

Aplicación de técnicas de Ingeniería Biológica a la corrección de taludes

Red de pistas forestales en el Paraje Natural del Desert de les Palmes (Castellón)

Antecedentes

La totalidad de las actuaciones contempladas se desarrollan en el Paraje Natural del Desert de les Palmes (Castellón), respondiendo las mismas a los principios de protección, conservación, restauración, mejora y uso sostenible de los espacios naturales de la Comunidad Valenciana, en virtud de la Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos.

Los efectos derivados de fenómenos de erosión en el Desert de Les Palmes constituyen un grave problema que afecta, entre otros elementos, a la estabilidad de los taludes de su red viaria. El grado de afección de estos taludes ha derivado en el deterioro de los firmes de caminos y pistas, lo que reduce la seguridad de sus trazados, haciendo su tránsito más peligroso y dificultando su uso como apoyo para labores de gestión y mantenimiento del Paraje Natural, así como ante posibles situaciones de emergencia (incendios forestales, evacuaciones...).

Por otro lado y desde de un punto de vista paisajístico, estos fenómenos de erosión suponen la degradación de este espacio natural y la disminución de su calidad visual, aspecto a cuidar especialmente en un entorno que alberga elementos de gran importancia natural, cultural y paisajística como excepcionales afloramientos de pizarra y arenisca roja, masas de alcornoques (*Quercus suber*), pino rodeno (*Pinus pinaster*), madroños (*Arbutus unedo*), fuentes, ermitas, castillos...

Todos los trabajos desarrollados con anterioridad se centraron en conseguir la estabilización estructural de los taludes mediante la incorporación de elementos resistentes (muros de contención), no desarrollándose ninguna actuación dirigida a conseguir la integración paisajística y la disminución de la erosión superficial.



**José Luis
Montero
García**

Universidad Politécnica
de Valencia



**Eduardo
Martínez
García**

(Vaersa)



Hay que reseñar que la aplicación de técnicas de bioingeniería es la primera vez que se aborda por la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda.

Objetivos

En coherencia con esta justificación serán los objetivos prioritarios del proyecto:

- Estabilizar taludes con problemas de inestabilidad estructural
- Minimizar las pérdidas de suelo en taludes con elevada susceptibilidad erosiva.
- Integrar paisajísticamente las actuaciones proyectadas, así como devolver el valor estético a zonas especialmente castigadas por los fenómenos erosivos mencionados

Para la consecución de estos objetivos se abordarán diversas técnicas de ingeniería biológica (emparrillados vivos, fajinas vivas), así como técnicas de estabilización convencionales (abancalado, revegetación, técnicas de recubrimiento, etc.).

Soluciones adoptadas

Una vez seleccionadas las zonas de actuación, a través de una evaluación multicriterio (técnica EMC compensatoria), caracterizados los taludes (levantamientos topográficos), y el material sobre el que se pretende actuar (ensayos geotécnicos), se procede a evaluar su estado actual en relación a cada uno de los objetivos del Proyecto en cuestión (cálculos de estabilidad estructural y pérdidas de suelo), con objeto de determinar la solución que mejor se ajuste (la más agresiva con el problema más acusado). Como Anejo se adjunta una tabla de caracterización de uno de los taludes, donde puede apreciarse las diferentes variables y parámetros evaluados.

Del estudio de las leyes que rigen cada uno de los objetivos, se pone de manifiesto la existencia de una serie de parámetros sobre los que es posible actuar de manera global, consiguiendo una mejora individualizada de cada uno de dichos objetivos y, constituyendo por tanto, una solución integrada y multifuncional. (Ver figura 1).

Es aquí donde radica la importancia del empleo de técnicas de ingeniería biológica como solución integrada a los problemas estructurales, erosivos y paisajísticos, ya que se centra en actuar sobre los elementos que van a condicionar dichos procesos.

Tal y como puede apreciarse en el anterior figura, es posible actuar de forma individualizada sobre cada uno de los objetivos en cuestión. Por ejemplo, con la incorporación de un elemento resistente, como un muro de contención, se mejoraría de manera eficiente sobre la estabilidad del talud, sin ocasionar repercusión alguna sobre el resto de objetivos (erosión superficial e integración paisajística).

Sin embargo, existen otra serie de elementos sobre los cuales es posible intervenir, consiguiendo una mejora sustancial de cada uno de los objetivos, debido a las interrelaciones establecidas entre los mismos.

Como elemento más significativo de cara a lograr una solución integrada, cabe destacar la cobertura vegetal, tal y como queda reflejado en la citada figura, por ser el elemento que más interrelaciones presenta.

