



Proyecto de restauración de la explotación de roca caliza “Esperanza Fracción III” en el término municipal de Valdilecha, Madrid

Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

Presentado por:

D^a MARTA ALONSO FERNANDES

Tutor director:

D. VÍCTOR PÉREZ DOMÍNGUEZ

Tutor Académico:

Dr. JOSÉ FRANCISCO MARTÍN DUQUE

Alcalá de Henares, a 30 de septiembre de 2016

D. Víctor Pérez Domínguez, en calidad de Técnico de Proyectos de la Fundación Tormes-EB

CERTIFICA:

que el trabajo titulado: **Proyecto de restauración de la explotación de roca caliza “Esperanza Fracción III” en el término municipal de Valdilecha, Madrid**, ha sido realizado bajo su dirección por la alumna D^a Marta Alonso Fernandes.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo la presente en Salamanca a 30 de septiembre de 2016

A handwritten signature in blue ink is written over a blue stamp. The stamp contains the text 'FUNDACION TORMES-EB' in a stylized, blocky font. To the left of the stamp is a small, dark, irregular shape, possibly a seal or a mark.

Víctor Pérez Domínguez

Fundación Tormes-EB

D. José Francisco Martín Duque, profesor titular del Departamento de Geodinámica de la Facultad de Ciencias Geológicas,

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: **Proyecto de restauración de la explotación de roca caliza “Esperanza Fracción III” en el término municipal de Valdilecha, Madrid**, ha sido realizado bajo mi tutorización académica por la alumna D^a Marta Alonso Fernandes.

En Madrid a 30 de septiembre de 2016

Firmado:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "José Francisco Martín Duque", is written over a faint, light blue rectangular stamp or watermark.

Índice

1. Resumen	3
2. Abstract	3
3. Antecedentes	4
4. Justificación del proyecto de restauración.....	5
5. Objetivos.....	8
6. Diagnóstico.....	8
6.1. Ubicación	8
6.2. Descripción del medio físico	11
• Climatología	11
• Geología y relieve	12
• Edafología	13
• Hidrología	14
• Flora.....	15
• Fauna	15
• Paisaje.....	16
6.3. Descripción del medio socioeconómico	17
6.4. Características del aprovechamiento	18
6.5. Estado legal	19
7. Análisis de la problemática: factores limitantes.....	19
8. Imagen Objetivo	20
9. Propuesta de actuaciones: rehabilitación del espacio natural afectado	20
9.1. Remodelado del terreno	21
9.1.1. Objetivos del remodelado del terreno	21
9.1.2. Fundamento teórico y métodos.....	21
9.1.3. Remodelación geomorfológica de los huecos de explotación	23
9.1.4. Fases de las actividades de remodelación del terreno	24
9.2. Proyecto de revegetación	31
9.2.1. Unidades de actuación	31
9.2.2. Preparación del terreno	31
9.2.3. Selección de especies.....	32

9.2.4.	Método de revegetación	36
9.2.5.	Diseño espacial y temporal de la vegetación	37
9.2.6.	Calidad y manejo de planta y época de plantación	38
9.2.7.	Cuidados postplantación	39
9.3.	Otras actuaciones: mejora de hábitats	40
10.	Plan de ejecución y mantenimiento	43
11.	Plan de seguimiento	45
12.	Presupuesto.....	45
13.	Conclusiones	46
14.	Agradecimientos	46
15.	Referencias.....	47
16.	Bibliografía complementaria.....	51
17.	Anexos	52
17.1.	Anexo I: Datos analíticos del suelo.....	52
17.2.	Anexo II: Presupuesto detallado	53
17.3.	Anexo III: Módulos de plantación.....	57
17.4.	Anexo IV: Mapas y planos	61

1. Resumen

Las actividades humanas que requieren grandes movimientos de tierra generan importantes impactos en el entorno, provocando cambios no sólo en el medio físico, sino también en el medio biótico, afectando además a la conectividad y el equilibrio ecológicos. Estos ecosistemas nos proporcionan bienes y servicios irremplazables, de forma que su degradación debido a una actividad como la minería, repercute negativamente no sólo en el propio ecosistema sino en la sociedad. Para evitar la pérdida de estos bienes y servicios, tras la fase de explotación minera, es necesaria la recuperación de los procesos ecológicos, por lo que se impone la necesidad de asistir a la recuperación del ecosistema (Clewell y Aronson, 2013).

Para lograr estos objetivos se elabora este proyecto de restauración con el fin de recuperar el área degradada por la explotación de roca caliza de la empresa Hanson Hispania S.A. en el término municipal de Valdilecha, Madrid. En él se propone la remodelación geomorfológica del área explotada para crear formas estables e integradas en el entorno y para ello se presenta un esquema de diseño realizado con el software Natural Regrade basado en el método GeoFluv™. Esta remodelación topográfica permite la estabilización del suelo y la implantación posterior de una cubierta vegetal compuesta principalmente por especies típicas del monte mediterráneo con *Quercus ilex* como especie principal. Debido a las limitaciones climáticas, para garantizar el éxito de la revegetación, se propone la utilización de leguminosas que actúen como plantas nodriza facilitadoras de otras especies.

2. Abstract

Human activities that involve large displacements of soil can severely impact the environment, causing changes not only to the physical environment but also the biotic environment, and affecting the ecological balance. These ecosystems provide unique ecosystem services; their degradation due to activities such as mining can therefore damage both the indigenous ecosystem and affect us as a society as a whole. To avoid the loss of these ecosystem services following mining, it is necessary to support the recovery of the ecosystem in order to restore the ecological processes (Clewell y Aronson, 2013).

To this aim this restoration project is presented, consisting in the recovery of an area degraded due to the extraction of limestone by the company Hanson Hispania S. A. in

the municipality of Valdilecha, Madrid. This project proposes a geomorphological rearrangement of the quarry area to generate stable and integrated hillsides in the surrounding area, using a design generated by the Natural Regrade software which is based on the Geo Fluv™ method. This topographic rearrangement allows for the stabilization of the soil, and the later installation of a plant cover composed primarily of Mediterranean species, with the *Quercus ilex* as the main element. Due to climatic constraints and to ensure the success of reforestation in the area we propose the use of leguminosae as nurse plants for subsequent other species.

3. Antecedentes

Hanson Hispania S.A., con CIF A-28169423 y con domicilio en C/Príncipe de Vergara nº 43 es titular de la concesión de explotación minera denominada “Esperanza Fracción III” nº 2939 (0-0-1) otorgada para explotar recursos de la sección C) mediante explotación a cielo abierto. Estos recursos se componen fundamentalmente de roca caliza extraída para la fabricación de hormigones, morteros, aglomerados asfálticos, áridos para vidrios, cemento y cal entre otros.

Dicha concesión de explotación fue otorgada por la Dirección General de Industria y Energía y Minas de la Comunidad Autónoma de Madrid el 21 de junio de 1992, con una superficie de 3 cuadrículas mineras y 30 años de duración. Actualmente se encuentra en fase de explotación y se ha iniciado el procedimiento para la prórroga por los siguientes 30 años de la concesión de la explotación denominada “Esperanza Fracción III” nº 2939 (0-0-3), en el término municipal de Valdilecha, Madrid. En esta prórroga se prevé explotar 43 hectáreas.

El presente proyecto de restauración se elabora como respuesta a la necesidad de elaborar un plan de restauración de todas aquellas actividades de investigación y aprovechamiento de recursos mineros reguladas por la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas, tal como queda expuesto en el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

El núcleo de población más cercano es Valdilecha y está situado a unos 1.800 metros de la explotación minera. Ésta es una población de 2.852 habitantes que se dedican principalmente a la industria, al turismo y a la producción agraria (INE, 2014). No existen edificaciones habitadas en las cercanías de la concesión minera.

La explotación se sitúa en el sector centro oriental de la Cuenca Meso-Terciaria del Tajo donde se diferencian materiales terciarios y materiales cuaternarios de los depósitos de glaciares y terrazas de los cercanos arroyos Anchuelo y Pantueña (Martín et al., 1972). No existen en el área de estudio cursos de agua importantes, ya que éstos son arroyos estacionales de escaso flujo. Así mismo, se ha constatado por medio de sondeos piezométricos que en los primeros 100 metros de profundidad no existen niveles freáticos.

El sistema de explotación elegido para este caso es a cielo abierto con banqueo descendente en tres bancos de 15 metros de altura, con accesos entre niveles y arranque mediante voladura. Del volumen total explotado, aproximadamente un 35% serán estériles que se usarán en la restauración geomorfológica posterior.

La zona en la que se enmarca el área de explotación tiene pendientes entre 3 y 7 %. Pese a que no se dispone de un estudio específico del área de estudio, la textura del suelo se estima como franco-arcillosa, y aunque la profundidad no sea muy elevada, los horizontes superficiales permiten la supervivencia de una cobertura vegetal típica de la zona, con desarrollos buenos de encinas y pinos en las zonas aledañas y una cobertura considerable de arbustos y caméfitos.

La precipitación media anual es de 385,4 mm, con un claro déficit hídrico entre primavera y otoño, que junto con heladas invernales, días de intensa tormenta y altas temperaturas estivales (considerando valores medios y valores máximos, siempre limitantes para la conformación de los ecosistemas) hace que el clima sea un factor limitante a tener en cuenta para el diseño de este proyecto.

4. Justificación del proyecto de restauración

La minería es una actividad ligada al ser humano con gran capacidad de impacto en el medio. El movimiento de tierras que la minería a cielo abierto requiere, provoca cambios importantes en el medio físico, biótico y en el paisaje, modificando también el equilibrio ecológico de su entorno. A pesar de su capacidad transformadora, resulta fundamental para la extracción de materias primas necesarias para satisfacer la demanda de la sociedad.

La restauración de estos espacios es un proceso de enorme complejidad técnica que requiere la reconstrucción del relieve y la recuperación de los suelos para albergar nuevamente la vida de los organismos.

Los ecosistemas nos proporcionan bienes y servicios ecosistémicos irremplazables. Para evitar su pérdida con una actividad como la minería, tras la fase de explotación, es imprescindible la recuperación de la geomorfología y los procesos ecológicos.

Por todos estos motivos, se presenta este proyecto de restauración cuyo fin es la integración ecológica y paisajística en el entorno del espacio degradado, desde un punto de vista tanto estético como funcional, de forma que se minimice el impacto causado por la explotación minera.

Para lograr este objetivo, se requiere una serie de actuaciones que permitan el ensamblaje de los diferentes factores que intervienen en la composición del ecosistema. Estas actuaciones comienzan con la formación de un relieve estable mediante la utilización de los estériles producidos en la explotación, de forma que se minimicen los procesos de erosión hídrica y se permita la estabilización del sustrato. Con ello se generan cauces de escorrentía superficial con bajo poder erosivo que finalizan en una cuenca endorreica. El desarrollo posterior de una cubierta vegetal contribuirá a esta estabilización del suelo y reducirá los procesos erosivos.

En ambientes tan degradados es difícil la colonización espontánea de la vegetación, o si se produce, requiere grandes periodos de tiempo para su desarrollo. Por ello, en este proyecto de restauración se proponen también unas actuaciones de revegetación para la instalación inicial de una cubierta vegetal protectora. Se trata de un conjunto de especies que sirven como núcleos de dispersión y aceleran la colonización y la consecución de un estadio más avanzado del ecosistema, devolviéndole así, más rápidamente, las funciones y propiedades que se alteraron con la explotación.

Cabe señalar que nos encontramos en un área altamente antropizada, en la que el intenso uso del territorio determina fuertemente el paisaje. En la zona hay registros del uso de las calizas y areniscas desde el siglo XII (Románico Digital, 2016). El elevado número de explotaciones mineras existentes permite que las poblaciones del entorno valoren positivamente cualquier esfuerzo de restauración y la integración de ese espacio en el medio. Además de la minería, también predomina la explotación agrícola de secano.

La cantera se sitúa junto a dos zonas de relevancia para el municipio: una vía pecuaria y un arroyo estacional. Actualmente la vía pecuaria es utilizada para el transporte de materiales entre los huecos mineros y la planta de tratamiento. En la nueva concesión de explotación, si bien será necesaria la utilización de la vía para el transporte, se respetará una zona de afección de 30 metros desde el límite exterior del dominio

público pecuario en la cual no se realizarán extracciones. Debido a la degradación causada por el continuo paso de camiones y maquinaria, transcurrido el tiempo de explotación, será necesario acondicionar y recuperar la vía pecuaria para su uso tradicional ganadero y como vía de uso público devolviéndole así su valor cultural.

Por otra parte, en un paisaje predominantemente agrario, el arroyo y su entorno cercano constituyen un enclave de alto valor natural para la población, ya que a ambos lados del arroyo existen sendas por donde transitar y disfrutar del paisaje. La buena conservación de esta zona favorece la conectividad natural así como la provisión de múltiples servicios ambientales. Tampoco se puede olvidar el valor productivo del área, tanto por el uso agrario como por la existencia de cotos de caza. Todos estos valores patrimoniales, culturales y productivos justifican la recuperación de la zona para que pueda seguir siendo disfrutada por los habitantes del municipio y el conjunto de la sociedad.

Para lograr una adecuada recuperación e integración en el paisaje es necesario realizar una remodelación geomorfológica tanto de los huecos generados por la minería como de los frentes de explotación, zonas de acopio, caminos para el paso de maquinaria y escombreras.

La conservación y uso posterior del suelo original en la restauración va a facilitar el establecimiento de la cubierta vegetal, lo que a su vez fomenta la estabilidad de los terrenos. Se obtendrá un suelo biológicamente funcional y estable, con microorganismos capaces de descomponer y mineralizar la materia orgánica y con un banco de semillas que facilitará la recuperación de la vegetación original.

Como es de suponer, el éxito de la restauración de las superficies afectadas depende, en gran medida, del uso posterior previsto. En este proyecto se pretende devolver la funcionalidad ecológica mediante el establecimiento de un ecosistema de encinar típico del monte mediterráneo. Con esta restauración se contribuirá a la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, se crearán nuevos hábitats para diferentes especies y se logrará revalorizar un paisaje altamente afectado por las actividades mineras.

Todas estas razones justifican el trabajo y esfuerzo necesarios para la realización de este proyecto de restauración.

5. Objetivos

El objetivo del proyecto es devolver la funcionalidad ecológica, paisajística, cultural y socioeconómica al área explotada con el fin de proveer bienes y servicios ambientales. La restauración geomorfológica de la zona permitirá recuperar un bosque autóctono e integrar en el paisaje el área degradada. Estos ecosistemas contribuyen al restablecimiento de los materiales y del ciclo de nutrientes, a la prevención de la erosión y al aumento de la biodiversidad y la productividad.

Los objetivos específicos son:

- Remodelar el relieve creando formas geomorfológicamente estables a largo plazo que minimicen la erosión hídrica con el método GeoFluv™ (Carlson Software y Bugosh, 2005; Bugosh, 2006).
- Remodelar los cortados rocosos creando formas heterogéneas, mejor integradas en el paisaje y con capacidad de albergar nuevos hábitats, gracias al método de Talud Royal™.
- Recuperar la funcionalidad ecológica mediante la revegetación de un encinar.
- Devolver a la población el uso del territorio con el establecimiento de un ecosistema de monte mediterráneo.
- Reducir la fragmentación de los hábitats mediante el establecimiento de un ecosistema que favorezca la conectividad entre manchas forestales.
- Reducir el impacto paisajístico generado con la integración en la matriz circundante.
- Potenciar la función cultural y de recreo de la zona explotada mediante la recuperación de la vía pecuaria para poder disfrutar tanto del ecosistema del encinar como el de cortados rocosos y de la observación de fauna.

6. Diagnóstico

6.1. Ubicación

La explotación objeto de este estudio se encuentra en el término municipal de Valdilecha (Madrid), en los parajes denominados “Los Cuarteles” al norte de la

población de Valdilecha (**Figura 1**), en la Hoja 583 “Arganda” del Mapa Topográfico Nacional a escala 1/50.000.

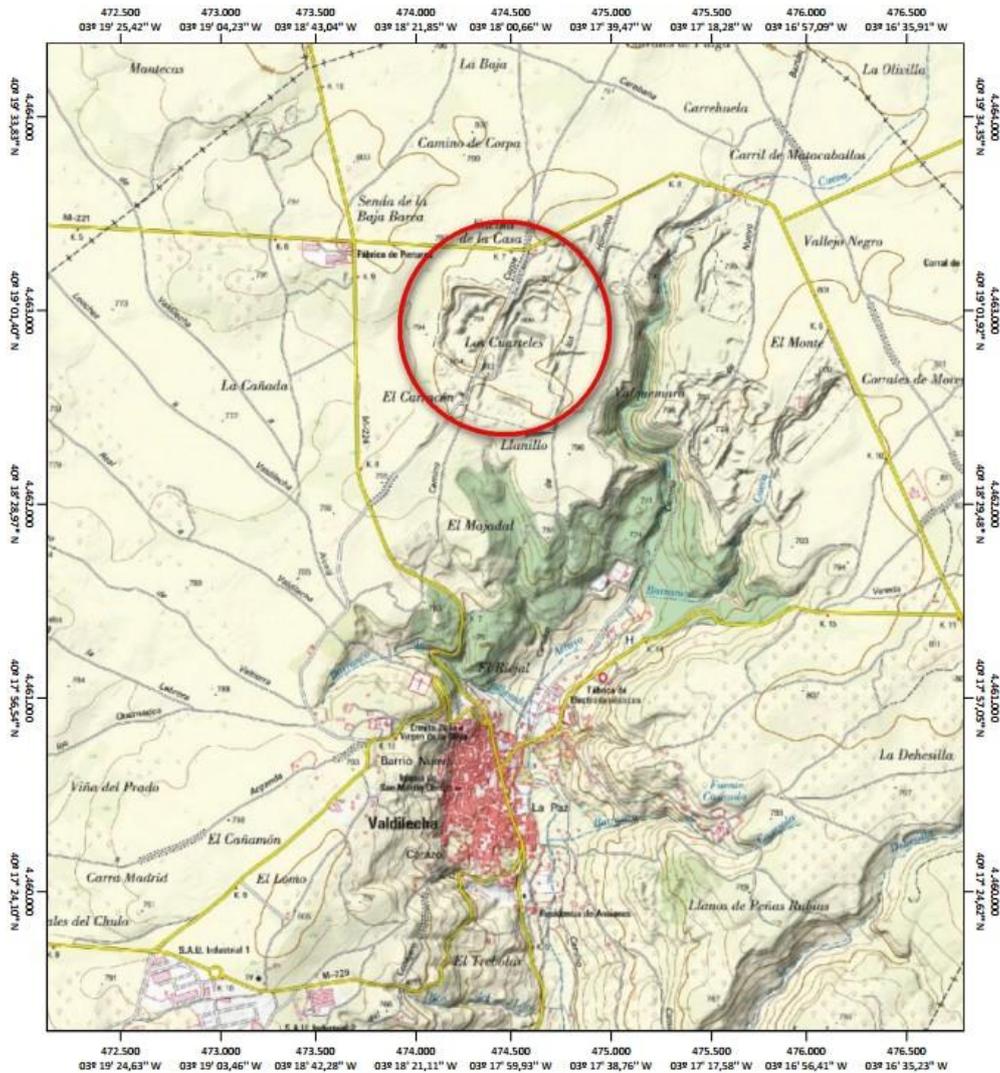


Figura 1. Localización de la cantera de Valdilecha. Fuente: Instituto Geográfico Nacional

Las coordenadas de los vértices que cierran el perímetro de la explotación son los que aparecen a continuación en la **Tabla 1**:

Tabla 1. Coordenadas de los vértices de la explotación “Esperanza III”

Vértice	Longitud	Latitud
1	3° 17' 20" W	40° 19' 00"N
2	3° 18' 20" W	40° 19' 00"N
3	3° 18' 20" W	40° 19' 20"N
4	3° 17' 20" W	40° 19' 20"N

En la **Figura 2** se pueden observar las tres cuadrículas mineras correspondientes a Esperanza Fracción III y las áreas previstas para la explotación durante los próximos 30 años.

