

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

**PROYECTO DE REHABILITACIÓN ECOLÓGICA DE TALUDES EN LA
AUTOPISTA DEL MEDITERRÁNEO, ALICANTE – VILLAJOYOSA**

TRABAJO FINAL DE GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

ALUMNO: JUANSE CALDERÓN LÓPEZ

TUTORA: DRA. MARÍA PILAR TORRES MARTÍNEZ
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA APLICADA
ÁREA DE BOTÁNICA



FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES

CIENCIAS AMBIENTALES

ELCHE, DICIEMBRE DE 2024

Proyecto de rehabilitación ecológica de taludes en la autopista del Mediterráneo, Alicante - Villajoyosa

Resumen

Los ecosistemas del sureste español históricamente se han visto sometidos a grandes presiones. En las últimas décadas, con el boom de la construcción y el afán por mejorar las conexiones viales, se incrementó la construcción de infraestructuras lineales. Las consecuencias de la construcción de carreteras se reflejan en gran medida en el paisaje, pues, entre otros impactos, al removerse la cobertura vegetal y grandes cantidades de terreno, se generan taludes. Estos taludes quedan como cicatrices a lo largo de los trazados. Anteriormente, su gestión ambiental era casi inexistente, pero en la actualidad hay técnicas de rehabilitación que mitigan sus impactos negativos y la nueva legislación exige su cumplimiento. Este documento presenta una propuesta de rehabilitación de taludes de carretera en el tramo vial San Juan – Villajoyosa, de la Autopista del Mediterráneo AP-7, en la provincia de Alicante, inaugurada en el año 1976. Se selecciona la mejor opción entre los taludes para en él proponer un proyecto piloto de rehabilitación, se justifica la hidrosiembra como la técnica de restauración principal en este tipo de intervenciones y se establecen los lineamientos del proyecto según un diagnóstico previo.

Palabras clave: Semiárido, taludes de carretera, rehabilitación ecológica, pastizales, hidrosiembra.

Abstract

The ecosystems of southeastern Spain have historically been subjected to significant pressures. In recent decades, with the construction boom and the push to improve road connections, the development of linear infrastructures has increased. The consequences of road construction are largely visible in the landscape; for instance, the removal of vegetation cover and large amounts of soil has led to the creation of slopes, which remain as scars along the routes. In the past, environmental management of these slopes was almost nonexistent, but today there are rehabilitation techniques that mitigate their negative impacts, and new legislation mandates their implementation. This document presents a proposal for the rehabilitation of road slopes along the San Juan – Villajoyosa section of the AP-7 Mediterranean Highway in the province of Alicante, which was inaugurated in 1976. The best option among the slopes is selected to propose a pilot rehabilitation project, justifying hydroseeding as the central restoration technique for such interventions, and establishing the project guidelines based on a preliminary assessment.

Keywords: Semiarid, roadside slopes, ecological rehabilitation, grasslands, hydroseeding.

Tabla de Contenido

1.	Introducción	1
1.1.	La Desertificación	1
1.2.	Impacto de las Infraestructuras	2
1.3.	Restauración de Taludes de Carreteras	4
2.	Objetivos	4
2.1.	General	5
2.2.	Específicos	5
3.	Antecedentes	5
4.	Marco legal	6
5.	Delimitación del Área a Rehabilitar	7
5.1.	Descripción de los Taludes	8
5.2.	Elección del Talud	11
6.	Descripción del Medio Natural	12
6.1.	Área y Unidades Ambientales	12
6.2.	Geología	13
6.3.	Litología	13
6.4.	Edafología	13
6.5.	Estructuras de Plegamiento	14
6.6.	Bioclimatología	14
6.7.	Vegetación Potencial y Actual	15
6.8.	Especies Invasoras y Amenazadas	19
6.9.	Ecosistema de Referencia	20
7.	Causa y Tipo de Degradación	21
8.	Ejecución del Proyecto de Rehabilitación	21
8.1.	Punto de Partida	21
8.2.	Método de Rehabilitación	22
8.2.1.	Hidrosiembra (Primera Fase)	22
8.2.1.1.	Plan de Trabajo	23
8.2.1.2.	Preparación Física del Terreno	24
8.2.1.3.	Hidromanta	24
8.2.1.4.	Selección de Especies	25
8.2.1.5.	Proyección de la Hidrosiembra	25
8.2.1.6.	Cuidados Posteriores	26
8.2.2.	Plantación (Segunda Fase)	26
8.2.2.1.	Selección de Especies	26
8.2.2.2.	Preparación del Terreno	28
8.2.2.3.	Diseño del Módulo de Plantación	28
8.2.2.4.	Método de Plantación	30
8.2.2.5.	Cuidados Posteriores	30

8.3. Consideraciones	30
8.4. Plan de Ejecución	31
9. Insumos y Costos	31
10. Plan de Seguimiento y Control	32
11. Conclusiones y Proyección Futura	33
12. Bibliografía.....	34
Anexo 1. Planos	38
Anexo 2. Imágenes satelitales	42
Anexo 3. Mapas.....	48
Anexo 4. Imágenes fotográficas.....	50
Anexo 5. Diagrama.....	54



UNIVERSITAS
Miguel Hernández



1. Introducción

Los ecosistemas degradados o que han sufrido impactos negativos, generados en su mayoría como consecuencia de las actividades humanas, suponen un amplio campo de acción para los ambientólogos, siendo cada vez más necesario intervenir en el medio conforme se acumulan los efectos en el tiempo (Clewell y Aronson, 2017). Términos como sobreexplotación, contaminación, desaparición, alteración o improductividad son más comunes para describir los entornos que nos rodean y de los que, inseparablemente hacemos parte. Por ello, la restauración ecológica se determina como el proceso para regenerar un ecosistema al iniciar y/o acelerar acciones que permiten recuperar la funcionalidad entre plantas, animales y microorganismos (S.E.R., 2023), a la vez que se propende por conservar los servicios ecosistémicos que, de forma intrínseca, ofrece el medio natural y en última instancia condicionan el bienestar humano (M.E.A., 2005. Puigdefábreas y Sánchez, 2005).

Los encargados de llevar a cabo un proyecto de recuperación ecológica ejecutan acciones claves conducentes al restablecimiento de los procesos de los diferentes organismos y a la dinamización de la capacidad propia del medio para adaptarse a nuevos estadios, más ricos en recursos y, por consiguiente, más estables y resilientes ante las perturbaciones (Holling, 1973). Para llevar a cabo cualquier acción es necesario poseer el conocimiento necesario del medio, especialmente de las comunidades vegetales y de su sucesión ecológica, es decir, los reemplazos de especies que se producen con el tiempo y que conforman un patrón determinado (Connell y Slatyer, 1977), pues este conocimiento es la base para entender sus dinámicas y maneras de intervenir.

1.1. La Desertificación

En las tierras secas, como el sureste español, la producción de cultivos, forraje, madera y otros servicios ecosistémicos es limitada, ya que está fuertemente determinada por el déficit hídrico. En dicho entorno las condiciones climáticas se caracterizan por un largo período estival y una escasa precipitación anual, debido a la pantalla que ejerce la cordillera Penibética frente a los vientos húmedos del Atlántico (I.G.M.E., 1999, como se cita en Armas et al., 2011). La distribución de la precipitación estacional es muy sensible a pequeñas variaciones en los patrones de circulación atmosférica, y también hay una fuerte variación interanual (Machado et al., 2011). La escasez de lluvias y las elevadas temperaturas han originado un entorno frágil, caracterizado por la debilidad de la cobertura vegetal y la erosividad de los suelos (López-Bermúdez et al., 1984).

En este medio, las plantas han desarrollado una serie de adaptaciones morfológicas y fisiológicas que determinan su capacidad para crecer y sobrevivir, siendo eficaces en la absorción de agua o al utilizar instrumentos importantes para resistir la sequía (Hernández et al., 2010). Entre algunos mecanismos adaptativos se encuentra el tener un profundo y denso sistema radicular, el desarrollar tejidos resistentes a la desecación, el poseer estructuras deciduas con poca necesidad de reemplazarse o incluso adaptar su ciclo de vida a periodos previos a las sequías. A estas especies se les puede

catalogar como las que utilizan estrategias de tolerancia a la sequía o como las que la evitan (Levitt, 1980; Sack et al., 2003).

Los diferentes factores que influyen en el medio semiárido mediterráneo condicionan una cubierta vegetal que tiende a ser baja y escasa (Schlesinger et al., 1990), con una distribución espacial en la que se encuentran grupos de hierbas y arbustos entre el suelo desnudo (Garner y Steinberger, 1989; Schlesinger y Pilmanis, 1998). El paisaje se caracteriza por poseer una topografía intrincada y una composición litológica diversa, en la que los suelos presentan bajos niveles de materia orgánica, de estabilidad de degradados y de nutrientes, además de una reducida capacidad para retener agua (Cantón et al., 2011). Sin embargo, la cuenca mediterránea y sus tierras secas albergan el 20% de la riqueza florística del mundo en un espacio relativamente pequeño, que posee puntos particularmente críticos, como el sureste español (Medail y Quézel, 1999), siendo una de las regiones más ricas en especies vegetales de Europa con una amplia variedad de endemismos ibérico-norteafricanos (Armas et al., 2011. Mendoza-Fernández et al., 2015). Los registros indican que, desde el Mioceno medio (hace 16 millones de años), diferentes grupos de plantas se adaptaron a las condiciones subdesérticas de los ecosistemas que prevalecen en el sureste de España (Carrión et al., 2008).

Históricamente esta ha sido una región altamente antropizada, lo que ha dado lugar a fuertes transformaciones y una degradación generalizada (Cortina et al., 2011), donde el aprovechamiento inadecuado y la variabilidad climática la convierten en una región sensible a la desertificación (Abraham, 2008). En la actualidad, la lucha contra la desertificación es un objetivo global en el que se invierten recursos para prevenir o reducir la degradación de las tierras secas, así como en la rehabilitación de tierras parcialmente degradadas y la recuperación de tierras parcialmente desertificadas (ONU - C.N.U.L.D., 1994; ONU - Agenda 2030, 2015). En el contexto del cambio climático, diferentes modelos pronostican una disminución en la precipitación media anual y eventos más extremos, con menos días lluviosos y periodos de sequía más largos, a la vez que fuertes cambios estacionales (Miranda et al., 2011), lo que incrementaría aún más la vulnerabilidad en el semiárido español.

1.2. Impacto de las Infraestructuras

Teniendo en cuenta el contexto anterior, el presente documento se centra en proponer una iniciativa para mitigar la fuerte presión a la que se ha llevado al medio natural en los contornos de los núcleos urbanos, puntualmente con las infraestructuras para comunicarlos entre sí, elementos necesarios para el desarrollo (Abad et al., 2009), pero que en las últimas décadas han agudizado la problemática existente en el sureste español.

Las vías terrestres, autovías, autopistas y carreteras; su construcción, uso y manejo en todos los niveles de gestión pública (estatal, autonómico, provincial y municipal), así como las líneas férreas de vía estrecha (métrica), de vía ancha (internacional) y de ancho ibérico; son generadoras de impactos en los diferentes componentes del medio natural, entre los que se destaca: la contaminación de los recursos hídricos, la compactación y pérdida de suelo, fragmentación de hábitats y la reducción de la

biodiversidad, impactos en el paisaje, emisiones contaminantes a la atmósfera y su respectivo aporte en la aceleración del cambio climático global, altos niveles de ruido, etc. (P.I.A.R.C., 2012).

En España la red de carreteras contaba hasta finales de 2021 con 165.375 km, 26.459 pertenecientes a la Red de Carreteras del Estado (R.C.E.) administradas por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), mientras que 71.145 km por las Comunidades Autónomas (CCAA) y los restantes 67.770 km por las Diputaciones; al margen de lo anterior existen 361.517 km interurbanos que los Ayuntamientos tienen a su cargo; además de los 15.652 km de longitud de vías férreas (MITMA, 2021). La mayoría de la infraestructura construida en este tipo de obras civiles tuvo dos momentos históricos relevantes: el primero, durante la postguerra en la década de los años cincuenta como consecuencia de la presión del incremento del parque automovilístico y la implementación del “Plan de Modernización de las Carreteras” de la época; y el segundo, en la década de los años 80, con la entrada de España en la Unión Europea (1986) y que conllevó el traspaso de competencias en materia de carreteras a las CCAA, la construcción de carreteras que conectaran todas las provincias y nuevos trazados para mejorar el acceso a las ciudades (A.E.C., 2020). También se estableció el cumplimiento de la correspondiente legislación en materia de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

De acuerdo con los registros del Catálogo Oficial de Carreteras (MITMA, 2021) se tienen proyectadas 25 nuevas autovías o autopistas en diferentes puntos del país, gestionadas desde el MITMA. En la provincia de Alicante hay dos de estos tramos. El primero sería la Autovía A-78 que uniría a Elche con Crevillente y que actualmente sigue el trazado de la carretera nacional N-340 en ese tramo, y el segundo, la autopista AP-37 que conectaría a Alicante con Murcia, que sería en un futuro la alternativa para liberar de tráfico a la autovía del Mediterráneo A-7, con una longitud provisional prevista de 24 km. En cuanto a infraestructura ferroviaria, el tramo 12 conectará la provincia de Alicante con el Corredor Mediterráneo y espera completarse para el año 2025; convirtiendo las vías únicas de *La Encina – Alicante* y *Alicante – Murcia* de ancho ibérico con tercer carril, en una doble vía de ancho internacional; además de obras complementarias cambiando las dobles vías a ancho internacional en los tramos *Monforte – Murcia* y en la variante *Elche – Aeropuerto de Alicante* (A.V.E., 2023).

Si tenemos en cuenta todos los niveles de la gestión pública, las ampliaciones por duplicación de carreteras, el acondicionamiento continuo y rehabilitación, las mejoras para incrementar la seguridad vial y las nuevas infraestructuras, se puede dimensionar la envergadura de este proceso constructivo y la necesidad de alternativas para la reducción y/o mitigación de los impactos negativos. En la construcción de infraestructuras lineales de transporte terrestre se llevan a cabo grandes movimientos de tierras, desbroce de vegetación, se generan volúmenes sobrantes de tierra, se reducen y fragmentan los hábitats, hay disminución de especies vegetales y animales, y se dejan grandes superficies expuestas a la erosión; además, se crea una percepción negativa del entorno por la pérdida de calidad a nivel paisajístico.

1.3. Restauración de Taludes de Carreteras

Las experiencias de rehabilitación en taludes de carretera empiezan a gestarse en la década de los 70 en Norte América, después de décadas de construcción a gran escala de infraestructuras lineales que tenían por objetivo la seguridad y la eficiencia, y que pasaban por alto los efectos ecológicos tanto en la planificación, construcción y mantenimiento de las vías (Steinfeld et al., 2007). En España, a finales de la década de los 80, es cuando se considera dar tratamiento a los espacios que se vieran afectados por este tipo de obras (R.D. 1302/1986; R.D. 1131/1988). En un principio el enfoque se asumió desde las teorías agronómicas y de la obra civil, basadas en la productividad y disponibilidad de recursos por parte de las primeras y en la estabilidad geotécnica por parte de las segundas.

Actualmente, la restauración ecológica se propone como una opción ineludible para mitigar los impactos negativos en los ecosistemas que dejaron los proyectos de infraestructura lineal en el pasado. Que, al formularse con especies nativas, mejoran el estado en el que se encuentran los taludes de carretera, y gracias a sus propiedades ecológicas se procura recuperar la estructura y composición del medio para que sea estable en el tiempo. Un diagnóstico del medio natural es pertinente como punto de partida para luego definir un plan que responda qué técnicas se implementarán, qué especies seleccionar y sus interacciones clave en las etapas sucesionales, así como, qué intervenciones en el tiempo desarrollar según las dinámicas y desviaciones de las comunidades instauradas. Finalmente, se debe concretar un plan de seguimiento acorde a los alcances del proyecto (Navarro Cano et al., 2017).

En términos generales, la restauración ecológica en el sureste español se presenta como un desafío complejo debido a las condiciones ambientales adversas, especialmente el déficit hídrico, que dificulta el establecimiento de la vegetación. Razón principal por la que las especies mejor adaptadas a la sequía se consideran la opción más adecuada. Además, cuando no se cuenta con suelo, soporte esencial para que se promueva la colonización, o el terreno posee una alta pendiente y litología inestable, como en el caso de este proyecto, es necesario formular una intervención de restauración activa que sea lo suficientemente potente, a pesar de lo costosa que en un primer momento pudiera parecer.

Una técnica para rehabilitar taludes de carretera que promueve el establecimiento de la cobertura vegetal y que controla problemas por erosión superficial en el corto plazo, es la hidrosiembra; en función de esta se ha desarrollado maquinaria especializada, a la par que abonos, mezclas de semillas, estabilizantes, etc. para cumplir con dichos propósitos (Balaguer et al., 2011. En: Valladares et al., 2011).

2. Objetivos

Considerando todo lo expuesto anteriormente y teniendo en cuenta que el propósito de este documento es formular un proyecto de rehabilitación ecológica, se contempla proponer un proyecto piloto en un talud de carretera de la provincia de Alicante, concretamente en la autopista del Mediterráneo o AP-7. La construcción de dicha autopista fue concesionada en el año 1972 a la empresa A.U.M.A.R., actual Abertis, para ser gestionada y explotada.

La legislación al momento de inaugurarse el trazado, Ley 51 del 19 de diciembre de 1974 de carreteras, no contemplaba ninguna medida de amparo ambiental, no exigía estudios que pudiesen garantizar la reducción de los efectos negativos sobre el medio natural o la integración paisajística. Las secuelas heredadas hasta el día de hoy están a la vista, ya que han permanecido expuestos grandes taludes a ambos lados de la autopista en diferentes puntos del tramo *San Juan – Altea*. Aun cuando una alternativa para rehabilitar es la restauración pasiva, que consiste en no intervenir el espacio y permitir que se dé en el tiempo el proceso natural de sucesión ecológica, se requiere cierta productividad del medio y niveles de estrés intermedios (Navarro et al., 2017). En este caso las condiciones de partida fueron y siguen siendo difíciles, pero hoy en día, con las nuevas investigaciones y técnicas de rehabilitación se pueden gestionar de otra manera estos espacios.

2.1. General

Proponer un proyecto de rehabilitación ecológica para taludes de carretera que pueda servir como guía cuando se quieran llevar a cabo acciones restaurativas por el impacto de obras civiles en el sureste español.

2.2. Específicos

1. Incrementar la diversidad vegetal en el área.
2. Reducir la erosión y mantener la estabilidad del talud.
3. Recuperar en lo posible la dinámica del ecosistema previo a la obra.

En términos ecológicos, el objetivo principal de la restauración conlleva el proceso de devolver un ecosistema degradado a su estado original. En este proyecto, el pretender instaurar el ecosistema de referencia previo a la perturbación, tratándose de un talud de carretera, hace concluir que esta aspiración no será realista al no poderse recuperar en su totalidad la funcionalidad del sistema o reconstruir su estructura original. En este caso, en el que consideramos como ecosistema de referencia el pastizal contiguo dominado por la especie *Stipa tenacissima*, también imperante previa obra civil, no es tan preocupante buscar una composición de especies concreta, ni niveles de diversidad concretos, por lo que se puntualiza que el término adecuado en este tipo de intervenciones, en el marco de la restauración ecológica, es el de rehabilitación, siendo esta la definición correcta para este tipo de proyectos restaurativos.

3. Antecedentes

La autopista del Mediterráneo es uno de los principales ejes viales que comunica el levante español con el resto de Europa, haciendo parte de la *Red de Carreteras Europeas* bajo la denominación E-15. En España su recorrido va desde la frontera con Francia hasta el este de la provincia de Cádiz. La construcción se hizo por tramos en la década de los 70 y se basó en el concesionamiento de estos por

parte del Ministerio de Transportes para hacerlos parte de la Red de Carreteras del Estado. En Alicante el trazado de esta vía cruza la provincia principalmente en sentido norte – sur, estando paralelo a la costa en la zona media de la provincia. La mayoría del tramo es a cuatro carriles, dos en sentido sur y 2 en sentido norte; tuvo cobro de peajes hasta el año 2019, cuando se terminó el contrato de concesión (Anexo 1 - Plano N°1).

El tramo vial San Juan – Altea, fue concesionado en el año de 1972 a la empresa AUMAR (actual Abertis), e inaugurado en agosto del año 1976. El trazado es cercano al que los romanos instauraron como calzada en el siglo I, la cual era parte de la variante de la vía *Augusta*, llamada vía *Dianium*, que unía a *Denia* con *Lucentum* por la costa (Rubio E. 2010). En la construcción de la autopista y solo para este segmento, se calculó un movimiento de tierras superior a los diez mil millones de metros cúbicos, para un total de 45 kilómetros asfaltados (R.T.V.E., 1976).

En la época de construcción, al no existir una legislación que exigiera la protección del medio ambiente, como si la hay en la actualidad, los impactos negativos no tenían el peso en la legislación que tienen hoy y los lineamientos en materia de obras civiles eran la prioridad durante la planeación de los trazados, su construcción, uso y mantenimiento (Ley 51/1974 de carreteras); aunque si se contaba con el Decreto 26 de expropiación forzosa vigente desde el año 1957. Solo a partir del año 1980 se empiezan a implementar metodologías para la evaluación de proyectos de inversión de carreteras, es decir, sobre la evaluación completa de costes – beneficios, que tenían someramente en cuenta la incidencia de los proyectos sobre el medio ambiente (M.O.P.U., 1980).

4. Marco legal

La Constitución Española en el artículo 45 prevé la protección del medio ambiente como labor de los poderes públicos, velando por la utilización racional de todos los recursos naturales con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva. También hace asumir a las CCAA las competencias en la gestión en materia de protección del medio ambiente, como se estipula en el artículo 148.1.9.

