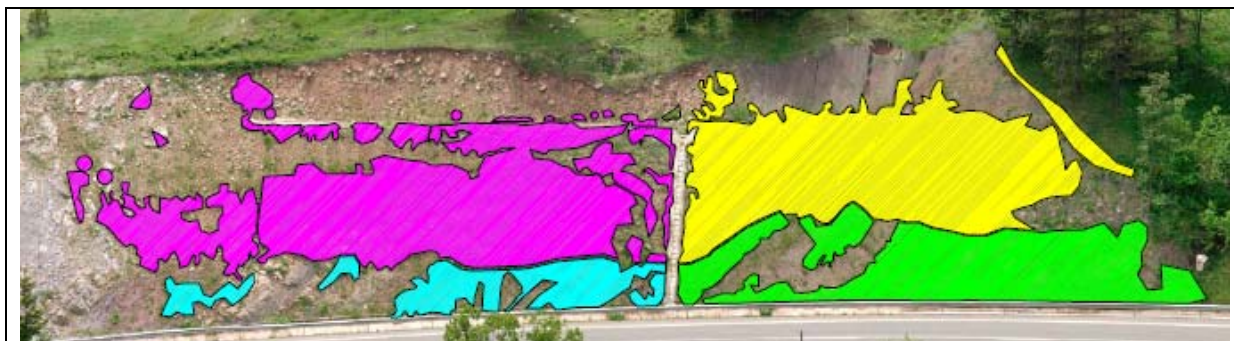


Fig. 16. 21/05/09. A los 322 días de la ejecución del tratamiento



Fig. 17. 18/05/10. A los 734 días de la ejecución del tratamiento

Las tablas siguientes muestran los resultados obtenidos:

Tratamiento	% Cubrimiento Estado inicial	% Cubrimiento a 76 días	% Cubrimiento a 322 días	% Cubrimiento a 734 días
T1	3,70	18,56	40,05	59.86
T2	7,53	43,47	57,03	73.98

Tabla 5. Resultados cubrimiento por tratamiento

Tratamiento x Litología	% Cubrimiento Estado inicial	% Cubrimiento a 76 días	% Cubrimiento a 322 días	% Cubrimiento a 734 días
T1-L3	4,66	15,61	42,94	56.01
T1-L2	0,48	42,24	39,47	60.92
T2-L3	10,40	37,76	53,96	77.13
T2-L2	2,36	56,57	63,41	69.38

Tabla 6. Resultados cubrimiento por tratamiento y litología.