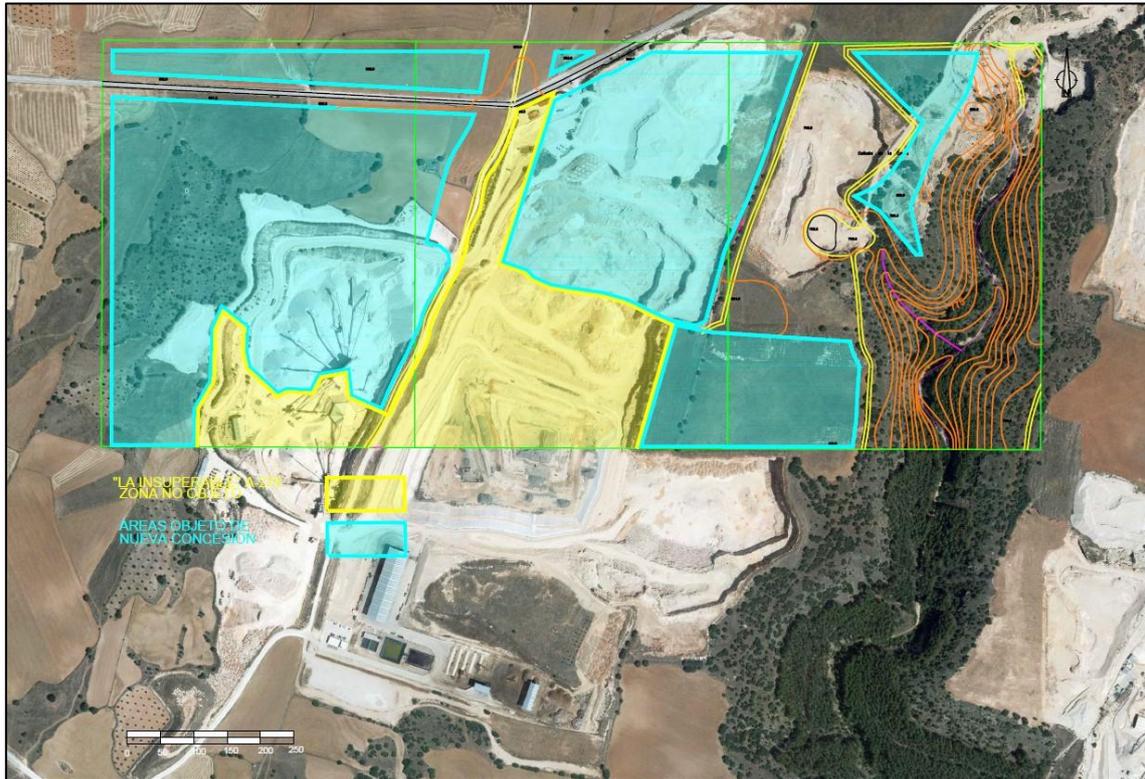


Figura 2. Cuadrículas mineras de “Esperanza III” y áreas objeto de la nueva concesión de explotación (azul). En color amarillo se observa la antigua concesión “La Insuperable” no objeto de este proyecto de restauración

Se localiza a una altitud de unos 800 metros sobre el nivel del mar. La explotación colinda al norte con la carretera autonómica M-221, al este se encuentra el Arroyo de la Cueva, a unos 400 metros al oeste se localiza la carretera autonómica M-224 y a 1.800 metros al sur de la explotación se encuentra la población de Valdilecha.

La explotación se encuentra inmersa en una matriz fundamentalmente agrícola, sobre un gran llano productor de cereales con manchas de cultivos arbóreo (almendros y olivares) y encinar disperso en las márgenes de los cultivos.

No existen edificaciones habitadas en las cercanías de la concesión minera.

6.2. Descripción del medio físico

• Climatología

El área de estudio se encuentra en el piso bioclimático mesomediterráneo superior de clima templado con verano seco y caluroso.

Se han obtenido los siguientes datos climatológicos correspondientes al período 1981-2010 de la estación climatológica 3175 ubicada en Torrejón de Ardoz cuyos datos pueden ser asimilables a la zona de estudio. Esta estación se encuentra a unos 10 kilómetros de la cantera de Valdilecha, en las coordenadas 40°29'19" N y 3°26'37" O y a 607 metros de altitud.

En los meses más cálidos (julio y agosto) se han registrado temperaturas máximas absolutas de 41,6°C, siendo el valor promedio de las temperaturas máximas del mes más cálido de 33,3°C.

En los meses más fríos (diciembre y enero) se han registrado temperaturas mínimas absolutas de -11,1°C. En este caso el valor promedio de la temperatura mínima del mes más frío es de 0,5°C. En el mes de enero se registran una media de 15 días con temperaturas por debajo de 0°C por lo que la probabilidad de heladas en este período es elevado.

Con respecto a la precipitación se obtienen unos valores totales de 385,4 mm. Existe un claro déficit hídrico estival, obteniéndose los valores máximos durante la primavera y el otoño, en los que el mes más lluvioso apenas supera los 50 mm.

Estos datos de temperatura y precipitaciones, cuyos valores medios están representados en el climograma de la **Figura 3** de Torrejón de Ardoz, nos indican que la vegetación ha de estar adaptada a soportar inviernos fríos y veranos calurosos, en los que el déficit hídrico estival va a ser uno de los principales factores limitantes.

El número de días de tormenta es muy variable. El mes con mayor promedio de días tormentosos es mayo con casi cuatro días por mes. Sin embargo, se han llegado a registrar hasta diez días de tormenta durante el mes de julio. En climas semiáridos como el mediterráneo, es durante este tipo de eventos extremos donde normalmente se producen los mayores episodios de erosión hídrica. Por esto resulta imprescindible diseñar una geomorfología que permita la estabilidad del sustrato y que limite la formación de estructuras erosivas como regueros y cárcavas. Esta estabilidad aumentará con el establecimiento de una cubierta vegetal protectora.

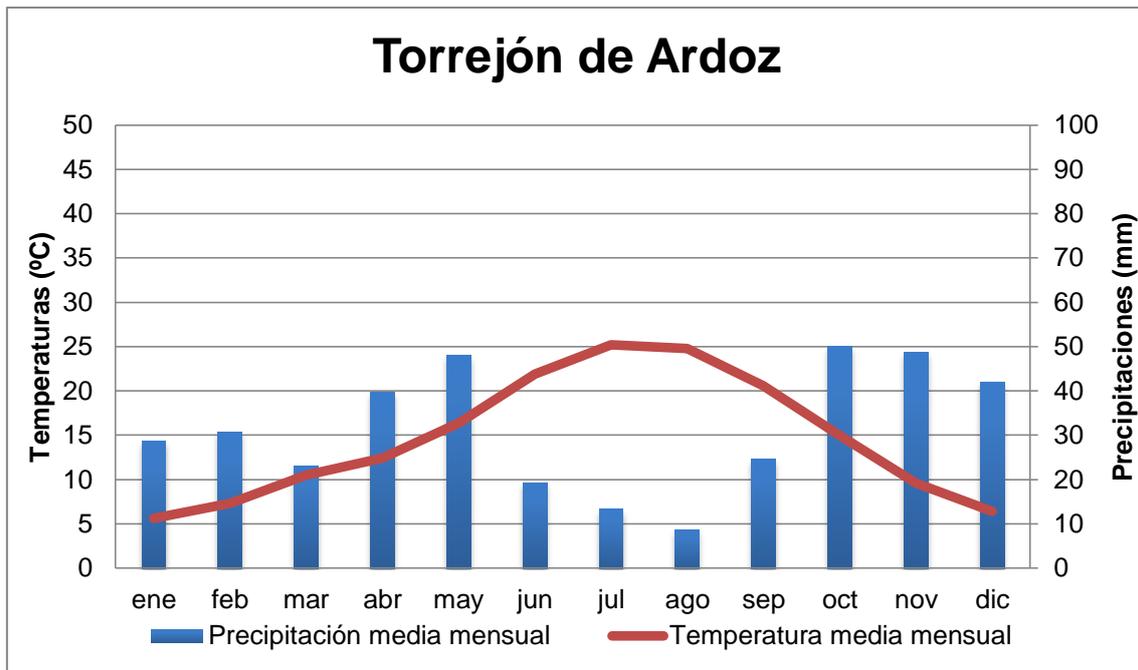


Figura 3. Climograma de la estación meteorológica de Torrejón de Ardoz

- **Geología y relieve**

La explotación se sitúa en el sector oriental de la Cuenca Meso-Terciaria del Tajo, en las altiplanicies calcáreas de los Páramos. La geología de la zona se corresponde con un sistema de abanicos aluviales formado principalmente por materiales de precipitación química con elementos detríticos intercalados, donde se pueden diferenciar materiales terciarios y cuaternarios de los depósitos de glaciares y terrazas de los arroyos Anchuelo y Pantueña (Martín et al., 1972).

La Unidad del Páramo está formada por calizas de facies lacustres, con presencia de intercalaciones alternantes de calizas margosas y margas rojizas. Pueden observarse niveles discontinuos de caliches y arcillas de descalcificación. La potencia media de esta unidad es de unos 50 m. Sobre la caliza del Páramo deformada en suaves pliegues se desarrolla un proceso de karstificación con rellenos de terra rossa y, en resumen, los materiales que se verán afectados por la explotación son los depósitos arcillosos de glaciares y las calizas miocénicas.

El relieve, en líneas generales, es poco accidentado, con leves inclinaciones y líneas morfoestructurales hacia los ríos Henares y Jarama. Concretamente en el área la pendiente global oscila entre el 3-7%.

La altura media de la zona de explotación es de 870 m sobre el nivel del mar. A nivel regional tiene una inclinación al S-SW, que alcanza valores medios del 0,5 % al 0,6% en el mismo sentido que la inclinación de la Meseta.

- **Edafología**

Los suelos de la zona están clasificados como suelos rojos mediterráneos sobre material calizo. Según la FAO (2007) el suelo se clasifica como luvisol cálcico. Estos suelos se han formado sobre calizas duras cretácicas ocupando superficies planas sobre las denominadas Calizas del Páramo.

Los luvisoles se caracterizan por presentar un perfil edáfico ABtC en el cual el horizonte B se encuentra enriquecido en arcilla. Esta arcilla se ha acumulado debido a dos procesos diferenciados, por un lado, mediante argilización (por simple acumulación) y por otro, mediante iluviación o lavado de un horizonte superior formando un horizonte típico árgico. El horizonte orgánico está constituido por un mull cálcico de unos 10 cm de espesor. Con una transición de uno o varios centímetros se pasa al horizonte Bt de color rojo fuerte (Guerra, 1968).

Con respecto a las propiedades químicas y mineralógicas cabe destacar que el contenido en materia orgánica es del orden del 2-5%. El suelo está profundamente descarbonatado y cuando hay caliza se debe a aportes secundarios y aparece cristalizada. Como consecuencia de la desintegración química, la argilización del perfil es muy manifiesta. El pH está comprendido entre 6 y 7. La capacidad de cambio es relativamente baja, 15-20 meq. por 100, estando la arcilla casi saturada por iones calcio. La textura es arcillosa o franco-arcillosa, de permeabilidad media, alta retención de agua, prácticamente sin piedras ni carbonato cálcico en el horizonte B pero gran acumulación en el horizonte C. Está fuertemente saturado en bases. En la mineralogía de estas arcillas predominan las del grupo del caolín e illita con algo de goetita y otros minerales. El aprovechamiento tradicional en este tipo de suelos en régimen de secano es de cereal, olivar y viñedo.

Siguiendo el Mapa de Asociaciones de Suelos de la Comunidad de Madrid (Monturiol y Alcalá, 1990) se han obtenido para los luvisoles cálcicos los datos analíticos presentados en la **Tabla 12** del **Anexo I**. De ésta cabe destacar la buena profundidad de los horizontes A y B (23 y 47 cm) además de parámetros físicos como una densidad real de 2,69 g/cm³. La densidad aparente es de 1,5 g/cm³, lo que denota la buena estructura y capacidad de almacenar agua de estos suelos gracias a su textura

franco arcillosa. Aunque la materia orgánica no es excesiva (1,7%) se encuentra dentro del rango normal, junto con un pH ligeramente básico de 7,3.

- **Hidrología**

Aguas superficiales

Las precipitaciones y los cursos de los ríos y arroyos que se encuentran en la zona caracterizan la hidrología de las aguas superficiales.

La explotación minera se encuentra dentro de la Cuenca Hidrográfica del Tajo, en la unidad hidrogeológica denominada *La Alcarria* formada por materiales Miocenos. Dentro de ésta se localiza en la subcuenca del Jarama, entre los ríos Tajuña y Henares. Al oeste de la explotación se encuentra el Arroyo de la Cueva, aunque debido al escaso régimen de precipitaciones en la zona este arroyo es estacional. No existen flujos de agua regulares en las cercanías.

A nivel de paisaje la morfología corresponde a los Páramos, formando mesetas más o menos planas a altitudes próximas a 800 m sobre el nivel del mar y con una ligera inclinación hacia el SW.

Actualmente las aguas de precipitación retenidas en el hueco minero se evaporan o son infiltradas por el propio terreno.

Aguas subterráneas

La explotación minera se encuentra sobre formaciones fisuradas y karstificadas, dentro de las calizas lacustres de los Páramos, que en su totalidad constituyen el denominado sistema acuífero nº 15.

La recarga de los acuíferos se produce exclusivamente por la infiltración de las precipitaciones que tienen lugar sobre los afloramientos, y la descarga natural ocurre a través de los manantiales que bordean los páramos, yendo a parar estas aguas a los correspondientes ríos que actúan como ejes de drenaje del sistema. En este sentido, la circulación subterránea se dirige hacia los bordes de los páramos.

Las calizas del área que nos ocupa pueden funcionar como acuífero colgado, de baja transmisividad. Químicamente estas aguas son de dureza media. La concentración de sólidos disueltos varía entre 500 y 1000 ppm y la concentración de cloruros está próxima a 25 ppm. Tanto la mineralización como la conductividad son notables y

umentan hacia los páramos más meridionales. La naturaleza química predominante es bicarbonatada cálcica y la calidad general de las aguas es químicamente aceptable.

Debido a la naturaleza permeable de los materiales que forman el recurso (calizas), podemos afirmar que el terreno se encuentra bien drenado, siendo la dirección de flujo de aguas superficiales en sentido E-W.

Se han realizado sondeos para exploración de agua subterránea en la zona y no se ha localizado en una profundidad de 100 metros, por lo que en este caso, el acuífero no resulta de gran trascendencia.

- **Flora**

Las nuevas áreas explotables se ubican en terreno de uso agrícola, por lo que en ellas no existen formaciones vegetales autóctonas, sin embargo, se observan remanentes de vegetación formados por individuos dispersos de quercíneas (*Quercus ilex*, *Quercus coccifera*). La presencia de estas especies junto con el estudio de la vegetación potencial de la zona mediante el Mapa de Series de Vegetación de España (Rivas-Martínez, 1987) nos permitirá la elaboración del plan de revegetación previsto para el área a restaurar que se detalla en el punto 9.2. *Proyecto de Revegetación* de este documento.

- **Fauna**

Entre la fauna que podemos encontrar en el entorno destacan, por su incidencia sobre la vegetación, mamíferos como el conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*), el jabalí (*Sus scrofa*) y la liebre ibérica (*Lepus granatensis*), además de la presencia secundaria de zorros, diversos mustélidos y pequeños roedores.

Otro grupo importante es el de las aves. Entre éstas existen diversos grupos diferenciados por los espacios en los que habitan, se refugian, se alimentan o se reproducen. El grupo más característico es el de las aves rupícolas, aquellas que aprovechan cortados rocosos y grietas. En este caso, los frentes de explotación de la cantera incrementan la disponibilidad de hábitat para este tipo de aves, por lo que favorecen su presencia (Castillo et al., 2008). Dentro de este grupo de aves son comunes el cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*), el mochuelo común (*Athene noctua*) o la lechuza común (*Tyto alba*). También pueden estar presentes algunas rapaces como el busardo ratonero (*Buteo buteo*).

En el ecosistema del encinar, tanto en áreas densas y cerradas como en zonas menos densas y abiertas, se pueden encontrar multitud de especies gracias a sus conexiones con la matriz agraria aledaña. En los agrosistemas típicos mediterráneos de cultivo de cereal y encinar existe una gran diversidad de aves, desde grandes rapaces como el milano negro (*Milvus migrans*), el busardo ratonero (*Buteo buteo*), el búho chico (*Asio otus*), el búho real (*Bubo bubo*) o el autillo (*Otus scops*), hasta muy diversas especies de passeriformes de grupos como fringílicos (*Carduelis carduelis*, *Fringilla coelebs*, *Serinus serinus*), páridos (*Parus caeruleus*, *Parus major*), lánidos (*Lanius excubitor*, *Lanius senator*), frugívoros (*Sylvia* sp., *Erithacus rubecula*), insectívoros (*Saxicola* sp.) y córvidos (*Corvus corone*, *Corvus monedula*, *Garrulus glandarius*, *Pica pica*) como indicadores de la potencial capacidad de dispersión de semillas de encina.

Por otra parte, siguiendo la Base de Datos Herpetológica y el Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España (Pleguezuelos, 2002), en la cuadrícula UTM en la que se encuentra el área a restaurar, se localizan los siguientes reptiles: *Podarcis hispanica*, *Malpolon monspessulanus*, *Lacerta lepida*, *Rhinechis scalaris*, *Psammodromus algirus*, *Chalcides striatus*, *Coronella girondica*, *Mauremys leprosa*, *Natrix maura*, *Hemorrhoids hippocrepis* y *Timon lepidus*. La mayor parte no han sido catalogadas a nivel internacional por la IUCN pero a nivel español cuentan con categoría de *preocupación menor* (LC). En cambio, el galápago leproso (*Mauremys leprosa*) está catalogado como *vulnerable*, y dado que es una especie termófila que habita en charcas o arroyos de aguas remansadas (Da Silva, 2002), la creación de cuencas endorreicas en esta restauración podría suponer un aumento relevante de su hábitat en la zona.

Así mismo, se han citado en la zona diversos anfibios (*Pelophylax perezi*, *Pelodytes punctatus*, *Discoglossus jeanneae*, *Alytes obstetricans*, *Pleurodeles waltl*, *Pelobates cultripes*, *Rana perezi* y *Bufo calamita*) que se beneficiarían de la creación de una cuenca endorreica en cada hueco de explotación por el aumento de zonas de encharcamiento estacional.

- **Paisaje**

La degradación paisajística producida en las últimas décadas debido a las actividades humanas ha puesto de manifiesto la necesidad de tratar lo que anteriormente constituía un mero fondo estético, como un recurso cada vez más limitado que hay que proteger. El paisaje está adquiriendo una creciente consideración en el conjunto de valores ambientales que reclama la sociedad, lo que genera la necesidad de darle

un valor objetivo, tanto estético como ambiental, por difícil que sea. En este sentido, se puede valorar la capacidad del terreno para soportar, desde el punto de vista paisajístico, la explotación minera.

En una superficie llana, los impactos visuales durante la explotación de una cantera son relativamente altos. Por este motivo, este plan de restauración pretende minimizarlos mediante un relleno parcial con formas naturales que serán restauradas como un encinar. Estas actuaciones generarán un paisaje heterogéneo pero al mismo tiempo perfectamente integrado en el entorno.

6.3. Descripción del medio socioeconómico

La población de Valdilecha está formada por 2.852 habitantes que se dedican principalmente a la industria, al comercio y a la producción agraria (INE, 2014). La producción agrícola está basada principalmente en cereal, viñedo y olivo.

Como se observa en la **Tabla 2**, la población presenta un crecimiento ligeramente negativo, con casi un 13% de población mayor de 65 años, aunque ésta no destaca por ser una población excesivamente envejecida, lo que supone un aspecto positivo para el municipio.