Por otra parte, la Directiva Comunitaria 85/337/CEE considera que los efectos de un proyecto sobre el medio ambiente deben evaluarse para proteger la salud humana, contribuir mediante un mejor entorno a la calidad de vida, velar por el mantenimiento de la diversidad de especies y para conservar la capacidad de reproducción del sistema como recurso fundamental de la vida. Esta Directiva fue modificada por las Directivas 97/11/CE y 2003/35/CE, y para su aplicación en la legislación española se aprobó el RDL 1302/1986 y el RD 1131/88. Posteriormente, el decreto que aprobó el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental, RDL 1/2008 derogaba el RDL 1302/1986, aunque luego fue modificado por la Ley 6 del año 2010. Actualmente la Ley 21/2013 es el marco jurídico que desarrolla toda actividad relativa a la Evaluación Ambiental.

La Ley 21 de Evaluación Ambiental, aprobada el 11 de diciembre del año 2013 tiene por objeto de que se prevengan, mitiguen y compensen los impactos negativos sobre el medio ambiente a través de una correcta evaluación de los impactos ambientales de los proyectos. Los proyectos de infraestructura de transporte de autopistas y autovías, así como de carreteras convencionales de nuevo trazado o duplicaciones de calzada de otras existentes que superen una longitud de 10 kilómetros, y las líneas de ferrocarril para tráfico de largo recorrido que superen también una longitud de 10 kilómetros, deben someterse a la denominada “Evaluación de Impacto Ambiental Ordinaria”, mientras que las carreteras y obras ferroviarias que no cumplan los criterios descritos en la ley o se planeen fuera del ámbito de competencia estatal, deberán cumplir las respectivas normativas autonómicas.

La Ley 37/2015, establece el régimen jurídico aplicable a carreteras. Define los tipos de carreteras, las competencias de las administraciones responsables, los procedimientos de planificación, construcción, conservación y explotación, así como las normas de seguridad vial; también instaura la obligación de realizar la Evaluación de Impacto Ambiental para los proyectos de construcción, ampliación o mejora de carreteras que puedan tener efectos significativos en el medio ambiente.

A nivel autonómico, el Decreto Legislativo 1 del 18 de junio del año 2021 que aprueba el texto refundido de la Ley 5 del 25 de julio de 2014 sobre Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, en la Comunidad Valenciana (LOTUP.), redefine el concepto de paisaje, la manera de conservarlo y valorarlo, así como condiciona a éste la implantación de usos, actividades e infraestructuras; también exige Estudios de Paisaje, de Integración Paisajística o Programas de Paisaje, según el tipo de intervención. De hecho, los Estudios de Integración Paisajística pueden estar integrados en los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) en el marco de la evaluación de proyectos que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente y el paisaje; aunque también pueden ser formulados como un componente independiente. Dicho Decreto Legislativo tiene como referente el Convenio Europeo del Paisaje, elaborado por el Consejo de Europa y presentado oficialmente en Florencia el 20 de octubre del 2000, cuyo objetivo es promover la protección, gestión y planificación sostenible de los paisajes en Europa.

5. Delimitación del Área a Rehabilitar

A lo largo de la autopista AP-7 y concretamente en el tramo San Juan – Altea se observan grandes taludes expuestos. Estos elementos del paisaje se explican allí como una consecuencia más de las obras civiles. Esta área en concreto comprende el final peninsular de la cordillera Prebética, sistema montañoso con serranías cercanas a la costa en las que las obras de infraestructura lineal se han visto inexorablemente obligadas a esquivar la orografía más agreste y a hacer grandes excavaciones en el relieve para adecuar el trazado vial.

El tramo San Juan – Altea de la autopista del Mediterráneo, yendo en sentido sur – norte, comienza en las intersecciones y ramales donde termina la circunvalación de Alicante después de bordear la comarca del Campo de Alicante, en el sur del municipio de El Campello. Dicha circunvalación fue

inaugurada en el año 2007, y anterior a su construcción la autopista confluía en la vía A-70 en el municipio de San Juan de Alicante. La AP-7 discurre en este tramo por los municipios de El Campello, Villajoyosa, Finestrat, Benidorm, Alfaz del Pi y termina en el túnel de Mascarat en Altea. La longitud total es de 45 kilómetros.

A lo largo del trazado pueden contarse 12 taludes de carretera (Anexo 1 - Plano Nº 2). En algunas zonas los taludes están a ambos lados de la vía, mientras que en otros casos solo están en un sentido. Los taludes se concentran dentro de los límites administrativos de los municipios de El Campello y Villajoyosa, en las montañas que dividen la denominada “*Comarca Agraria Central*” (M.A.G.R.A.M.A. 2014); en esta área las serranías dividen las tierras productivas del Campo de Alicante y las áreas más llanas de cultivo de la Comarca de la Marina Baja. Entre las serranías que se localizan cercanas a la vía están: del Chichí, *Verdú*, Caldereta, Ballestera, *Moratella Grossa*, *Alt del Blanquinar*; y también los barrancos: *d’Aigües Baixes*, de la Solana, *del Pixador*, *de Castanyeta*, *del Carritzal*, *del Xarco* y *del Carabassot*. También se encuentra la cuenca y el embalse del río Amadorio.

5.1. Descripción de los Taludes

Para hacer la elección de la mejor área a rehabilitar se tuvieron en cuenta las características físicas que configuran el terreno y que proporcionan una idea espacial de cada talud, así como los siguientes criterios técnicos:

1. El tamaño del talud tendrá que ser lo suficientemente grande para que sea representativo del proyecto, pero no demasiado, ya que este se entiende como una prueba piloto para este tramo vial.
2. En el talud no deben haberse llevado a cabo actividades de estabilización previas que hayan alterado la dinámica después de la obra, estas pueden ser: muros de contención, cubriciones con mallas, cubriciones con cementos, vallas, etc. Así como también, donde se presuman acciones mitigadoras de impactos como siembras o plantaciones.
3. Se tendrá en cuenta la cercanía a áreas con alguna categoría de protección estatal, autonómica o provincial que hagan parte de la infraestructura verde y de los corredores ecológicos.

A continuación (Tabla 1), se presenta una matriz que agrupa las características físicas de cada talud, y posteriormente una descripción de cada uno de ellos, con el fin de definir cuál sería el más adecuado en el que proponer el proyecto de rehabilitación ecológica.

Tabla 1. Comparativa de taludes. *Longitud que tiene el talud en toda su base a lo largo de la vía. **Altura medida perpendicularmente desde la base hasta el punto más alto que alcanza el talud. ***Pendiente promedio del área completa del talud. Cálculos hechos desde la proyección de capas y análisis de datos del programa QGIS. Fuente: Elaboración propia.

	Área	Perímetro	Longitud*	Altura máxima**	Pendiente promedio***		Cercanía a Infraestructura verde
	(m ²)	(m)	(m)	(m)	(%)	(°)	
Talud Nº 1	41875,0	1079,0	460	78,33	53,42	28,11	No
Talud Nº 2	29895,0	1607,0	709	53,18	54,27	28,49	Si
Talud Nº 3	13775,0	545,0	230	49,78	44,27	23,88	Si
Talud Nº 4	27597,0	1936,0	926	36,53	73,79	36,42	Si
Talud Nº 5	6015,0	753,0	358	32,24	54,05	28,39	No
Talud Nº 6	10448,0	1593,0	788	25,94	58,41	30,29	Si
Talud Nº 7	3850,0	827,0	411	13,59	56,46	29,45	Si
Talud Nº 8	2197,0	662,0	321	14,24	66,32	33,55	No
Talud Nº 9	1940,0	461,0	228	10,36	57,97	30,10	No
Talud Nº 10	3464,0	375,0	181	32,9	79,95	38,64	No
Talud Nº 11	6046,0	1046,0	517	9,73	45,04	24,25	No
Talud Nº 12	1816,0	482,0	234	8,89	37,21	20,41	Si

Talud Nº1. Es el más cercano a la zona urbana del municipio de El Campello, en la Partida de *La Coixeta*. Es el talud de mayor tamaño y de mayor altura, también presenta una cobertura representativa de entre un 30% a 40% de pequeñas herbáceas por toda la superficie. Existen algunas zonas escarpadas en la mitad superior, a la vez que áreas más planas en la mitad inferior. Da la impresión de ser un talud que nunca ha sido intervenido en el que las especies circundantes a él han podido colonizar el espacio, aunque no en igual densidad y el socavón se mantiene en evidencia (Anexo 2 - Talud Nº1).

Frente a este talud existe otro que fue descartado por su altísima pendiente y porque ha sido cubierto con una malla metálica de triple torsión de poco diámetro, posiblemente para evitar desprendimientos de roca fina. También cuenta con una valla de contención con reja metálica tras la bionda en la base del talud. Se presume de un talud estructuralmente estable. (Anexo 4 – Foto 1).

Talud Nº2. Es un talud que también posee un gran tamaño, aunque poca altura, es decir, su perímetro es más amplio y se extiende más a lo largo de la vía. En él se encuentran especies leñosas como el *Eucalyptus camaldulensis* (Eucalipto) y el *Pinus halepensis* (Pino carrasco), estos últimos con menor porte. Por lo que se puede ver desde la vía y luego confirman las imágenes satelitales, es que en algún momento se llevaron a cabo plantaciones de estas especies en el talud, ya que en el terreno circundante no se aprecian las mismas densidades de arbóreas y porque también se ve cierto patrón de plantación.

La cobertura vegetal está en torno al 50%, de los cuales las especies arbóreas podrían estar ocupando entre un 15 y 20% de la superficie (Anexo 2 - Talud N°2).

Talud N°3. Diferente al número 2, este es un talud con dimensiones más compactas, pero igual que el anterior posee especies arbóreas plantadas en su superficie. Las leñosas en este caso ocupan entre un 30 y 40% y las herbáceas son poco representativas (Anexo 2 - Talud N°3).

Talud N°4. Es un talud de gran área y longitud, buena parte de este posee alta pendiente. Haciendo un análisis más detallado se puede ver que la mitad sur del talud ha sido reforzada en algunas áreas con franjas horizontales de mallas hexagonales de triple torsión, que sirven principalmente para evitar desprendimientos, y en algunas zonas estas han sido guarnecidas con cemento. En la mitad norte, donde la pendiente es menos pronunciada se evidencia el mismo manejo que se le dio a los taludes 2 y 3, pero con un menor éxito de supervivencia de las leñosas (Anexo 2 - Talud N°4).

Talud N°5. Es un talud relativamente pequeño, donde ningún factor de los valorados es muy elevado o bajo. (Anexo 2 - Talud N°5). No se ven especies leñosas dentro del talud, solo algunas arbustivas al pie de este. Algunas de ellas son la *Pistacia lentiscus* (lentisco), *Rhamnus lycioides* (espino negro) y *Quercus coccifera* (coscoja). En el talud se pueden identificar herbáceas como el *Lygeum spartum* (albardín), la *Stipa tenacissima* (esparto) o el *Brachypodium retusum* (lastón).

Frente a este talud existe otro que fue descartado por su altísima pendiente y porque ha sido cubierto con una malla metálica de triple torsión, también cuenta con una barrera de contención de hierros en la base (Anexo 4 – Foto 2).

Talud N°6. Posee una altura máxima intermedia y se presume por su morfología una altura favorable en toda su extensión, no llegando a los 10 metros en promedio, dado el gran perímetro. La longitud de su base sobre la vía es considerable y con diferentes valores de pendientes en toda su superficie. Se encuentran algunos arbustos de *Pistacia lentiscus* (lentisco) en el pie del talud, aunque allí predominan las herbáceas perennes. La mayor parte del talud es suelo desnudo con pequeñas hierbas dispersas (Anexo 2 - Talud N°6).

En frente de este talud se encuentran dos más que en principio no fueron considerados para su evaluación dada su poca extensión, poca definición de estos en las imágenes satélite y aparentemente poca pendiente. Sin embargo, viendo las imágenes a pie de carretera también pudieron hacerse tomado en cuenta dentro de este análisis (Anexo 4 – Foto 3).

Talud N°7. Talud de pequeñas dimensiones que se encuentra desprovisto entre un 80 a 90% de cobertura vegetal. La escasa vegetación se compone de *Lygeum spartum* (albardín o falso esparto) y otras herbáceas de pequeño tamaño. En la base del talud se encuentran algunos elementos arbustivos como la *Retama sphaerocarpa* (retama), la *Pistacia lentiscus* (lentisco) y el *Pinus halepensis* (pino carrasco) entre la hierba perenne (Anexo 2 - Talud N°7).

Talud N°8. Es el que posee menor área de todos, también poca altura y zonas de alta pendiente. En la zona central se nota una mayor concentración de herbáceas y a lo largo del pie de talud se hayan algunas especies arbustivas. En la parte más al este, el talud es cruzado por un puente que comunica

las partidas de “Charco Carrich” y “Roncallosa Mora” del municipio de Villajoyosa, divididas por la Autopista del Mediterráneo (Anexo 2 - Talud N°8).

Talud N°9. Talud de pequeñas dimensiones cubierto entre un 15 a 20% por pequeñas hierbas y con individuos de la especie *Retama sphaerocarpa* en la parte baja del talud (Anexo 2 - Talud N°9).

Talud N°10. Es un talud compacto, que fue construido al romper el lado sureste de una pequeña montaña cubierta de espato y albardín entre las partidas de la “Roncallosa Mora” y “Plans Pileta”. La montaña tiene un pequeño canal recolector de agua que bordea a mediana altura más de la mitad de su circunferencia y que divide por la parte central al talud. En este canal se han establecido especies arbustivas y herbáceas, más abundantes que en el pie del talud. Este es un talud descartable, ya que posee una altísima pendiente que condiciona el éxito de una posible restauración (Anexo 2 - Talud N°10).

Talud N°11. El talud posee un gran perímetro en comparación con su altura (Anexo 2 - Talud N°11). Hay poca cobertura vegetal en su superficie y a pesar de tener un pie de talud muy reducido, en la cuneta se observan especies como la invasora *Acacia retinoides* (mimosa) y la *Pistacia lentiscus* (lentisco).

Talud N°12. Es el talud con menor altura y pendiente. En su pie de talud abundan las herbáceas. Es el talud más cercano a una zona húmeda, cerca al río Amadorio, rodeado de cultivos y balsas de riego, además es colindante con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Villajoyosa (Anexo 2 - Talud N°12). Frente a este talud se encuentra otro que posee las mismas características pero que se descartó por poseer un área mucho menor.

5.2. Elección del Talud

Siguiendo los criterios establecidos, el talud número 1 posee una gran extensión que como propuesta piloto de restauración no sería conveniente proponer en él. Por su parte, los taludes 2, 3 y 4 han sido intervenidos con especies arbóreas que interferirían con la linealidad del proyecto de rehabilitación que se pretende plantear; además, el talud 4 ha sufrido intervenciones que impedirían la realización de un proyecto en él. El talud 8 tiene un reducido tamaño y parte de este está dividido por un viaducto. Los taludes 7, 9 y 12 resultan particularmente pequeños para ser tenidos en cuenta, asimismo en el último se tendría que valorar la cercanía a zonas húmedas, lo que alteraría los posibles resultados y no los haría homologables al resto del tramo. El número 10 posee alta pendiente y está dividido en dos por una acequia. En el talud número 11 no sería realista hacer una propuesta por contar con tan poca altura. Por lo anterior, se concluiría que los **taludes 5 y 6** presentan las condiciones más apropiadas para formular el proyecto.

Si finalmente evaluamos la cercanía de los taludes a la infraestructura verde, el 3 y el 12 estarían dentro de las delimitaciones de dos corredores territoriales, el primero dentro del corredor terrestre *Cabeçó d'Or-Amadorio-Litoral*, y el segundo hace parte del corredor fluvial *Riu Amadòrio (Esborrany – P.A.T.C.C., 2019)*; ambos taludes descartados previamente. También los taludes 2, 4 y 7 se encuentran

relativamente cerca del corredor terrestre antes nombrado, mientras que el talud N°6 es colindante con él y con el solapado monte de utilidad pública de “Caldereta y Rastrillera” integrado a la infraestructura verde (Montes de Utilidad Pública de la CV, 2015). Por otra parte, el talud N°5 queda aislado del corredor, cerca al área residencial Lanuza y a una distancia de menos de 1,5 km de la planta de tratamiento de residuos “Las Cañadas” (Anexo 3 - Mapa N°1).

Con lo expuesto anteriormente el **talud N°6** sería el terreno potencial para formular el proyecto. Este talud presenta una variabilidad de pendientes que puede servir para comparar la eficacia de la rehabilitación según este factor y en este tipo de suelos. Se ubica en el punto más cercano al mar de todo el tramo vial San Juan – Villajoyosa, por lo que está incluido en el Plan de Acción Territorial de Infraestructura Verde Litoral, en la categoría 1, como suelo no urbanizable de protección litoral; además de encontrarse en medio de dos corredores ecológicos, el barranco del *Carritxal* al sur y el barranco del *Xarco* al norte, a 250 m y a 630 m respectivamente (P.A.T.I.V.E.L., 2018). También se destaca en ese punto un trazado prácticamente paralelo a la vía Nacional N-332 y a la vía férrea del TRAM *Metropolità d'Alacant*, concretamente la línea 1 que comunica Alicante con Benidorm; por lo que en una línea de menos de 130 metros de longitud encontramos las tres vías, pudiéndose plantear en un futuro en ellas, proyectos similares a este (Anexo 1 - Plano N°3).

6. Descripción del Medio Natural

6.1. Área y Unidades Ambientales

El talud seleccionado se sitúa en el kilómetro 666 de la autopista del Mediterráneo AP-7, en las coordenadas 38°29'20.3"N 0°17'43.4"W (38.48897985 -0.29539695), partida rural menor de *Tossal del Mar*, al sur del municipio de Villajoyosa, comarca de la Marina Baja, en la provincia de Alicante. Se encuentra a 350 m de la costa y a unos 5.5 km en línea recta de la desembocadura del río Amadorio, perteneciendo al ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Posee una superficie de 10448 m², una altura promedio de 54 msnm, con pendientes superiores al 50% o 26,5° que en algunas áreas de la zona media alcanzan el 80% o 38,6° (Anexo 4 – Foto 4).

En su área circundante se identifican 4 zonas diferenciables entre sí, que fueron agrupadas al adoptar como criterio de partida el de la cobertura predominante, donde cada superficie posee determinadas características que las hace homogeneizables. La información viene definida de la Cartografía de Ocupación del Suelo de la Comunitat Valenciana (COSCV), que integra información de las zonas agrícolas (SIGPAC) y de las zonas forestales (PATFOR), resultando las siguientes agrupaciones espaciales, entendidas también como *Unidades Ambientales* (Anexo 3 - Mapa N°2):

U.A. N°1) Repoblaciones: Se trata de superficies en las que en décadas anteriores se llevaron a cabo repoblaciones de especies leñosas que pudieran adaptarse a las difíciles condiciones ambientales. Tratándose principalmente de coníferas, que sobre todo se encuentran en las laderas de umbría cercanas al talud (Anexo 4 – Foto 5).

U.A. N°2) Pastizal: Tiene predominio en el área de solana adyacente al talud, orientada hacia el sur y sureste. Está compuesto por algunos arbustos dispersos y predominan las gramíneas bien adaptadas a la sequía (Anexo 4 – Foto 6).

U.A. N°3) Cultivos: Son espacios llanos y bien cuidados en los que exclusivamente se encuentran almendros y olivos, sus propietarios los han provisto con verjas que los circundan (Anexo 4 – Foto 7).

U.A. N°4) Bancales abandonados: Antiguas zonas de cultivo en las que han podido asentarse de manera dispersa especies arbustivas y arbóreas, pero tienen hegemonía caméfitos y cespitosas (Anexo 4 – Foto 8).

U.A. N°5) Talud: Área a rehabilitar. Es principalmente una zona desprovista de vegetación, sólo algunas herbáceas han podido colonizar determinados espacios, aunque en el pie del talud se han asentado bien, junto a algunos lentiscos. En diferentes zonas del talud se aprecian surcos erosivos que se han formado en los suelos más blandos de la pendiente.

6.2. Geología

La provincia de Alicante se encuentra dentro de la Cordillera Bética, donde dos terceras partes de su territorio son una fracción de las Zonas Externas de esta, haciendo parte de la unidad geológica Prebética. En la zona de interés, desde el norte de la comarca del Alacantí hasta las partidas rurales del sur de Altea, afloran materiales del Cretácico, que dan lugar al relieve montañoso como consecuencia de la colisión entre las placas africana y euroasiática que se aproximan a una velocidad de entre 4 y 5 mm cada año (Estévez. A et al., 2004).

6.3. Litología

El tipo de unidades de roca que se encuentran en la zona del talud son principalmente una alternancia de margas y calizas, es decir, son rocas sedimentarias formadas desde antes de emerger del margen continental sudibérico, durante el Triásico (200 a 250 M.a. atrás aprox.) hasta el Mioceno inferior (20 M.a. atrás aprox.) (Vera, 2004). Están compuestas en su mayoría por calcita (carbonato cálcico: CaCO_3) y arcillas (illita, caolita y goetita). En términos geotécnicos estos materiales constituyen el Flysch Campello – Villajoyosa, al poseer una alternancia de capas duras (calizas) que se intercalan con otras más blandas (margas). Los taludes en los Flysch carbonatados se caracterizan por una gran inestabilidad, por lo que la mitigación es fundamental para evitar la degradación ambiental de las litologías que los conforman (Cano González, 2013). (Anexo 3 – Mapa 3).

6.4. Edafología

El suelo en toda la zona es pardo calizo sobre material no consolidado, que son todos aquellos suelos con carbonato cálcico libre en su perfil y constituídos sobre sedimentos calizos, siendo suelos poco desarrollados. En zonas accidentadas con este tipo de suelos su aprovechamiento es eminentemente

forestal, y en topografías suaves son comunes las terrazas artificiales en las que entre otras especies crecen los almendros. Están constituidos por rocas blandas de textura, estructura, consistencia y composición química y mineralógica muy variables. En este tipo de suelos, cuando hay alternancia con las margas otros materiales, la morfología del terreno se hace tanto más accidentada y abrupta cuanto mayor sea la importancia y constitución de estos otros materiales y más intensos hayan sido los plegamientos sufridos (Guerra et al., 1966). De acuerdo con la clasificación taxonómica de suelos del USDA-NRCS, el suelo del área del talud es del orden Aridisol, suborden Orthid, grupo Calciorthid (MAGRAMA. 2014).