Así, para un suelo arenoso-limoso estandard (característico del Paraje), en estado de saturación y una compactación del 100 % del Proctor Normal, sobre una pendiente de talud de 30 grados y consi-



derando una profundidad de deslizamiento de dos metros, la variación sobre su cohesión saturada originada por fenómenos de enraizamiento supone un incremento del coeficiente de seguridad de un 47% respecto a su estado desnudo de vegetación, suponiendo una revegetación con coníferas a una densidad suficiente como para producir un reparto equitativo de esfuerzos a lo largo de toda la superficie de talud. Esta relación entre estados se explica rápidamente comparando para ambos estados (suelo desnudo y enraizado) con una de las leyes básicas de la mecánica de suelos: la Ley de Coulomb.

Este parámetro, **Cr**, ha sido cuantificado por algunos autores, como Gay y Megaham, 1982, en coníferas sobre suelos arenosos, estimando un valor de **10,30 KN/m²** o Endo y Tsuruta, 1969 sobre alisos de vivero en suelos de aluvión, aproximando el valor a **7 KN/m²**. Como ya se ha mencionado dichos incrementos de cohesión pueden suponer aumentos del coeficiente de seguridad de hasta un 50 % sobre su estado desnudo.

Por consiguiente, tanto la revegetación de taludes como la utilización de técnicas de bioingeniería contribuirán en la estabilidad estructural del talud, en la medida en que propiciarán la instalación de una cobertura vegetal cuyo sistema radicular servirá de armazón cohesivo del estrato superficial del talud, y su parte aérea servirá de protección de la cubierta edáfica, consiguiendo a su vez una solución paisajísticamente integrada.

La tipología de técnicas de ingeniería biológica propuestas ha sido variada, abarcando desde hidrosiembras hasta complejos emparillados vivos, incluyendo fajinas vivas, muros vivientes, fajinas de drenaje, etc. La complejidad de las técnicas de bioingeniería utilizadas ha estado condicionada en todo momento por el estado de degradación del talud en relación a los objetivos del proyecto, requiriendo como norma general soluciones estructurales más complejas aquellos taludes con mayor longitud de declive y pendiente.

Selección de especies vegetales a emplear

En todo momento debe tenerse presente que el proceso de selección de especies para la restauración de taludes no corresponde a un proceso convencional para una repoblación forestal, quedando supeditado en todo momento a la consecución de los objetivos de estabilización y disminución de pérdidas de suelo por erosión, si bien sí es importante alcanzar una armonía fitosociológica con las comunidades vegetales coexistentes.

Es imprescindible en este tipo de restauraciones que las especies seleccionadas cuenten con un rápido enraizamiento, capacidad para reproducirse vegetativamente y resistencia a condiciones extremas (condiciones xerófilas de los taludes en ambientes mediterráneos).

A tal fin y partiendo del exhaustivo inventario de especies vegetales presentes en el ámbito de actuación, se procede a la realización de un proceso de selección, depurando el inventario inicial mediante la utilización de tablas discriminatorias, reduciendo dicho listado a sólo

unas cuantas especies que resultan ser las mejor adaptadas al ámbito del Proyecto y, por tanto, las utilizadas como material constructivo de las estructuras vivas y material forestal de reproducción, buscando siempre una heterogeneidad en la construcción de dichas estructuras, así como una diversidad visual y ecológica. Las especies que han sido seleccionadas para la ejecución del Proyecto, en base al tipo de actuación, se recogen en la siguiente tabla:

Estructuras vivas

Celtis australis, Salix atrocinerea, Phyllirea angustifolia

Fajinas de drenaje

Salix alba, Populus alba

Recubrimiento (hidrosiembra)

Anthyllis cytisoides, Brachypodium retusum, Dorycnium pentaphyllum, Helichrysum stoechas, Lathyrus latifolius, Medicago minima

Conclusiones

Sin datos experimentales, la teoría indica que la solución más adecuada es aquella que combina técnicas de ingeniería tradicional (técnicas de descabezado, perfilado, tendido, abanclado y, en general, cualquier variante de modificación geométrica, así como diferentes modalidades de drenaje de taludes) con técnicas de ingeniería biológica, tales como las planteadas en el presente Proyecto, corrigiendo estas últimas aquellas deficiencias estructurales y paisajísticas que las técnicas tradicionales no son capaces de solventar.

La ejecución del presente proyecto permitirá observar si este tipo de actuaciones son viables con el empleo de las especies propias de un ámbito termomediterráneo xerófilo.

Tabla 3: Técnicas utilizadas por zona de actuación

Técnicas a utilizar	Talud Antiguo Monasterio	Pista Santes	Pobla Tornesa	
			Tramo 1	Tramo 2
Técnicas de Ingeniería Tradicional				
Descabezamiento taludes	✓	✓	✓	✓
Tendido y perfilado taludes	✓	✓	✓	✓
Blanqueado	✓	✗	✗	✗
Drenaje	✓	✗	✓	✓
Técnicas de Ingeniería Biológica o Bioingeniería				
Hidrosiembra	✓	✓	✓	✓
Fajinas vivas	✗	✓	✗	✗
Emparillados vivos	✗	✗	✓	✗
Drenajes vivos	✓	✗	✗	✗
Muros de roca y vegetación	✓	✗	✗	✗
Técnicas de Revegetación				
	✓	✓	✓	✓
Acciones Complementarias				
Mantenimiento de cunetas	✓	✓	✗	✗
Desbroce selectivo	✗	✗	✗	✗
Reconstrucción muros				
Manpostería	✗	✗	✗	✗