Tabla 2. Datos de población del municipio de Valdilecha. Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Población		Año
Población empadronada	2838	2015
Hombres	1469	2015
Mujeres	1369	2015
Crecimiento relativo de la población	-0,49	2015
Grado de juventud	15,5	2014
Grado de envejecimiento	12,69	2014
Proporción de dependencia	0,39	2014
Proporción de reemplazo	1,16	2014
Razón de progresividad	87,57	2014
Tasa de feminidad	0,93	2014
Tasa de migración	-1,05	2014
Crecimiento vegetativo	9	2014
Defunciones	20	2014
Nacimientos	29	2014

Con respecto a la ocupación de la población se observa en la **Tabla 3** que las principales actividades se basan en el comercio y la hostelería, seguidas de la agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca y construcción. Cabe mencionar aquí

que el establecimiento de un encinar que permita en un futuro la actividad cinegética, proporcionará beneficios económicos, culturales y de recreo en la población.

Tabla 3. Datos de ocupación de la población del municipio de Valdilecha. Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Unidades productivas por 1000 habitantes		Año
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	9,82	2014
Alimentación e industria textil	1,4	2014
Metal	2,45	2014
Construcción	9,82	2014
Comercio y hostelería	23,84	2014
Actividades financieras y de seguros	2,1	2014
Administraciones públicas, educación y sanidad	3,86	2014

6.4. Características del aprovechamiento

Labores preparatorias

Antes del comienzo de la explotación se procederá a retirar, almacenar y acondicionar la tierra vegetal útil, con una profundidad entre 0,3 y 0,35 cm. Para evitar su deterioro por compactación se deberá manipular con un contenido de humedad inferior al 75%. Esto también permitirá conservar su estructura y funcionalidad y evitar la muerte de microorganismos. El almacenamiento se realizará en caballones de altura no superior a 3 m situados en el perímetro de la explotación, con taludes de pendiente no superior a 3H:2V (34º), sobre una superficie llana, de tal manera que se impida la pérdida de nutrientes por escorrentía y lixiviación durante el tiempo que ésta se encuentre almacenada. Tanto su correcta retirada como su almacenamiento serán de vital importancia para el rápido establecimiento de una cobertura vegetal.

Labores de explotación

El método de explotación de calizas es a cielo abierto con banqueo descendente en tres bancos de 15 metros de altura, con accesos entre niveles y arranque mediante voladura. La altura de banco de 15 metros permite el trabajo de explotación por los operadores de maquinaria de manera segura ya que es la altura máxima que se alcanza con una retroexcavadora, de este modo no se hace necesario el uso de otro tipo de maquinaria.

En los taludes de cara de banco se realiza el arranque con explosivos mediante voladuras perforadas por carro perforador. El volumen arrancado en cada voladura es

aproximadamente de unos 18.425 m³ y el volumen de explotación anual estimado es de 750.000 m³/año.

Producción

En el paquete de calizas se alternan zonas margosas no aprovechables, lo que lleva al aprovechamiento del 65% del material extraído. Este material se utiliza para múltiples usos en la construcción, desde materiales para relleno hasta áridos limpios de alta calidad para uso en productos de alto valor añadido como hormigón, mezclas bituminosas o balasto, además de la fabricación de hormigones, morteros, aglomerados asfálticos, vidrios, áridos para vidrios, micronizados, cemento, cal y para infraestructuras en las provincias de Madrid, Toledo, Cuenca y Guadalajara.

El 35% restante se compone de estériles arcillosos que se utilizarán en el plan de restauración para realizar los rellenos del hueco de explotación.

6.5. Estado legal

Actualmente la titularidad de los terrenos de la explotación pertenece a la empresa concesionaria Hanson Hispania S.A. Dicha empresa ha adquirido en propiedad los terrenos en que se ubica la explotación debido a que se han producido varias ampliaciones en la misma a lo largo del tiempo. Esta empresa titular está obligada a realizar, con sus medios, los trabajos de rehabilitación del espacio natural afectado por las labores mineras de acuerdo al Real Decreto 975/2009, de 12 de junio sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras. Dentro de esta rehabilitación se enmarca el plan de restauración aquí presentado.

Cabe mencionar que el área en la que se ubica la explotación no se encuentra bajo ninguna figura de protección a excepción de la vía pecuaria, regulada por la normativa correspondiente.

7. Análisis de la problemática: factores limitantes

Tras una actividad minera la restitución al estado original del área degradada resulta difícil de lograr. El primer factor limitante que nos encontramos en la restauración de áreas afectadas por actividades mineras a cielo abierto es la disminución de los materiales que componen la zona. La extracción de materiales impide la restitución de la topografía original, sin embargo, con una adecuada remodelación y un plan de

revegetación se puede lograr la recuperación de un ecosistema funcional que provea bienes y servicios ambientales.

Por otro lado, la alteración de la topografía original genera formas del terreno susceptibles a la erosión, que no son estables a largo plazo, y pone al descubierto materiales incapaces de sostener un ecosistema en equilibrio dinámico con el entorno.

Para lograr la restitución del ecosistema resulta imprescindible la conservación del suelo vegetal que estaba presente al inicio de la explotación, de forma que sirva de sostén para la vegetación, aporte nutrientes y contenga un banco de semillas adecuado.

Tras la restitución del suelo, el principal factor limitante para el establecimiento de la vegetación es el clima. En este ambiente la vegetación ha de estar adaptada a los inviernos fríos y veranos secos y calurosos, de manera que sea capaz de sobrevivir a un importante déficit hídrico estival. Bajo estas condiciones climáticas la colonización espontánea de la vegetación resulta difícil y requiere de grandes períodos de tiempo. Para reducirlos se presenta el plan de revegetación (apartado 9.2.) que pretende ayudar al establecimiento del ecosistema, dotándolo de mayores garantías de éxito y reduciendo la escala temporal necesaria para su establecimiento.

8. Imagen Objetivo

Aunque en los terrenos objeto de explotación el uso del suelo es fundamentalmente agrario, el objetivo de este proyecto es la restauración de un ecosistema de monte mediterráneo, basado en la encina como especie principal, sobre un terreno remodelado geomorfológicamente con los materiales sobrantes de la explotación. De esta forma se pretende crear un paisaje estable, integrado con el entorno y biológicamente funcional.

9. Propuesta de actuaciones: rehabilitación del espacio natural afectado

Para lograr una correcta rehabilitación del área degradada es imprescindible realizar en primer lugar una remodelación geomorfológica para después realizar una revegetación que contribuya a lograr el establecimiento del ecosistema.

9.1. Remodelado del terreno

9.1.1. Objetivos del remodelado del terreno

El objetivo de realizar en esta explotación un remodelado del terreno es restaurar la geomorfología de la zona explotada, reproduciendo condiciones topográficas estables a largo plazo, para así devolver al área un sistema funcional desde el punto de vista ecológico y socioeconómico que provea bienes y servicios a las poblaciones aledañas (Zapico et al., 2011).

9.1.2. Fundamento teórico y métodos

En este proyecto se pretende diseñar una restauración geomorfológica basada, por un lado, en el método GeoFluv™ y el software Natural Regrade para simular una geomorfología creada por flujos de agua concentrada que, en cada uno de los huecos de explotación, drenarán a una zona de acumulación endorreica. Por otra parte, los frentes de explotación serán trabajados con el método Talud Royal™ que trata de buscar las fracturas de debilidad de las rocas para acelerar los procesos erosivos y así crear una superficie irregular pero estable con pequeños taludes de derrubios bajo la misma.

Los fundamentos del método GeoFluv™ se basan en:

- 1) Diseñar y construir una red integrada de canales fluviales con una densidad de drenaje determinada empíricamente a partir del ambiente local que permita alcanzar la estabilidad a largo plazo.
- 2) Diseñar y construir canales fluviales adaptados a manejar, de manera no erosiva, tanto el caudal del cauce lleno como el de eventos extremos.
- 3) Considerar un claro punto de partida, nivel de base o elevación del fondo del canal en el cual toda la escorrentía abandona o se reúne en su conjunto en la cuenca de drenaje objeto de análisis y cuya pendiente hacia arriba es determinada para evitar riesgos por erosión remontante.
- 4) Crear perfiles de ladera predominantemente cóncavos con un punto de inflexión determinado empíricamente. Los canales de drenaje deben tener menor pendiente que las zonas más bajas, y deben incrementarse progresivamente aguas arriba, replicando las formas naturales. Las laderas

tendrán en la parte superior (convexa) el 20-30% de su longitud y el 70-80% restante, en la parte inferior (cóncava).

Así mismo, se han de tener en cuenta otros aspectos como no superar pendientes del 20% con materiales no consolidados en la remodelación de las laderas para evitar el riesgo de erosión por escorrentía superficial y que la pendiente del cauce que conecta con el nivel de base debe ser como máximo del 4% para evitar problemas de erosión remontante.

Para la aplicación práctica de estas sencillas ideas son necesarios una serie de parámetros morfológicos y climáticos que dimensionen correctamente la red de drenaje y la longitud y pendiente de las laderas. Para obtener los datos necesarios para el diseño es imprescindible identificar un referente que sea análogo geomorfológicamente a la zona a restaurar.

Por otro lado, se considera que los frentes de explotación rocosos generan gran impacto visual y ecológico en el paisaje, ya que crean nuevas formas en el terreno que en ocasiones pueden ser inestables. Es por ello que se aplicará en estas zonas el método Talud Royal™.

Este método consiste en obtener una buena estabilidad de los taludes utilizando el corte natural de la roca. Para ello es necesario identificar las discontinuidades de la roca y los procesos de erosión que pueden actuar en ella así como la respuesta diferencial de las distintas rocas que componen el talud. La irregularidad del talud se consigue siguiendo los planos de desprendimiento potenciales existentes. Además, en los casos en los que se observen claras continuidades rectilíneas (típicas de explotaciones cuadrangulares o poligonales), se deberán abrir pequeños huecos o surcos en las zonas superiores del frente para aportar heterogeneidad. El resultado final es un talud estable y de máxima integración en el paisaje gracias a que estas fracturas muestran estados de meteorización más avanzados y crean el inicio de un talud de derrubios con los restos caídos.

Con la utilización de este método se logra una mayor continuidad entre los taludes y el entorno y además, al crear una superficie más irregular se incrementa la superficie disponible y se crean nuevos hábitats muy importantes para algunas especies como las aves riparias.

9.1.3. Remodelación geomorfológica de los huecos de explotación

La remodelación del terreno en una explotación minera es clave para el éxito de la restauración. Ésta se realiza en función de las limitaciones metodológicas (complejidad del proyecto, disponibilidad de recursos, presupuesto, etc.) y del uso posterior del terreno.

Las restauraciones convencionales proponen un modelo de distribución de los estériles en plataforma-berma-talud como en la **Figura 4**, que consiste en crear un relieve en forma de pirámide truncada con laderas rectilíneas y abruptas y drenajes a base de cunetas. Aunque es un método ampliamente ejecutado y estable geotécnicamente, no es ecológicamente estable a largo plazo, ya que esta topografía es erosiva y no es capaz de albergar comunidades maduras (Nicolau, 2003).

Por estos motivos, en este documento se propone realizar una remodelación utilizando técnicas de demostrada efectividad que, aunque puedan suponer mayores costes iniciales, evitan los costes de mantenimiento que supone ejecutar los fallidos métodos convencionales y los altos riesgos a largo plazo que estos implican, además de lograr una mayor integración ecológica y paisajística.

La restauración geomorfológica se realizará siguiendo el método GeoFluv™ y el software Natural Regrade. Mediante este método se generará una superficie geomorfológicamente estable con bajos niveles de erosión hídrica por escorrentía que permita el establecimiento de la vegetación. Al mismo tiempo se generará un paisaje integrado en el entorno teniendo en cuenta las limitaciones existentes (Martín-Duque et al., 2015).

La remodelación del terreno se realizará con los estériles acumulados durante la fase de explotación, de forma que se creará una cuenca de drenaje endorreica que se conforma entre pequeños cerros con laderas convexo-cóncavas. Su diseño estará adaptado a las condiciones climáticas de la zona y en especial al régimen de precipitaciones, de forma que el drenaje de la escorrentía se produzca hacia una zona de encharcamiento estacional que sólo dispondrá de agua tras periodos intensos de precipitaciones.

La producción bruta anual media de extracción de materiales es de 750.000 m³. De éstos, aproximadamente un 35% son estériles compuestos fundamentalmente por arcilla, de manera que la cantidad de estériles acumulados es de 262.500 m³/año. De

ellos, una parte será utilizada para la remodelación de pistas y caminos y el resto se utilizará en el proyecto de restauración.

Para mejorar la integración paisajística y la heterogeneidad y provisión de servicios de los frentes de explotación, se realizarán aperturas de cuñas en los mismos para simular una superficie irregular pero estable de cortados rocosos similar a la que se encuentra de forma natural en el paraje próximo a la explotación denominado “la Cárcava” localizado a unos 500 metros al oeste de la misma. Estas actuaciones se van a realizar siguiendo el método Talud Royal™. Bajo los frentes de explotación se dispondrán los fragmentos de roca que caigan con la remodelación, de manera que se formará un talud de derrubios de pendiente suave similar al presentado en la **Figura 4** que servirá como zona de conexión entre los cortados rocosos y las zonas de encinar.

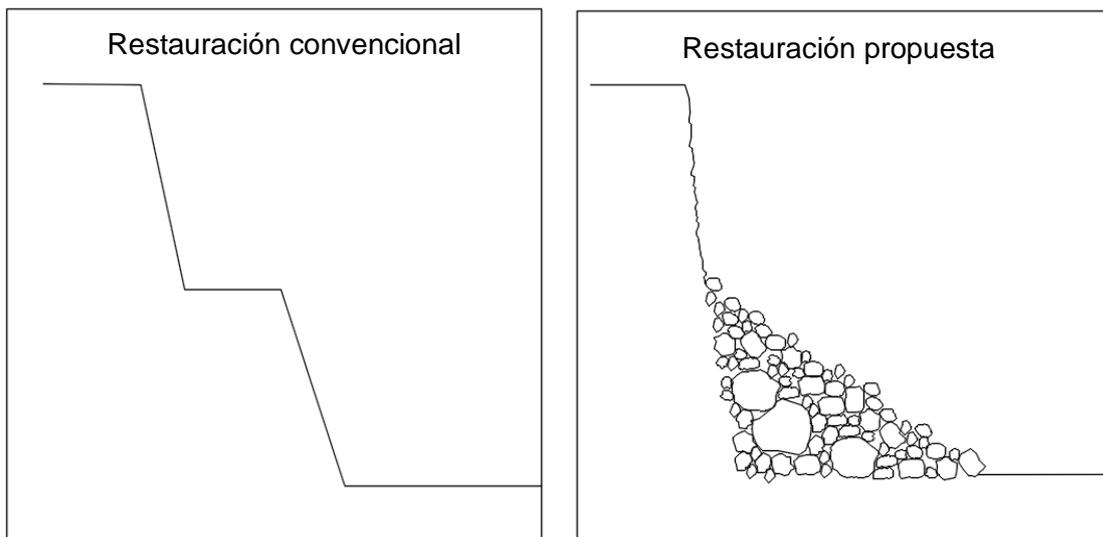


Figura 4. Comparación del perfil de los taludes entre una restauración convencional y la restauración propuesta

9.1.4. Fases de las actividades de remodelación del terreno

El proceso de restauración sigue una secuencia temporal ordenada.

- **Fase 1: Elección de los usos posteriores**

En primer lugar es necesario determinar qué usos tendrán los terrenos tras la restauración. De esta elección dependerán las actuaciones posteriores de diseño y ejecución de la restauración. Como se ha comentado, el principal uso que tendrá el área restaurada será el de forestal de encinar, si bien lleva asociado otros usos secundarios como puede ser el cinegético, o con el tiempo, el ganadero.

- **Fase 2: Elección del referente**

El referente ha de tener unas características morfológicas similares a las del material empleado en la restauración. En este caso este material se compone principalmente de arcillas, por lo que el referente ha de estar compuesto fundamentalmente por material poco consolidado de textura arcillosa como base fundamental.

Siguiendo el Mapa Geológico de la Comunidad de Madrid escala 1:200 000 podemos localizar un sustrato arcilloso del Terciario compuesto por arcillas, arenas finas y niveles finos de yesos a unos 20 kilómetros al norte de la cantera de Valdilecha, entre los municipios de Torrejón de Ardoz y Alcalá de Henares. En la **Figura 5** se puede identificar con el número 16.

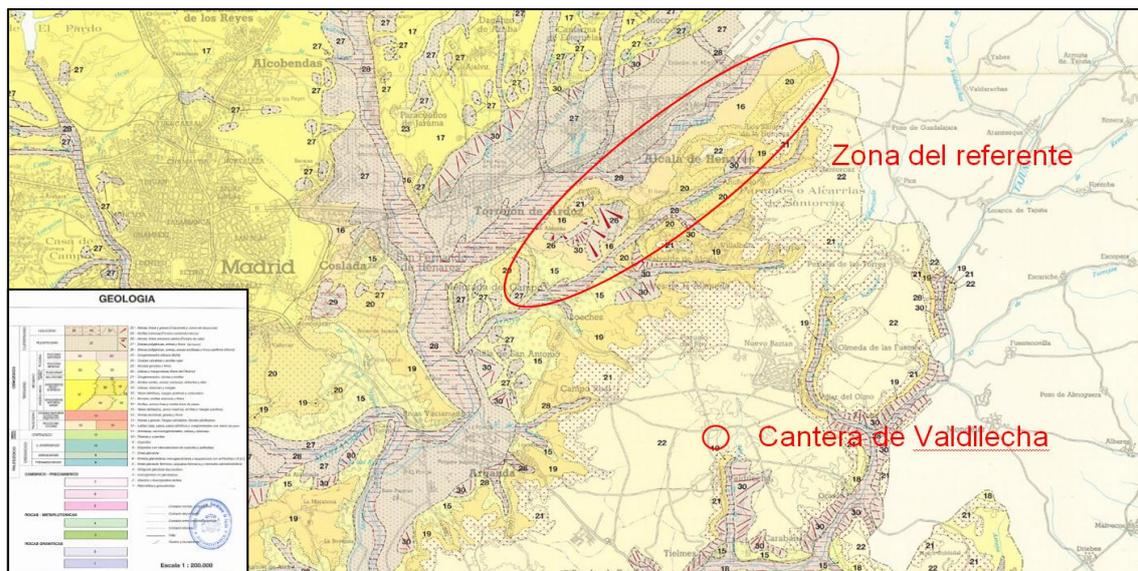


Figura 5. Mapa geológico de la Comunidad de Madrid. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España

Mediante imágenes satélite se ha localizado un área, dentro de la zona seleccionada como apropiada para la elección del referente, que puede servir como base para la obtención de datos en campo necesarios para el diseño de la restauración geomorfológica (**Figura 6**). Esta área se localiza en el municipio de Alcalá de Henares, en las coordenadas geográficas 40°31'25.35" N y 3°14'08.31" O. Se encuentra a una altitud de 794 metros sobre el nivel del mar, altitud similar a la de la explotación minera. La vegetación presente se compone principalmente de encinar y la morfología de la zona contiene lomas y vaguadas de forma que se asemeja a la morfología que se pretende restaurar (**Figura 7**).