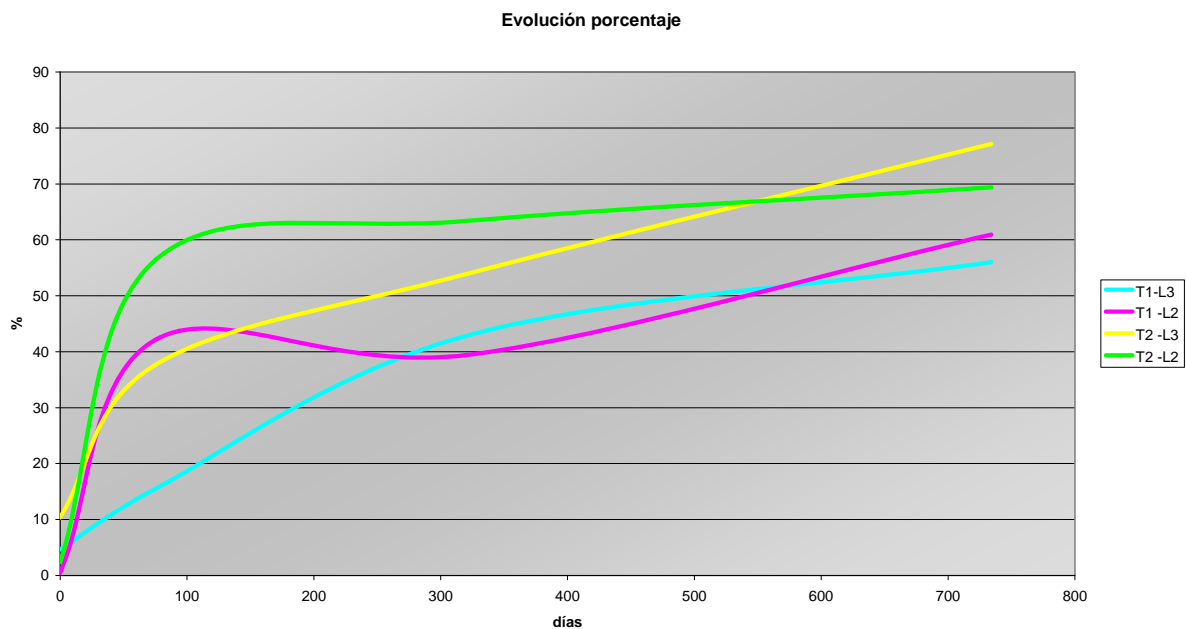


Fig. 18. Evolución del porcentaje de cubrimiento en el tiempo

- La parte del talud situada por encima de la cuneta intermedia no presenta un estado de colonización aceptable. Esta zona corresponde a tramos con pendiente superior a 45°.
- Ninguna de las 2 técnicas utilizadas ofrece resultados satisfactorios sobre los afloramientos rocosos presentes en ambas zonas de estudio.
- Se han reducido los desprendimientos que colmataban la cuneta inferior, mejorando de esta manera el estado de conservación de la misma.
- Inicialmente, en la zona tratada con red de yute e hidrosiembra se establece una cubierta vegetal en un plazo menor de tiempo que en la zona tratada con hidromanta, aunque a largo plazo ambas superficies recubiertas tienden a igualarse.
- En las zonas donde la pendiente es superior a 45° la red de yute más la hidrosiembra da mejor resultado que la hidromanta.
- En relación al paisaje, se observa que la integración paisajística ha dado unos resultados óptimos.
- La pluviometría acumulada entre mayo 2008 y abril 2009 (año más lluvioso de lo normal) y mayo 2009 y abril 2010 varía casi 400 mm, sin embargo el efecto de esta diferencia en la evolución de la cubierta vegetal del talud no es apreciable.



Fig. 19. Estado inicial talud



Fig. 20. Estado talud 21/05/2009



Fig. 21. Estado talud 18/05/2010

7. CONCLUSIONES

- Durante los dos primeros años que la carretera estuvo en servicio no aparecieron indicios de revegetación. Sin embargo dos años después de ejecutar los tratamientos está revegetado y completamente integrado.
- La geometría del talud, en la zona situada por encima de la berma, favorece la aparición de procesos de erosión remontante que impiden el establecimiento de una cubierta vegetal protectora.
- Los afloramientos rocosos no son susceptibles de una revegetación óptima.
- La vegetación introducida ha actuado como elemento difusor de la erosión superficial, impidiendo el lavado de la matriz y por consiguiente el desprendimiento de los elementos aglutinados por ésta.
- El porcentaje de recubrimiento vegetal de la superficie del talud obtenido puede considerarse como un éxito, siendo totalmente independiente de la litología presente.
- En principio cualquiera de las dos técnicas es válida para conseguir a largo plazo el recubrimiento vegetal de la superficie del talud. El tiempo de respuesta se reduce considerablemente en la zona tratada con red de yute e hidrosiembra, independientemente de la litología presente.

- La hidromanta es el tratamiento más rentable (aproximadamente 50%) para aquellos casos que se requiera una cubierta vegetal a largo plazo.
- La hidrosiembra reforzada con la instalación de una red de yute parece una técnica más adecuada que la hidromanta para utilizar en zonas o casos donde se requiera el establecimiento de una cubierta vegetal de forma rápida.
- La mayor cantidad de material susceptible de almacenar agua dispuesta en superficie por la red de yute con hidrosiembra con respecto al de la hidromanta, parece ser el elemento que facilita el establecimiento de una cubierta vegetal en un menor plazo de tiempo.
- Este diferencial de material podría igualarse si se aumentara la dosificación de la hidromanta, lo cual aumentaría el precio de la misma, disminuyendo su rentabilidad frente a la red de yute con hidrosiembra.
- En pendientes superiores a 45° las hidrosiembras protegidas (mantas o redes orgánicas + hidrosiembra) dan mejor resultado. Necesitaríamos más ensayos para determinar la relación técnica a aplicar versus ángulo de la pendiente.
- Una vez iniciado el ciclo de revegetación la cubierta vegetal evoluciona independientemente de la variación de la pluviometría y son otros factores los que les afectan.

REFERENCIAS

- Folch i Guillèn, R., 1981. *La vegetació dels Països Catalans*. Ketres Editora Barcelona.
- ICC, 2006. *Mapa geològic comarcal de Catalunya 1:50.000, Ripollès*. 31.
- Portillo, E., Gutiérrez, J.A., 2004. *Estabilización de un talud de gran altura con estabilidades sucesivas inversas*. IV simposio nacional de geotecnia vial. 649-657.
- Puente de la, A., Nuez de la, A., Lucas, H., Valle, A., 2009. *Evaluación del estado de la cobertura vegetal de un talud hidrosemebrado*. Rutas, 31: 15-28.
- Riba i Arderiu, O., de Bolòs i Capdevila, O., Panareda i Clopés, J.M., Nuet i Badia, J., Gonsàlvez i Noguera, J., 1979. *Geografía física dels Països Catalans*. Ketres Editora. Barcelona.
- <http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR>
- <http://mediambient.gencat.cat/cat/inici.jsp>
- http://wwwcatpaisatge.net/fitxers/cartes/carta_vall_camprodon_diagnosi.pdf
- http://www.meteo.cat/mediamb_xemec/servmet/
- <http://www.usda.gov/>