



**LIFE 12 BIO/ES/000926**

**FINAL Report**

**Covering the project activities from 15/09/2013 to 31/03/2020**

Reporting Date

**<31/03/2020>**

**“ECORESTCLAY- Holistic ecological restoration of a mining area in Tarragona (Spain) with seven clay quarries**

<b>Project location</b>	Tarragona/Cataluña/España
<b>Project start date:</b>	15/09/2013
<b>Project end date:</b>	15/09/2018 <b>Extension date:</b> 31/03/2020
<b>Total budget</b>	1.793.169€
<b>EC contribution:</b>	810.773 €
<b>(%) of eligible costs</b>	45.66%

**Data Beneficiary**

<b>Name Beneficiary</b>	CEMEX ESPAÑA OPERACIONES S.L.U.
<b>Contact person</b>	Francisco González Martín-Consuegra
<b>Postal address</b>	C/Hernández de Tejada nº1 28027 Madrid (España)
<b>Telephone</b>	0034 636951078
<b>Fax:</b>	34-925128148 + direct nº
<b>E-mail</b>	Francisco.gonzalezmartin@cemex.com
<b>Project Website</b>	www.cemexrestaura.com

# 1. Índice de contenidos

1.	Índice de contenidos.....	2
2.	Resumen Ejecutivo.....	3
3.	Introducción.....	16
4.	Parte Administrativa.....	17
	4.1. Descripción del Sistema de Gestión.....	17
	4.2. Evaluación del Sistema de Gestión.....	19
5.	Parte Técnica.....	20
	5.1. Progreso Técnico, por Tarea.....	20
	5.2. Acciones de Divulgación .....	65
	5.3. Evaluación de la Implementación del Proyecto.....	69
	5.4. Análisis de Beneficios a Largo Plazo.....	71
6.	Reporte Financiero (comentarios).....	74
	6.1. Resumen de Costes.....	74
	6.2. Sistema de Contabilidad.....	77
	6.3. Acuerdos entre Socios.....	78
	6.4. Informe de Auditoría.....	78
	6.5. Resumen de Costes por Acciones.....	79
7.	Anexos.....	80
8	Informe Financiero y Anexos.....	82

## 2. Resumen Ejecutivo

El **objetivo global** del proyecto ha sido desarrollar un protocolo de restauración en minería a partir de soluciones innovadoras, promoviendo la restitución de ecosistemas biodiversos. Los objetivos específicos sobre ese enfoque global fueron: (A) Diseñar, construir y monitorizar geoformas que replicaran las de los paisajes naturales, utilizando para ello el método GeoFluv, creando una nueva red hidrográfica integrada funcional y estéticamente con las condiciones de partida y el entorno. (B) Solucionar el problema de inundaciones del barranco de Rocacorba aguas abajo de su paso por la carretera C-42, desviando parte del caudal al hueco minero de Pastor I, para que éste actúe como laguna de laminación, o embalse de tormentas, ante precipitaciones extremas: todo ello manteniendo el caudal ecológico, y aún superior, del barranco, y conectado a las restauraciones.

Los **entregables** han sido muy amplios, tal y como se desarrollará a continuación.

Los objetivos de la **Acción A1**, *Caracterización topográfica y geomorfológica de los huecos de explotación*, se centraron en: (a) analizar el punto de partida de las restauraciones; (b) identificar las causas de inestabilidad; (c) adaptar el diseño de restauración a los condicionantes del estado inicial. Los principales resultados y conclusiones fueron: (1) las arcilleras fragmentaron la continuidad hidrológica de estos paisajes, interrumpiendo líneas de drenaje principales y generando lagunas en su fondo; (2) la configuración topográfica de partida (taludes-bermas en los frentes, y plataformas en el fondo de los huecos) mostraba una elevada inestabilidad geomorfológica, con predominio generalizado de erosión severa; (3) dicha inestabilidad era producto de procesos de erosión hídrica y movimientos en masa, pero también de “erosión en túneles” (*piping*, sufusión), por la presencia de arcillas sódicas; (4) la configuración de explotación, pre-restauración, era muy inestable.