Figura 6. Zona seleccionada como referente. Fuente: Google Earth

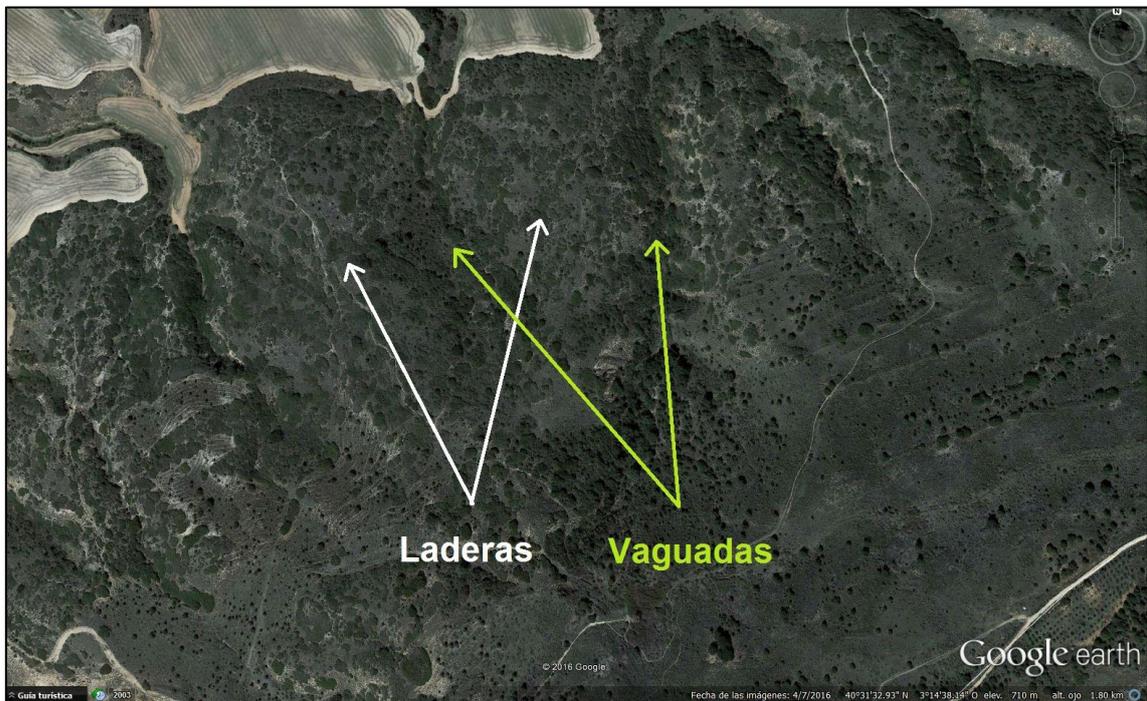


Figura 7. Detalle de las características principales del referente. Fuente: Google Earth

- **Fase 3: Diseño de la geomorfología**

El diseño de la geomorfología se apoyará en el método GeoFluv™. Mediante esta metodología se pretenden diseñar formas del terreno que garanticen la dinámica y la

conectividad del ecosistema y al mismo tiempo que eviten problemas hidrológicos, erosivos y de inestabilidad que se pueden presentar en eventos extremos o simplemente en condiciones climáticas normales.

El primer lugar, es necesario recabar información básica sobre las características de la explotación y el diseño o idea general de restauración prevista, como queda reflejado en este documento.

En segundo lugar, hay que obtener los datos del referente escogido para realizar la restauración de forma que el diseño quede correctamente dimensionado y se puedan cumplir los objetivos propuestos. Entre los datos necesarios destacan:

- Nivel de base: altitud del fondo de los canales en el punto en que toda la escorrentía abandona la cuenca de drenaje. Este nivel controla la estabilidad ya que la erosión progresa aguas arriba a partir del nivel de base local mediante el encajamiento de los canales hacia las zonas de cabecera.
- Pendiente en la desembocadura del canal principal: valor que ha de permitir que la escorrentía llegue al nivel de base en volumen y velocidad tales que no cause erosión ni sedimentación.
- Densidad de drenaje: relación entre la longitud de todos los canales y el área de la cuenca.
- Distancia desde las divisorias al inicio de los canales: este valor indica el punto a partir del cual se puede producir erosión remontante desde la cabecera de los canales.
- Longitud de los tramos rectos de los canales en "A": este parámetro determina la forma y sinuosidad de los canales y la posición de las divisorias entre los mismos.
- Valores de precipitación: es necesario obtener valores tanto de precipitaciones ordinarias como extraordinarias, puesto que la red de drenaje ha de estar dimensionada para soportar estos eventos sin sufrir episodios graves de erosión.
- Coeficiente de escorrentía: es la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el de precipitación total sobre la cuenca. Este valor es imprescindible para diseñar el perfil de los canales.

En este documento se presenta a modo de ejemplo un diseño realizado mediante el software Natural Regrade sobre uno de los huecos de explotación y su comparación con el diseño convencional berma-talud (**Figura 8**). Éste es un diseño conceptual y no definitivo, el cual requeriría la realización de un proyecto específico. Para su

elaboración algunos de los parámetros se han obtenido mediante comparativas con escenarios similares. Los valores de precipitación se han obtenido mediante la aplicación MAXIN (de Salas y Carrero, 2008). En la **Tabla 4** se presentan los principales datos utilizados en el diseño.

Tabla 4. Principales parámetros utilizados en el diseño de la reconstrucción geomorfológica de la explotación “Esperanza Fracción III”

Parámetros	Valor
Pendiente en la desembocadura del canal principal (%)	-1
Longitud de cada tramo de canal “A” (m)	12,58
Densidad de drenaje (m/ha)	80
Precipitación de período de retorno de 2 años y duración 1 hora (cm)	1,83
Precipitación de período de retorno de 50 años y duración 6 horas (cm)	7,14
Coefficiente de escorrentía	0,3

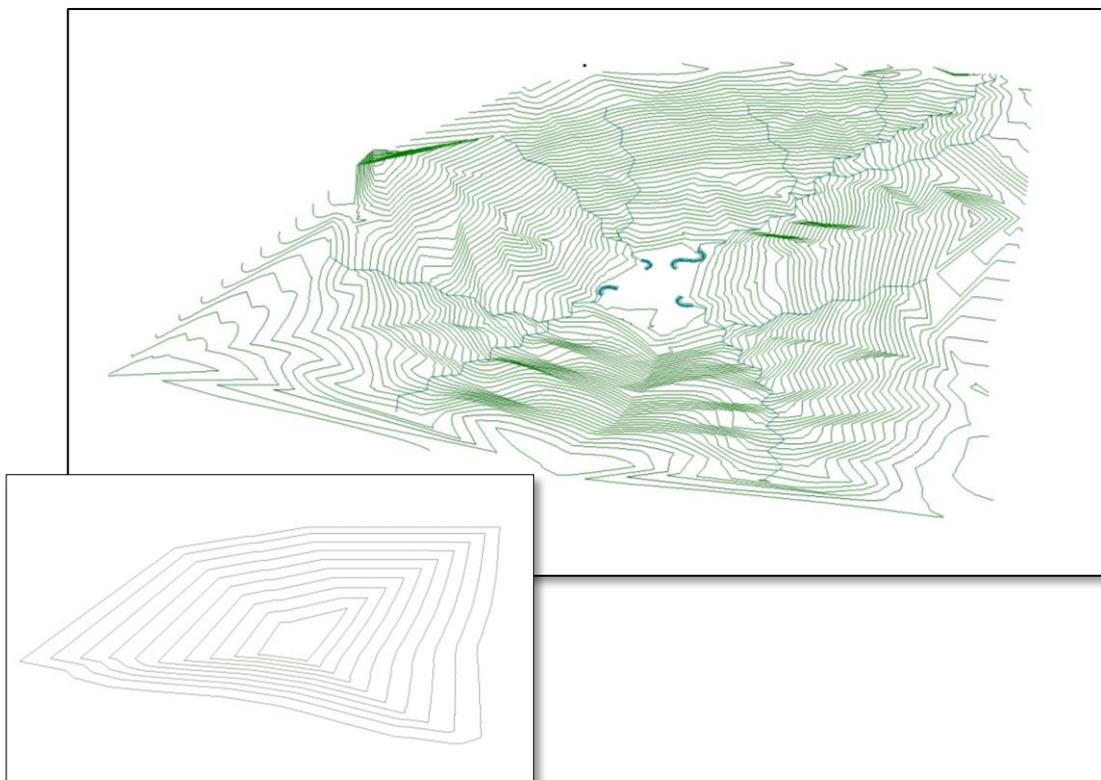


Figura 8. Vista en 3D de las curvas de nivel (en verde) del relieve diseñado con Natural Regrade sobre uno de los huecos de explotación. La imagen inferior muestra una vista en 3D de la restauración convencional con taludes 3H:1V.

En las siguientes **Figuras 9 y 10** puede verse una comparativa en 3D entre la restauración convencional y el relieve diseñado con Natural Regrade sobre los huecos de la cantera.

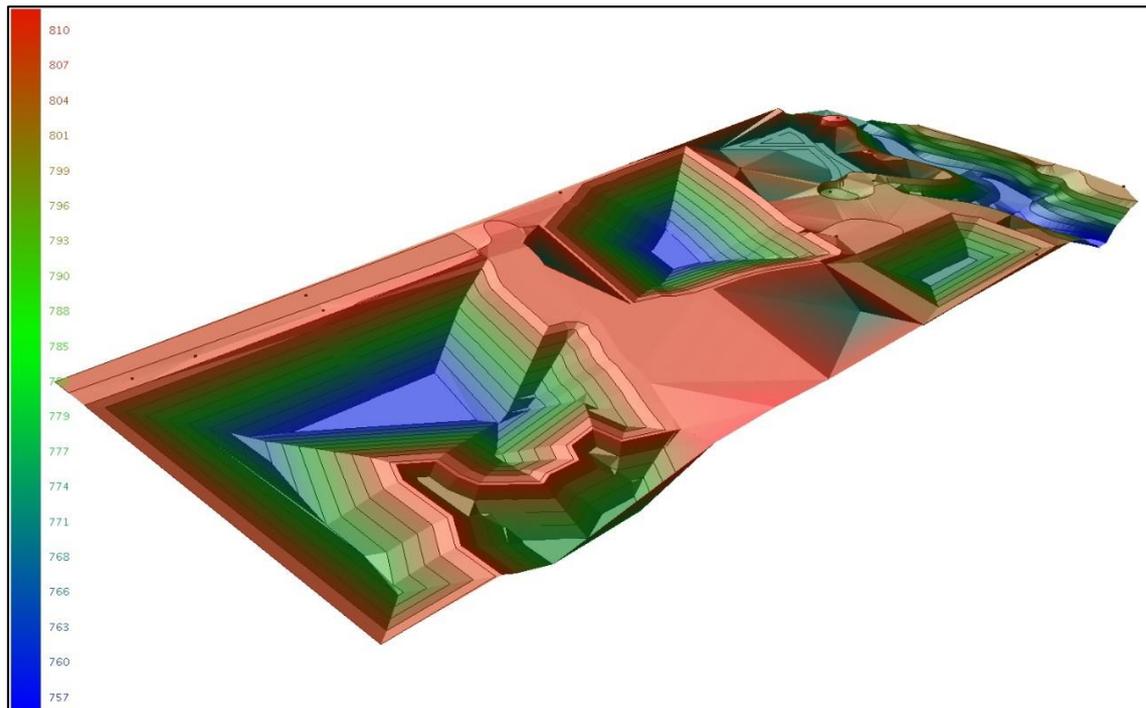


Figura 9. Restauración convencional siguiendo el esquema berma-talud

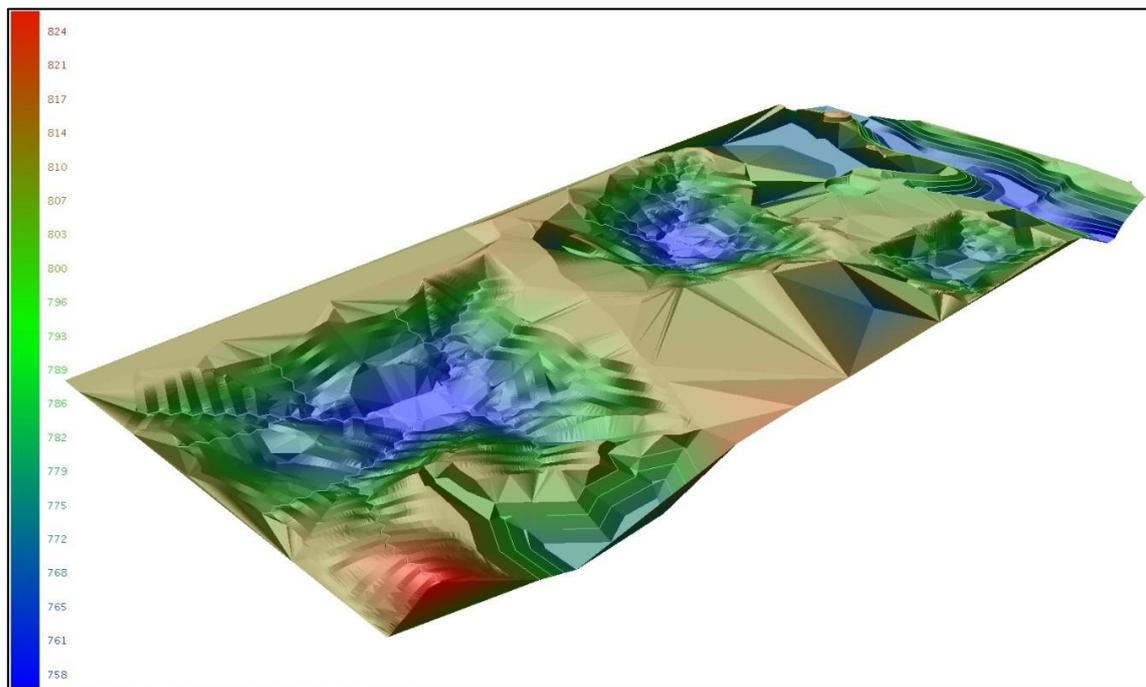


Figura 10. Restauración propuesta siguiendo el método GeoFluv

- **Fase 4: Ejecución de la remodelación**

La fase de ejecución de la restauración comprenderá todas las tareas necesarias para lograr el diseño previsto en la fase anterior. En primer lugar se realizará la remodelación de los frentes de explotación de forma que los materiales extraídos puedan ser incorporados en la remodelación topográfica. A continuación se realizará la remodelación geomorfológica de las zonas destinadas a encinar mediante el uso de maquinaria como bulldozers, retroexcavadoras o mototraíllas además de personal capacitado para su manejo.

Los movimientos de tierras se realizarán siguiendo las indicaciones del personal que ha realizado el diseño por medio de estaquillas colocadas en el terreno gracias al uso de material de geoposicionamiento.

La correcta realización de esta fase es imprescindible para conseguir un terreno estable y lograr el éxito en las siguientes fases de la restauración ecológica.

- **Fase 5: Restitución del suelo y revegetación**

Tras la remodelación geomorfológica se procederá a la restitución del material edáfico que habrá sido conservado y almacenado. Mediante el uso de maquinaria apropiada para el movimiento de tierras se realizará el extendido de la tierra vegetal. Con ella se cubrirán los estériles depositados previamente mediante el establecimiento de una capa de suelo de aproximadamente 30 centímetros de espesor. Este suelo es un medio favorable para los organismos vivos, ya que cuenta con una estructura estable que permite su aireación, acelera la infiltración de agua lluvia, limita la erosión, facilita el enraizado de las plantas y mejora la absorción de agua y nutrientes.

Tras la restitución del suelo se realizará la revegetación de las zonas destinadas a encinar tal como se explica en el apartado 9.2.

- **Fase 6: Vigilancia y control**

Finalizada la remodelación geomorfológica se propone iniciar el seguimiento para poder evaluar el éxito de esta restauración mediante la instalación de trampas de sedimentos para evaluar las tasas erosivas. Con el seguimiento de la erosión se realizará un análisis de la tasa de erosión anual en toneladas de sedimento por hectárea y año, de forma que este simple valor y algunas observaciones en campo permiten evaluar si se han cumplido los objetivos de estabilización del terreno.

9.2. Proyecto de revegetación

Debido a la elevada degradación producida por las actividades de explotación y dado que la matriz circundante es fundamentalmente agrícola, no se espera que se produzca la colonización espontánea de la vegetación o si produce, requiere grandes periodos de tiempo para que ocurran procesos de sucesión ecológica.

Por ello, en este proyecto de restauración se proponen unas actuaciones de revegetación para la instalación inicial de una cubierta vegetal protectora. Se trata de un conjunto de especies herbáceas y leñosas que ayuden a la protección del suelo y sirvan como núcleos de dispersión, acelerando la consecución de un estadio más avanzado del ecosistema. De esta manera se pretenden devolver más rápidamente las funciones y propiedades que se alteraron con la explotación.

Para realizar la revegetación se ha escogido el encinar como ecosistema de referencia. Esto se justifica por formar parte de la vegetación potencial y por su presencia en el entorno. Este tipo de uso está presente en el territorio en parches (principalmente en las zonas menos apropiadas para el cultivo) o como individuos aislados y en forma de remanentes en los bordes de los campos agrarios.

9.2.1. Unidades de actuación

Dentro de cada hueco minero restaurado podemos distinguir dos áreas diferenciadas con respecto a la pendiente y la orientación que influirán en la vegetación:

- **Zonas de ladera.** Estas áreas tendrán mayor pendiente, menor capacidad de retención de agua y en general condiciones más difíciles para la vegetación.
- **Zonas de vaguada** con mayor disponibilidad hídrica y por tanto, con capacidad de albergar especies más exigentes.

Esta zonificación ha de tenerse en cuenta para la selección de especies utilizadas.

Puede verse un plano con la zonificación del terreno tras la restauración en función de la vegetación implantada en el **Anexo IV**.

9.2.2. Preparación del terreno

La preparación del terreno antes de la revegetación se justifica por la necesidad de facilitar el arraigo y el primer desarrollo a las plantas debido a su debilidad en los primeras etapas de su crecimiento (Serrada et al., en prensa).

Los encinares se pueden desarrollar en suelos básicos de textura fina como los del área de trabajo. Para evitar la desecación en períodos de sequía algunas plantas han desarrollado estrategias altamente eficaces como el desarrollo de una raíz pivotante en los *Quercus*. Por ello resulta fundamental una preparación del suelo adecuada que permita la colonización de horizontes profundos del suelo y por tanto, aumente la probabilidad de retener agua durante el verano (Ramón, 2005). La capa de estériles que se utilizará para realizar la remodelación geomorfológica será compatible con el crecimiento tanto de encinas (la especie principal de este sistema) como de sus acompañantes, ya que los *Quercus* óptimamente necesitan entre 1,2-1,5 metros de profundidad de suelo debido a su raíz pivotante (Montoya, 1995). En este caso la profundidad del suelo no será limitante para el establecimiento de la vegetación aunque sí influirá en su mayor o menor desarrollo (Rodà *et al.*, 2009). Sobre ésta se extenderá en toda el área a restaurar la capa de tierra vegetal de unos 30 centímetros que fue eliminada y conservada antes de la explotación de la cantera.

Teniendo en cuenta las actuaciones de preparación del terreno y las condiciones edáficas comentadas con anterioridad, se considera que el suelo tiene la profundidad y propiedades químicas suficientes para sostener a la vegetación. Por ello sólo se contempla realizar modificaciones físicas con el objetivo de aumentar la profundidad útil del perfil, aumentar su capacidad de retención de agua y facilitar las labores de plantación y el futuro desarrollo del sistema radicular de las plantas.

El método seleccionado es un subsolado lineal con 2 ripper con separación regular de 3 metros entre las líneas de subsolado a profundidad de 60 cm. Se llevará a cabo por un tractor de cadenas en curva de nivel con subsolador forestal. Este método no realiza inversión de horizontes, por lo que es apropiado al no permitir el afloramiento en superficie de la capa arcillosa bajo el suelo. Se ha considerado suficiente esta profundidad de subsolado debido a que no se espera gran compactación de los estériles empleados en la remodelación geomorfológica y porque la compactación del suelo por el paso de maquinaria no será excesiva. El subsolado permite aumentar la velocidad de infiltración de agua, ayudando así a disminuir la erosión por escorrentía superficial y también es recomendable para favorecer la extensión lateral y en profundidad del sistema radical (Serrada, en prensa).