6.5. Estructuras de Plegamiento

En el área del talud se encuentran este tipo de curvaturas, producidas por los esfuerzos tectónicos. Concretamente se trata de un sinclinal a la par de la costa, que se extiende desde El Campello a Villajoyosa. El plegamiento, diferente a la falla, sucede en condiciones donde los materiales son más plásticos, arqueándose. Los sinclinales se identifican por tener los estratos más recientes en el núcleo del pliegue cóncavo; si el plegamiento fuera convexo se trataría de un anticlinal (Tarbuck et al., 2005). A menos de dos kilómetros al noroeste del talud y paralelo al sinclinal, se extiende longitudinalmente un anticlinal, que abarca desde el área rural del municipio de Muchamiel hasta Villajoyosa, a la altura del embalse del río Amadorio (Anexo 3 – Mapa 3).

6.6. Bioclimatología

Siguiendo los datos tabulados con el *diagrama bioclimático Walter-Lieth* (Anexo 5 – Diagrama N°1), calculado para Villajoyosa durante 17 años, la precipitación se estima en 331 mm/año, la temperatura media anual de 17.94°C, con 23.51 y 12.38°C de temperatura máxima promedio anual y temperatura mínima promedio anual respectivamente (Global Bioclimatics Organization, 2018). El periodo húmedo se presenta de noviembre a enero, siendo más acusado en octubre, mientras que el resto del año se entiende como un periodo seco en el que los momentos de más déficit hídrico se corresponden con los de mayor temperatura, julio y agosto. El mes más frío es enero con una temperatura mínima promedio de 5.8°C y una máxima promedio de 16.6°C. Las temperaturas absolutas máxima y mínima registradas son de 35.5°C y 1.4°C. La evapotranspiración potencial anual roza los 900 mm. Por otra parte, la probabilidad de heladas es nula y el periodo de actividad vegetal puede darse durante todo el año.

Según la información suministrada por la estación meteorológica de Villajoyosa, en los últimos 10 años (2014-2024) la temperatura media anual ha sido de 18.8°C, la máxima y mínima promedio de 23.17°C y 13.81°C, respectivamente; la evapotranspiración de referencia se estima apenas por encima de los 900 mm/año. En términos generales, estos datos son muy semejantes a los anteriores, pero el valor de la precipitación anual sí que varía, ya que se registran 241.5 mm promedio en la última década (SIAR. 2024), lo que sería un indicador de cambios importantes en el medio.

De acuerdo con el diagrama y la clasificación bioclimática de Rivas-Martínez, el ombrotipo, obtenido de los valores de la precipitación y de las comunidades vegetales potenciales, fue de 1.54, es decir

“Semiárido” (Alcaraz FJ. 2013). En cuanto al termotipo, obtenido a través del índice de termicidad compensado, fue de 403 ($I_{tc} = (T^{\circ} \text{ media} + T^{\circ} \text{ máxima del mes más frío} + T^{\circ} \text{ mínima del mes más frío}) * 10$), es decir, “Termomediterráneo” (Rivas-Martínez, 1987). Por consiguiente, el piso bioclimático equivalente es el “*Termomediterráneo Semiárido*”.

6.7. Vegetación Potencial y Actual

Para llegar al tipo de **vegetación potencial** en la zona de estudio es pertinente saber la clasificación fitogeográfica en la que se configuran las unidades ambientales. Se trata, de menor a mayor, del *subsector Alicantino*, en el *sector Alicantino-Murciano* de la *provincia Murciano-Almeriense*, que a su vez hace parte de la *superprovincia Mediterráneo-Iberolevantina* en la *región Mediterránea*. En donde existen diversos endemismos e ibero-africanismos, que han evolucionado adaptándose a las escasas precipitaciones de un largo periodo estival y con temperaturas muy elevadas, en suelos poco profundos y carbonatados cercanos al mar.

A su vez, la serie de vegetación climatófila desde la que se entendería la propuesta de intervención, es la *Termomediterránea murciano-almeriense* y *alpujarreña semiárida de Pistacia lentiscus*, también conocida simplemente como la serie de vegetación de lentiscales, concebida como la vegetación potencial de la zona. Según Rivas-Martínez las siguientes son las etapas de regresión y los bioindicadores de la serie (Tabla 2):

Tabla 2. Etapas de regresión del lentiscar (Rivas-Martínez, 1987).

Nombre de la serie	Murciano-almeriense del lentisco
Árbol o arbusto dominante	<i>Pistacia lentiscus</i>
Nombre fitosociológico	<i>Chamaeropo-Rhamneto lycioidis signetum</i>
I. Bosque	-
II. Matorral denso	<i>Rhamnus lycioides</i>
	<i>Chamaerops humilis</i>
	<i>Pistacia lentiscus</i>
	<i>Asparagus albus</i>
III. Matorral degradado	<i>Sideritis leucantha</i>
	<i>Teucrium carolipau</i>
	<i>Thymus ciliatus</i>
	<i>Astragalus hispanicus</i>
IV. Pastizales	<i>Stipa tenacissima</i>
	<i>Helictotrichum murcicum</i>
	<i>Stipa capensis</i>

En la Tabla 2 se exponen las series de vegetación que se sucederían por su evolución, o ante la degradación en este piso biogeográfico. El clímax de la sucesión o punto máximo que se puede

alcanzar, donde hay un estado de equilibrio dinámico, sería en este caso el de *matorral denso*, cuando se permanece estable y bien desarrollado. En el punto opuesto estarían los *pastizales*, que en estabilidad tendrían menos recursos y una mayor competencia por estos entre las especies vegetales que los conforman. El *matorral degradado* estaría en un punto intermedio.

En cuanto a la **vegetación actual**, a continuación se describen de forma generalizada las intervenciones más representativas que se han podido implementar en las diferentes unidades ambientales a lo largo del tiempo y que como resultado se encuentren determinadas asociaciones de especies en ellas, con el correspondiente listado de especies encontradas *in situ*. La identificación se elaboró en dos momentos del año, la primera durante el otoño (noviembre) y la segunda en verano (julio).

U.A. Nº1) Repoblaciones: A mediados del siglo XX, en España, se llevaron a cabo grandes repoblaciones de *Pinus halepensis* con el objetivo de recuperar la cubierta vegetal y promover la silvicultura; se creía que los bosques de pinos constituían la vegetación potencial. A finales del siglo XX e inicios de los años 2000 es cuando cambia la noción y se integran aspectos centrados en la diversidad y la recuperación integral del ecosistema. Las repoblaciones en la provincia de Alicante hoy en día suponen el 80% de la superficie forestal arbolada (Maestre, et al 2004). En el año 1987 el ICONA afirmaba que las repoblaciones de *Pinus halepensis* eran viables, pero que por la torrencialidad y aridez del territorio debían efectuarse con suma prudencia, evitando aterramientos; mientras que en las tablas de juicio biológicas sobre repoblaciones también se apuntaba que era dudosa la repoblación con otras especies, los *Eucalyptus* sp. (Rivas-Martínez, 1987).

Listado de especies:

Arbóreas

- *Pinus halepensis*, Pino carrasco.
- *Eucalyptus spp.*, Eucalipto.

Arbustivas

- *Pistacia lentiscus*, Lentisco.
- *Olea europea*, Olivo.
- *Rhamnus lycioides*, Espino negro.
- *Globularia alypum*, Bocha.
- *Ruta angustifolia*, Arruga.
- *Ulex parviflorus*, Aulaga morisca.

Herbáceas:

- *Lygeum spartum*, Albardín.
- *Stipa tenacissima*, Esparto.
- *Brachypodium retusum*, Lastón.

En esta unidad se pueden identificar con claridad las repoblaciones, que incluyen también algunos ejemplares de eucaliptos cada tanto entre los carrascos, y el lastón abunda en el sotobosque entre las acículas secas en el suelo. Se encontraron también lentiscos y olivos próximos a los pinos, pudiendo deberse a una acción que busca la renaturalización de las poblaciones forestales, al tratarse de un monte gestionado por la Generalitat. Estos bosques de coníferas no ocupan con su dosel la totalidad de la cobertura del terreno, por lo que en las áreas abiertas predominan las especies de menor tamaño, principalmente el lastón, el albardín, el esparto y la globularia.

U.A. N°2) Pastizal: Es una unidad históricamente intervenida por el ser humano. La especie vegetal dominante es la *Stipa tenacissima*, herbácea perenne que puede alcanzar una altura aproximada de un metro, gracias a sus largas “*macollas*” (llamados también cepellones) de crecimiento radial que al morir se acumulan en la planta otorgándole una forma congestionada, predominante en la mitad inferior. Su ambiente óptimo es principalmente en las superficies semiáridas, soportando las sequías. Los espartales han estado íntimamente ligados al ser humano, ya que se cultivaba para obtener su fibra para la fabricación de pasta de papel, cuerdas y los más variados utensilios. Su aprovechamiento fue desde hace no menos de 4000 años hasta mediados del siglo XX. (Maestre et al., 2007).

Listado de especies:

Arbustivas

- *Rhamnus lycioides*, Espino negro.
- *Rosmarinus officinalis*, Romero.
- *Ephedra fragilis*, Efedra.
- *Salsola genistoides*, Boja negra.
- *Globularia alypum*, Bocha.
- *Asparagus horridus*, Esparraguera.
- *Ulex parviflorus*, Aliaga.

Herbáceas:

- *Stipa tenacissima*, Esparto.
- *Lygeum spartum*, Albardín.
- *Brachypodium retusum*, Lastón.
- *Elaeoselinum tenuifolium*, Hinojo de monte.
- *Pennisetum setaceum*, Rabo de gato.
- *Fagonia cretica*, Abrojo de creta.

Las comunidades de espartos o espartales son formaciones vegetales abiertas, su estructura puede ser muy variable, aunque para el caso de estudio, al ser una unidad altamente antropizada se ha mantenido cierto orden de distribución, siendo probable que se trate de poblaciones plantadas. Su forma de cultivo era extrayendo de su entorno otras plantas que llegaran a ser su competencia, lo que originó que en el paisaje actual se puedan apreciar surcos de sembradío. En sitios donde la *Stipa* ha colonizado, la distribución es de manchas con forma y tamaño heterogéneo, esta última condición podía

estar limitada a la morfología del terreno y al nivel de competencia con otros individuos (Maestre et al., 2007). En la parte alta de la montaña siendo aún espartales, se pueden encontrar eucaliptos replantados de tronco muy fino, a la vez que carrascos de muy poca altura. Es evidente que se intentó seguir el patrón de plantación que en la unidad ambiental N°1, pero con poco éxito, situación atribuible por estar en la solana de la montaña donde la humedad es significativamente menor.

U.A. N°3) Cultivos: De acuerdo con la clasificación de uso del suelo, los cultivos que se encuentran en esta unidad ambiental son frutales de secano con regadío, que en su conjunto en la comarca central agraria suponen 3510 ha, de las cuales 91 ha se encuentran en el municipio de Villajoyosa. Estos cultivos se centran mayoritariamente en un área de transición entre las zonas montañosas y las áreas urbanizables (MAGRAMA. 2014).

Listado de especies:

Arbóreas:

- *Prunus dulcis var. dulcis*, Almendro.

Arbustivas:

- *Olea europea*, Olivo.

Al norte de los cultivos cruza la sèquia Xarco Carritxal, que probablemente es con la que se riegan los cultivos de la zona. Las áreas de cultivo en la provincia de Alicante están históricamente ligadas a las construcciones para el regadío, la mayoría de los investigadores coinciden en afirmar que la estructura de la huerta de Alicante obedece a un diseño islámico (Martínez, 2012).

U.A. N°4) Bancales abandonados: Son zonas históricamente convertidas. Se trata de terrazas de cultivo que fueron construidas tanto en laderas como en vaguadas, consideradas hoy en día marginales, que entraron en desuso a mediados del siglo pasado principalmente en zonas de poca disponibilidad hídrica, ante la aparición de nuevas tecnologías agrarias y por la expansión urbana. Muchas de ellas en proceso de abarrancamiento que pierden la función de retener suelo y agua (Marco y Morales, 1995).

Listado de especies:

Arbóreas:

- *Prunus dulcis var. Dulcis*, Almendro.

Arbustivas:

- *Pistacea lentiscus*, Lentisco.
- *Olea europea*, Olivo.
- *Ephedra fragilis*, Efedra.
- *Asparagus horridus*, Esparraguera.
- *Globularia alypum*, Bocha.
- *Artemisa lucentica*, Artemisa.
- *Dittrichia viscosa*, Olivarda.
- *Salicornia ramosissima*, Hierba salada.

- *Salsola genistoides*, Boja negra.
- *Sedum Sediforme*, Uña de gato.
- *Arthrocnemum macrostachyum*, Almajo.
- *Phagnalon saxatile*, Manzanilla yesquera.

Herbáceas:

- *Brachypodium retusum*, Lastón.
- *Stipa tenacissima*, Esparto.
- *Lygeum spartum*, Albardín.
- *Elaeoselinum tenuifolium*, Hinojo de monte.
- *Silybum marianum*, Cardo mariano.
- *Lapiedra martinezii*, Flor de la estrella.

En algunas áreas de bancales, todavía se pueden encontrar almendros y olivos, que fueron explotados en el pasado. Actualmente, también se observan formaciones de lentiscos. Gran parte del terreno está dominado por bochas y lastón. Es importante señalar el deterioro evidente de las terrazas, ya que, en las laderas formadas por margas, son comunes las pequeñas cárcavas, la erosión en surcos y los fenómenos de erosión en túnel. Como en la mayoría de los afluentes del río Amadorio, en las terrazas de cultivo abandonadas, los muretes de piedra se desmoronan progresivamente debido a pequeños deslizamientos. La repetición de estos deslizamientos provoca la sustitución del escalonamiento brusco, característico de las terrazas, por una sucesión de rellanos separados por taludes (Marco y Morales, 1995).

U.A. N°5) Talud: Al ser un terreno desprovisto de suelo pocas especies han podido asentarse en el talud, lo han hecho el lastón, el esparto y la bocha. En la parte de pie de talud, sobre la cuneta de drenaje, sí que se encuentra cubierto casi en su totalidad, hallando mayoritariamente las especies anteriormente nombradas, además de algún lentisco (*Pistacea lentiscus*) y observando con detenimiento, alguna palma datilera (*Phoenix dactylifera*).

Listado de especies:

Herbáceas:

- *Brachypodium retusum*, Lastón.
- *Globularia alypum*, Bocha.
- *Stipa tenacissima*, Esparto.

6.8. Especies Invasoras y Amenazadas

De acuerdo con el “Banco de Datos de la Biodiversidad de la Comunidad Valenciana” (B.D.B.C.V., 2024) existen 4 especies invasoras diseminadas en el territorio donde se encuentra el talud, así como también una especie catalogada como “casi amenazada” en la “Lista Roja de la Flora Vasculare Española” del año 2008 (Moreno, 2008):

- *Acacia cyclops*: Decreto Control de Especies Exóticas Invasoras de la Comunidad Valenciana · Anex II.
- *Acacia saligna*: Decreto Control de Especies Exóticas Invasoras de la Comunidad Valenciana · Anex I · Anex II.
- *Opuntia ficus-indica*: Decreto Control de Especies Exóticas Invasoras de la Comunidad Valenciana · Anex II.
- *Pennisetum setaceum*: Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras · Anexo I (Catálogo Especies Exóticas Invasoras). Decreto Control de Especies Exóticas Invasoras de la Comunidad Valenciana · Anex I.
- *Thymus moroderi*: Lista roja de Flora Vasculare · Casi amenazada (NT).

6.9. Ecosistema de Referencia

Históricamente el sureste español ha sido un ecosistema fuertemente intervenido, por lo que encontrar un hábitat prístino de referencia es imposible y es preferible buscar un entorno cercano al área a intervenir y que sea el más estable ante las perturbaciones. Al hacer la búsqueda de un entorno de referencia y revisando las unidades ambientales, son descartables las áreas de cultivo y de bancales abandonados. Por lo que las dos unidades analizadas son las repoblaciones y el pastizal.

Las plantaciones de *Pinus halepensis* en décadas anteriores fueron consideradas la mejor opción para repoblar el paisaje en el sureste español, por su alta adaptabilidad al entorno semiárido. También permiten percibir una mejora en los servicios ecosistémicos que ofrecen (Derak y Cortina, 2014). Sin embargo, al no ser la vegetación potencial, se ha cuestionado su implementación debido a: reducir la disponibilidad de agua y generar más escorrentía y erosión, siendo a largo plazo la cobertura arbórea en este entorno baja. Tampoco en un entorno dominado por el *Pinus halepensis* se promueve el establecimiento de especies sucesionales tardías, además de ser una especie que sufre brotes de plagas (Maestre y Cortina, 2004).

Por otra parte, los espartales, conformados principalmente por la especie *Stipa tenacissima*, son formaciones que se consideran estables, que sin perturbaciones promueven el establecimiento de especies leñosas de forma progresiva. Según diferentes investigaciones, recopiladas por Maestre et al. (2007), en zonas sin vegetación, el esparto modifica la topografía del lugar presentando en el suelo menor compactación, mayores contenidos de humedad después de las lluvias, mayor estructura y materia orgánica, mayor número de propágulos micorrízicos, glomalina y valores mayores de cociente C:N que en los espacios desnudos contiguos; también la sombra que produce atenúa la radiación y la temperatura, formando islas de recursos, alterando positivamente la distribución y desarrollo de un gran número de organismos. En la base de los espartos hay una mayor tasa de infiltración y es capaz de captar agua acumulada en las zonas de suelo desnudo. A su vez, los espartos están bien adaptados a la radiación, al desarrollar menor biomasa y tener un menor reclutamiento bajo la sombra (como bajo pinares) que en zonas abiertas en presencia de la radiación directa (Maestre et al., 2007).

Por lo anterior, el hábitat de referencia para la rehabilitación será el pastizal, para el que se priorizarán las especies a seleccionar y las interacciones que se presentan en su comunidad vegetal.

7. Causa y Tipo de Degradación

El movimiento de tierras para el trazado de la obra se convierte en la causa principal de la degradación, derivando en la modificación del paisaje, fragmentación del ecosistema, pérdida de suelo y la erosión propia de la declinación en el talud que estabiliza las tierras. Siguiendo los lineamientos de Navarro Cano, JA. y su equipo de trabajo (CSIC. 2017), el tipo de perturbación es severa, por lo que desde el primer momento se pierde todo tipo de vegetación vascular, a la vez que la capa edáfica en su conjunto, y las especies primocolonizadoras como los briófitos, líquenes y bacterias fotosintéticas quedan como las únicas comunidades de productores primarios. La degradación es tanto física como biológica. En el talud (desmonte) de carretera situado en el km 666 de la autopista del Mediterráneo, las condiciones desde la perturbación inicial han variado poco, es decir, a pesar de encontrarse cerca de entornos naturales (matriz) no se ha producido la regeneración o recolonización natural, más bien la tendencia es a propagarse la inestabilidad, favorecida por el tipo de materiales del terreno (margas y calizas). Y es que, a lo largo del perfil del talud, se presenta erosión laminar y en algunas zonas, regueros y pequeños desprendimientos (Anexo 4 – Foto 9).

8. Ejecución del Proyecto de Rehabilitación

8.1. Punto de Partida

Antes de definir un método de rehabilitación es pertinente recordar la relación que existe entre el suelo y la vegetación. Tanto la meteorización de la roca como el continuo establecimiento de plantas primocolonizadoras son procesos lentos que requieren de la retroalimentación de ambos. A medida que el suelo evoluciona, el tipo de cobertura vegetal también será más densa y aportará más sustratos orgánicos para que continúe el desarrollo edáfico (Navarro Cano, et al 2017).

En este sentido, una serie de limitaciones recopiladas por Tormo, J., et al (2009) se presentan en estos espacios impidiendo la colonización aunque muchas semillas lleguen de las áreas circundantes, como es previsible que se presente en el área a intervenir; esto se debe al tipo de talud, en este caso un desmonte en el que el material expuesto carece prácticamente en su totalidad de componente edáfico; así como de la alta pendiente, que en la zona media del talud supera el 80% o los 38,6°; también tiene implicancia la orientación geográfica, que estando principalmente al sur recibe más radiación y por consiguiente retiene menor humedad; y finalmente, el deterioro constante causado por la erosión que arrastra las semillas y perpetúa el deterioro de las propiedades edáficas y que conlleva altos niveles de compactación del material expuesto; por lo anterior, se configura un medio inviable para la restauración ecológica pasiva y deja un escenario adverso para intervenciones de siembra o plantación enfocadas a la restauración de la cobertura vegetal. A pesar de las limitaciones anteriormente referidas, no hay

que olvidar que el factor que más limita y modula la colonización vegetal en taludes de carretera en ambientes semiáridos es el estrés hídrico.

8.2. Método de Rehabilitación

El Programa de Acción Nacional contra la Desertificación, que inventaría las diferentes tecnologías disponibles para luchar contra la desertificación (PAND, 2008), detalla las siguientes técnicas para la estabilización de taludes: mallas, redes y mantas orgánicas e inorgánicas para el control de la erosión, hidrosiembra, mulches, estabilizantes para el suelo, ácidos húmicos y fúlvicos, instalación de bulones de doble protección, y el gunitado de hormigón.

Al ser el enfoque de restauración ecológica el que prima en este proyecto, se han descartado varias de las soluciones anteriores y que conllevan una base netamente geotécnica, como son el uso de mallas y redes sintéticas, la instalación de bulones, o el gunitado o revestimiento con concreto.

De acuerdo con la bibliografía consultada y atendiendo a la complejidad que se presenta en el área del proyecto, el método que se ha seleccionado integra varias de las tecnologías con carácter ecológico nombradas, y da paso a que se puedan hacer plantaciones con posterioridad. Dicha técnica es la **hidrosiembra**, implementada para revegetar en poco tiempo extensas áreas con altas pendientes para controlar la erosión, es ampliamente usada en terrenos poco consolidados y en lugares donde es imposible el uso de maquinaria convencional.