Los objetivos de la **Acción A2**, *Instalación de un pluviógrafo tipo HOBO y registro de precipitaciones* buscaban tener un registro continuo de las precipitaciones en el ámbito del proyecto. Por problemas de vandalismo, hubo que cambiar la metodología, pasando a completar el registro de lluvia a partir de datos de la AEMET, lo cual no ha tenido merma en el proyecto. Los resultados han permitido concluir que LIFE ECORESTCLAY se ha desarrollado en un ciclo seco, pues de los cinco años hidrológicos completos incluidos en el transcurso del proyecto (2014-2015 a 2018-2019), dos tuvieron una precipitación muy cercana a la media y tres fueron muy secos. Este hecho podría hacer dudar de la representatividad del monitoreo (acciones C2 y D2). Sin embargo, es bien sabido que el proceso erosivo en ambientes mediterráneos se debe, más que a la lluvia total anual, a fenómenos de intensidad de precipitación. En este sentido, la zona restaurada ha sido afectada por dos eventos extremos, lo que permitió testar la resistencia de las restauraciones.

En la **Acción A3**, se ha realizado una caracterización inicial de materiales de partida. Como materiales de partida, se han considerado los materiales acopiados en las explotaciones, susceptibles de ser sustratos para la revegetación. Estos materiales procedían de la misma zona explotada y podían permitir reproducir las características edáficas de los suelos del entorno. Las texturas dominantes eran finas (entre franco arcillo limosas y franco limosas), con pedregosidad importante y salinidad moderada. Los niveles de fertilidad eran bajos o muy bajos, excepto en algunos acopios con suelos naturales. Algunos de los materiales presentaban salinidad moderada. En el caso de Pastor II, se optó por caracterizar los suelos naturales que debían ser decapados durante la explotación para fomentar la reposición inmediata. Son suelos poco profundos, con una pedregosidad considerable, de textura entre arcillo arenosa y franco arcillo arenosa y ligeramente salinos. Estos suelos pueden ser un buen recurso natural si se evita/minimiza la fase de acopio.

Para la **Acción A4**, Estado inicial de las poblaciones de aves. Se identificaron en 2014, 38 especies en la zona de Aurora, 52 en Pastor I y 46 en Pastor II. Estas zonas acogen o pueden acoger un conjunto de especies de aves nidificantes interesantes desde el punto de vista de la conservación, en particular las collalbas negra (*Oenanthe leucura*) y rubia (*Oenanthe hispánica*), el roquero solitario (*Monticola solitarius*), el búho real (*Bubo bubo*), el águila perdicera (*Aquila fasciata*), el zampullín chico

(*Tachybaptus ruficollis*) o la polla de agua (*Gallinula chloropus*), entre otras. Se trata de una zona pequeña pero el efecto local es importante para especies relativamente escasas, como la collalba negra o para especies que, como las águilas perdiceras, utilizan estas arcilleras como zonas de caza estables en el espacio y en el tiempo. El mantenimiento de pequeños refugios como este es muy importante para la migración de las aves, ya que reduce las distancias de las distintas escalas en su trayecto e incrementa las posibilidades de supervivencia.

En la **Acción A5**. Evaluación de la presencia de *Obama nungara*. En los dos viveros revisados se identificaron individuos de la planaria exótica *Obama nungara*. Esto se comunicó al Departamento de la Generalitat responsable de sanidad vegetal. Se estableció un protocolo sanitario para preparar los plantones antes de trasladarlos a la zona de plantación. Se preparó una ficha para que los viveros y responsables de la restauración pudiesen identificar esta especie y prevenir su expansión. Se realizó un control periódico en campo para revisar la ausencia de esta especie en las zonas plantadas. Hasta la fecha de finalización del proyecto ningún indicio hace pensar que ha existido dispersión, aunque se propone un control posterior en el tiempo para poder verificar definitivamente que esta especie no se haya extendido en la zona.

La **Acción A6** tuvo por objetivo la *Formación preliminar de operarios y técnicos* en la planificación de operaciones, y movimientos de maquinaria y tierras, propios de la restauración geomorfológica. El entregable asociado fue la elaboración de un protocolo técnico operativo, original de este LIFE, describiendo e ilustrando una nueva forma de remodelado del terreno. Sobre la base de esa guía se realizaron varias sesiones de formación, en campo y en gabinete, tanto a personal de CEMEX como a operadores de maquinaria. Los resultados fueron muy satisfactorios. Después, durante todo el proyecto, se desarrolló una formación continua, introduciendo constantemente aspectos de mejora. La culminación ha sido la planificación de un proceso explotación-restauración geomorfológica progresiva para Pastor II.