9.2.3. Selección de especies

Como el uso anterior a la explotación de calizas es fundamentalmente agrícola, para la selección de especies se ha seguido el Mapa de Series de Vegetación de España

(Rivas-Martínez, 1987). Según el mismo, el área en la cual se encuentra la cantera corresponde a la serie 22b mesomediterránea castellano-aragonesa seca basófila de la encina (*Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*), que es la que corresponde al piso mesomediterráneo característico de esta zona (ver **Anexo IV**). Esta serie en su óptimo está compuesta por bosques de encina (*Quercus ilex*), con estrato arbóreo denso y casi desprovisto de vegetación arbustiva o herbácea. En otros niveles de degradación del sistema, la presencia de encina disminuye y el sotobosque aumenta su cobertura (**Tabla 5**), especialmente la coscoja (*Quercus coccifera*), que puede establecer formaciones muy densas en el seno del encinar.

Tabla 5. Etapas de regresión y bioindicadores de la serie 22b mesomediterránea castellano-aragonesa seca basófila de la encina (*Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*) (Rivas-Martínez, 1987)

I. Bosque	<i>Quercus rotundifolia</i>	<i>Bupleurum rigidum</i>	<i>Teucrium pinnatifidum</i>	<i>Thalictrum tuberosum</i>
II. Matorral denso	<i>Quercus coccifera</i>	<i>Rhamnus lycioides</i>	<i>Jasminum fruticans</i>	<i>Retama sphaerocarpa</i>
III. Matorral degradado	<i>Genista scorpius</i>	<i>Teucrium capitatum</i>	<i>Lavandula latifolia</i>	<i>Helianthemum rubellum</i>
IV. Pastizales	<i>Stipa tenacissima</i>	<i>Brachypodium ramosum</i>	<i>Brachypodium distachyon</i>	

Además de estos inventarios fitosociológicos, se ha tenido en cuenta un referente de encinar bien conservado en un área relativamente cercana (Morata de Tajuña) del que se dispone de inventarios (Casas *et al.*, 1989) junto con la observación en campo.

En la región circundante a la cantera, además de los remanentes de vegetación potencial, se observan dos tipos de formaciones vegetales estables: los jabunales como agrupación de matorral gipsófilo dominados por la jabuna (*Gypsophila struthium*) y los atochales, dominados por *Stipa tenacissima*, como forma de pastizal gipsícola. Estas agrupaciones forman parte de la denominada Vegetación Gipsícola Mediterránea (*Gypsophiletalia*) considerado hábitat prioritario (1520) según la Directiva 92/43/CEE de 21 de mayo de 1992 (Directiva Hábitats) (Escudero, 2009). En la depresión miocena del Tajo las comunidades yesíferas son muy frecuentes y la vegetación gipsícola habitual corresponde a la asociación *Gypsophilo-Centaureetum hyssopifoliae* subasociación *frankenio-artemisietosum herba-albae* (Rivas Goday *et al.*, 1956). La presencia de estas comunidades en un entorno calizo se explica porque los suelos sobre los que se asientan, denominados Gypsisoles, son el resultado de la degradación de los suelos pardos calizos que constituyen el suelo clímax de la zona,

en el que se desarrollaría una vegetación típicamente mediterránea formada por encinas, coscojas y otras especies asociadas (González, 2011). Por tanto, para realizar una correcta selección de especies, es necesario valorar la presencia de estas formaciones vegetales.

Además de las observaciones realizadas en campo y de los inventarios fitosociológicos, para una correcta restauración es conveniente tener en cuenta la experiencia previa. Anteriormente se ha restaurado una zona al sur de la explotación mediante la plantación de especies arbóreas incluyendo *Quercus*. En ellas el número de marras tras el primer año ha sido muy elevado debido a las condiciones climáticas extremas que ha de soportar la vegetación. Para evitar la elevada mortandad en la revegetación, es necesario contemplar distintas estrategias que faciliten el establecimiento y el mantenimiento de la vegetación a medio y largo plazo.

Las interacciones entre plantas son relaciones complejas que en ocasiones pueden resultar negativas, sin embargo, existen diversos estudios que demuestran el efecto facilitador que proporcionan algunos matorrales como plantas nodriza sobre diversas especies (Castro et al., 2004). Se ha comprobado que este efecto facilitador sobre la supervivencia y el crecimiento de plántulas se ve potenciado en laderas con orientación de solana y pendientes más secas que en aquellas sombrías y más húmedas (Gómez-Aparicio et al., 2004). En ambientes semiáridos, de clima exigente y suelos degradados o poco desarrollados la implantación de especies subarborescentes y de matorral contribuyen notablemente al avance en la sucesión y aseguran las inversiones debido al bajo porcentaje de marras (Padilla et al., 2004). Entre las especies facilitadoras es notable el efecto que tienen las leguminosas sobre otras especies (Pugnaire et al., 1996).

Por todo ello se decide emplear especies que, aunque formen parte de etapas más degradadas del ecosistema, facilitan el éxito de la revegetación. Estas especies, como *Stipa tenacissima*, contribuyen a establecer heterogeneidad espacial, además de mejorar sustancialmente el microhábitat próximo reduciendo la incidencia de radiación y la temperatura del suelo, de manera que incrementan la supervivencia de otras especies arbustivas (Maestre et al., 2001).

Las dos unidades de actuación previstas (zonas de ladera y de vaguada) en la revegetación van a determinar la elaboración de módulos de plantación con alguna variación en la composición de especies. Esto se justifica porque la diferente pendiente del terreno y localización topográfica van a condicionar la composición de especies en función de sus requerimientos hídricos. Dentro de las zonas de ladera, se prevé la

utilización de dos módulos de plantación ligeramente diferentes, para proporcionar heterogeneidad al ecosistema. Las especies seleccionadas para cada unidad de actuación se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Especies utilizadas en cada módulo de vegetación

Encinar en ladera módulo 1	Encinar en ladera módulo 2	Encinar en vaguada Módulo 3
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>Ballota</i>	<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>Ballota</i>	<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>Ballota</i>
<i>Quercus coccifera</i>	<i>Quercus coccifera</i>	<i>Quercus coccifera</i>
<i>Retama sphaerocarpa</i>	<i>Genista scorpius</i>	<i>Crataegus monogyna</i>
<i>Rhamnus lycioides</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>	<i>Rosa canina</i>
<i>Juniperus oxycedrus</i>	<i>Phillyrea angustifolia</i>	<i>Pistacia terebinthus</i>
<i>Stipa tenacissima</i>	<i>Stipa tenacissima</i>	<i>Jasminum fruticans</i>

Aunque las especies que comparten familia deben estar separadas ya que poseen funciones y propiedades similares en el ecosistema, el uso de las dos especies de *Quercus* en una misma zona queda justificado por su función estructural en el encinar de referencia, siendo la coscoja parte del estrato arbustivo de un encinar degradado que no compite notablemente con la especie principal. Además, sus bellotas también proporcionan alimento y sus diversas estructuras proporcionan un refugio más denso que la encina a diversos tipos de fauna como aves, reptiles y pequeños roedores.

Se han seleccionado las leguminosas *Retama sphaerocarpa* y *Genista scorpius* por su capacidad de fijar nitrógeno y por su capacidad de actuar como plantas nodrizas facilitadoras para el reclutamiento de plántulas de encina (Pugnaire et al., 1996, Cuesta et al., 2010). Para que cumplan esta función, se pretende realizar una primera revegetación para el establecimiento de estas leguminosas y, tras el primer año, una segunda revegetación en la cual se introducirán las plántulas de *Q. ilex* bajo su dosel, de manera que aumente la supervivencia de estas últimas.

Entre los arbustos y matorrales posibles, se han seleccionado *Rhamnus alaternus*, *Rhamnus lycioides*, *Phillyrea angustifolia*, y *Juniperus oxycedrus* por su resistencia a las condiciones ambientales, su capacidad de proporcionar refugio y por su producción de frutos.

Así mismo, se han seleccionado tres especies caducifolias (*Rosa canina*, *Crataegus monogyna*, y *Pistacia terebinthus*) menos resistentes a las limitaciones del medio para que se planten en las zonas de vaguada, que junto a *Jasminum fruticans* aumentan la biodiversidad y proveen de servicios de producción de frutos carnosos y refugio.

Se propone la utilización de *Stipa tenacissima* en el encinar en ladera para que pueda actuar como planta nodriza facilitadora de otros arbustos y contribuya a mejorar las condiciones edáficas. Aunque algunos estudios determinan que su efecto es mayor en laderas con orientación sur (Gómez-Aparicio et al., 2004), se utilizarán en ambas orientaciones para tener mayores probabilidades de éxito.

9.2.4. Método de revegetación

La selección del método de revegetación es una decisión clave que determina el diseño del proyecto. Son muchos los factores que afectan al éxito de la revegetación como el método de plantación, las especies escogidas, el estrés hídrico, las sequías posteriores al arraigo, la competencia con la vegetación natural, las posibles limitaciones edáficas, las limitaciones climáticas o el herbivorismo. En la selección del método de repoblación hay que valorar las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos teniendo en cuenta las especies y los factores limitantes del proyecto.

Aunque en algunos diseños experimentales, para evaluar el crecimiento y supervivencia de especies de *Quercus* no está claramente demostrado la prevalencia de un método sobre otro (González-Rodríguez et al., 2011), se ha de valorar la probabilidad de éxito de cada método en este escenario concreto. Las principales limitaciones en este sentido son las condiciones climáticas y la presencia de fauna potencialmente depredadora de semillas y plántulas como el conejo y el jabalí.

Entre las ventajas de la plantación cabe mencionar la reserva de nutrientes y carbohidratos en los primeros meses, la rápida capacidad de reactivación de la fotosíntesis, la emisión de un sistema radical ligeramente desarrollado así como la existencia de una parte aérea que mejora la competencia y acelera el proceso de revegetación. Como inconveniente destaca un precio más elevado que con el método de siembra.

Considerando la preparación previa del terreno, la necesidad de protección de la plántula o semilla frente a depredadores, la rigurosidad climática y la tendencia recalcitrante de las semillas de *Quercus*, se ha seleccionado el método de plantación, ya que aun teniendo un precio inicial superior a la siembra, la plántula presenta mayor desarrollo antes del periodo seco, por lo que tiene más probabilidad de supervivencia.

9.2.5. Diseño espacial y temporal de la vegetación

Para la elección y cálculo de las densidades de individuos y sus proporciones deben tenerse en cuenta los objetivos del proyecto así como factores ecológicos y socioeconómicos.

Los datos selvícolas, a menudo pensados para coberturas completas, dan valores muy altos (lo más común para árboles, entre 400-2000 pies/ha, y para arbustos 1500-5000 pies/ha). Pemán y Navarro (1998) proponen para la encina una densidad máxima de 1100 pies/ha. Otros gestores proponen para aprovechamiento maderero densidades altas, de 900-1000 pies/ha, pero también, en algún caso, hasta bajas densidades de 400 pies/ha (Angel i Hernández, 2008) e incluso, para zonas adehesadas, una densidad de 100 pies/ha (Sevilla, 2001).

Estas diferencias se explican porque en repoblaciones han de tenerse en cuenta numerosos factores como puede ser la función de la repoblación (si es protectora o productora), el déficit hídrico previsible, las características edáficas o el mantenimiento y la reposición de marras previstos. En este caso particular, se pretende instaurar un bosque de encina, cuyo principal objetivo será el protector, si bien, una vez instaurado, puede compatibilizar otros usos como el cinegético o ganadero.

Teniendo en cuenta los objetivos de este proyecto, y mediante datos de cobertura y supervivencia consultados en la bibliografía (Martínez y Martín, 2001; Padilla et al., 2004, Trubat et al., 2004) se obtienen los datos de densidades para cada módulo de plantación presentados en las **Tablas 7, 8 y 9**.

Se plantea un tamaño de módulo de 15x15m con una distancia entre ejes de 3m. Este diseño va a permitir respetar la distancia mínima aconsejable entre individuos. Con respecto a la alineación de las plantas dentro de los módulos, se opta por utilizar el marco cuadrado (o marco real) porque resulta más sencillo y económico que otros tipos de distribución (Sevilla, 2001).

La disposición espacial de los individuos dentro de cada módulo se presenta en el **Anexo III**. La distribución de los módulos de plantación en el área de estudio se realizará de tal forma que exista, al menos, un espacio entre módulos de 6 metros que impida la superposición de las plantas y a la vez permita el movimiento de la maquinaria. Dentro de la zona de estudio se excluye del plan de revegetación 7 hectáreas que corresponden al área ocupada por los taludes de derrubios, por tanto la zona a revegetar ocupa una extensión de 36 ha. De ellas, 7,9 ha corresponden a las

zonas de vaguada mientras que 28,1 ha corresponden a las zonas de ladera. Teniendo en cuenta el espacio mínimo entre módulos, se proyecta la plantación de 258 módulos de encinar en vaguada, 433 módulos de encinar en ladera tipo 1 y 433 módulos de encinar en ladera tipo 2.

Tabla 7. Datos módulo 1: encinar en ladera

Módulo 1: encinar en ladera	Cobertura (%)	Densidad de referencia con <i>Q. ilex</i> (pies/ha)	Factor corrección forma de crecimiento	Densidad ajustada (pies/ha)	Densidad final por módulo (15X15)
<i>Q. ilex</i> / <i>R. sphaerocarpa</i>	60	400	1	400	9
<i>Q. coccifera</i>	30	200	1	200	5
<i>Rhamnus lycioides</i>	4	27	5	133	3
<i>Juniperus oxycedrus</i>	3	20	3	60	1
<i>Stipa tenacissima</i>	3	20	8	160	4
Total	100	667		953	21

Tabla 8. Datos módulo 2: encinar en ladera

Módulo 2: encinar en ladera	Cobertura (%)	Densidad de referencia con <i>Q. ilex</i> (pies/ha)	Factor corrección forma de crecimiento	Densidad ajustada (pies/ha)	Densidad final por módulo (15X15)
<i>Q. ilex</i> / <i>Genista scorpius</i>	60	400	1	400	9
<i>Q. coccifera</i>	30	200	1	200	5
<i>Rhamnus alaternus</i>	4	27	5	133	3
<i>Phyllirea angustifolia</i>	3	20	5	100	2
<i>Stipa tenacissima</i>	3	20	8	160	4
Total	100	667		993	22

Tabla 9. Datos módulo 3: encinar en vaguada

Módulo 3: encinar en vaguada	Cobertura (%)	Densidad de referencia con <i>Q. ilex</i> (pies/ha)	Factor corrección forma de crecimiento	Densidad ajustada (pies/ha)	Densidad final por módulo (15X15)
<i>Q. ilex</i>	60	400	1	400	9
<i>Q. coccifera</i>	30	200	1	200	5
<i>Crataegus monogyna</i>	2.5	17	4	67	2
<i>Rosa canina</i>	2.5	17	6	100	2
<i>Pistacia terebinthus</i>	2.5	17	3	50	1
<i>Jasminum fruticans</i>	2.5	17	6	100	2
Total	100	667		917	21

9.2.6. Calidad y manejo de planta y época de plantación

La calidad de la planta va a determinar el éxito de la restauración y puede condicionar los costes de plantación al influir en el número de marras (Villar, 2007). En este

proyecto se utilizarán plantas de vivero de una o dos savias cultivadas en contenedores forestales. El cepellón deberá estar en condiciones sanitarias apropiadas, sin presencia de enfermedades ni patógenos y buen desarrollo radical. Igualmente la morfología de la planta ha de ser adecuada, con tallos rectos y bien formados.

La época de plantación será en el mes de octubre con la planta en savia parada y con el suelo en tempero.

Aunque la plantación mecanizada puede reducir tiempo y costes de ejecución, en plantaciones mixtas puede resultar difícil de ejecutar. Por ello se propone realizar una plantación manual de forma que también se favorezca la integración socioeconómica de la zona si se emplea personal local. Para realizarla se aprovecharán las líneas de subsolado que se habrá realizado un mes antes de la plantación para que el terreno se encuentre asentado de manera que facilite la profundización de las raíces. Se introducirán las plántulas en los huecos, tratando de dejar el cuello de la raíz a nivel de superficie, cuidando que la planta esté bien recta y con el sistema radicular también correctamente situado. Es importante que las raíces no tengan cavidades de aire a su alrededor que las desequen. Se deberá plantar sin presionar excesivamente pero sí con un pisoteo final que asiente la tierra y permita crear una microcuenca de recogida de agua.

9.2.7. Cuidados postplantación

Debido a la aceptable calidad del suelo disponible, no se plantea aplicar fertilizantes ni enmiendas orgánicas que pudieran favorecer la vegetación espontánea incrementando la competencia, o incluso provocar toxicidad por incremento de la salinidad debido a la escasa precipitación de la zona (Oliet et al., 2003).

Para evitar la depredación de plántulas se utilizarán protectores de malla de 60 cm de altura, 15 cm de diámetro y con costillas estructurales. Se instalarán dos tutores de caña de 60 cm de altura que confieren estabilidad y resistencia a las mallas. Estos protectores reducen la insolación al tiempo que permiten el paso de aire impidiendo un excesivo aumento de temperatura en el interior. No modifican significativamente el microclima, de forma que aquellas especies intolerantes a la sombra como *Retama sphaerocarpa* no se verán perjudicadas.

Por otra parte, en lo que respecta a tratamientos con la vegetación competidora, en áreas mineras degradadas como ésta, sólo se prevé la presencia de herbáceas y

pequeños caméfitos existentes en el banco de semillas de la tierra vegetal. Durante las visitas a campo en los alrededores de la explotación se observó cierta abundancia de *Thymus vulgaris*, y presencias más puntuales de *Helianthemum marifolium*, *Helichrysum sp.*, *Lavandula stoechas*, *Asparagus acutifolius*, *Ruda chalepensis*, *Plantago lanceolata* y *Osyris alba* entre otras, de forma no se considera una alta competencia de los bancos de semillas de este tipo. Sin embargo, los campos agrícolas circundantes sí pueden contener una fuente de semillas más agresiva y competitiva que la de las tierras de encinar aledañas.

La competencia de estas herbáceas puede requerir una intervención activa, ya que la encina muere en altas tasas si compite con la hierba (Cuesta *et al.*, 2010). A pesar de que los mejores datos de métodos de control de la competencia herbácea en el mundo agrícola se obtienen mediante la aplicación de herbicidas durante los tres a cinco primeros años tras la plantación, cuando el árbol o arbusto tiene gran capacidad para competir, se plantea realizar una escarda manual en las áreas próximas a las plántulas. Con ello se consigue reducir la competencia por herbáceas y se evita la aplicación de herbicidas que pueden perjudicar a las especies de interés.

Las limitaciones climáticas de la zona hacen necesario realizar riegos sobre la vegetación para incrementar las garantías de éxito. Además del riego de establecimiento, se propone realizar dos riegos de mantenimiento en el período estival durante los dos primeros años tras la revegetación para facilitar la supervivencia de las plántulas. El riego consistirá en 5 litros por alcorque vertidos manualmente con manguera desde un camión cisterna.

La reposición de marras suele incrementar el presupuesto de la revegetación, sin embargo, las medidas tomadas con respecto a la selección de especies, la calidad de la planta y los cuidados culturales previstos minimizarán la mortandad de las plántulas. A pesar de ello, para lograr los objetivos de la revegetación, se impone la necesidad de realizar reposición de marras durante los tres primeros años tras la revegetación.