8.2.1. Hidrosiembra (Primera Fase)

La hidrosiembra es una técnica de revegetación que implica la aplicación de una mezcla homogénea de semillas, fertilizantes, estabilizadores del suelo, mulches, y otros aditivos sobre superficies que requieren restauración, como taludes de carreteras o áreas degradadas en general (Clemente, 2016).

La mezcla utilizada en la hidrosiembra incluye varios componentes:

Semillas: Se seleccionan especies herbáceas adecuadas para el clima y el tipo de suelo local. Es esencial que las semillas estén libres de impurezas y sean de la mejor calidad para asegurar un buen porcentaje de germinación.

Mulches: Los mulches son materiales orgánicos o sintéticos que protegen las semillas y el suelo, reducen la evaporación, y aportan materia orgánica al suelo. Los más comunes incluyen fibra de madera, turba, paja picada, o fibra de coco, que permiten mantener la humedad.

Fertilizantes: Los fertilizantes, como los abonos minerales complejos de liberación lenta, proporcionan los nutrientes necesarios para el establecimiento de las plantas. En algunos casos, de forma conjunta

se agregan ácidos húmicos y fúlvicos para mejorar las propiedades generales del suelo y facilitar la absorción de nutrientes.

Estabilizadores del suelo: Pueden ser orgánicos o sintéticos, actuando como adhesivos que fijan el mulch y las semillas al suelo, ayudando a prevenir la erosión. Los estabilizadores sintéticos basados en polímeros son comunes, ya que se descomponen en componentes no dañinos.

Aditivos Especiales: Estos pueden incluir correctores de pH y acumuladores de agua, que mejoran las condiciones del suelo y aumentan la humedad.

La hidrosiembra comienza con la mezcla de todos los componentes anteriores con una proporción adecuada de agua, que son agitados mediante una bomba hidráulica que asegura una mezcla homogénea. El tanque en el que se hace la mezcla puede adaptarse a un medio de transporte o estar integrado en él, denominándosele “hidrosebradora”. Una vez lista, la mezcla se proyecta a presión con la ayuda de una segunda bomba hidráulica sobre la superficie del talud a través de un cañón conectado al tanque por mangueras de largo alcance; la aspersión se puede proyectar hasta por encima de los 70 metros de diferencia de cota. La hidrosiembra puede realizarse en una o dos partes, dependiendo de las condiciones del sitio y la necesidad de cobertura adicional. En algunos casos, se aplica primero una capa base de semillas y fertilizantes, seguida de una segunda capa que incluye más mulch y los estabilizadores.

Antes de aplicar la hidrosiembra es recomendable revestir el talud con hidromantas o mallas orgánicas, especialmente cuando la pendiente es pronunciada. Estas mantas ayudan a mantener la mezcla en su lugar, previniendo el arrastre por lluvia y asegurando una mejor germinación de las semillas. Las mantas pueden incluir fibras de madera, coco, paja, esparto o incluso posidonia oceánica.

8.2.1.1. Plan de Trabajo

El éxito de la hidrosiembra depende en gran medida de las condiciones climáticas. Es preferible realizar la hidrosiembra entre septiembre y noviembre, cuando las temperaturas son moderadas y la humedad del suelo es mayor. Se debe evitar la hidrosiembra en días de viento fuerte o durante lluvias intensas, ya que estas condiciones pueden comprometer la distribución de la mezcla. De ser necesario, ante bajas precipitaciones, se podrán programar riegos en otoño o primavera, que garanticen el éxito del proyecto.

En el mercado existen diferentes empresas que ofrecen la hidrosiembra dentro de una amplia gama de servicios enfocados a la restauración ambiental y paisajismo, que van desde el alquiler de la maquinaria, asesoramiento técnico, venta de los productos e insumos para la estabilización del terreno, semillas, hidromantas y geomallas; además, algunas de ellas tienen sus propios departamentos de investigación y desarrollo, y comparten patentes.

En términos sucesionales, al hacerse la hidrosiembra se estarían propiciando todas las condiciones para que se establezcan las especies que se seleccionen, por lo que en este proceso no podríamos denominar a estas como primocolonizadoras. Para este propósito se atenderá a la disponibilidad de especies comerciales, preferiblemente autóctonas, aunque pueden seleccionarse especies no autóctonas en función de su rápido crecimiento y colonización; pero es muy importante que no se trate de especies invasoras. Las especies comerciales comúnmente utilizadas en hidrosiembra a menudo desaparecen después de la primera temporada de crecimiento. Esto puede resultar en una cobertura vegetal insuficiente para controlar la erosión de manera efectiva, especialmente en ambientes semiáridos, lo que compromete la estabilidad del talud a largo plazo (Bochet et al., 2010). Sumado a lo anterior, las especies no nativas, en especial aquellas que crecen rápidamente, pueden dominar la comunidad vegetal en los primeros años tras la hidrosiembra. Esto puede limitar la diversidad de especies a largo plazo, ya que estas especies dominantes compiten agresivamente por los recursos, como el espacio, la luz y los nutrientes, lo que impide el establecimiento de una mayor variedad de especies, incluidas las nativas (García-Palacios et al., 2010).

En la hidrosiembra se utilizarán especies herbáceas anuales como las iniciales, el objetivo es que gracias a su rápida germinación se pueda revegetar el talud, e interviniendo el proceso de sucesión, al estas ir muriendo no se esperaría a que se establezcan especies locales que provoquen su desplazamiento, sino, que se plantarían especies perennes pertenecientes al ecosistema de referencia, el pastizal; comunidad adaptada a las condiciones ambientales y donde las interacciones planta-planta presentan un balance neto positivo para que se prevea margen de éxito en la revegetación a largo plazo. Por lo que se deberán ejecutar dos fases en el proyecto, inicialmente el hidrosembado y un año más tarde, la plantación, para evitar problemas por desaparición de la vegetación o predominio de especies alóctonas.

8.2.1.2. Preparación Física del Terreno

El intervenir reperfilando la estructura del talud con maquinaria es inviable, solo hubiese sido posible hacerlo en el periodo de construcción de la vía, y preferiblemente no habiendo adoptado un modelado de talud rectilíneo, sino uno que se dispusiera con las formas del paisaje. Por otra parte, el instaurar una capa de material vegetal que sirva como sustrato que recubra el talud agrava el riesgo de inestabilidad, además de ser costoso y de generar aterramientos en las cunetas. Por estos motivos, la preparación del terreno se reducirá a la realización de un perfilado manual en las zonas donde se encuentren aristas pronunciadas o elementos gruesos sueltos, a la vez que se retirará la escasa vegetación presente. Como en el perfil no existen zonas con cárcavas, no será necesario rellenar ningún espacio.

8.2.1.3. Hidromanta

Con las acciones anteriores en el talud se podrá acoplar una hidromanta, que actuará como el soporte estructural para la mezcla hidrosembada. La mejor opción para instaurarse la proporciona la empresa

“Projar”, con la proyección de la hidromanta “Ecoflex® FGM”, desarrollada para taludes con altas pendientes. Esta se esparce sobre la superficie del talud de la misma manera que la hidrosiembra, siendo fácil de instalar, tener un coste ajustado y aumentar la resistencia mecánica protegiendo el terreno y las semillas. Según explica la empresa que la suministra, es el tratamiento de hidromanta más avanzado, con capacidad para proteger el suelo hasta 18 meses. Se compone de fibras de madera de alta calidad térmicamente tratadas, estabilizante sintético y retenedor de humedad (biopolímero de enlace cruzado 100% biodegradable), fibras rizadas sintéticas de entrelazado y armado (100% biodegradables) y partículas cerámicas microporosas que favorecen el intercambio gaseoso y de agua y que aumentan la capacidad de retener agua y nutrientes (Projar, 2024).

Inmediatamente después de que se acople la hidromanta al terreno deberá llevarse a cabo la hidrosiembra, pues la efectividad de ambas depende de su aplicación conjunta y en el momento oportuno.

8.2.1.4. Selección de Especies

Para la hidrosiembra se ha seleccionado la mezcla de semillas para ambientes mediterráneos litorales proporcionada por la empresa “Projar S.A.” (Tabla 3). Se trata de una mezcla especial de gramíneas y leguminosas para la revegetación, compuesta por semillas de especies autóctonas del área mediterránea bien adaptadas a la zona climática que se requiere. Como se mencionó anteriormente, estas especies no terminarán guiando la sucesión ecológica, y se prevé que no serán representativas en la comunidad vegetal después del primer año.

Tabla 3. Cóctel de semillas para la hidrosiembra. (PROJAR, 2024).

MEZCLA	COMPOSICIÓN
Gramíneas	13% <i>Festuca arundinacea</i>
	12% <i>Dactylis glomerata</i>
	27% <i>Lolium rigidum</i>
Leguminosas	10% <i>Medicago sativa</i>
	15% <i>Melilotus officinalis</i>
	23% <i>Vicia sativa/villosa</i>

8.2.1.5. Proyección de la Hidrosiembra

La hidrosiembra se llevará a cabo en dos fases, la primera será la siembra, en la que se proyectará la mezcla con los siguientes componentes en sus respectivas proporciones por metro cuadrado:

- 100g/m² de mulch de madera de fibra corta.
- 10 g/m² de estabilizante.
- 30 g/m² de abono mineral 15-10-15 (N-P-K).

- 10 cc/m² de ácidos húmicos y fúlvicos.
- 30 g/m² de la mezcla de semillas para ambientes litorales mediterráneos.
- 1 l/m² de agua.

La segunda fase se entiende como la etapa de tapado, que garantiza el ambiente propicio para las semillas unos milímetros bajo la superficie, además de protección ante depredadores, principalmente hormigas. Los componentes del tapado son:

- 100 g/m² de mulch de madera de fibra corta.
- 10 g/m² de estabilizante.
- 1 l/m² de agua.

8.2.1.6. Cuidados Posteriores

Estos cuidados se reducen a un riego antes o a principios de la primavera. Porque si la hidrosiembra se lleva a cabo durante los meses de septiembre a noviembre, no será necesario hacerlo hasta cuando la precipitación se estima menor a 30 mm mensuales, durante febrero o marzo. Se hará por asperjado en forma de lluvia desde un camión cisterna, y con ella se garantizará la supervivencia de las plántulas después de su germinación. Se regará con 2 l/m², suficientes para rehidratar la superficie hidrosembrada. Durante el verano no se llevarán a cabo riegos, pues para septiembre se tendrá coordinado el siguiente paso, la plantación.

8.2.2. Plantación (Segunda Fase)

8.2.2.1. Selección de Especies

Haciendo una revisión de las especies más representativas en la *unidad ambiental pastizal*, se han seleccionado tres, las que presentan las mayores coberturas. La *Stipa tenacissima* o “esparto”, el *Brachypodium retusum* o “lastón” y el *Lygeum spartum* o “albardín”. Se trata de gramíneas perennes (Familia *Poaceae*) representativas de los pastizales xerófitos de la Península Ibérica (Ríos y Salvador, 2010), con sistemas radiculares que garantizan la sujeción del suelo (Anexo 4 – Foto 11).

- *Stipa tenacissima* (esparto): Es una hierba vivaz que puede alcanzar hasta un metro de altura, conforma cepellones o macollas dispersas conocidas como esparteras, desde las que las hojas brotan en el centro de la planta. Las hojas pueden alcanzar los 3 mm de diámetro, son filiformes, esclerófilas y tenacissimas, tardando hasta seis meses para completar su desarrollo (Maestre et al., 2007), suelen plegarse durante periodos secos y paralizar su crecimiento, se ha confirmado que responden de forma oportunista a los pulsos de agua (Pugnaire y Haase, 1996). En zonas áridas, el tamaño foliar aumenta acorde a la disponibilidad hídrica. Las macollas presentan abundantes raíces superficiales. Esta especie puede encontrarse en zonas donde las precipitaciones anuales son del rango de los 100 a 600 milímetros, aunque es más abundante entre los 200 y 400 (Haase et al., 1999); puede vivir en una

variedad de suelos, tolera variaciones grandes de temperatura, pero no tolera bien la sombra, aunque las plantas jóvenes son delicadas y se benefician de cierta protección. La inflorescencia es una espiga en forma de panícula, y se propaga tanto por semillas como vegetativamente (Armas, 2004). *Stipa tenacissima* se puede encontrar asociada a diferentes especies, como *Brachypodium retusum* y, en menor medida, a especies leñosas como, *Anthyllis cytisoides*, *Ephedra fragilis* y *Rhamnus lycioides* (Webster y Maestre, 2004. Armas, 2004). Se ha demostrado que las macollas adultas del esparto pueden facilitar la supervivencia y el desarrollo de especies arbustivas leñosas (Maestre et al., 2001).

- *Brachypodium retusum* (lastón): Es una hierba perenne rizomatosa, con un extenso sistema radicular, el cual constituye una red por debajo de la superficie del suelo, a profundidades de entre los 5 a 10 cm. Esta especie es capaz de rebrotar después de que eventos externos desgasten su parte aérea (herbivoría, fuego, etc.), sus tallos ascendentes son de hasta 60 cm, muy finos, con más de dos nudos y hojas numerosas que alcanzan los 10 cm de largo y de 2 a 4 mm de grosor, con venas muy marcadas. Ante la sequía, sus tallos y hojas suelen retorcerse y hacerse duros (Caturla et al., 2000). Esta especie se encuentra asociada en los ambientes áridos y semiáridos mediterráneos con elementos leñosos como *Pinus halepensis* y *Tetraclinis articulata*, y con la herbácea *Stipa tenacissima* (Cortina et al., 2011).

- *Lygeum spartum* (albardín): Es una hierba rizomatosa que por su apariencia se suele confundir con el esparto (*Stipa tenacissima*), pero es de menor tamaño, alcanzando 75 cm de altura, es común en suelos margosos, salinos o en áreas costeras; sus hojas tienen aspecto de junco, que hasta los 50 cm de largo se encuentran enrolladas, reduciendo de este modo la pérdida de agua por transpiración, siendo rectas, duras y tenaces. A veces se le han dado los mismos usos que al esparto, aunque la fibra que se obtiene del albardín es de peor calidad. Las plantas con las que el albardín se asocia con mayor frecuencia incluyen muchos taxones del género *Limonium*, así como otras especies halófitas, pertenecientes a los géneros *Plantago*, *Senecio*, *Inula*, etc. (García-Fuentes et al., 2001).

Por otra parte, si se quiere garantizar una mejora en las características del suelo y que los aportes se puedan mantener en el tiempo, se tendrán que incorporar especies fijadoras de nitrógeno, ya que mejoran notablemente las características del suelo y facilitan el establecimiento de otras especies (Miranda, et al, 2004) a la vez que, con sus profundas raíces le otorgan estabilidad al terreno, como lo son las dos leguminosas (Familia *Fabaceae*) seleccionadas (Anexo 4 – Foto 12).

- *Anthyllis cytisoides* (albaida): Leguminosa característica de la región mediterránea. Se trata de un subarbusto que puede alcanzar hasta 1.5 metros de altura, con un sistema radicular que consigue los 5 metros de profundidad, lo que le permite acceder a capas de agua subterránea y resistir largos periodos de sequía. Esta especie es capaz de sobrevivir en suelos erosionados, formando parte de matorrales abiertos, a menudo en asociación con especies como *Stipa tenacissima* y *Artemisia barrelieri*. Su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, en simbiosis con la bacteria *Rhizobium*, mejora la fertilidad del suelo, lo que beneficia tanto a esta especie como a otras plantas circundantes, promoviendo la regeneración de suelos degradados de los entornos semiáridos (Haase et al., 1997).

- *Dorycnium pentaphyllum* (bocha): Leguminosa adaptada a medios semiáridos, con una morfología que incluye hojas compuestas de cinco folíolos y un sistema radicular profundo que le permite acceder a la humedad en suelos secos. Esta especie se establece bien en suelos pobres y degradados. Suele asociarse con otras especies mediterráneas como el *Rosmarinus officinalis* (romero) y *Cistus albidus* (jara blanca), formando parte de matorrales abiertos y laderas rocosas. La bocha establece simbiosis con hongos micorrízicos y bacterias del género *Rhizobium*, lo que le permite fijar nitrógeno atmosférico. Esta capacidad no solo mejora su crecimiento en suelos pobres, sino que también incrementa la fertilidad del suelo (Cardona et al., 1983). Además, la actividad reductasa de nitratos en las raíces, estimulada por la simbiosis micorrízica, es crucial para su adaptación y resistencia al estrés hídrico en ambientes áridos (Caravaca et al., 2003).

8.2.2.2. Preparación del Terreno

Antes de llevar a cabo la plantación se deberán buscar especies invasoras que hayan podido entrar en el talud, ya que con este tipo de intervenciones se allana el terreno para que se establezcan. Puede ser el caso de la especie *Pennisetum setaceum* (rabo de gato), encontrada cerca de la autopista dentro de la unidad ambiental pastizal y que también puede ser vista en diferentes sectores al borde de la vía.

8.2.2.3. Diseño del Módulo de Plantación

Marco de plantación Semi-Irregular: Con este tipo de marco se establece un patrón no del todo irregular, puesto que los marcos elaborados con ubicaciones aleatorias son difíciles de plasmar en la realidad. Se utiliza entonces esta unidad para ser repetida a lo largo de la superficie y que definirá la disposición espacial de las plántulas.

Dimensiones de la unidad o módulo: La altura en el talud es variable, por eso se establece una genérica de 10 m para el módulo. A partir de los 10 m se encuentran mayoritariamente las crestas del talud a diferentes alturas. Según el perfil longitudinal (Figura 1), se alcanzan 21.5 m (según aplicativo goolzoom.com) para el punto más alto. Con el módulo de 10 x 10 m se cubrirían 8000 m² de superficie, siguiendo la base del talud o margen de la autopista (800 metros aprox.) se podría replicar la unidad casi 80 veces en una superficie menor a los 8000 m² de un área total, aunque esto no es cierto, debido a que el talud al principio y final posee formas puntiagudas también variables. En cualquier caso, se requerirán más módulos para cubrir las superficies restantes hasta las crestas del talud. En la práctica se deberá seguir el diseño del módulo hasta los límites de toda la superficie.

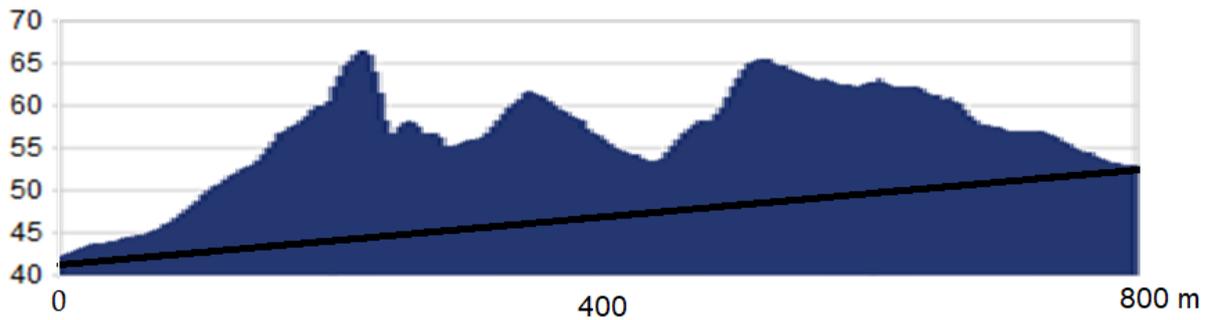


Figura 1. Perfil del talud. La línea negra representa la base del talud y arriba de ella el croquis con la forma del talud en su extensión, superficie sobre la que se replicaría el módulo de plantación. Elaboración propia en www.goolzoom.com.

Se debe tener en cuenta que en el plano las longitudes y áreas son diferentes a la realidad. La variación es producto de la pendiente en el talud, que en este caso es en promedio de $30,29^\circ$. Por lo que, en el terreno, las dimensiones del marco de plantación mantendrán la misma base, pues el porcentaje de pendiente en los 788 metros es menor a un grado; caso contrario a las distancias perpendiculares, que deberán ser multiplicadas por el *Coefficiente Hipotenusa* (1.16), pasando de 10 a los 11.6 metros en la unidad. Asimismo, para calcular el área real del talud, se debe multiplicar la superficie proyectada horizontalmente (10448 m^2) por el mismo coeficiente, lo que sería:

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente Hipotenusa} &= 1 / \text{Cos}(30,29^\circ) = 1.16 \\ \text{Superficie Real del Talud} &= 10448 \text{ m}^2 \times 1.16 = \mathbf{12126 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Distancia entre individuos y densidad (Figura 2): Se siguen los criterios según las necesidades espaciales de las especies a plantar, en este caso al ser gramíneas y leguminosas, la distancia entre plantas se entiende entre 1 m y 2 m para evitar competencia interespecífica e intraespecífica. Se tiene en cuenta que la distribución espacial de los espartales en el medio natural conforma un mosaico con distancias variables entre las denominadas islas de recursos. En este caso se han hecho los cálculos para 2 m^2 promedio de distancia entre plantas, quedando a una densidad de 5000 individuos / ha. En el caso del *Brachypodium retusum*, al ser una cespitosa que recubre las superficies bajo arbustos, matorrales y se asocia con otras gramíneas en las zonas áridas con suelos pobres, fue la única especie que no tuvo las mismas condiciones, y se propuso para ubicarse hasta 0.5 m de distancia mínima entre plantas.

Número de pies/módulo y proporción de especies: Se deberán establecer 10 Individuos de cada especie por módulo, en total 50 individuos por unidad, con una proporción igual para cada especie seleccionada equivalente al 20%.