En cuanto a actividades de revegetación, se han realizado diferentes sesiones de formación relacionadas con las acciones de creación de hábitats, substratos y proceso de revegetación, aunque inicialmente no se habían considerado en la propuesta. Algunas de las técnicas adoptadas son novedosas y no habían sido implementadas por la empresa de revegetación ni por sus operarios. Las sesiones de formación fueron presenciales. En la fase final del proyecto, con operarios más familiarizados y con mayor experiencia, se facilitaban esquemas de plantación con alguna sesión presencial.

La **Acción C.1** *Geomorfología*, incluyó tres sub-acciones.

El objetivo fundamental de la **Acción C.1.1. Diseño de la geomorfología definitiva** fue introducir, con carácter innovador, una alternativa de remodelado del terreno diferente a las habituales utilizadas por la minería. Las prácticas convencionales consisten en el diseño de geoformas escalonadas y planas. Frente a ellas, la restauración geomorfológica propone la construcción de geoformas complejas, que imitan a las naturales, utilizando como unidad básica de restauración la cuenca hidrográfica. Los entregables y resultados consistieron en los diseños de restauración geomorfológica de los huecos de explotación Aurora, Pastor I (un sector) y Pastor II (en su totalidad), incluyendo planos, informes y ficheros asociados. En el caso de Pastor I, la reducción del riesgo de inundación del barranco de Rocacorba requirió un estudio hidrológico e hidráulico específico, incluyendo el diseño de una estructura de derivación y bajante desde el arroyo de Rocacorba hacia Pastor I.

El objetivo fundamental de la **Acción C.1.2. Construcción y control técnico de la ejecución** residió en un replanteo continuo de las topografías diseñadas, mediante el empleo de GPS diferencial, guiando el proceso constructivo.. Los resultados fueron la construcción de tres magníficos ejemplos de restauración geomorfológica. En el caso de Aurora, para la totalidad de la antigua arcillera. En Pastor I, para un sector de la misma, que cumpliera el objetivo fundamental de reducción del riesgo de inundación aguas abajo. Todo ello tras el reajuste del proyecto, que permitiera la conservación del hábitat de la collalba negra. En Pastor II se construyó una subcuenca hidrográfica, del total del diseño,

que sirvió de ejemplo para la implementación de un sistema de restauración minera progresiva de base geomorfológica.

El objetivo fundamental de la **Acción C.1.3. Seguimiento y registro gráfico**, consistió en documentar todo el proceso de replanteo, dirección y ejecución (maquinaria).. Los resultados son una base de datos muy completa, que tendrá una enorme utilidad para proyectos similares, futuros.

Las **Acciones C.2. Caracterización hidrológica después de la restauración y D2 Comportamiento hidrológico en el tiempo** compartían el objetivo de medir los caudales y los materiales en suspensión emitidos en las cuencas restauradas, teniendo como indicadores iniciales el caudal (m<sup>3</sup>/seg) y la concentración de sedimentos (mg/1). Estaba previsto realizar las medidas de caudales y sólidos en suspensión mediante sensores de presión, flumes y un sistema de “botes toma-muestras”, instalados en unas secciones conocidas de los canales construidos. Los sensores de presión y flumes no pudieron ser adquiridos (ver explicación más adelante). Tras la restauración geomorfológica de Aurora se instalaron varios “botes toma-muestras” y “pocillos tranquilizadores” (14.10.2015), realizándose tres medidas, hasta el 06.06.2016. Sin embargo, este instrumental no midió adecuadamente, al resultar enterrado de manera recurrente por los sedimentos. El motivo fue que el transporte de carga de fondo era muy superior al inicialmente previsto en la solicitud del proyecto. Por todo ello, se decidió sustituir la medida de escorrentía por la de otro componente del ciclo del agua: la humedad edáfica. Este no informa de las emisiones hídricas (*off-site*) de las superficies restauradas, pero sí de la oferta de agua a las plantas, proceso *on-site*, principal limitante del desarrollo de la vegetación. Y la emisión de sedimentos se sustituyó por la cuantificación de la erosión en regueros, proceso responsable de la salida de la mayor parte de los sedimentos desde las zonas restauradas. El principal resultado es haber demostrado, por primera vez a escala internacional, que la oferta de agua a las plantas que ofrecen los relieves de tipo GeoFluv es superior, a lo largo del año, a la de los relieves convencionales (talud-berma). El informe sobre erosión en regueros ha permitido conocer las causas de inestabilidad erosiva, que han sido: (a) la entrada de escorrentía exterior a zonas restauradas desde zonas no restauradas, como por ejemplo, taludes superiores, y pistas o caminos; (b) la ausencia de una cubierta adecuada de sustratos edáficos sobre zonas puntuales de arcillas sódicas desencadena procesos de piping; (c) las desviaciones en los acabados morfológicos diseñados (por ejemplo, construcción de laderas convexas donde deberían haber sido cóncavas) también han sido origen de inestabilidad. A partir de esas conclusiones, en 2018 se realizaron acciones correctoras, remodelando dos caminos de acceso, y extendiendo suelos, para eliminar inestabilidades en varias zonas de Aurora.