Figura 1: Interrelación entre los elementos asociados a cada uno de los objetivos

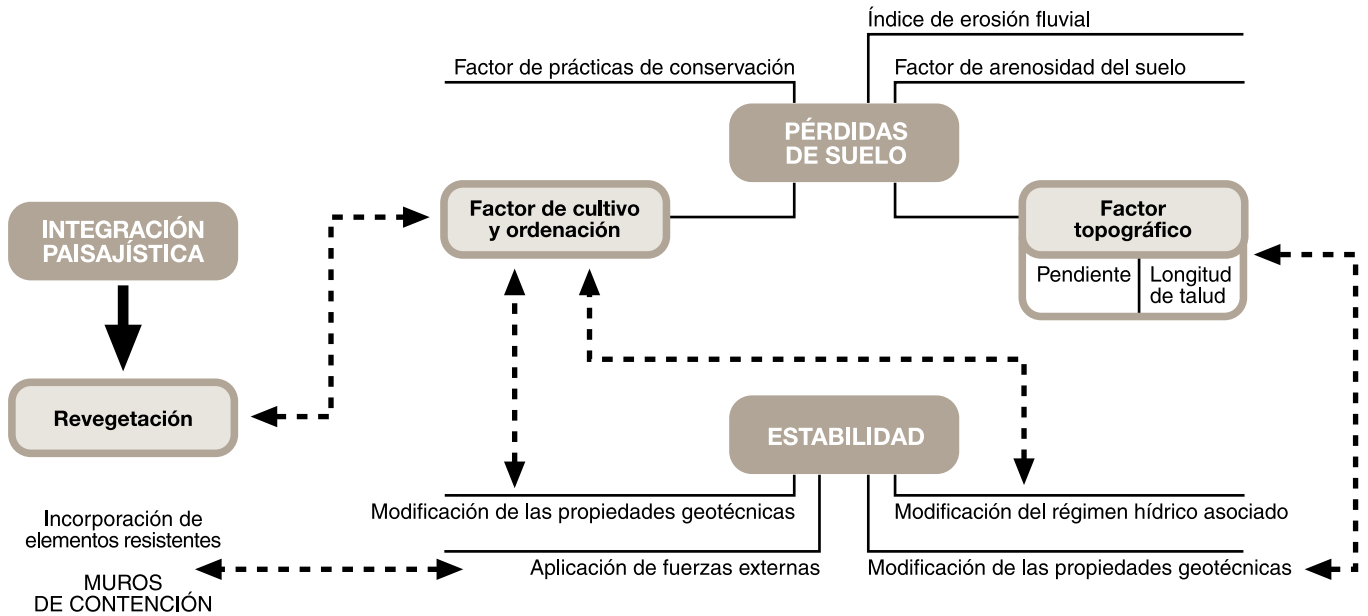


Tabla 1: Caracterización de uno de los taludes a restaurar, en la Pista denominada “Les Santes”

Coordenadas del Talud	X	757.287,60		
	Y	4.441.807,85		
Longitud romedio de Talud	10 metros			
Longitud del Tramo de Actuación	15 metros			
Altura de Talud	5 metros			
Pendiente de Talud	27 grados			
Orientación	Suroeste			
Pedregosidad	Elevada, con abundante material suelto			
Naturaleza del material litológico subyacente	Areniscas			
Clasificación edáfica (USDA-Soil Taxonomy)	Luvisol háplico			
Clasificación ASTM SUELO DE GRANO GRUESO (más del 50% es retenido en el tamiz n° 200) ARENA (más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz n°4) % finos que pasan por el tamiz n° 200 (0,080 UNE). Más del 12% (SM o SC) Índice de plasticidad nulo (material no plástico, IP < 4), Material SM (Arenas limosas, mezclas de arena y limo).	Densidad máxima material seco	1,83	T/m ²	
	Proporción óptima de agua	14,50	%	
	Relación de huecos	0,48	Adimensional	
	Permeabilidad	7,25·10 ⁻⁶	cm/seg	
	Cohesión efectiva	5,20	T/m ²	
	Cohesión saturada	2,04	T/m ²	
	Angulo de rozamiento interno	33,82	Adimensional	
	Presencia de estructuras estabilizadoras	Muro de mampostería		
	Estrato vegetal redominante	Arbustivo		
	Fracción de cabida cubierta en talud	15 %		
Principales especies presentes	<i>Inula viscosa, Foeniculum vulgare, Ulex parviflorus, Piptatherum multiflorum, Rosmarinus officinalis</i>			
Objetivos específicos	Se consideran objetivos prioritarios la integración paisajística, la eliminación de material inestable y la protección del muro de mampostería, firme y red de drenaje longitudinal existentes			