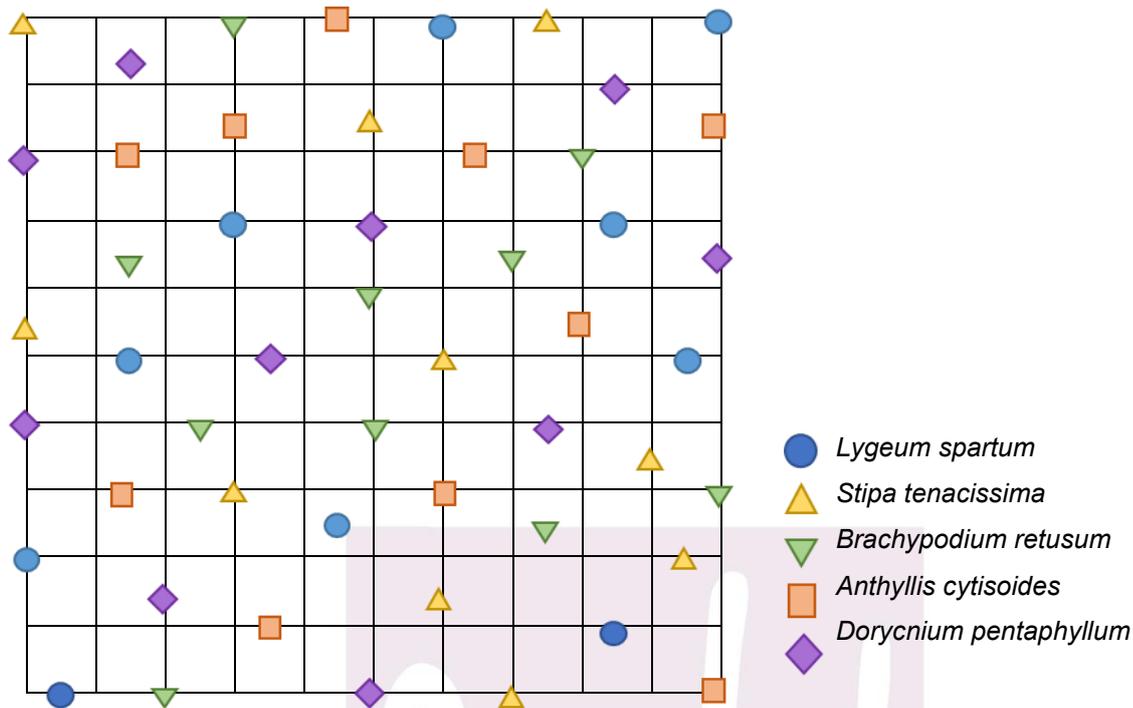


Figura 2. Módulo de plantación. 10 (11,6) m x 10 m. Elaboración propia.

8.2.2.4. Método de Plantación

Se implementará el ahoyado manual haciendo un hoyo (aprox. 40x40x40 cm) en el punto del terreno donde se prevea, debiendo que ser lo suficiente profundo para que entre la raíz de la planta después de sacarla del cepellón. Se tiene en cuenta que después de la proyección de la hidromanta y la hidrosiembra se ha incrementado en unos centímetros de la superficie de suelo.

8.2.2.5. Cuidados Posteriores

En caso de que después de la plantación, durante los meses de septiembre a noviembre, no se dieran las precipitaciones esperadas, se debe considerar llevar a cabo un riego que haga los aportes necesarios de humedad en el suelo durante el otoño. Al igual que en el caso de la hidrosiembra, también se planeará un riego en primavera, para preparar las plantas ante el estrés hídrico del verano. También serán riegos por asperjado en forma de lluvia desde un camión cisterna, esparciendo 2 l/m² en cada riego, cantidad suficiente para rehidratar el suelo, incluyendo lo que aún se mantenga del mulch de la hidromanta y de la mezcla de hidrosiembra.

8.3. Consideraciones

Se deben prever con suficiente tiempo las necesidades de plántulas, ya que los viveros pueden no contar con ellas si se requieren en el corto plazo. Los viveros seleccionados deberán estar certificados por la autoridad competente para asegurar la calidad de las plantas, a la vez que se elegirán los más cercanos al área a restaurar, no sólo por cuestiones de logística y costes de transporte, sino porque esto también dará cuenta de plántulas aclimatadas (endurecidas), ya que las que muestran un buen

rendimiento bajo el estrés hídrico en invernadero, tienden a tener un mejor desempeño en campo (Tormo et al., 2008).

8.4. Plan de Ejecución

Las acciones centrales para la rehabilitación están previstas para llevar a cabo entre el otoño y la primavera del primer y segundo año. No hay que olvidar que el plan de seguimiento y control prevé acciones durante los tres años siguientes.

Tabla 4. Acciones para ejecutar según la época del año. Elaboración propia.

		Acciones
Primer año	Otoño	Perfilado manual y desbroce
		Proyección de hidromanta
		Hidrosiembra
	Primavera	Riego
Segundo año	Otoño	Desbroce de invasoras
		Plantación
		Riego
	Primavera	Riego

9. Insumos y Costos

A continuación, en la Tabla 5 se presentan los costes de cada uno de los insumos necesarios para ejecutar el proyecto, por facilidad en los cálculos y provisión de precios se redondeó la superficie del proyecto a 12000 m². En este desglose se deben concretar los costos estimados de transporte de las plántulas desde el vivero, así como de la contratación de operarios capacitados para el manejo de la maquinaria y plantación. No hay que olvidar que los presupuestos suministrados por las empresas tienen cortos periodos de vigencia; dichos presupuestos fueron recibidos entre agosto y septiembre de 2024.



PROYECTO DE REHABILITACIÓN ECOLÓGICA DE UN TALUD EN LA AP-7, ALICANTE - VILLAJOSYA

Tabla 5. Cálculo de insumos y maquinaria para una superficie de talud a rehabilitar de 12000 m². Elaboración propia.

Descripción	Proveedor	Cantidad	Unidad medida	Precio unitario	% IVA	Importe
ECOFLEX PARA TRATAMIENTO HIDROMANTA. BALAS 22.7 KG.	Projar S.A.	53,00	BALAS	57,72	10	3.059,16
Total EUR IVA Excl.						3.059,16
Importe IVA						305,92
Total EUR IVA Incl.						3.365,07
MULCH DE MADERA COLOR VERDE ECOFIBRA. BALAS 22.7 KG.	Projar S.A.	53,00	BALAS	22,07	10	1.169,71
ESTABILIZANTE ORGÁNICO STABLE PLUS. SACO 25 KG	Projar S.A.	125,00	KG	2,98	10	372,50
ABONO LENTA LIBERACION AZOLON ESP BLEND 15-10-15 (2MGO),25 KG.	Projar S.A.	15,00	SACOS	50,21	10	753,15
ÁCIDOS HÚMICOS HUMIPRO 16, BIDÓN 20 L	Projar S.A.	120,00	LITRO	1,84	10	220,80
SEMILLAS DE REVEGETACIÓN ESPECIAL TALUD. SACOS 25 KG.	Projar S.A.	375,00	KG	4,87	10	1.826,25
ALQUILER HIDROSEBRADORA FINN T30	Projar S.A.	6,00	UND	210,00	21	1.260
TRANSPORTE - 4 M - ENVÍO HIDROSEBRADORA Y MATERIALES	Projar S.A.	1,00		220,00	21	220
TRANSPORTE - 2M - RECOGIDA HIDROSEBRADORA	Projar S.A.	1,00		170,00	21	170
Total EUR IVA Excl.						5.992,41
Importe IVA						780,74
Total EUR IVA Incl.						6.773,15
Provisión y transporte de agua en camión cisterna de 15000l.	EyO Jiménez S.L.	3	Descarga	55,3	21	165,9
Total EUR IVA Excl.						165,9
Importe IVA						44,1
Total EUR IVA Incl.						210
Renault Premium 18tn, 260CV. 10 M ³ Cisterna. Bomba de 15bar. 20 mts de manguera.	EnviroRent	3	DÍA	140	21	420
Total EUR IVA Excl.						420
Importe IVA						88,2
Total EUR IVA Incl.						508,2
Agua para riegos (en total 3, primavera-otoño-primavera).	Hidraqua	72	m ³	1,32	4,85	95,04
Total EUR IVA Excl.						95,04
Importe IVA						4,61
Total EUR IVA Incl.						100
Lygeum spartum (Albardin), Alveolo forestal de 200 cm ³ (0,20 – 0,30 m).	Alharabe Vivero	1200	Alveolo	0,47	10	564
Stipa tenacissima (Esparto), Alveolo forestal de 200 cm ³ (0,20 – 0,30 m).	Alharabe Vivero	1200	Alveolo	0,47	10	564
Brachypodium retusum (Lastón), Alveolo forestal de 200 cm ³ (0,20 – 0,30 m).	Alharabe Vivero	1200	Alveolo	0,53	10	636
Anthyllis cytisoides (Albaida), Alveolo forestal de 200 cm ³ (0,20 – 0,40 m).	Alharabe Vivero	1200	Alveolo	0,49	10	588
Dorycnium pentaphyllum (Brocha), Alveolo forestal de 200 cm ³ (0,20 – 0,30 m).	Alharabe Vivero	1200	Alveolo	0,47	10	564
Total EUR IVA Excl.						2.916,00
Importe IVA						291,6
Total EUR IVA Incl.						3.207,60
Precio total EUR. Insumos y maquinaria. IVA incluido						14.164,02

Aunque aparentemente los precios para este proyecto puedan parecer altos, se debe pensar que a largo plazo la estabilidad de los taludes puede estar comprometida, y que, de llevarse a cabo un proyecto de estabilización geotécnica, acarreará costos muy superiores.

10. Plan de Seguimiento y Control

Se programará un seguimiento anual después de la segunda primavera, cuando se haya efectuado el segundo riego en la plantación. Se hará durante los siguientes 3 años, en los que se tomarán datos para evaluar tres aspectos que darán cuenta del éxito del proyecto.

1) Porcentaje de cobertura vegetal: De acuerdo con los datos recopilados por Fernando T. Maestre (Tesis Doctoral. 2002), en investigaciones en el medio natural (parcela de 50 x 50 m) relativamente cercana al talud (municipio de *Aigües de Busot* - Alicante), la cobertura vegetal se estimó en un 45.7%. El predominio lo tenían el esparto (16.6%) y el lastón (17.4%). Basados en esta información, se pueden hacer cálculos anuales sobre los porcentajes de cobertura vegetal que garanticen dicho margen de cobertura como valor mínimo exitoso. De lo contrario tendría que indagarse la causa del fracaso y llevar a cabo las medidas pertinentes, que pueden ser desde reposición de marras, riegos o incluso hidrosiembras manuales.

2) Incremento de la diversidad vegetal: Este propósito se dará por alcanzado con el establecimiento de las cinco especies plantadas, pero también dará cuenta del establecimiento de especies diferentes a las hidrosembradas y las plantadas, por lo que se deberán buscar los individuos que hayan conseguido prosperar en el talud y seguir su crecimiento. Será interesante saber en cuánto se incrementa la riqueza de especies y en que zonas del talud han sido reclutadas durante cada periodo, se presume que puedan ser géneros del semiárido que suelen estar asociados con las cinco especies seleccionadas. Adicionalmente se deberá controlar la propagación de especies invasoras, por lo que su desbroce deberá llevarse a cabo en caso de darse esta situación.

3) Estabilidad del talud: En cada visita de control se reportará cualquier indicador de inestabilidad, como pequeños regueros o desprendimientos que puedan comprometer la permanencia de los componentes instaurados, por lo que se deberá intervenir rellenando y/o reperfilando el terreno manualmente en dichos casos. Por otra parte, si de alguna manera se ve alterada la estabilidad geotécnica del talud, irremediablemente se tendría que intervenir con técnicas de ingeniería civil para impedir el avance de los procesos erosivos conducentes a la inestabilidad.

11. Conclusiones y Proyección Futura

La rehabilitación de un talud de carretera a partir de una restauración activa, como en este caso la hidrosiembra, provoca el establecimiento rápido de una cobertura vegetal que controla la erosión y otorga estabilidad, para luego inducir una sucesión que conduce a la integración con la dinámica natural del entorno. Para que el proyecto sea exitoso se deben cumplir con los principios ecológicos que alinean las propuestas a llevar a cabo con las condiciones ambientales locales y la acertada selección de especies a introducir.

Desde un punto de vista ingenieril, las acciones llevadas a cabo para controlar problemas de estabilidad asumen presupuestos para intervenir desde una visión sesgada del medio natural, pudiéndose destinar recursos en una integración paisajística desde la base de la conservación del medio natural y la protección de los servicios ecosistémicos, que mitigue y restaure los impactos negativos antrópicos en los ecosistemas.

Se espera que este documento aporte algún valor para cuando especialistas en restauración ecológica desarrollen proyectos en el semiárido español, aplicando a la vez una solución innovadora y de carácter sostenible que evite problemas complejos generados por la construcción de infraestructura lineal.

12. Bibliografía

□ **Abad, J., et al. (2009).**

Las nuevas infraestructuras del transporte: Impactos socioeconómicos y ambientales. El caso de dos países de la Unión Europea, España y Polonia. *Observatorio Medioambiental*, 12, 79-101. Universidad Complutense, Madrid, España.

□ **Abraham, E. M. (2008).**

Tierras secas, desertificación y recursos hídricos. *Revista Ecosistemas*, 17(1), 1-4. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA), Laboratorio de Desertificación y Ordenamiento Territorial (LADYOT).

□ **Alcaraz, F. J. (2013).**

Pisos bioclimáticos y pisos de vegetación. *Geobotánica, Tema 3*. Universidad de Murcia, España.

□ **Armas, C. (2004).**

Balance de la interacción entre plantas superiores en ambientes semiáridos: mecanismos y procesos. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. España.

□ **Armas, C., et al. (2011).**

El sureste ibérico. *Revista de Entornos Áridos*, 75, 1241-1243. Estación Experimental de Zonas Áridas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Almería, España.

□ **Asociación Española de la Carretera (AEC). (2020).**

Historia de la carretera. Recuperado de <https://www.aecarretera.com/quienes-somos/historia/historia-de-la-carretera>

□ **Asociación Valenciana de Empresarios (AVE). (2023).**

Tramo 12, La Encina – Alicante. Recuperado de <https://elcorredormediterraneo.com/tramo/tramo-12-la-encina-alicante-murcia>

□ **Balaguer, L., et al. (2011).**

Restauración ecológica e infraestructura de transporte: definiciones, problemas y desafíos. En F. Valladares et al. (Eds.), *Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte, bases científicas para soluciones técnicas* (Cap. 1, pp. 16-41).

□ **Bochet, E., et al. (2010).**

Native species for roadslope revegetation: selection, validation, and cost effectiveness. *Restoration Ecology*, 18(5), 656-663.

□ **Cano González, M. (2013).**

Estudio de los mecanismos de inestabilidad en taludes y laderas del Flysch carbonatado de Alicante. [Tesis doctoral, Universidad de Alicante]. España.

□ **Cantón, Y., et al. (2011).**

Una revisión de la generación de escorrentía y la erosión del suelo a través de escalas en el sureste semiárido de España. *Revista de Entornos Áridos*, 75, 1254-1261. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Almería, España.

□ **Caravaca, F., et al. (2003).**

Use of nitrate reductase activity for assessing effectiveness of mycorrhizal symbiosis in *Dorycnium pentaphyllum* under induced water deficit. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34(16), 2291-2302.

□ **Cardona, M. A., et al. (1983).**

Étude biosystématique de *Dorycnium pentaphyllum* Scop. subsp. *fulgurans* (Porta) comb. nova, endémique des Baléares orientales. *Collectanea Botanica*, 14, 133-150.

□ **Carrión, J. S., et al. (2008).**

Los orígenes históricos de la aridez y la degradación de la vegetación en el sureste de España. *Revista de Entornos Áridos*, 74(2010), 731-736. Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Murcia, España.

□ **Caturla, R. N., et al. (2000).**

Early post-fire regeneration dynamics of *Brachypodium retusum* Pers. (Beauv.) in old fields of the Valencia region (Eastern Spain). *Acta Oecologica*, 21, 1-12.

□ **Clemente, A. S., et al. (2016).**

Effect of hydroseeding components on the germination of Mediterranean native plant species. *Journal of Arid Environments*, 125, 68-72.

□ **Clewell, A. F., & Aronson, J. (2017).**

Restauración ecológica: principios, valores y estructura de una profesión emergente. Island Press. ProQuest eBook Central.

□ **Connell, J. H., & Slatyer, R. O. (1977).**

Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*, 111(982), 1119-1144. Department of Biological Sciences, University of California.

□ **Cortina, J., et al. (2011).**

The restoration of vegetation cover in the semi-arid Iberian southeast. *Journal of Arid Environments*, 75, 1377-1384. Department of Ecology and IMEM, University of Alicante, España.

□ **Derak, M., & Cortina, J. (2014).**

Multi-criteria participative evaluation of *Pinus halepensis* plantations in a semiarid area of southeast Spain. *Ecological Indicators*, 43, 56-58.

□ **Estévez, A., et al. (2004).**

Alicante en la cordillera Bética. En *Geología de Alicante* (pp. 39-50). Alicante, España.

□ **García-Fuentes, A., et al. (2001).**

Review of communities of *Lygeum spartum* L. in the south-eastern Iberian Peninsula (Western Mediterranean). *Journal of Arid Environments*, 48, 323-339.

□ **García-Palacios, P., et al. (2010).**

Dominant plant species modulate responses to hydroseeding, irrigation, and fertilization during the restoration of semiarid motorway slopes. *Journal of Arid Environments*, 36, 1290-1298.

□ **Garner, W., & Steinberger, Y. (1989).**

A proposed mechanism for the formation of 'fertile islands' in the desert ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 16(3), 257-262.

□ **Generalitat Valenciana. (2015).**

Montes de utilidad pública de la Comunitat Valenciana. Consejería de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural. Valencia, España.

□ **Generalitat Valenciana. (2018).**

Pla d'Acció Territorial d'Infraestructura Verda del Litoral (PATIVEL). Conselleria d'Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori. València, España.

□ **Generalitat Valenciana. (2019).**

Pla d'Acció Territorial de les Comarques Centrals – Esborrany (PATCC). Conselleria d'Habitatge, Obres Públiques i Vertebració del Territori. València, España.

□ **Generalitat Valenciana. (2022).**

Cartografía de Ocupación del Suelo de la Comunitat Valenciana (COSCV). Servicio de Cartografía - Institut Cartogràfic Valencià. Valencia, España.

□ **Generalitat Valenciana. (2024).**

Banco de datos de Biodiversidad de la Comunitat Valenciana (BDBCV). Conselleria de Medio Ambiente, Infraestructuras y Territorio. En internet: <https://bdb.gva.es/es/>

□ **Global Bioclimatics Organization. (2018).**

Diagrama bioclimático de Villajoyosa. Recuperado de <http://www.globalbioclimatics.org/station/es-alica.htm>

□ **Guerra, A., et al. (1966).**

Mapa de suelos de España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología. Madrid, España.

□ **Haase, P., et al. (1997).**

Spatial pattern in *Anthyllis cytisoides* shrubland on abandoned land in southeastern Spain. *Journal of Vegetation Science*, 8, 627-634.

□ **Haase, P., et al. (1999).**

Seed production and dispersal in the semi-arid tussock grass *Stipa tenacissima* L. during masting. *Journal of Arid Environments*, 31, 55–65.

□ **Hernández, E. I., et al. (2010).**

Morphological traits and water use strategies in seedlings of Mediterranean coexisting species. *Plant Ecology*, 207, 233-244. Departamento de Ecología, Universidad de Alicante, España.

□ **Holling, C. S. (1973).**

Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecological Systematics*, 4, 1-23. Institute of Resource Ecology, University of British Columbia, Vancouver, Canadá.

□ **Levitt, J. (1980).**

Responses of plants to environmental stresses. Volume II: Water, radiation, salt, and other stresses. Physiological Ecology Series. Academic Press, New York, U.S.A.

□ **López-Bermúdez, F., et al. (1984).**

Vegetation and soil erosion under a semi-arid Mediterranean climate: A case study from Murcia-Spain. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 10, 113-126.

□ **Machado, M. J., et al. (2011).**

500 years of rainfall variability and extreme hydrological events in southeastern Spain drylands. *Revista de Entornos Áridos*, 75, 1244-1253. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España.

□ **Maestre, F. T., et al. (2001).**

Potential for using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications*, 11(6), 1641-1655.

□ **Maestre, F. T. (2002).**

La restauración de la cubierta vegetal en zonas semiáridas en función del patrón espacial de factores bióticos y abióticos. [Tesis doctoral, Universidad de Alicante].

- **Maestre, F. T., et al. (2004).**
Replantaciones de *Pinus halepensis* y restauración de ecosistemas en medio semiárido. En *Actas de la III Reunión sobre Replantaciones Forestales* (pp. 181-186). Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- **Maestre, F. T., et al. (2007).**
Ecología del Esparto (*Stipa tenacissima* L.) y los espartales de la Península Ibérica. *Revista Ecosistemas*, 16(2), 111-130.
- **Maestre, F. T., & Cortina, J. (2004).**
Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas? *Forest Ecology and Management*, 198, 303-317.
- **Marco, J. A., & Morales, A. (1995).**
Terrazas de cultivo abandonadas en el sureste peninsular: aspectos evolutivos. *Investigaciones geográficas*, 13, 81-90. Alicante, España.
- **Martínez Salvador, E. (2012).**
La huerta de Alicante: pérdida de un paisaje cultural. *Revista digital GeoGraphos*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3973176.pdf>
- **Medail, F., & Quézel, P. (1999).**
Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, 13(6), 510-1513. Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie, University of Aix-Marseille, Francia.
- **Mendoza-Fernández, A. J., et al. (2015).**
Areas of endemism and threatened flora in a Mediterranean hotspot: Southern Spain. *Journal for Nature Conservation*, 23, 35–44. Departamento de Biología y Geología, Universidad de Almería, España.
- **Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005).**
Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press. Washington, DC, U.S.A.
- **Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente (MAGRAMA). (2014).**
Caracterización de las comarcas agrarias de España (Tomo 5). Provincia de Alicante. Madrid.
- **Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU). (1980).**
Metodología para la evaluación de proyectos de inversión de carreteras. Recuperado de http://www.carreteros.org/normativa/c_b/pdfs/inversion.pdf
- **Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). (2021).**
Catálogo oficial de carreteras: Propuesta de futuras carreteras, situación a 31/12/2021.
- **Miranda, J. D., et al. (2004).**
Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Ecosistemas*, 13(1), 55-58.
- **Miranda, J. D., et al. (2011).**
Climatic change and rainfall patterns: Effects on semi-arid plant communities of the Iberian Southeast. *Revista de Entornos Áridos*, 75, 1302-1309. Estación Experimental de Zonas Áridas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Almería, España.
- **Moreno, J.C., coord. (2008).**
Lista Roja 2008 de la flora vascular española. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, y Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas), Madrid, 86 pp.