9.3. Otras actuaciones: mejora de hábitats

Dentro de la mejora de hábitats es necesario tener en cuenta las actividades de conservación de la biodiversidad que la empresa concesionaria (Hanson Hispania S.A.) está llevando a cabo en la cantera durante la fase de explotación. Estas actividades se enmarcan dentro del **Plan Rector de Biodiversidad** elaborado en colaboración con la Fundación Tormes-EB. Con este plan se trata de integrar la actividad extractiva con el medio mediante la conservación de la vegetación, la fauna y

las relaciones de éstas tanto dentro de la cantera como con el entorno. De esta manera se consigue que exista una conectividad con los espacios naturales cercanos además de facilitar la integración de la cantera tras la restauración ecológica. Las principales líneas de actuación se centran en:

- Alternancia en las actividades de extracción: siempre que la dinámica de la cantera lo permite, no se realizan actividades extractivas a la vez para permitir el uso de los hábitats próximos sin molestias para la fauna.
- Creación de biotopos temporales: se ha permitido la nidificación de aves como el avión zapador (*Riparia riparia*) en los acopios de material.
- Creación de nuevos hábitats: el incremento de la cobertura vegetal xerófila en zonas no activas aumenta la disponibilidad de alimento y refugio para numerosos polinizadores. Esta vegetación sirve como conector con el entorno y como fuente semillera, tan importante tras la restauración.
- Mejora de hábitats de la diversidad avifaunística esteparia y rupícola mediante la instalación de cajas nido y refugios para las aves.
- Acciones de conservación: la redistribución de sustratos ricos en margas permitirá sustentar la vegetación e impulsará la sucesión vegetal debido al banco de semillas que contiene.

Además de estas actuaciones durante la fase de explotación, la remodelación geomorfológica propuesta en el plan de restauración nos permitirá obtener diferentes hábitats que sustentarán una gran diversidad de especies y proporcionarán diversos bienes y servicios, además de añadir riqueza al paisaje:

Cortados rocosos: formados por los frentes de explotación restaurados. Se conseguirá una apariencia heterogénea y con mejor integración paisajística al remodelarlos siguiendo las grietas de meteorización según el método Talud Royal™. Estos cortados rocosos sirven de refugio a diversas especies de animales como aves y reptiles.

Encinar: la formación de laderas convexo-cóncavas que permite la estabilidad geomorfológica también sustentará la formación de un ecosistema boscoso. Este encinar se puede dividir en dos áreas:

- Encinar sobre lomas y laderas
- Encinar con arbustos en vaguadas

Las principales diferencias serán debidas a la diferente disponibilidad de agua, lo que permitirá el establecimiento de unas especies acompañantes ligeramente diferentes, y por tanto, creará un ecosistema con mayor diversidad.

Este ecosistema permitirá albergar un conjunto de especies que encuentren en él cobijo y sustento. Durante las primeras etapas de formación del sustrato arbustivo y arbóreo es posible que algunas especies animales no encuentren refugio suficiente debido al pequeño porte de las plantas. Por ello, se propone mejorar este hábitat mediante el establecimiento de majanos que sirvan como refugio para conejos (*Oryctolagus cuniculus*). Ésta es una especie fundamental de la cadena trófica, siendo el principal alimento de algunas aves rapaces y otros mamíferos. Para la elaboración de estos majanos se propone la utilización de roca obtenida de la propia cantera para obtener una estructura similar a la presentada en la **Figura 11**.



Figura 11. Majano para conejos

Además de estas actuaciones también se instalarán cajas nido que sirvan como núcleo de atracción para algunas aves como el cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*).

Talud de derrubios: zonas de conexión entre los cortados y los encinares. Serán áreas en contacto con el cortado rocoso que recogerán los fragmentos de roca que caigan tras la remodelación de los frentes de explotación para formar un perfil irregular. Sobre estas zonas no se realizará reposición de suelo ni revegetación. En estas áreas pueden encontrar refugio algunos reptiles.

Zona de encharcamiento estacional: área más profunda de cada uno de los huecos de explotación, y por tanto, el punto de drenaje donde se recoge en agua caída en

cada una de estas cuencas endorreicas. En estas zonas, durante la época de mayor precipitación se formarán charcas estacionales que pueden albergar algunas especies de anfibios, así como servir de abrevadero para mamíferos.

10. Plan de ejecución y mantenimiento

La remodelación geomorfológica es un proceso que, aunque se ha de tener en cuenta desde el inicio de la explotación para optimizar los movimientos de tierra, no podrá realizarse en cada hueco minero hasta que no haya finalizado su explotación. Será necesario que transcurra al menos un mes desde el final de esta fase, en la cual se produce el extendido de tierra vegetal, y el inicio de la revegetación, para que el terreno haya tenido tiempo de asentarse. Para evitar que se produzcan procesos erosivos en la fase del movimiento de tierras, se propone realizarla durante el verano para reducir las probabilidades de que ocurran precipitaciones.

Tras la remodelación geomorfológica se ejecutará el plan de revegetación. En ambientes hídricamente limitados como el clima mesomediterráneo, las raíces deben haber profundizado unos 30 centímetros antes de que llegue el periodo de sequía estival para evitar los riesgos de la desecación (Oliet et al., 2002). Por ello se propone realizar las plantaciones en otoño con las plantas a savia parada para garantizar la profundización de sus raíces y aumentar las probabilidades de supervivencia.

Como se comentó anteriormente, se va a realizar una primera revegetación el primer año tras la remodelación. En ella se plantarán las especies acompañantes de la encina, entre las que se encuentran las leguminosas seleccionadas como plantas nodriza. En el segundo otoño se introducirán los plantones de encina bajo la protección de estas leguminosas de forma que las mejoras de microhábitat proporcionado por las plantas facilitadoras incremente su supervivencia.

En la **Tabla 10** se presenta un cronograma de las actuaciones previstas.

Tabla 10. Cronograma de actuaciones

CRONOGRAMA DE ACTUACIONES

Primer año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Remodelación Geomorfológica												
Remodelación de frentes de explotación												
Formación de laderas y vaguadas												
Preparación del terreno												
Extendido de tierra vegetal												
Subsolado												
Plantación												
Plantación 1º año												
Instalación de mallas protectoras												
Riego de establecimiento												
Actuaciones para la fauna												
Instalación de cajas nido												
Creación de majanos												

Segundo año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuidados culturales												
Control de herbáceas ¹												
Riegos de mantenimiento ²												
Reposición de marras ³												
Plantación 2º año												
Instalación de mallas protectoras												

1. Este control se repetirá durante los cuatro primeros años
2. Los riegos se repetirán durante los cuatro primeros años
3. Se repetirá durante el segundo y el tercer año

11. Plan de seguimiento

Para evaluar el éxito de la restauración realizada se propone el siguiente plan de seguimiento y vigilancia:

- Para valorar las pérdidas de material por erosión debido a la escorrentía superficial se instalarán trampas de sedimentos. El análisis de estos datos permitirá valorar la tasa de erosión anual en toneladas de sedimento por hectárea y año y determinar si se han cumplido los objetivos de estabilización geomorfológica.
- Se realizará un seguimiento de la supervivencia de las plántulas realizando muestreos anuales durante los cinco primeros años. Si se observa una mortandad mayor del 10% será necesario evaluar las posibles causas de la misma y establecer medidas encaminadas a reducirla.
- De igual modo se realizarán muestreos anuales para comprobar la evolución de la cobertura vegetal.
- Se realizará un control de las herbáceas durante los cuatro primeros años tras la plantación, especialmente en las áreas próximas a las plántulas para evitar la competencia que puedan ejercer sobre éstas.
- Seguimiento de fauna: para evaluar la conectividad de los trabajos de restauración con el entorno se realizarán muestreos para detectar la presencia de fauna como conejos y aves.

Con los resultados obtenidos tras la aplicación del plan de vigilancia se elaborará un informe anual mediante el cual se establezcan los objetivos cumplidos y/o las medidas correctoras necesarias para su consecución.

12. Presupuesto

El coste de restauración ha de incluir los recursos necesarios para realizarla, tanto materiales como de mano de obra, por tanto incluye las operaciones de remodelado del terreno, la maquinaria necesaria, el extendido de tierra vegetal, el plan de revegetación y las labores de mantenimiento, entre otros.

En la **Tabla 11** se presentan los datos correspondientes al presupuesto del proyecto de restauración. Se puede completar esta información con los datos detallados presentados en el **Anexo II**.

Tabla 11. Presupuesto proyecto de restauración

Total presupuesto de ejecución material	1.502.217 €
13% Gastos generales	195.288 €
6% Beneficio industrial	90.133 €
Total presupuesto contratación de obras	1.787.638 €
21% IVA	375.404 €
PRESUPUESTO TOTAL	2.163.042 €

El presupuesto total del proyecto de restauración asciende a **dos millones ciento sesenta y tres mil cuarenta y dos euros**.

13. Conclusiones

En este documento se presenta un proyecto de restauración para recuperar el área degradada por la explotación de roca caliza de la empresa Hanson Hispania S.A. en el término municipal de Valdilecha, Madrid.

- Con la remodelación geomorfológica del área explotada se consiguen formas estables e integradas en el entorno gracias al empleo del software Natural Regrade basado en el método GeoFluv™.
- Se propone la implantación de una cubierta vegetal compuesta principalmente por especies típicas del monte mediterráneo con *Quercus ilex* como especie principal que permite la recuperación de un ecosistema funcional.
- Para maximizar las posibilidades de éxito de la revegetación ante las condiciones climáticas de la zona, se propone la utilización de leguminosas que actúen como plantas nodriza facilitadoras de otras especies.
- Con el proyecto de restauración propuesto se logra la creación de nuevos espacios capaces de albergar diferentes hábitats antes inexistentes.

14. Agradecimientos

Quiero agradecer a la Fundación Tormes-EB que me haya brindado la oportunidad de realizar con ellos las prácticas asociadas a este trabajo. En especial a mi director Víctor Pérez Domínguez por su predisposición, ayuda y sugerencias para la

realización de este proyecto. También a los técnicos de la Fundación Rebeca y Marina por su agradable acogida.

Agradezco a José Francisco Martín Duque su disponibilidad para tutorizar este trabajo y su ayuda para realizar los diseños gráficos.

Debo agradecer a José Ramón Doheijo Lozano, Jefe de Cantera en Valdilecha, toda la información ofrecida sobre la explotación minera.

A Carmela Capistrós, por ayudarme a comenzar con este trabajo y contagiarme con su energía.

A Alberto, por apoyarme siempre.

15. Referencias

Angel i Hernández, J.C. 2008. Propuesta de modelo silvícola para montes privados de encina (*Quercus ilex*) y roble (*Q. humilis*, *Q. faginea* y *Q. cerrroides*). En: *Modelos silvícolas en montes privados mediterráneos*, pp.186. Barcelona, España.

Bugosh, N. 2006. *Basic Manual for Fluvial Geomophic Review of Landform Designs*. Office of Surface Mining of the US Department of the Interior, Denver, CO.

Carlson Software, Bugosh, N. 2005. *Fluvial Geomorphic Landscape Design Computer Software*. US Patent Office, publication number WO/2005/036331, intenational application number PCT/US2004/02995.

Casas, I., Díaz, R., Echevarría, J. E., Gavilán, R. 1989. Datos sobre la vegetación de Morata de Tajuña (Madrid, España). *Lazaroa* 11: 61.

Castillo, I., Elorriaga, J., Zuberogoitia, I., Azkona, A., Hidalgo, S., Astorkia, L., Iraeta, A. y Ruiz, F. 2008. Importancia de las canteras sobre las aves rupícolas y problemas derivados de su gestión. *Ardeola* 55(1): 103-110.

Castro, J., Zamora, R., Gómez L., Gómez, J. M., Hodar, J. A., y Baraza, E. 2004. Uso de matorrales como plantas nodriza en ambientes mediterráneos: evaluación de una nueva técnica de repoblación forestal. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 17:145-150.

Clewell A.F., Aronson J. 2013. *Ecological Restoration: principles, values and structure of an emerging profession*. 2ª ed. Ed. Island Press. Washington, United States.

Cuesta, B., Villar-Salvador, P., Puértolas J., Rey Benayas, J.M. y Michalet, R. 2010. Facilitation of *Quercus ilex* in Mediterranean shrubland is explained by both direct and indirect interactions mediated by herbs. *Journal of Ecology* 98: 687-696.

Da Silva, E. 2002. *Mauremys leprosa*. En: Pleguezuelos J. M., R. Márquez, Lizana, M. (Eds.) *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*, pp. 143-146. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española (2ª impresión). Madrid.

De Salas, L., Carrero, L. 2008. Estimación de la intensidad máxima anual para una duración y período de retorno determinados en la España peninsular mediante la aplicación informática MAXIN. Disponible en:

http://www2.forestaes.upm.es/hidraulica/MAXIN_v2/MAXIN/APLICACION/principal.html

Escudero, A., 2009. 1520 Vegetación gipsícola mediterránea (Gypsophiletalia) (*). En: VV.AA., *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, pp. 78. Madrid.

Gómez-Aparicio L., Zamora R., Gómez J.M., Hódar J.A., Castro J. y Baraza E. 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications* 14(4): 1128-1138.

González Granados, J. 2011. Flora y vegetación gipsícola, halófila y nitrófila de Madrid. *Foresta* 52: 46-57.

González-Rodríguez, V., Navarro-Cerrillo, R.M. y Villar, R. 2011. Artificial regeneration with *Quercus ilex* L. and *Quercus suber* L. by direct seeding and planting in southern Spain. *Annals of Forest Science* 68(3): 637-646.

Guerra, A. 1968. Mapa de Suelos de España, Escala 1:1.000.000. CSIC. Madrid, España.

Instituto Nacional de Estadística (INE) 2014. Censo del Municipio de Valdilecha.

IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.

Maestre, F.T., Bautista, S., Cortina, J. y Bellot, J. 2001. Potential for using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications* 11 (6): 1641-1655.

Martín Bourgón, P., Campos Julia, C. y de San José Lancha, M.A. 1972. Mapa Geológico de España, escala 1:50 000. 2ª serie, 1ª ed. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España.

Martín Duque, J.F., Bugosh, N., de Francisco, C., Hernando, N., Martín, C., Nicolau, J. M., Zapico, I. 2015. Examples of geomorphic reclamation on mined lands in Spain by using the GeoFluv method. En *EGU General Assembly Conference Abstracts* 17: 2895.

Martínez, T., y Martín, J. 2001. Evaluación de la supervivencia de distintas especies riparias en las plantaciones efectuadas en las riberas del Henares con fines de restauración. En *III Congreso Forestal Español*.

Montoya Oliver, J.M. 1995. Técnicas de reforestación con encinas, alcornoques y otras especies de *Quercus* mediterráneas. Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación Núm. 7-8/95 HD.

Monturiol Rodríguez, F. y Alcalá del Olmo Bobadilla, L. 1990. Mapa de Asociaciones de Suelos de la Comunidad de Madrid, Escala 1:200 000. Consejería de Agricultura y Cooperación y CSIC. Madrid, España.

Nicolau, J. M. 2003. Diseño y construcción del relieve en la restauración de ecosistemas degradados: una perspectiva ecológica. En: Rey Benayas, J.M., Espigares, T. y Nicolau, J.M. (Eds). *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España.

Oliet Palá, J.A., Navarro Cerrillo, R.M. y Contreras Atalaya, O. 2003. Evaluación de la aplicación de tubos y mejoradores en repoblaciones forestales. *Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente*, pp. 234.

Oliet Palá, J.A., Planelles, R., López Arias, M. y Artero, F. 2002 Soil water content and water relations in planted and naturally regenerated *Pinus halepensis* Mill. seedlings during the first year in semiarid conditions *New Forests* 23: 31-44

Padilla Ruiz, F.M., Puignaire de Idaola, F.I., Marín, R., Hervás Muñoz, M. y Ortega Oller, R. 2004. El uso de especies arbustivas para la restauración de la cubierta

vegetal en ambientes semiáridos. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 17: 103-107.

Pemán García, J. y Navarro Cerrillo, R. 1998. *Repoblaciones Forestales*. Universitat de Lleida, pp. 400.

Pleguezuelos J. M., Márquez, R., Lizana, M. (Eds.) 2002. *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española. Madrid, España.

Pugnaire, F.I., Haase, P., Puigdefábregas, J., Cueto, M., Clark, S.C. y Incoll, L.D. 1996. Facilitation and succession under the canopy of a leguminous shrub, *Retama sphaerocarpa*, in a semi-arid environment in south-east Spain. *Oikos* 76: 455-464.

Ramón Vallejo, V. 2005. La restauración forestal: recuperar la sostenibilidad. *Congresos forestales*.

Rivas Goday S., Borja, J., Monasterio, A., Galiano, E. F., Rigual, A., y Rivas-Martínez, S. 1956. Aportaciones a la fitosociología hispánica. En *Anales del Instituto Botánico AJ Cavanilles* 14:434-501.

Rivas Martínez, S. 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España 1: 400.000. 268 pp. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Rodà, F., Vayreda, J. y Ninyerola, M. 2009. Encinares de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*. En: *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, pp. 94.

Rodríguez, A., Marañón, T., Domínguez, M., Murillo, J. M., Jordano, D., Fernández Haeger, J., y Carrascal, F. 2009. Reforestación con arbustos para favorecer la conectividad ecológica en el Corredor Verde del Guadiamar. En *5º Congreso Forestal Español*.

Románico Digital (Enciclopedia online) 2016. Valdilecha, pp. 511-518. Disponible en <http://www.romanicodigital.com/detalle-Pdf.aspx?archivo=VALDILECHA&localidad=MADRID> [Consultado el 21/04/2016]

Serrada, R., Navarro, R.M. y Pemán, J. (en prensa). La preparación del suelo en la repoblación forestal. *Repoblaciones forestales*, pp. 45. Alcalá de Henares.

Sevilla F. 2001. Marco y densidad de las repoblaciones forestales. *III Congreso Forestal Español*.

Trubat Domenech, R., Cortina Segarra, J. y Vilagrosa Carmona, A. 2004. Estado nutricional y establecimiento de especies leñosas en ambiente semiárido. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 17: 245-251.

Villar, P. 2007. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. En: Rey Benayas, J. M.; Espigares, T.; Nicolau, J. M. (eds.) *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, pp. 65-86.

Zapico, I., Martín Duque, J. F., Bugosh, N., Balaguer, L., Campillo, J. V., De Francisco, C., García, J., Hernando, N., Nicolau, J. M., Nyssen, S., Oria, J., Sanz, M.A. y Tejedor, M. 2011. Reconstrucción geomorfológica y de hábitats en la restauración minera de la cantera "Los Quebraderos de la Serrana" (Toledo, España). En: *VI Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental: Responsabilidad, Vigilancia, Eficacia* (VI CONEIA), Albacete, abril 2011. Ministerio De Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, pp. 501-508.

16. Bibliografía complementaria

España 1973. Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 176, de 24 de julio de 1973, páginas 15056 a 15071.

España 2009. Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 143, de 13 de junio de 2009, páginas 49948 a 49993.

Unión Europea 1992. Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 206 de 22 de julio de 1992, páginas 7 a 50.

Vivero Ponce Lajara. 2015. Catálogo comercial de planta forestal.

Viveros Sierra Norte. 2014. Catálogo de plantas autóctonas y forestales.