La **Acción C3 Substrato**, se dividió en varias;

En la **C.3.1 Obtención del sustrato mediante mezclas de materiales y enmiendas**. El planteamiento ha sido controlar y ralentizar el desarrollo vegetal mediante el uso de sustratos de escasa fertilidad química. Con la adición de hojarasca, se pretendía crear núcleos de dispersión de fauna del suelo que aceleren su presencia en la zona, ya que la colonización natural de estos organismos desde el entorno es muy lenta. Se trata de una experiencia pionera y de gran interés para la creación de sustratos biológicamente activos.

La **C3.2 Colocación y dirección de obra**. En general, la gestión de los materiales edáficos y materiales que se usaron como sustratos no ha sido totalmente satisfactoria. Algunos posibles problemas han podido ser: a) Poca información sobre cómo se desarrollaría la creación de la morfología, poca coordinación y poca planificación para organizar mejor la distribución de los materiales de los acopios. b) El retraso inicial en la ejecución del proyecto tuvo que compensarse con fases muy rápidas de construcción del relieve. En esta fase se generaron nuevos acopios con materiales obtenidos durante la excavación que se mezclaron con los antiguos acopios. c) La construcción se realizó desde el fondo de la explotación hacia la laguna, generando un relieve definitivo que no permitía la circulación de maquinaria (ni hidrosemebradora ni cubas de riego) que afectó a la fase de revegetación, que tuvo que adaptarse a esta circunstancia.

La aplicación de hojarasca se ha desarrollado satisfactoriamente al ser una aplicación posterior, a pequeña escala y manual que no ha interferido con aspectos de creación de la morfología. De los bosques de Pastor II se recogió sustrato superficial (horizontes L+F+H), que se aplicó en 12 parcelas de Aurora. Como primera experiencia, se instaló una malla para evitar movilización de la hojarasca,

pero es una medida artificial. Por ello, en la restauración de Pastor II se realizó una aplicación con hojarasca y grava que intentaba reproducir las condiciones de los suelos naturales del entorno.

La **C3.3** Caracterización del sustrato post-reposición. *Aspectos físicos y químicos*. En Aurora, se ha generado un mosaico de materiales con ciertas diferencias entre las distintas subcuencas, básicamente en pedregosidad y salinidad. Estos sustratos se han demostrado adecuados para cumplir los objetivos de revegetación y creación de hábitats. Se ha observado presencia de arcillas expandibles en Pastor II que posiblemente están contribuyendo en los procesos erosivos/inestabilidad post-construcción observados.

*Fauna del suelo*. En Aurora las abundancias iniciales de microfauna y mesofauna fueron muy inferiores con respecto a los bosques de referencia, mientras que la abundancia de macrofauna fue mayor. Los grupos de macrofauna mayoritarios fueron hormigas, ácaros del grupo de los Trombidiformes y colémbolos de la familia Entomobryidae. Estos grupos se caracterizan por su gran capacidad para el desplazamiento en la superficie del suelo en busca de alimento y refugio, y pueden ser considerados como pioneros en la colonización de los suelos en proceso de restauración. Las comunidades de fauna iniciales son cualitativamente muy diferentes a las de los bosques de referencia. Destaca la escasez de grupos de fauna típicamente eudéficos y de régimen saprófago.