□ **Naciones Unidas (ONU). (1994).**

Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (CNULD). Redactada y firmada en París.

□ **Naciones Unidas (ONU). (2015).**

Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General en la Cumbre de las Naciones Unidas el 25 de septiembre. Septuagésimo período de sesiones. Temas 15 y 116 del programa. Nueva York.

□ **Navarro, J. A., et al. (2017).**

Restauración ecológica en ambientes semiáridos: Recuperar las interacciones biológicas y las funciones ecosistémicas. En *Modelos de restauración aplicables a ambientes degradados en ambientes semiáridos* (Capítulo 3). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid, España.

□ **Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND). (2008).**

Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación: Fichas tecnológicas. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España.

□ **Projar. (2024).**

Catálogo de Soluciones Projar. Recuperado de <https://projar.es/descargar-catalogos-projar>

□ **Pugnaire, F. I., & Haase, P. (1996).**

Comparative physiology and growth of two perennial tussock grass species in a semi-arid environment. *Annals of Botany*, 77, 81-86.

□ **Puigdefábregas, J., & Sánchez, M. E. (2005).**

Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA) de España: Zonas áridas (Sección III, Capítulo 16). Estación Experimental de Zonas Áridas, Almería, España.

□ **Radio Televisión Española (RTVE). (1976).**

Revista cinematográfica española (Emisión N° 1750, Minuto 00:20 a 02:30). Recuperado de <http://www.rtve.es/filmoteca/no-do/not-1750/1465284>

□ **Ríos, S., & Salvador, F. M. (2010).**

Pastizales xerofíticos de vivaces y anuales: Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, España.

□ **Rivas-Martínez, S. (1987).**

Memoria del mapa de series de vegetación de España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación – ICONA. Madrid, España.

□ **Rubio, E. (2010).**

Tras los pasos de Roma. *Diario Las Provincias*. Recuperado de <https://www.lasprovincias.es/v/20100712/culturas/tras-pasos-roma-20100712.html>

□ **Sack, L., et al. (2003).**

The functional morphology of juvenile plants tolerant of strong summer drought in shaded forest understories in Southern Spain. *Plant Ecology*, 168, 139-163.

□ **Schlesinger, W. H., et al. (1990).**

Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 247(4946), 1043-1048.

□ **Schlesinger, W. H., & Pilmanis, A. M. (1998).**

Plant-soil interactions in deserts. *Biogeochemistry*, 42, 169-187.

□ **Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR). (2024).**

Diagrama bioclimático de Villajoyosa. Datos de la estación meteorológica de Villajoyosa desde 10/07/2014 hasta 10/07/2024. Recuperado de <https://servicio.mapa.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>

□ **Society for Ecological Restoration (SER). (2023).**

What is ecological restoration? Recuperado de <https://www.ser-rrc.org/what-is-ecological-restoration>

□ **Steinfeld, D. E., et al. (2007).**

Roadside revegetation: An integrated approach to establishing native plants. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Vancouver, WA, USA.

□ **Tarbuck, E. J., et al. (2005).**

Ciencias de la Tierra (8ª ed.). Pearson Educación. Madrid.

□ **Tormo, J., et al. (2008).**

Relative importance of plant traits and ecological filters in road embankment revegetation under semiarid Mediterranean conditions. *Ecological Engineering*, 33, 258-264.

□ **Tormo, J., et al. (2009).**

Restauración y revegetación de taludes de carreteras en ambientes mediterráneos semiáridos: Procesos edáficos determinantes para el éxito. *Revista Ecosistemas*, 18(2), 79-90.

□ **Valladares, F., et al. (2011).**

Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte: Bases científicas para soluciones técnicas. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

□ **Vera, J. A. (2004).**

Alicante en la cordillera Bética. En *Geología de Alicante* (pp. 15-36). Alicante.

□ **Webster, R., & Maestre, F. T. (2004).**

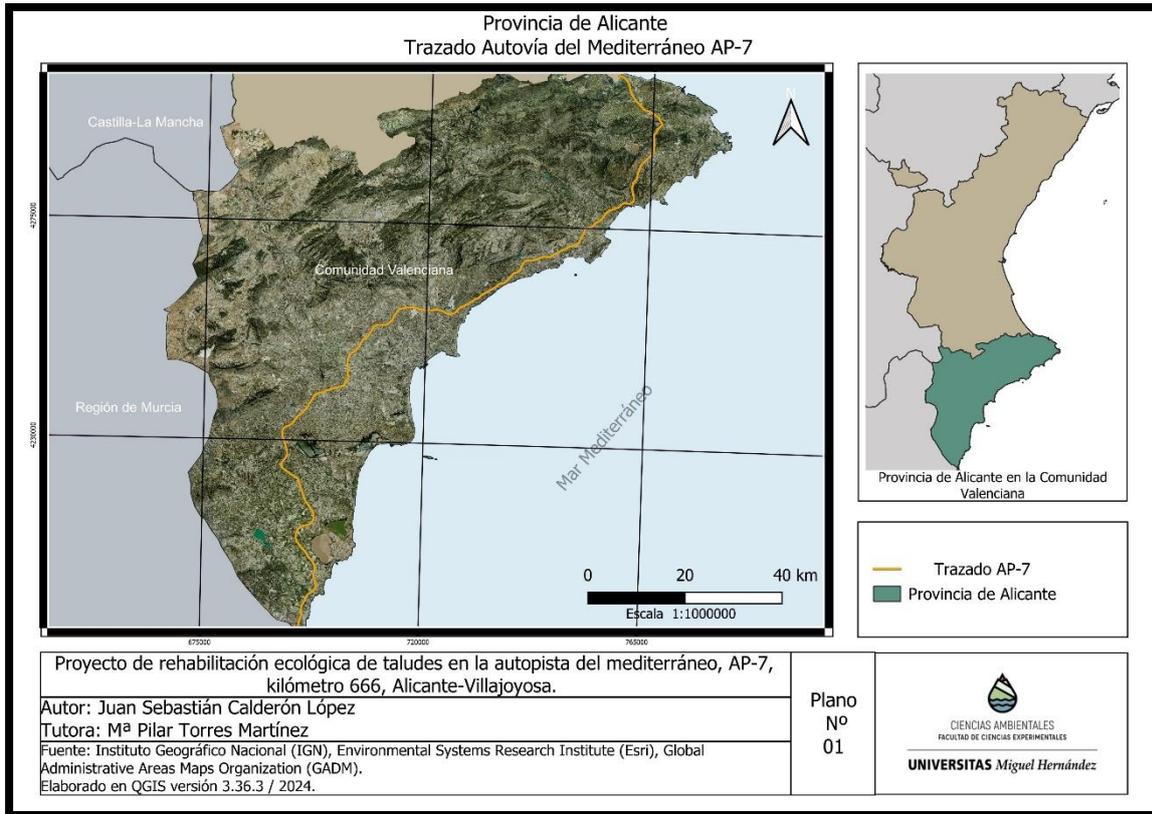
Spatial analysis of semi-arid patchy vegetation by the cumulative distribution of patch boundary spacings and transition probabilities. *Environmental and Ecological Statistics*, 11, 257-281.