17. Anexos

17.1. Anexo I: Datos analíticos del suelo

Tabla 12. Datos analíticos para de los luvisoles cálcicos. Fuente: Mapa de Asociaciones de Suelos de la Comunidad de Madrid

Luvisol cálcico			
Tipo de horizonte	A	B	C
Profundidad (cm)	23,00	47,00	-
Determinaciones físicas			
Límite líquido (%)	29,00	43,00	34,00
Límite plástico (%)	14,00	18,00	16,00
Densidad real (mg/m ³)	2,69	2,71	2,75
Densidad aparente (mg/m ³)	1,50	1,67	1,53
Permeabilidad (%)	45,00	25,00	20,00
Retención de agua (%)	31,00	35,00	34,00
Límite de retracción (%)	15,00	13,00	19,00
Análisis mecánico			
Piedra (%)	3,00	3,00	10,00
Grava (%)	11,00	6,00	21,00
Tierra fina (%)	86,00	91,00	69,00
Arena (%)	37,00	29,00	38,00
Limo (%)	34,00	28,00	30,00
Arcilla (%)	29,00	43,00	32,00
Determinaciones químicas			
Materia orgánica (%)	1,17	0,62	0,38
Carbono (%)	0,68		
Nitrógeno (%)	0,08	0,06	0,05
Relación C/N	8,12		
Carbonato cálcico (%)	3,00	0,00	32,00
Salinidad (mmhos/cm)	0,70	0,80	1,40
pH	7,30	7,10	8,10
Saturación de bases (%)	81,00	85,00	100,00

17.2. Anexo II: Presupuesto detallado

Unidades		Cantidad	Precio €	Importe €
Movimiento de tierras				
m ³	Retirada y acopio de tierra vegetal mediante palas cargadoras de ruedas	108.657	0,35	38.030
m ²	Remodelación del terreno mediante el método GeoFluv-Natural Regrade. Incluye bulldozer, combustible y mano de obra.	430.000	1,00	430.000
Preparación del terreno				
m ³	Extendido tierra vegetal procedente de la propia obra, previamente acopiada, en laderas y vaguadas	108.657	0,35	38.030
m ²	Preparación mecanizada del terreno consistente en subsolado a 60 cm mediante tractor de cadenas con subsolador forestal fijo de 2 rejonés	360.000	1,83	658.800
Revegetación				
ud	Suministro y plantación de <i>Quercus ilex</i> de 1/2 savias en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto	10.116	3,05	30.854
ud	Suministro y plantación de <i>Quercus coccifera</i> de 1/2 savias en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto	5.620	3,19	17.928
ud	Suministro y plantación de <i>Retama sphaerocarpa</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización	3.897	2,95	11.496

	de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto			
ud	Suministro y plantación de <i>Rhamnus lycioides</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto	2.165	3,26	7.058
ud	Suministro y plantación de <i>Rhamus alaternus</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto	1.299	3,26	4.235
ud	Suministro y plantación de <i>Juniperus oxycedrus</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto	1.299	3,42	4.443
ud	Suministro y plantación de <i>Stipa tenacissima</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto	3.464	3,19	11.050
ud	Suministro y plantación de <i>Genista scorpius</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer	3.897	3,26	12.704

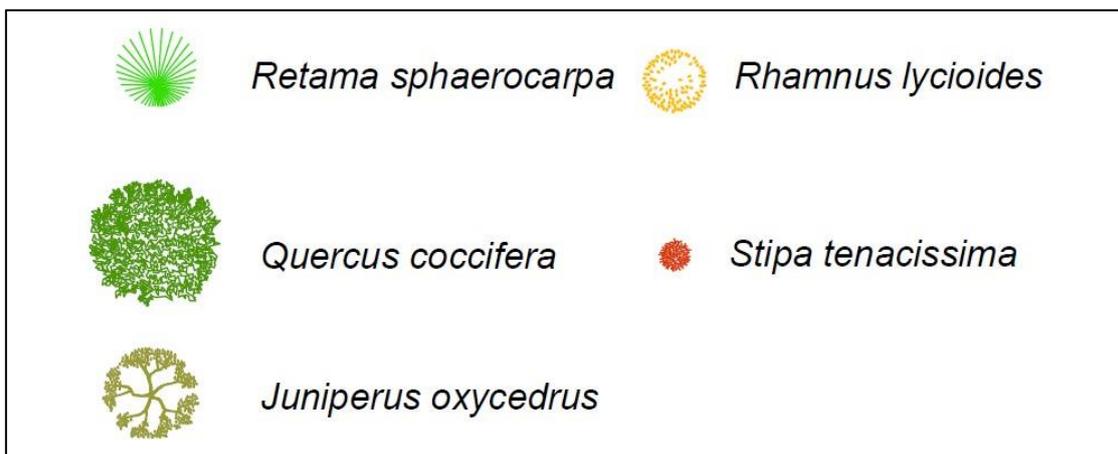
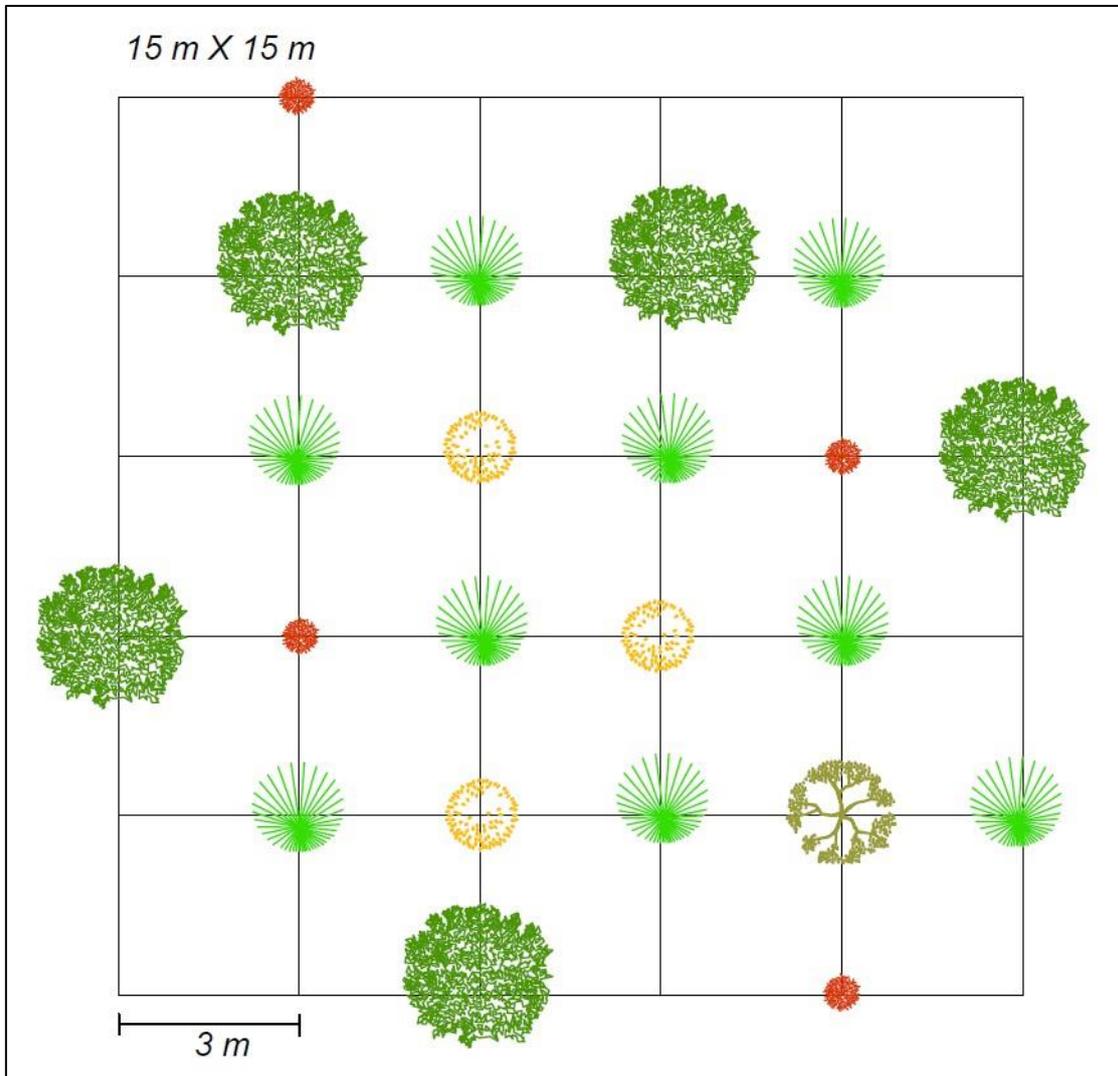
	riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto			
ud	Suministro y plantación de <i>Phillirea angustifolia</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto	866	3,19	2.763
ud	Suministro y plantación de <i>Crataegus monogyna</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto	516	3,32	1.713
ud	Suministro y plantación de <i>Rosa canina</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto.	516	3,19	1.646
ud	Suministro y plantación de <i>Pistacia terebinthus</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de marras especificada en proyecto.	258	3,38	872
ud	Suministro y plantación de <i>Jasminum fruticans</i> de 1 savia en contenedor forestal, en cualquier pendiente y suelo, suministro de la planta a pie de tajo, apertura de hoyo de forma manual, colocación de la planta, tapado de hoyo y realización de alcorque. El precio incluye primer riego de plantación y la reposición de	516	3,38	1.744

	marras especificada en proyecto.			
ud	Suministro y colocación de protector de malla de 60 cm de altura y 15 cm de diámetro	34.429	1,02	35.118
ud	Suministro y colocación de caña de bambú de 60 cm de altura, totalmente instalado	68.858	0,60	41.315
Mantenimiento				
ud	Riego de árboles y arbustos mediante camión cisterna 8000 L. Incluye carga y transporte desde punto de abastecimiento hasta el lugar de uso	137.716	1,06	145.979
ud	Tratamiento manual del terreno para el control de herbáceas	34.429	0,71	24.445
Otras instalaciones				
ud	Cajas nido para cernícalos. Incluye instalación.	8	62,01	496
ud	Creación de majanos para conejos	5	300,00	1.500
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL				1.522.217€
TOTAL PRESUPUESTO POR HECTÁREA				35.400€

17.3. Anexo III: Módulos de plantación

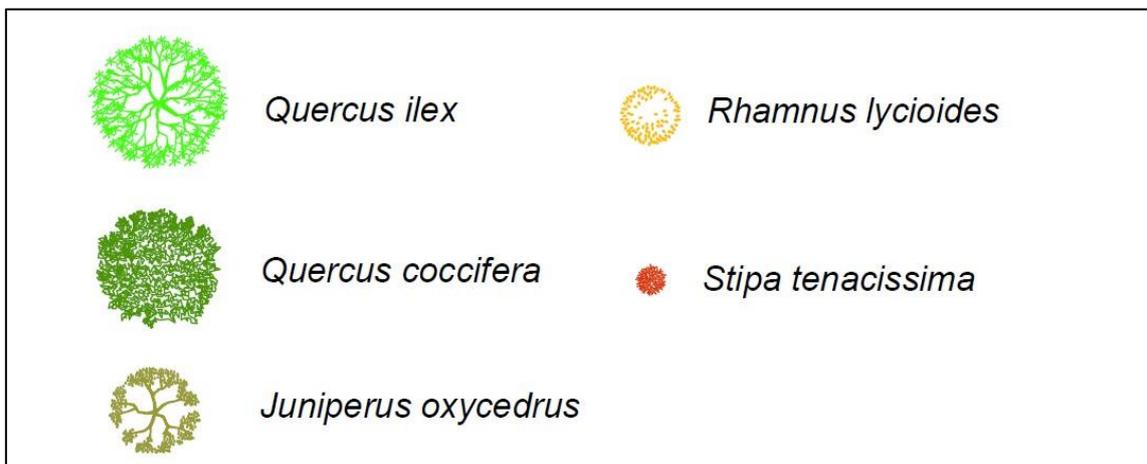
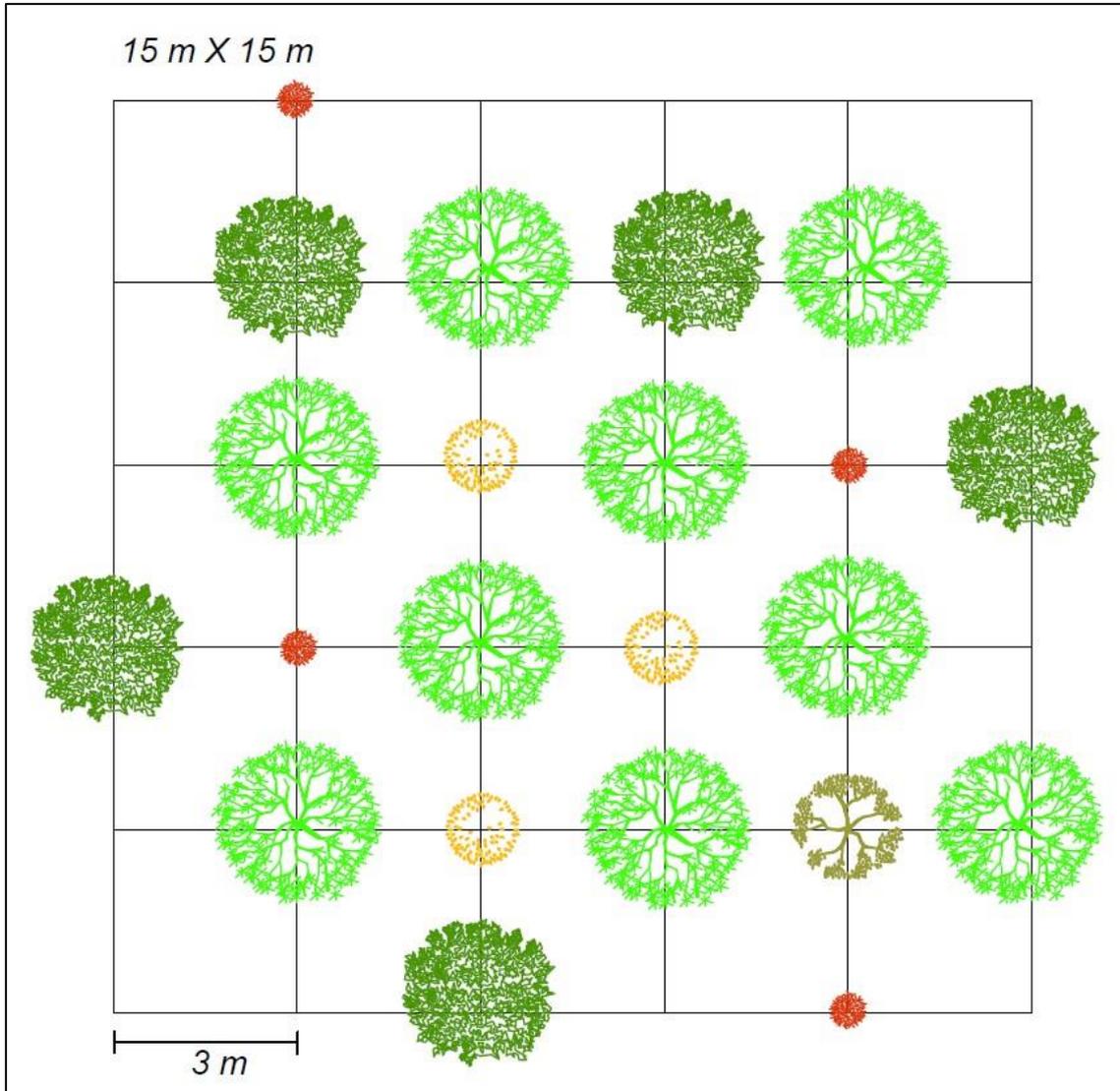
Encinar en ladera: módulo 1 inicial

Se presenta el módulo para realizar la primera plantación con *Retama sphaerocarpa* como planta facilitadora de *Q. ilex*



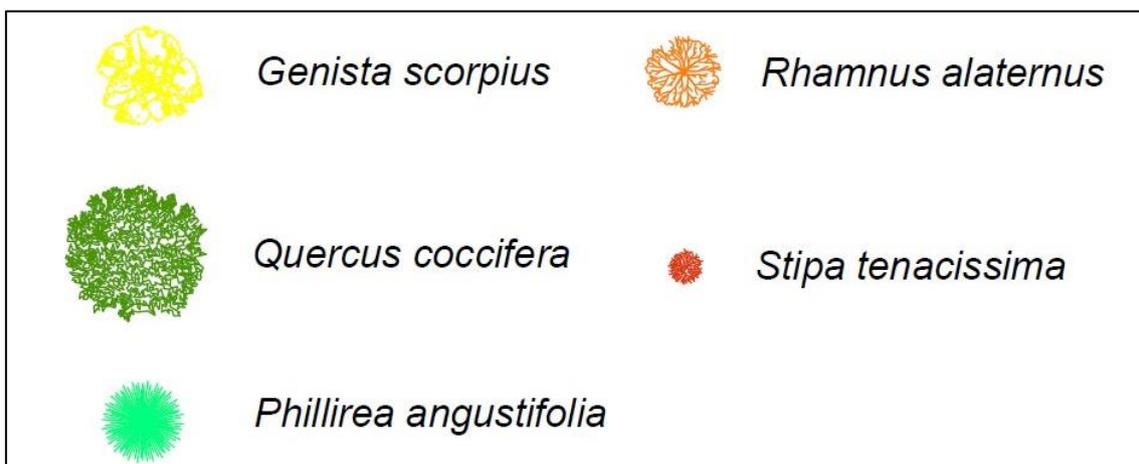
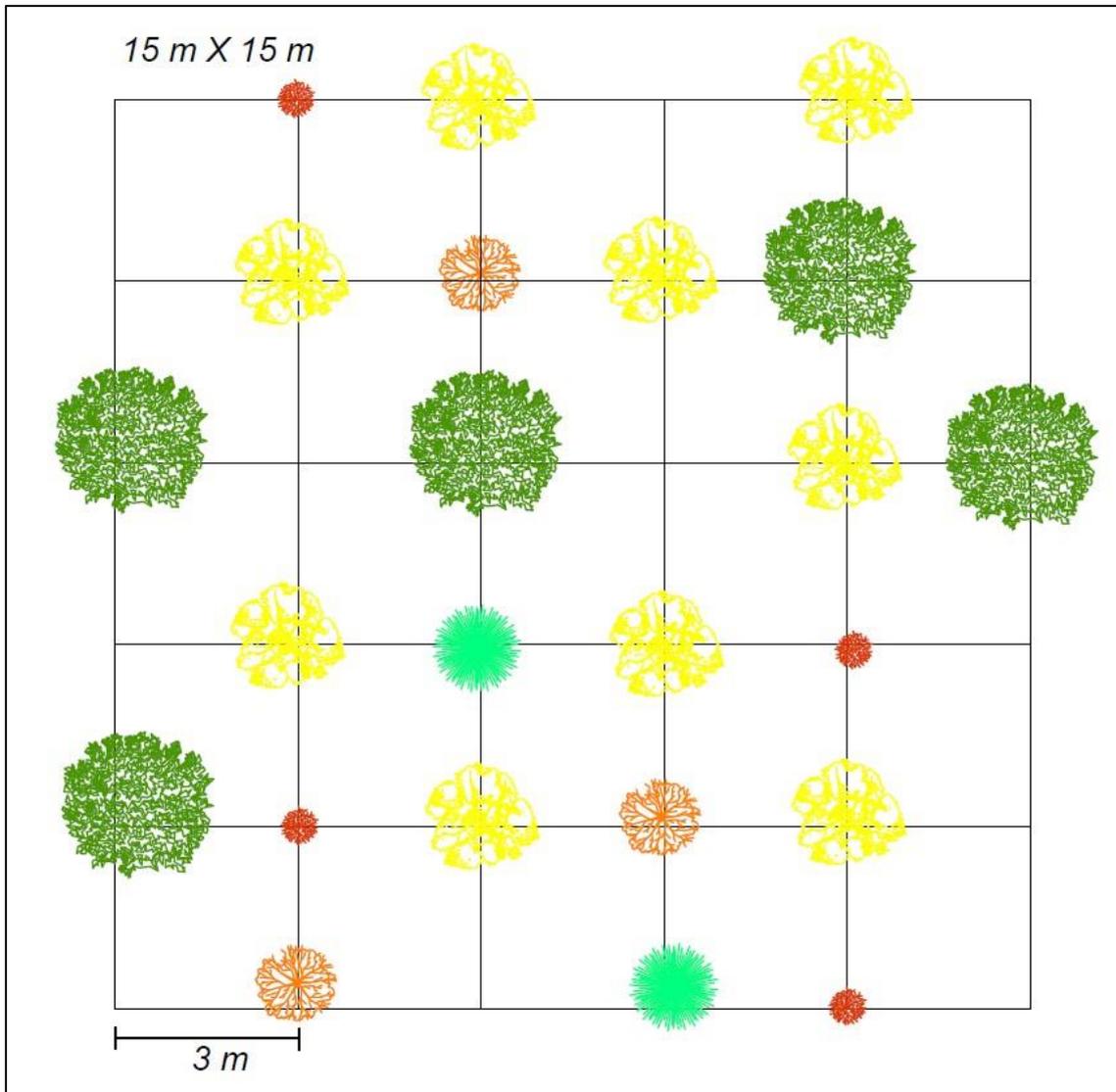
Encinar en ladera: módulo 1 final

Aspecto del módulo tras la plantación de *Q. ilex*. Se prevé que a medio-largo plazo las plantas de *Q. ilex* desplacen a las de *Retama sphaerocarpa*.