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

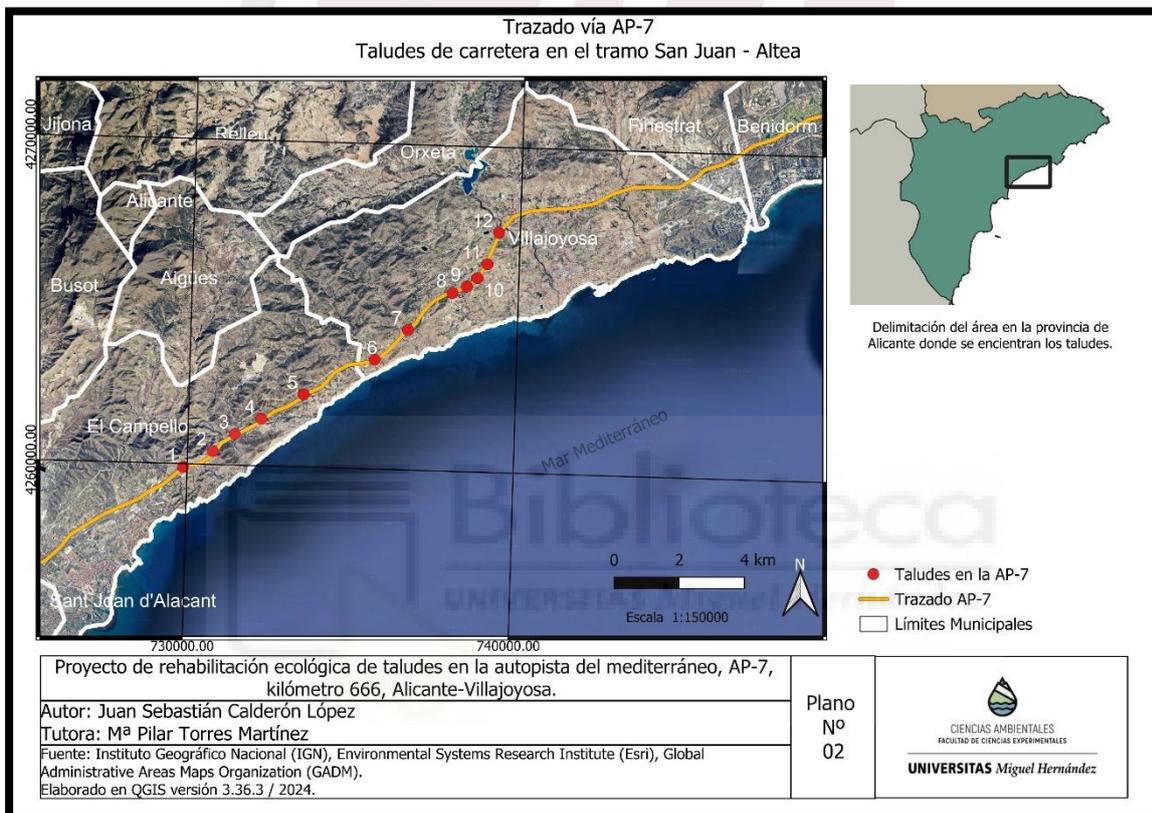


Anexo 1. Planos

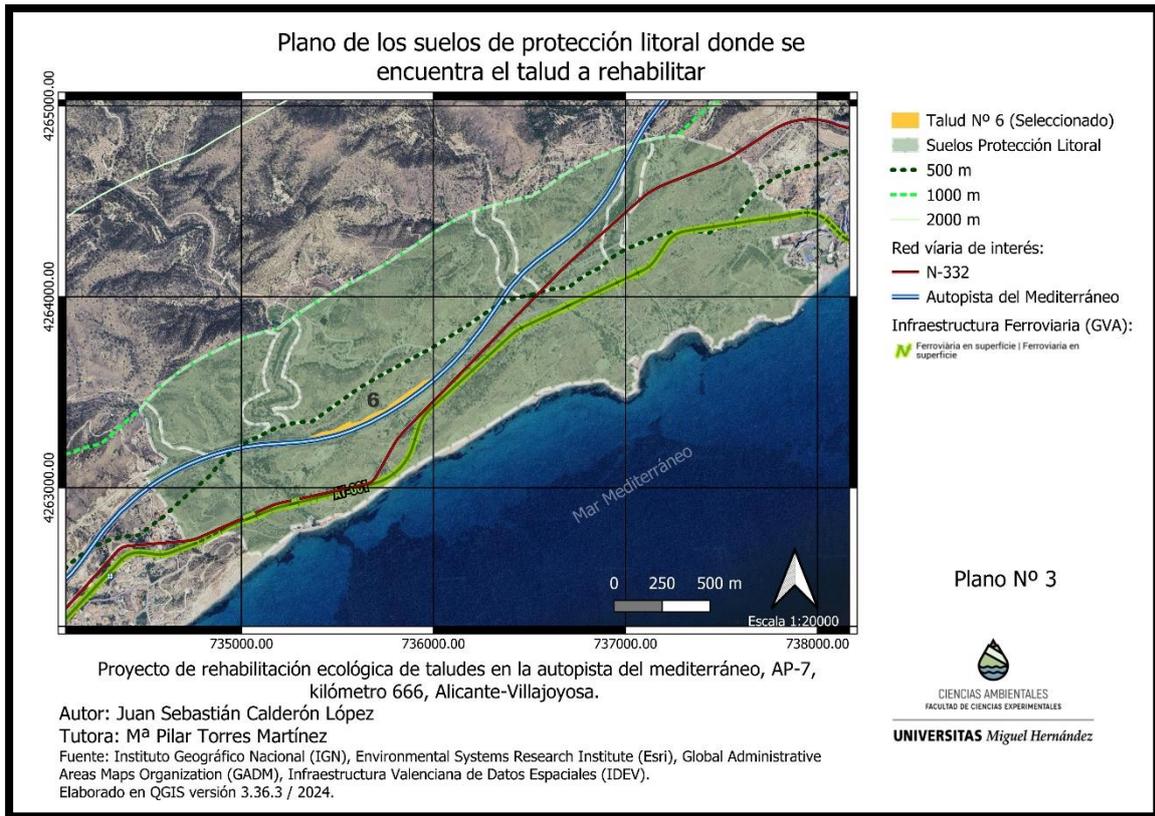
Plano N°1



Plano N°2



Plano N°3

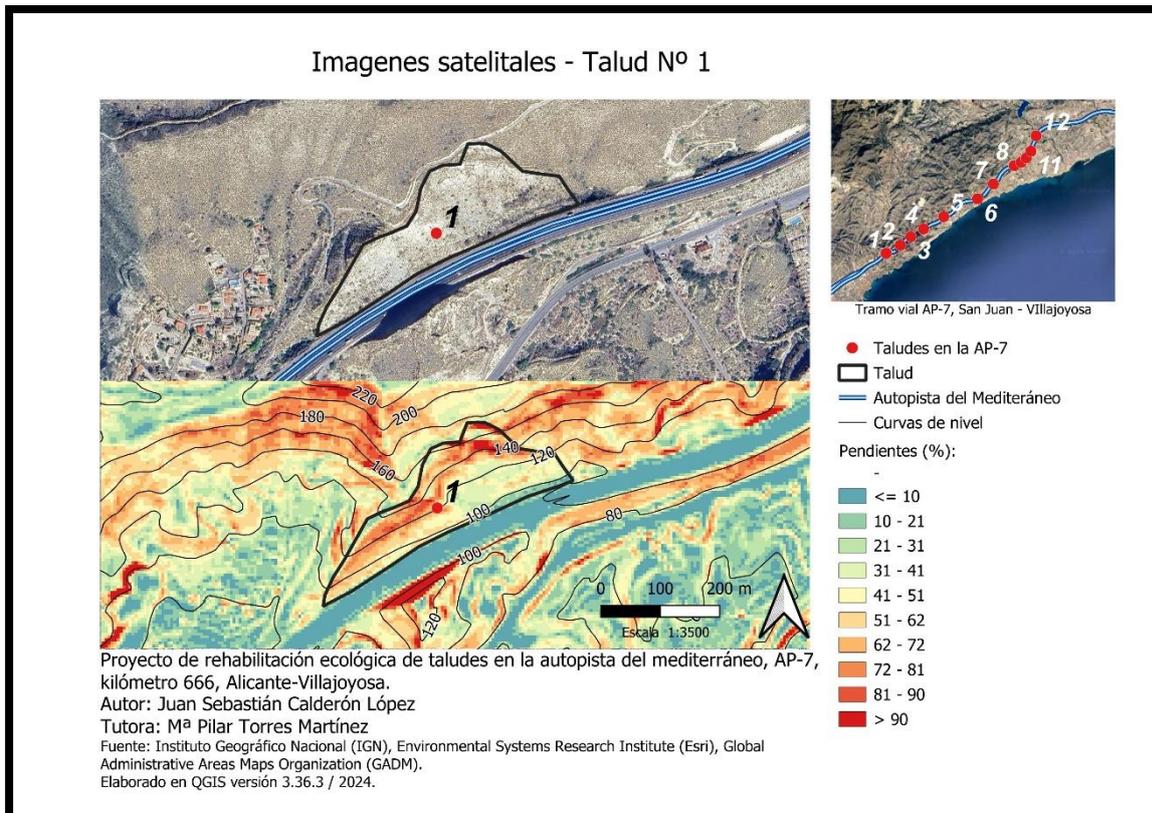


UNIVERSITAS
Miguel Hernández

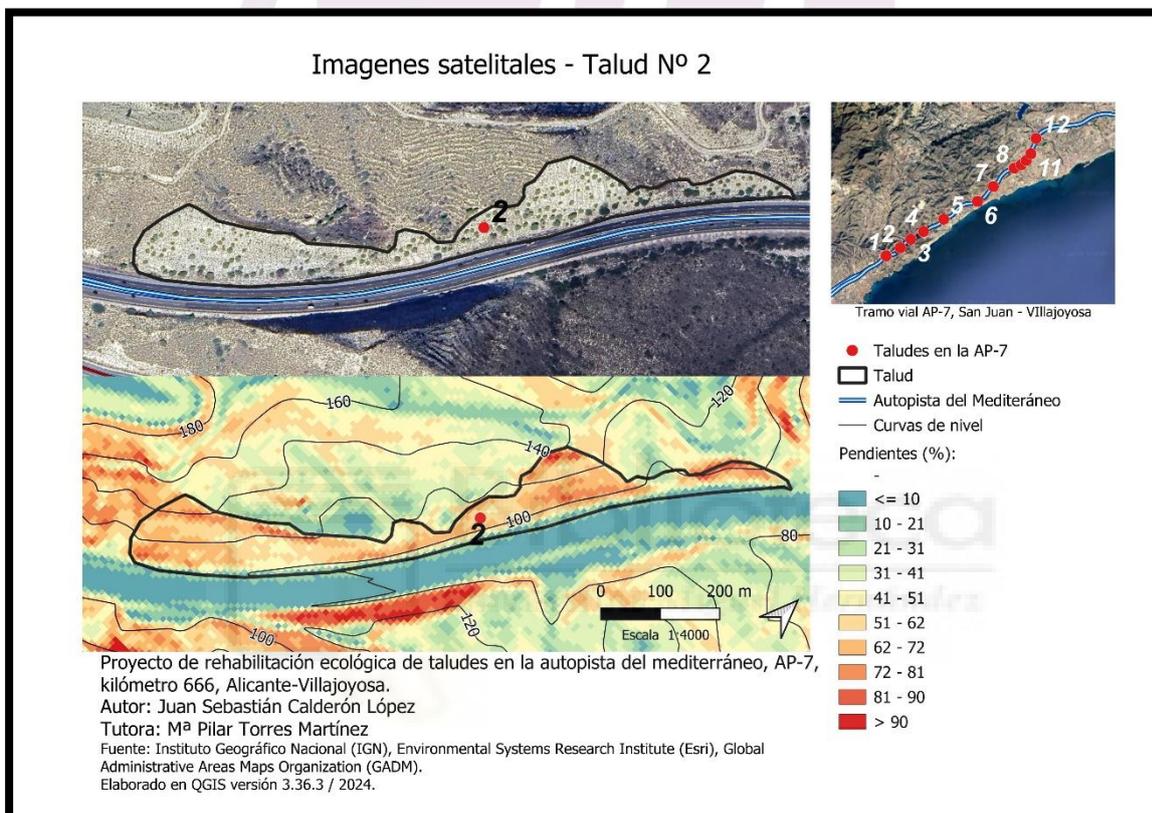


Anexo 2. Imágenes satelitales

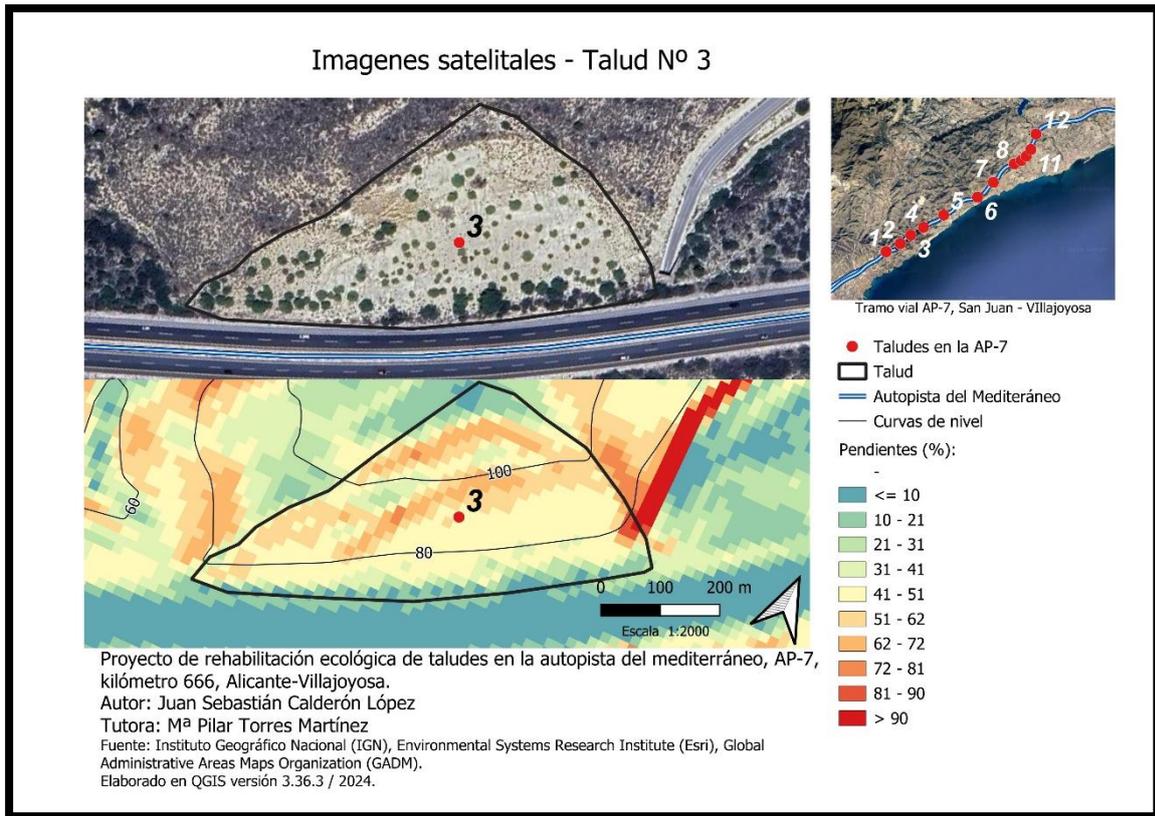
Talud Nº1



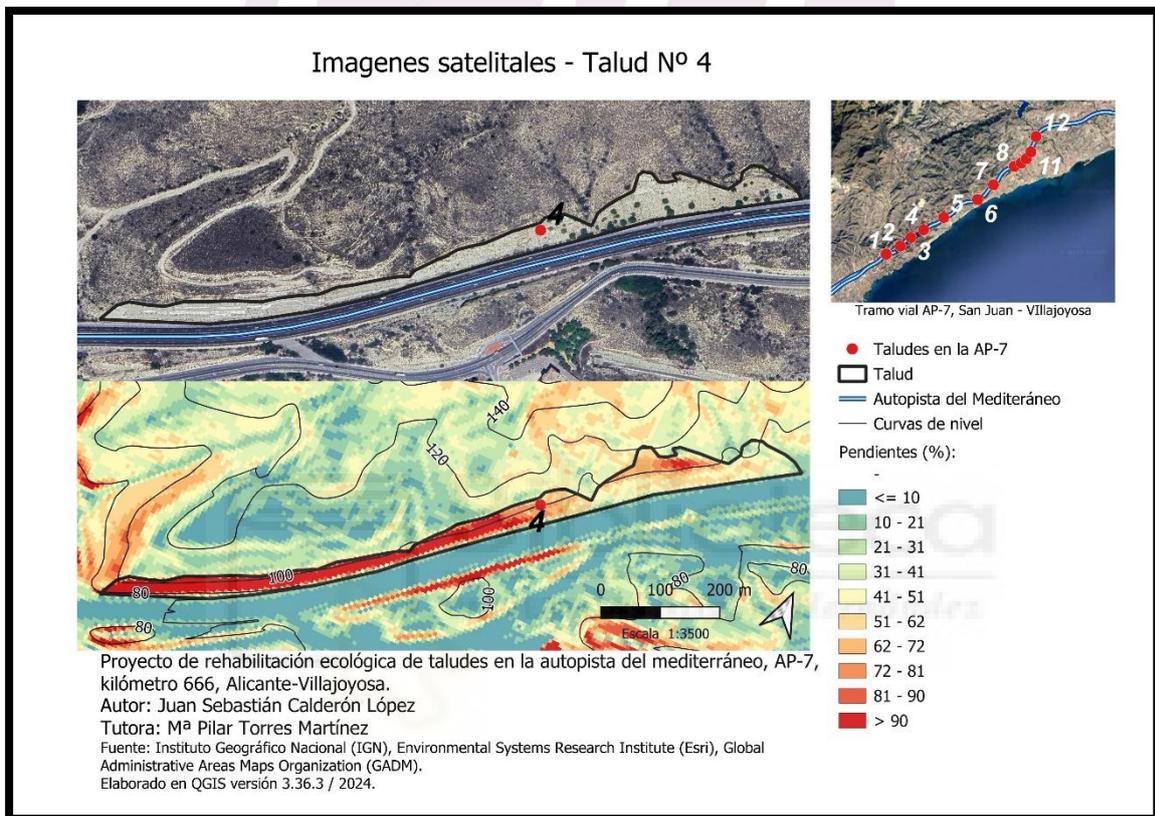
Talud Nº2



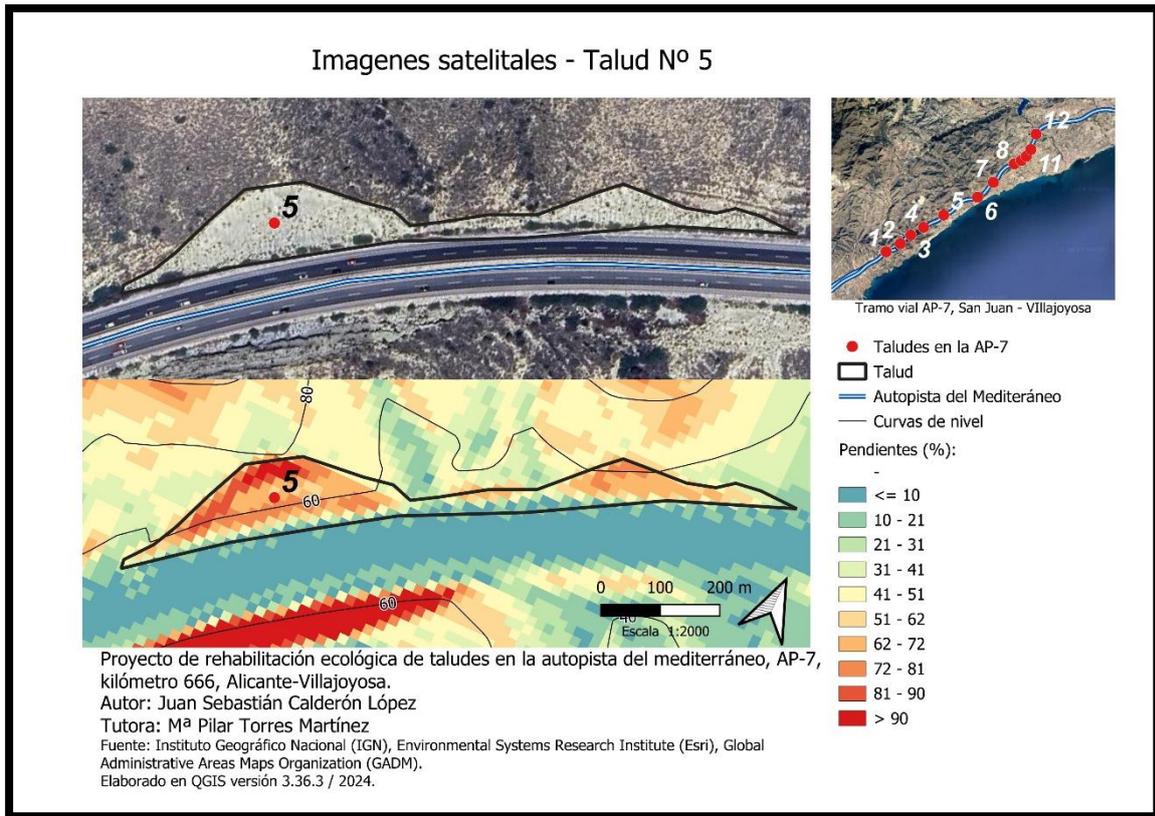
Talud Nº3



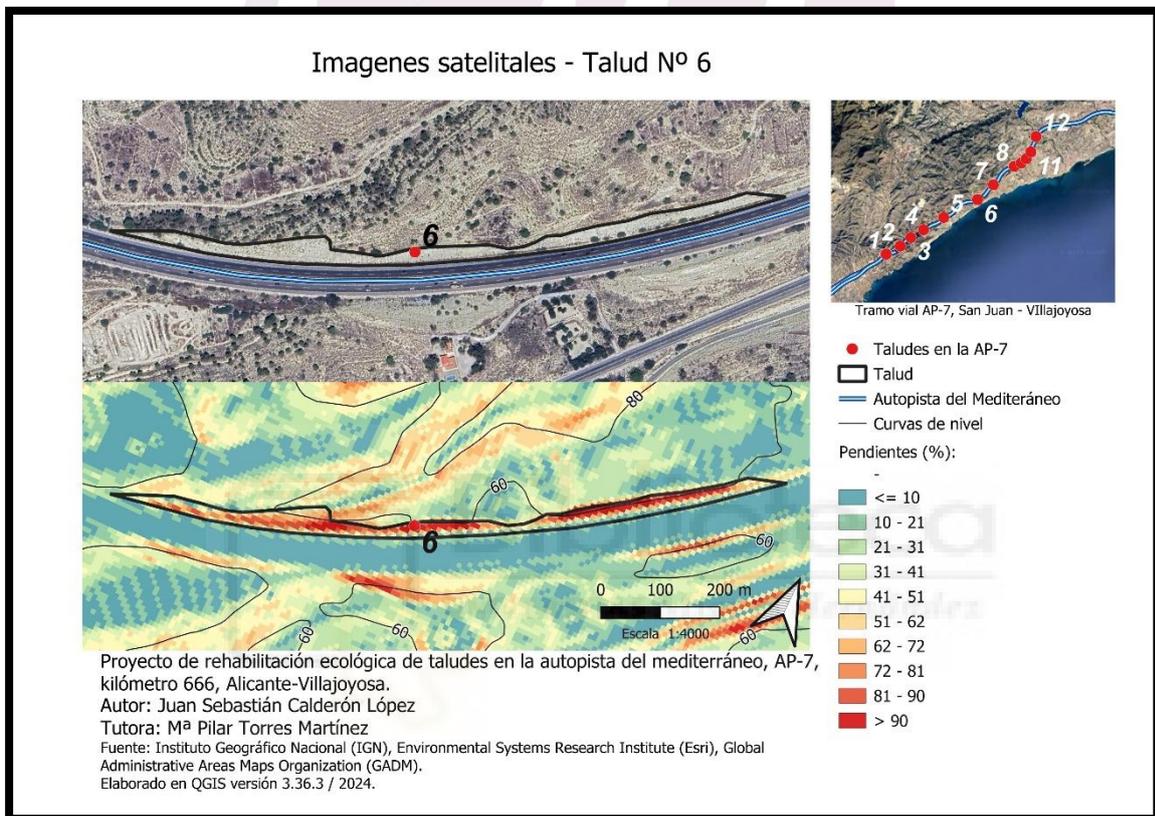
Talud Nº4



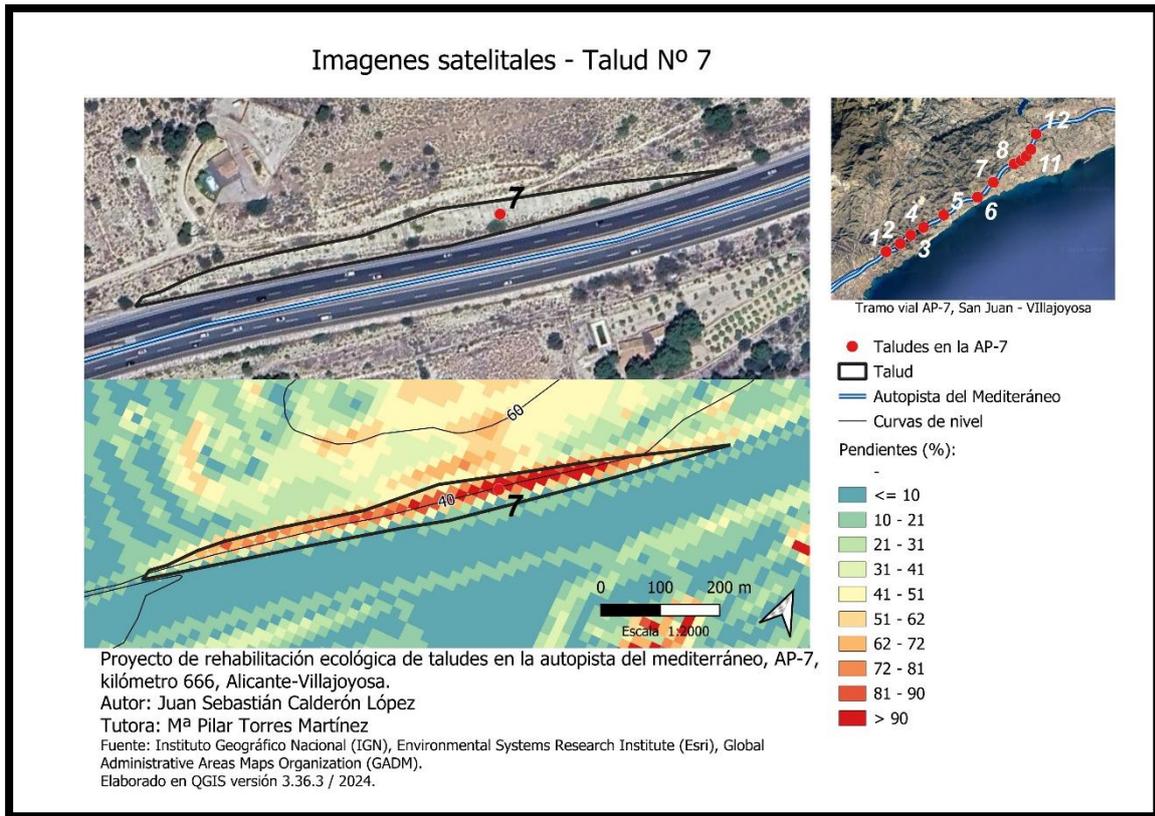
Talud Nº5



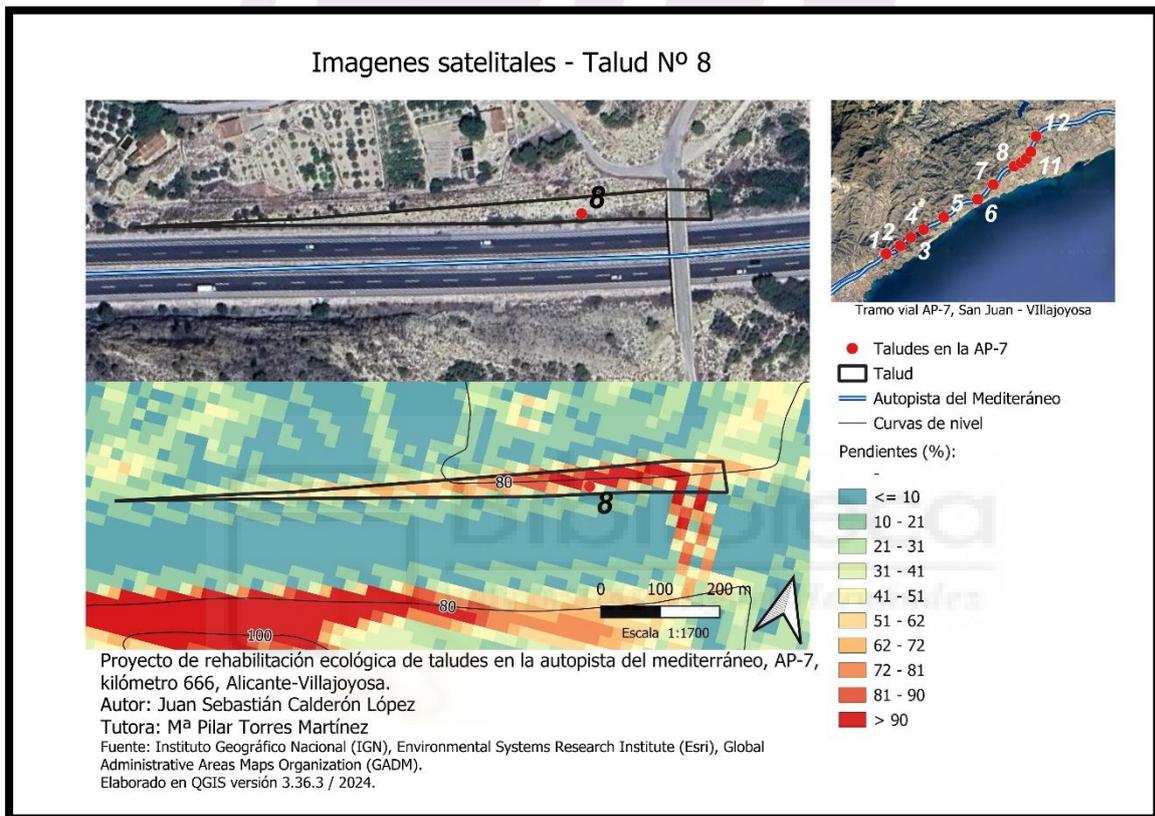
Talud Nº6



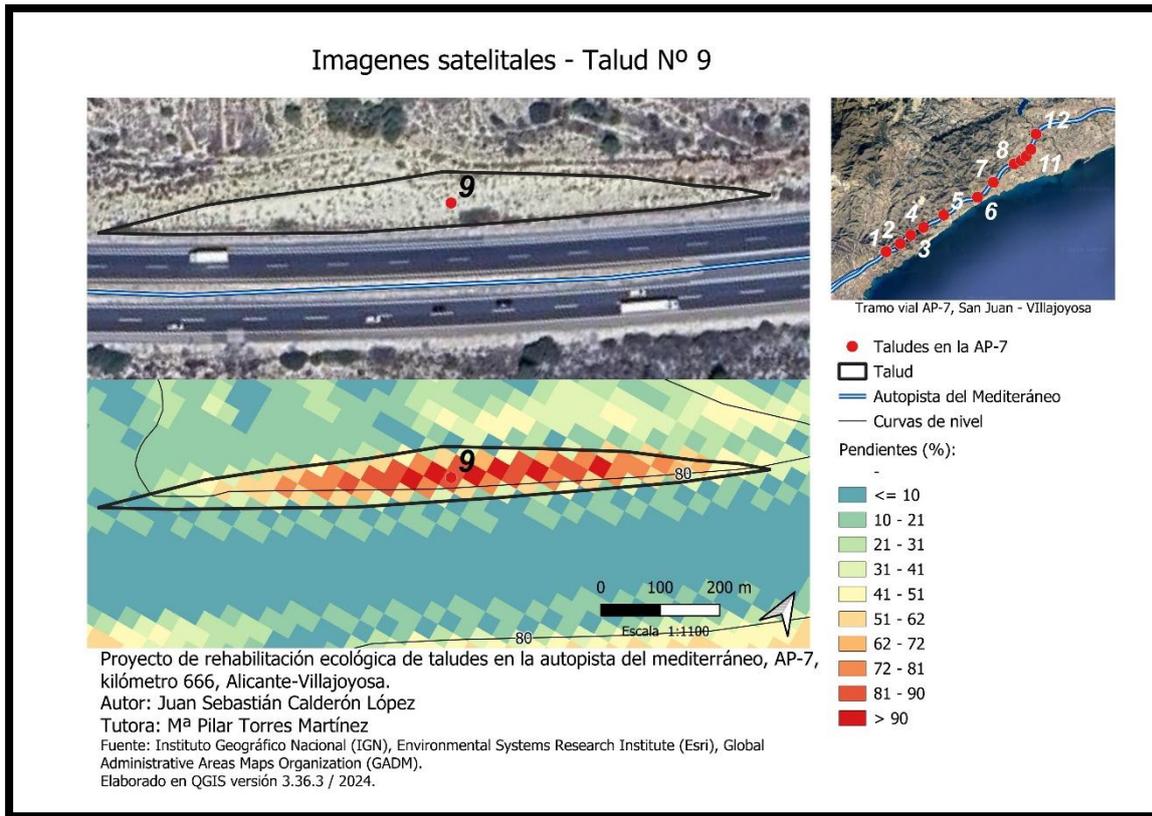
Talud Nº7



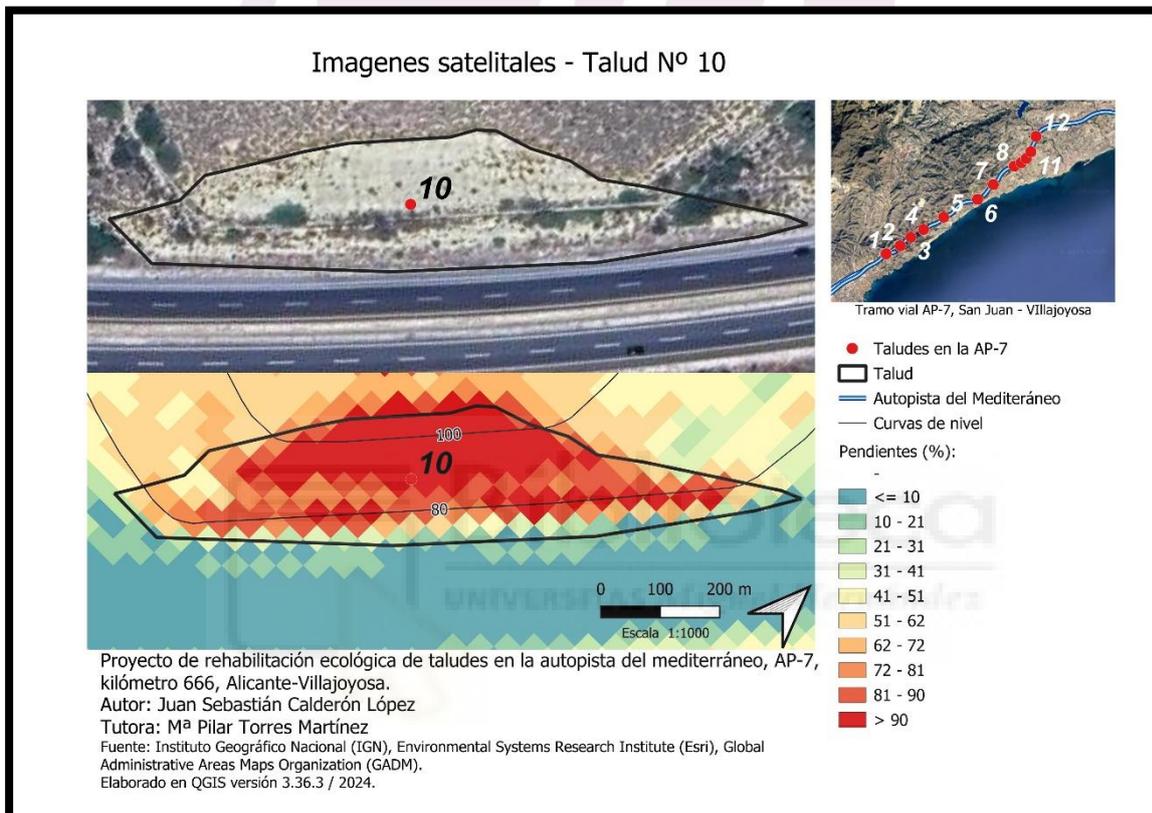
Talud Nº8



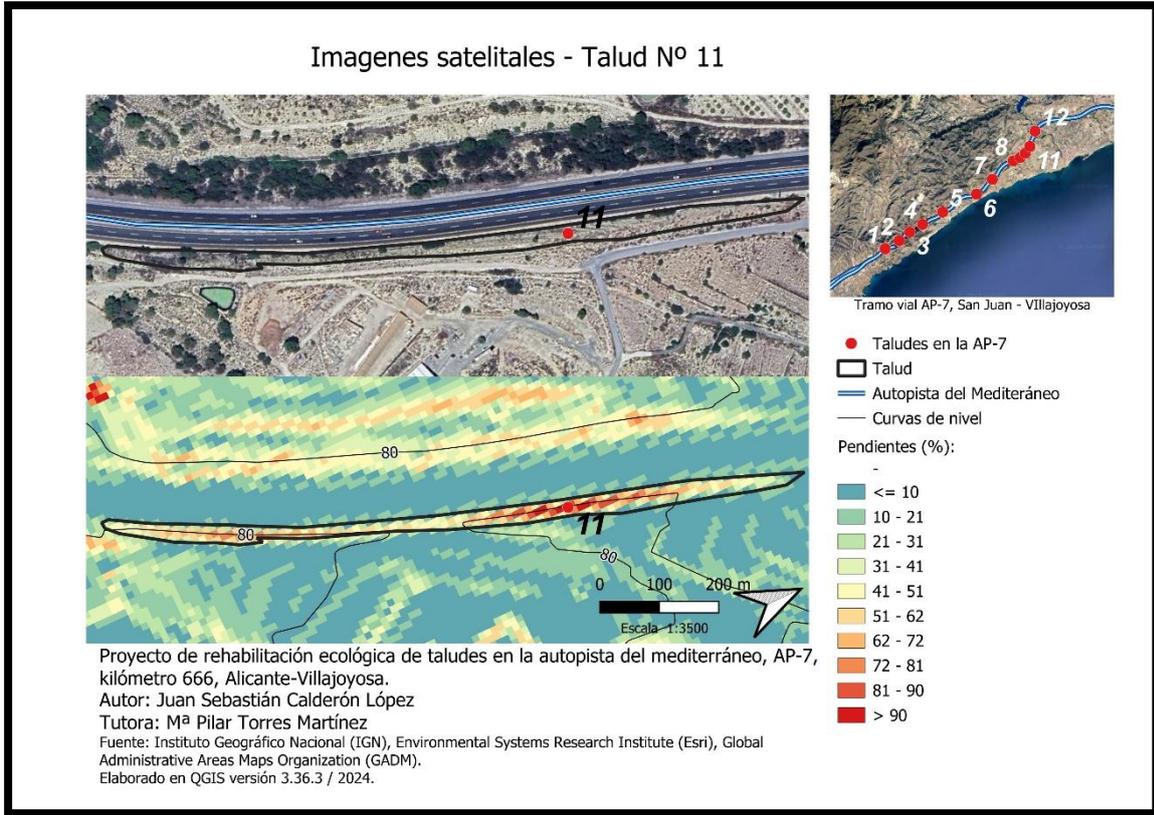
Talud Nº9



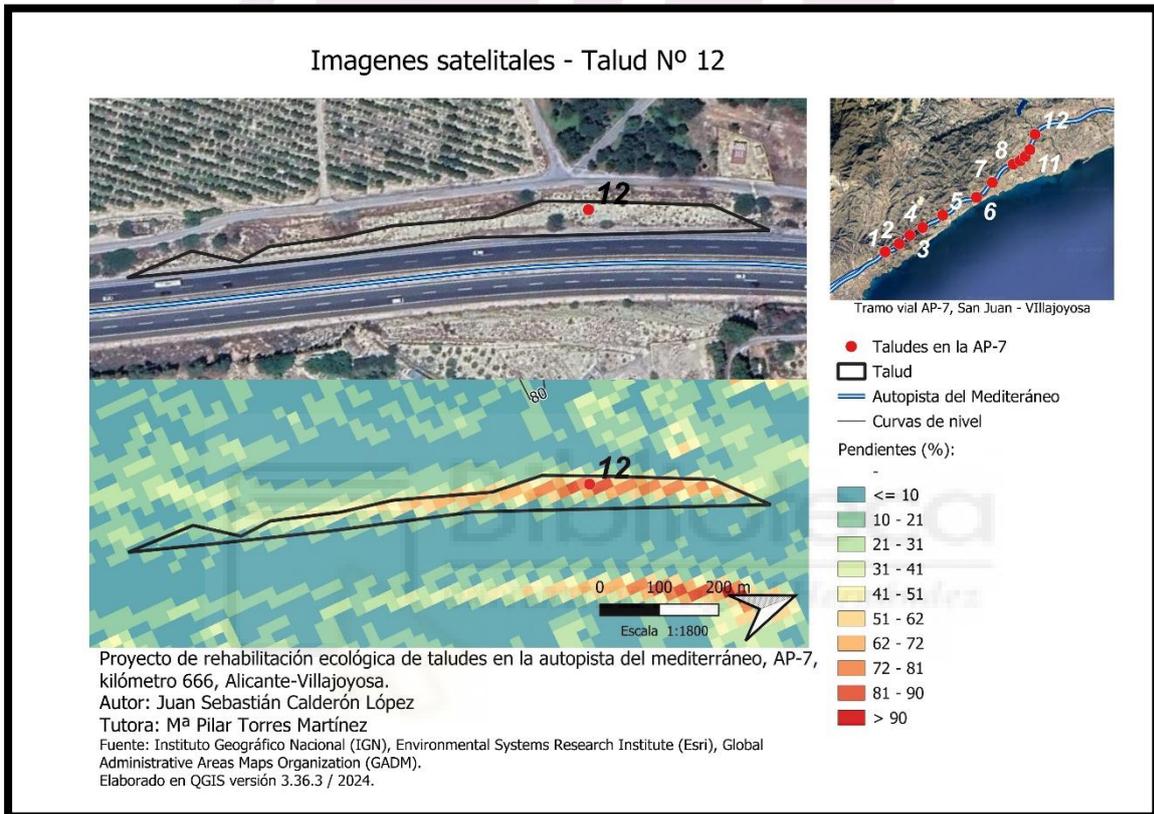
Talud Nº10



Talud Nº11

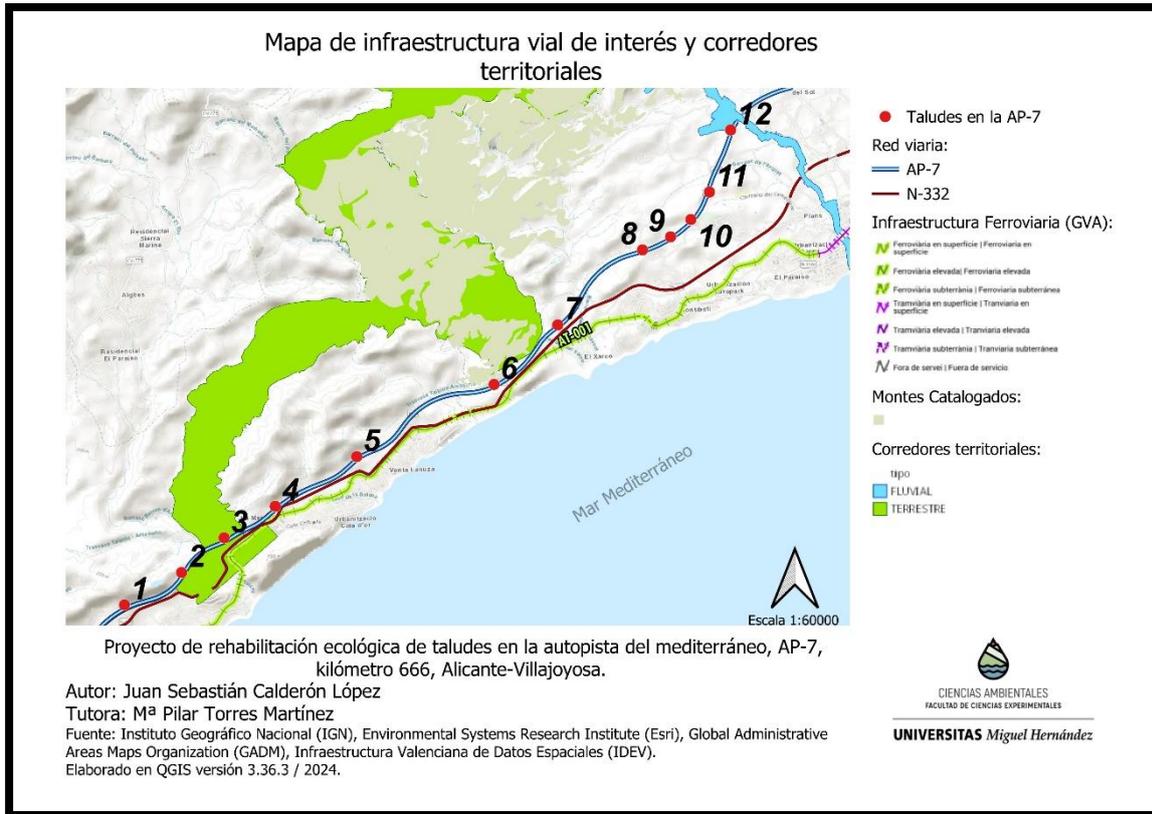


Talud Nº12

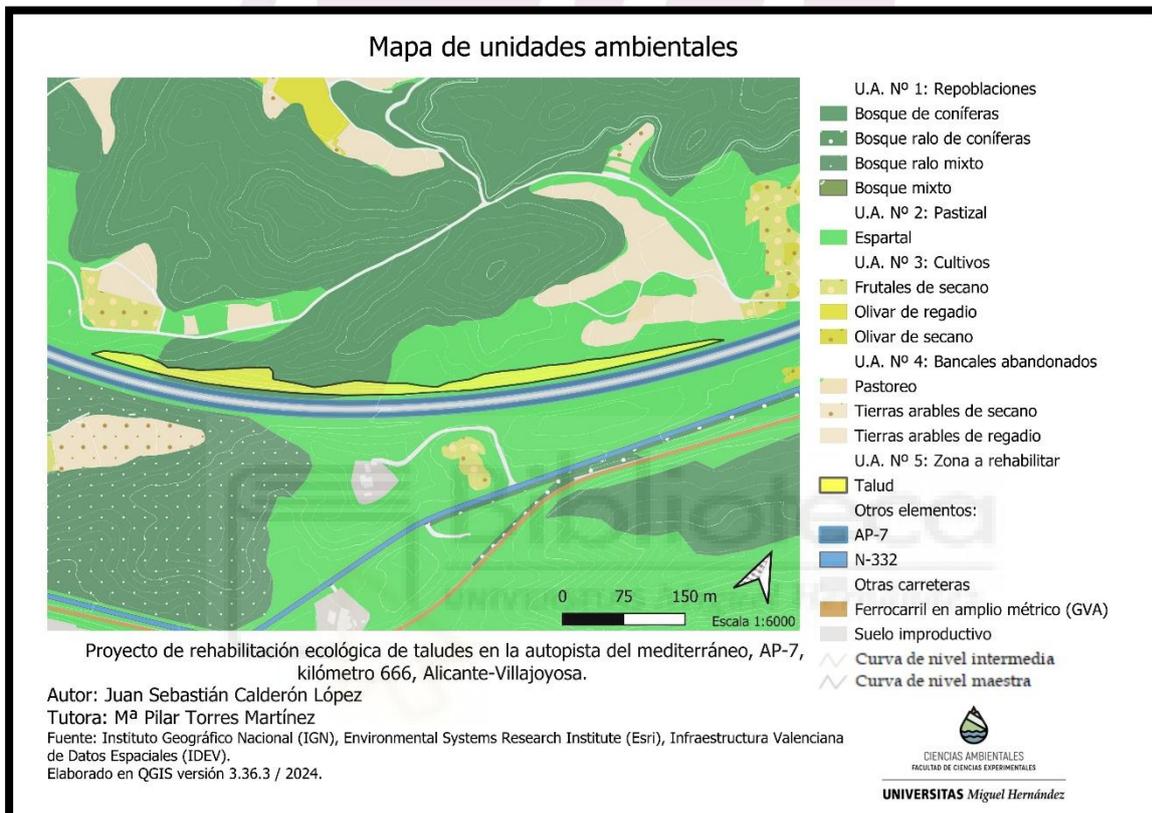


Anexo 3. Mapas

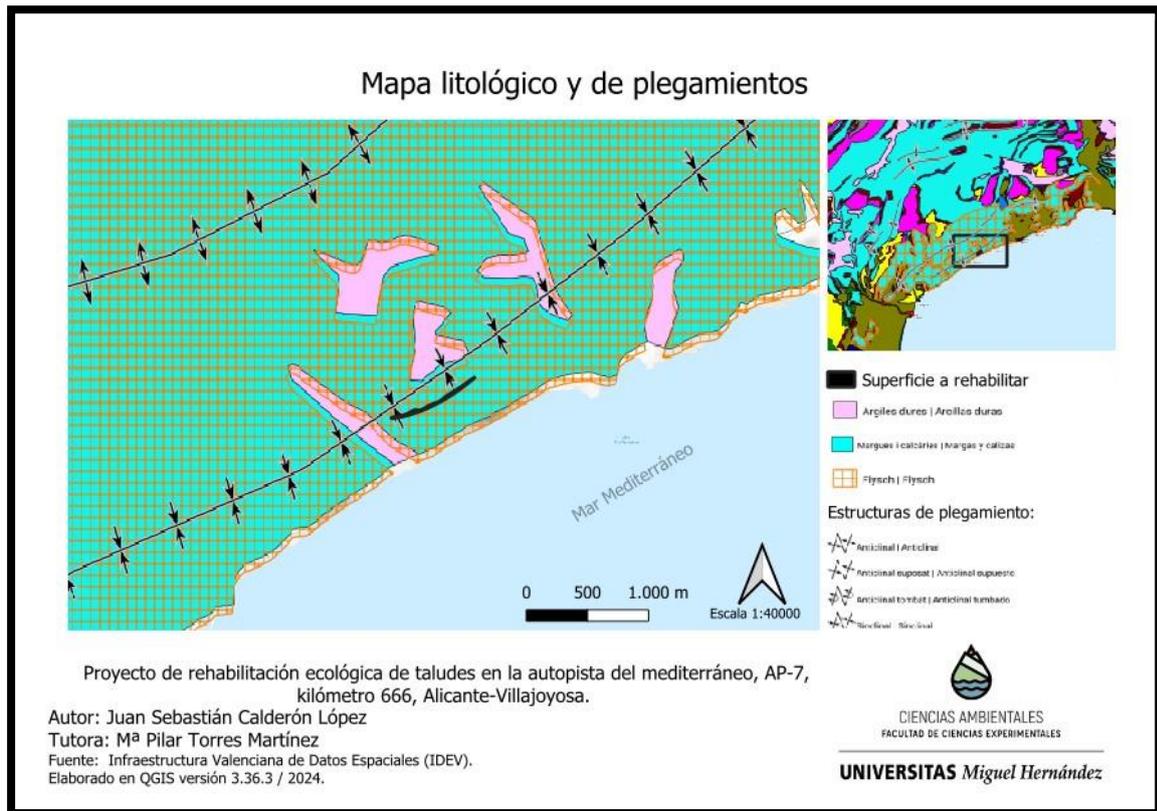
Mapa N°1



Mapa N°2



Mapa N°3



UNIVERSITAS
Miguel Hernández



Anexo 4. Imágenes fotográficas



Imagen de talud descartado. **Foto 1.** Fotografía en:

<https://www.google.es/maps/place/38%C2%B027'24.8%22N+0%C2%B021'57.2%22W>



Imagen de talud descartado. **Foto 2.** Fotografía en:

<https://www.google.es/maps/place/38%C2%B028'38.1%22N+0%C2%B019'23.7%22W>



Imagen de talud descartado. **Foto 3.** Fotografía en:

<https://www.google.es/maps/place/38%C2%B029'14.1%22N+0%C2%B017'52.5%22W>



Imagen del talud seleccionado. **Foto 4.** Fotografía en: <https://www.google.es/maps/@38.4875676,-0.2975019,3a>



Imagen Unidad Ambiental N.º 1. **Foto 5.** Repoblaciones



Imagen Unidad Ambiental N.º 2. **Foto 6.** Pastizal



Imagen Unidad Ambiental N.º 2. **Foto 7.** Cultivos



Imagen Unidad Ambiental N.º 4. **Foto 8.** Bancales abandonados



Imagen del talud a rehabilitar. **Foto 9.** Fotografía en: <https://www.google.es/maps/@38.4875676,-0.2975019,3a>



Imagen hidrosiembras en taludes de carretera. **Foto 10.** Fotografías de María Altamirano (OHL), en libro de: Valladares F. et al., 2011. Foto izquierda. Cap. 1 (pág.: 26), foto derecha: Cap. 7 (pág.:192).



Gramíneas seleccionadas. **Foto 11.** De izq. a dcha. *Stipa tenassissima*, *Lygeum spartum* y *Brachypodium retusum*.

UNIVERSITAS



Leguminosas seleccionadas. **Foto 12.** Izq. *Anthyllis cytisoides*, dcha. *Doryurum pentaphyllum*. Imágenes en: <http://herbarvirtual.uib.es/cas-med/index.html>

Anexo 5. Diagrama

Diagrama N°1. Diagrama bioclimático de Villajoyosa.

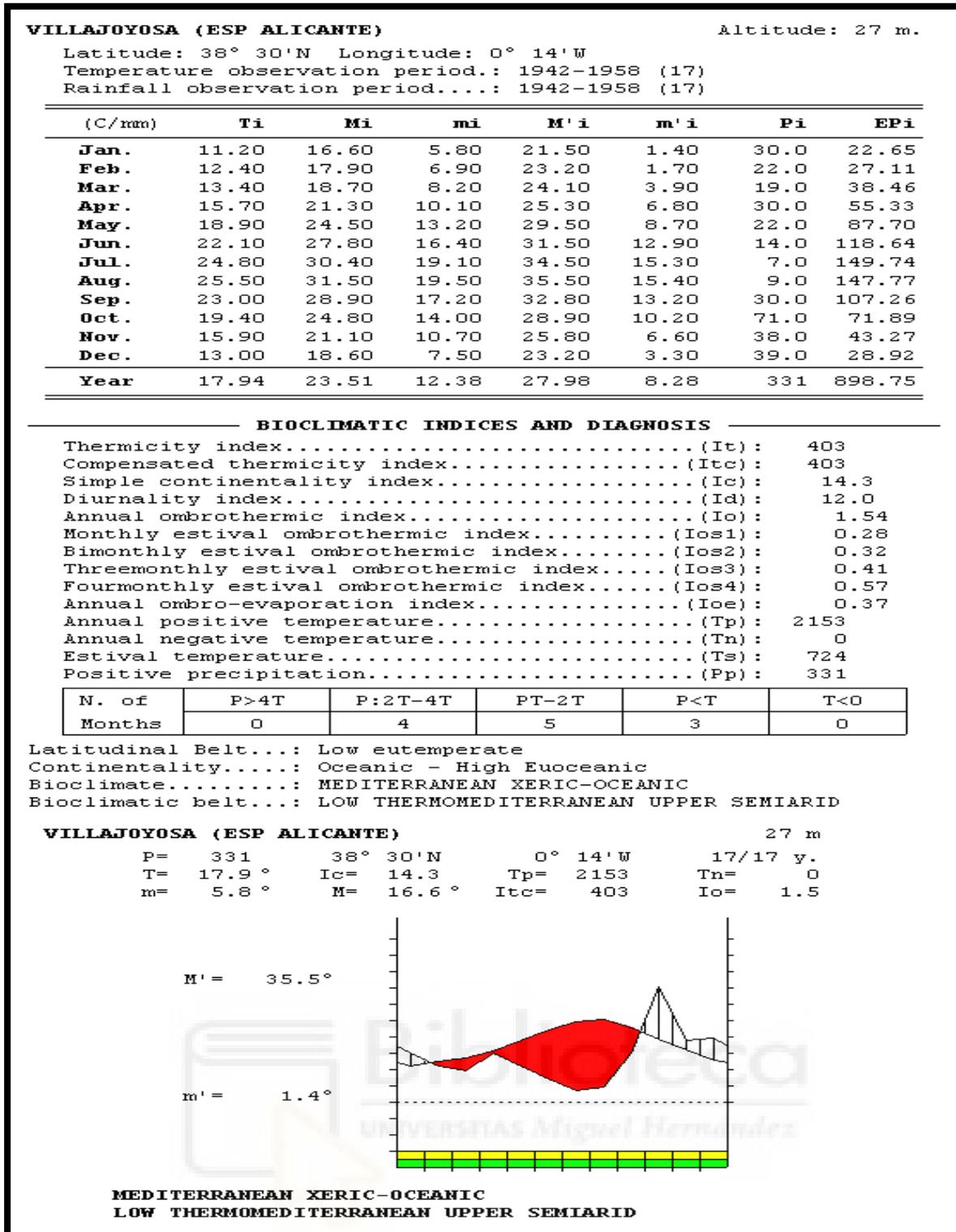


Diagrama N°1. Diagrama Bioclimático de Villajoyosa. En: [http://www.globalbioclimatics.org/station/es-
alica.htm](http://www.globalbioclimatics.org/station/es-alica.htm)