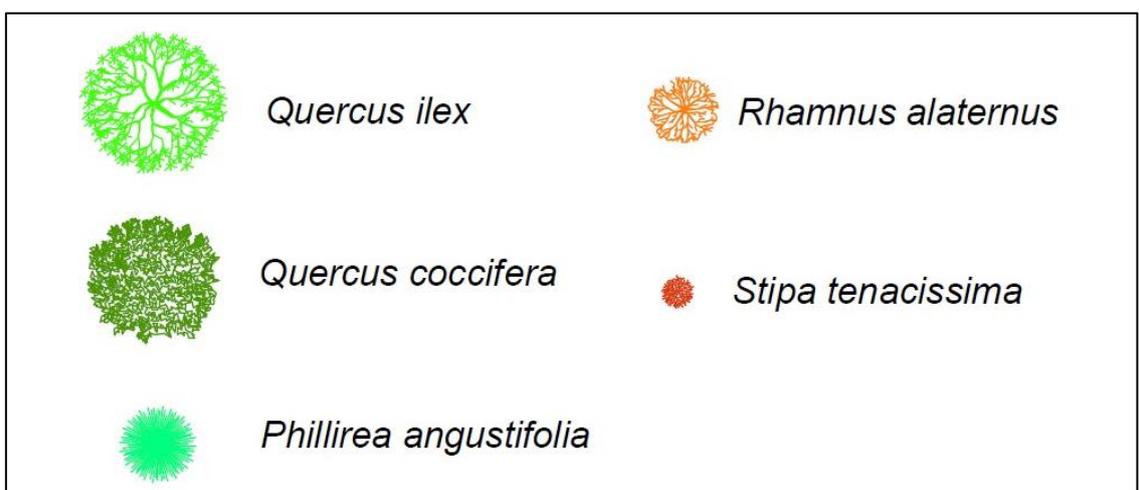
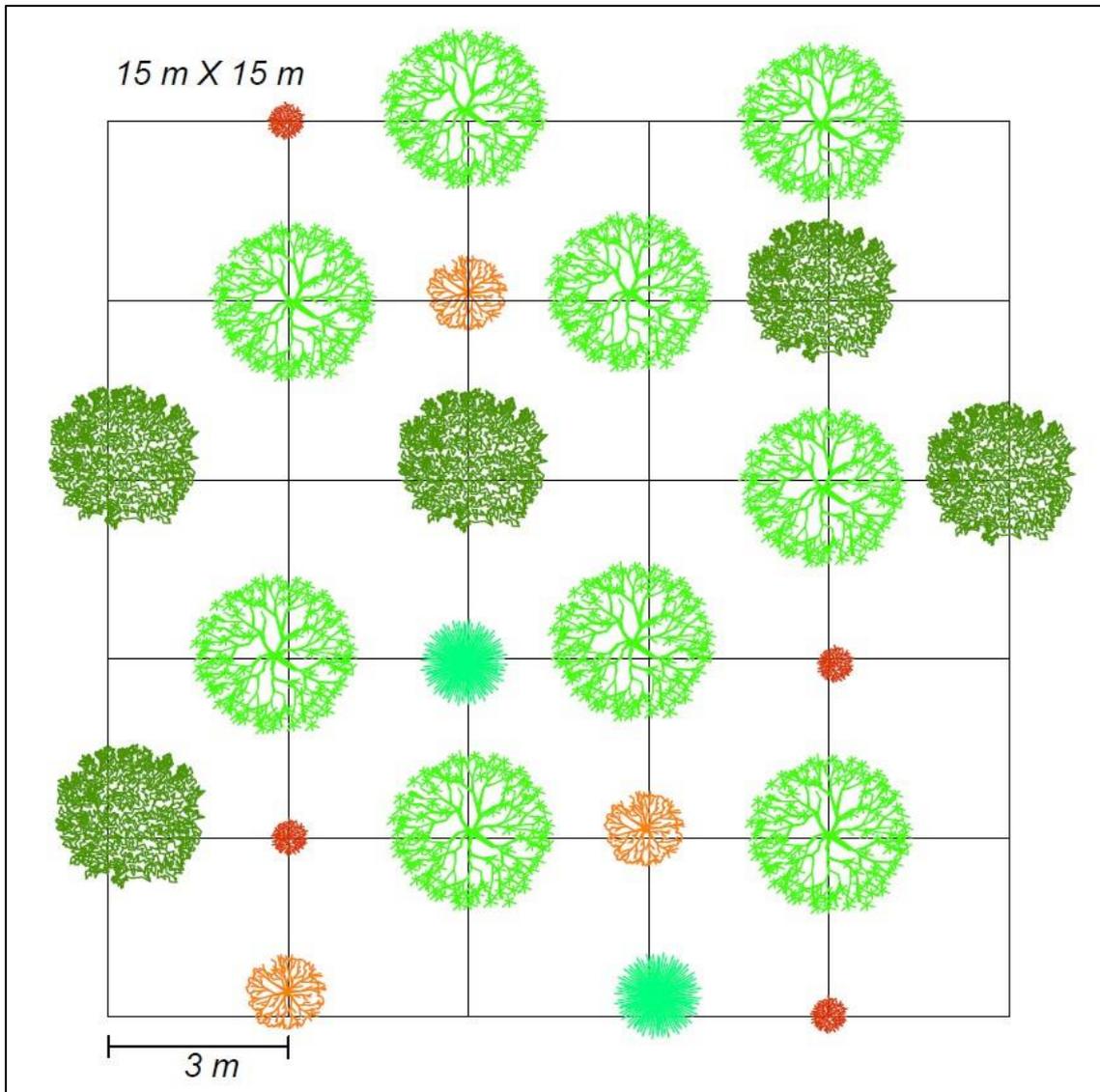
Encinar en ladera: módulo 2 inicial

Se presenta el módulo para realizar la primera plantación con *Genista scorpius* como planta facilitadora de *Q. ilex*

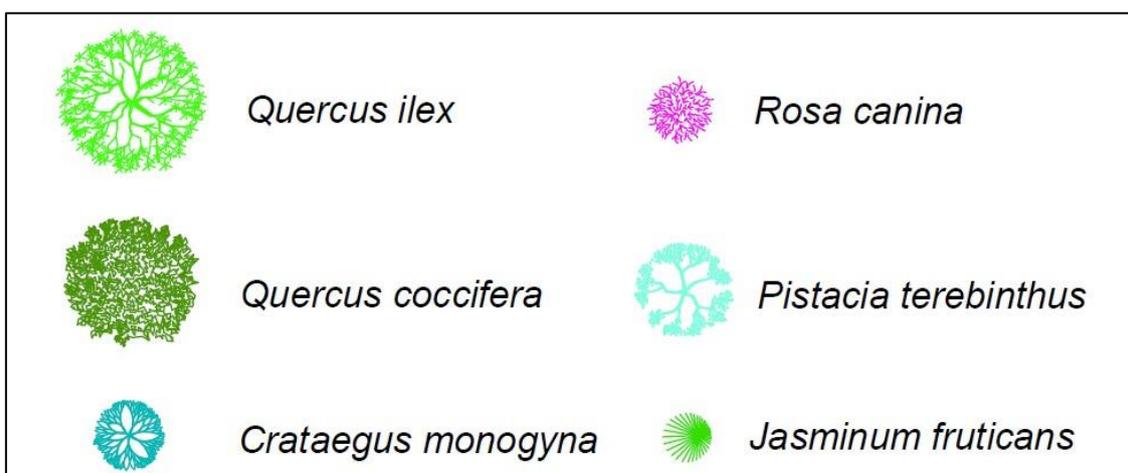
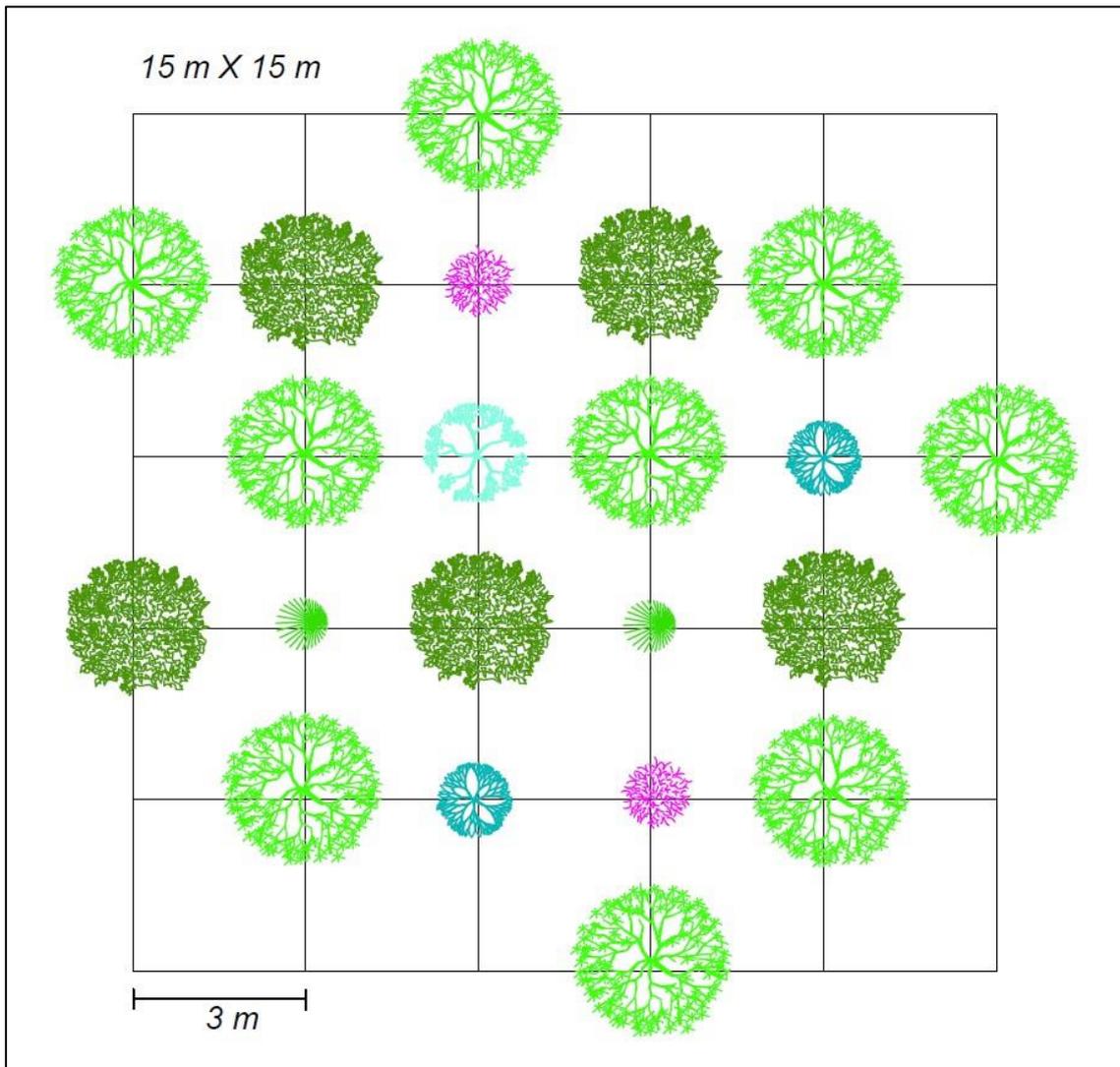


Encinar en ladera: módulo 2 final

Aspecto del módulo tras la plantación de *Q. ilex*. Se prevé que a medio-largo plazo, las plantas de *Q. ilex* desplacen a las de *Genista scorpius*.

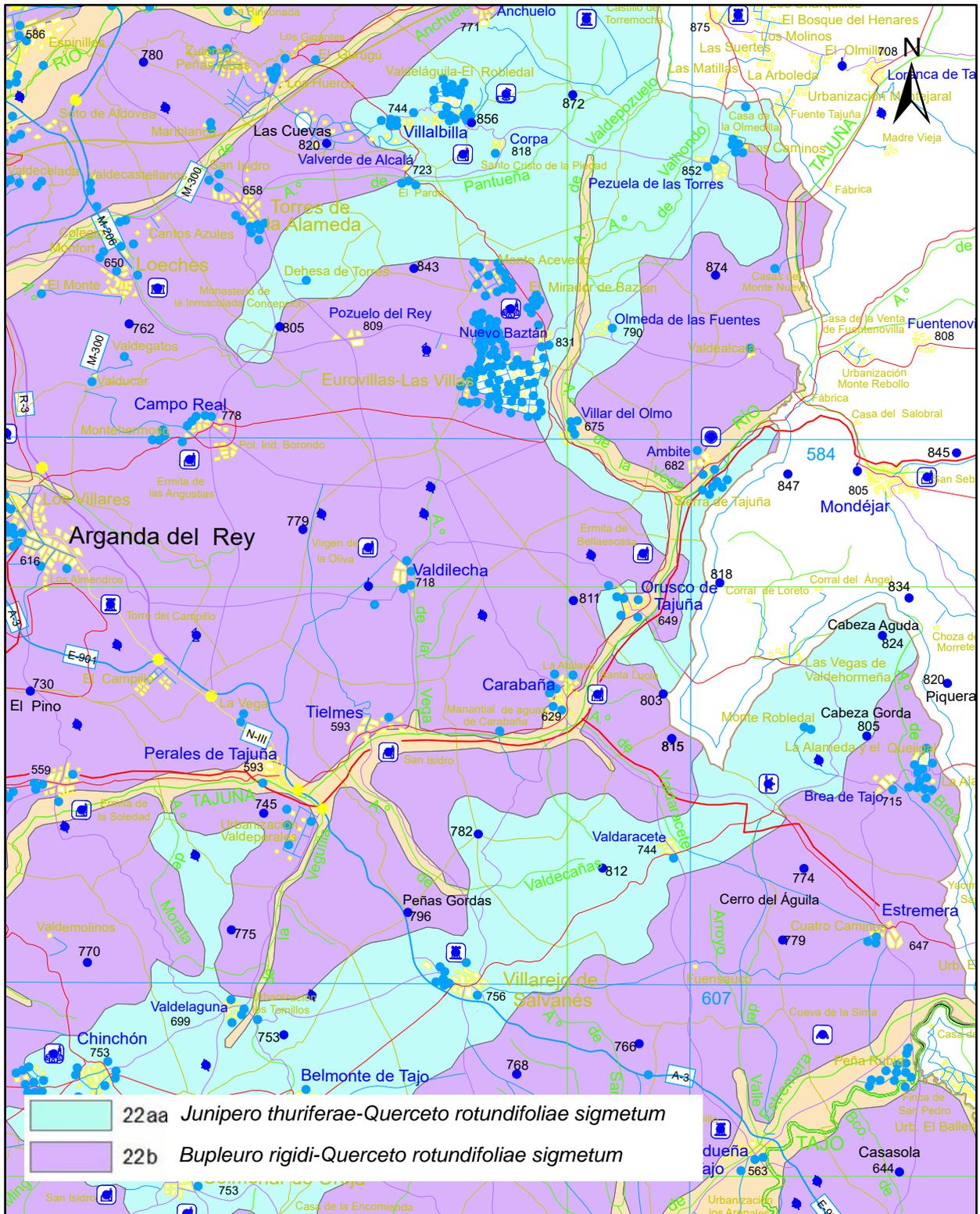


Encinar en vaguada: módulo 3

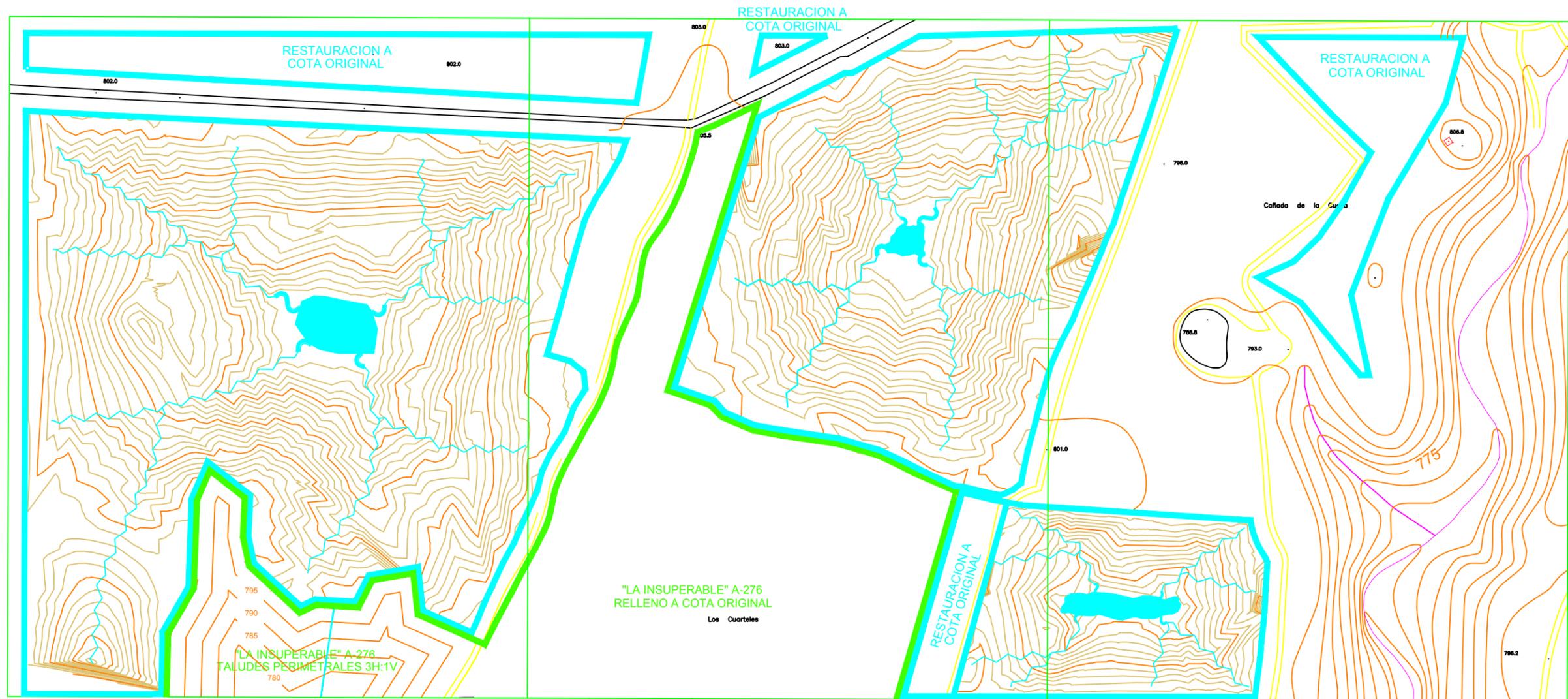


17.4. Anexo IV: Mapas y planos

Mapa de series de vegetación



0 1.25 2.5 5 7.5 10
 Kilometers



PERFILES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

- PERFIL ORIGINAL DEL TERRENO
- PERFIL FINAL DE EXPLOTACION
- PERFILES DE RESTAURACION

PROYECTO	Proyecto de Restauración	ESCALA	1:2000
SITUACION:	C.E."Esperanza Fr. III" nº 2939-003 T.M. de Valdelecha	PLANO Nº:	2
PLANO:	Estado final Restauración Propuesta	FECHA	Septiembre 2016
EL EQUIPO REALIZADOR	Realizado por Marta Alonso Fernandes	PROYECTO N.º	