La **Acción C4** con varias subacciones.

**C 4.1** Directrices de la revegetación. La directriz principal ha sido crear un mosaico de vegetación que se integre en la matriz del paisaje seminatural del entorno, pero con el valor añadido de fomentar hábitats minoritarios en la zona y en el territorio. Se combinaron composiciones y densidades de especies leñosas para generar matorrales mediterráneos con presencia o no de pino carrasco, que aportasen estructura vertical y diversidad trófica. En estos matorrales también se generó un estrato subarbustivo por siembra.

**Aurora**. Se planificaron 4 hábitats: Maquia de lentisco y acebuche (HIC 5330), Pinar laxo de pino carrasco con sotobosque de lentisco y acebuche (HIC 9540), Matorral calcícola de romero (Corine 32.42) y Vegetación de torrentes de zonas cálidas. Dada la limitada oferta en viveros de la mayoría de especies del estrato subarbustivo de muchos hábitats se adaptó la composición para proporcionar estructuras y beneficios similares.

**Pastor I**. El planteamiento ha sido preservar al máximo zonas con poca vegetación en el interior de la explotación y rodear los accesos para conducir a los visitantes únicamente al mirador habilitado con el objetivo de conservar el hábitat de la collalba negra. Por ello las intervenciones han sido mínimas (pantallas en el contorno exterior de la explotación y plantaciones puntuales para favorecer posaderos. Paralelamente se ha potenciado el carrizal de la laguna. También se realizó un informe sobre cómo gestionar el desvío del torrente de Rocacorba hacia Pastor I para minimizar/compensar el impacto posible.

**Pastor II**. Se han diseñado plantaciones para favorecer una vegetación muy laxa, formada por matorral calcícola de romero y tomillares calcícolas, muy dispersos.

**C4.2** Ejecución y dirección de obra. Se aportan las fechas y la relación de no-conformidades, que básicamente se produjeron al inicio. Las incidencias en esta tarea han sido mínimas.

**C4.3** Registro de la situación final. La principal desviación, ya observada un año después de la plantación en Aurora, se ha dado en la vegetación de torrentes y cauces, con una supervivencia escasa y un desarrollo muy modesto, causada básicamente por la inestabilidad de los márgenes de los cauces.

En la **Acción C5**. Fomento de la diversidad de aves. Las acciones implementadas han sido diversas: 1) proteger la calidad ecológica de la laguna Cervera manteniendo el dique que separa Aurora de la laguna, cambiando así el proyecto inicial; 2) dar preferencia a la revegetación con arbustos y subarbustos frente al uso de especies arbóreas para favorecer formaciones abiertas; 3) planificar actuaciones de emergencia ante la confirmación de la presencia de una pareja de collalba negra (ave protegida y diana del proyecto). El estudio complementario realizado mostró la predilección por las zonas de taludes de Pastor I. Las actuaciones han sido: máxima conservación de taludes arcillosos, cierre de accesos del hueco, adaptación del calendario de intervenciones fuera del periodo de nidificación y mantener una cobertura vegetal inferior al 20% en la mayor parte de la superficie. También se promovió el mantenimiento de las charcas del conjunto minero y la promoción del cinturón de vegetación helofítica de la laguna de Pastor I.

La **Acción D.1** *Seguimiento de la evolución geomorfológica de las superficies restauradas* incluía dos acciones (**D.1.1.1 Escala de detalle**) y **D.1.1.2. Gran escala, registros fotográficos**. Los objetivos a escala de detalle han consistido en una cartografía y caracterización topográfica de las superficies restauradas, mediante: (a) realización de levantamientos fotogramétricos de las superficies finales; (b) comparativa entre las topografías iniciales (pre-restauración) y finales (post-restauración), concretamente de sus MDE, y en especial de las pendientes y orientaciones de ambas situaciones. No estaba previsto realizar levantamientos topográficos intermedios, pero el motivo de que finalmente se hayan realizado ha sido que, en el transcurso del proyecto, las técnicas fotogramétricas se han vuelto realmente asequibles, a partir del uso de drones y software específico. Todo ello ha permitido producir mucha más información de la prevista inicialmente, sin incrementar el presupuesto. Los resultados y conclusiones de esta acción ponen de manifiesto que ha sido posible construir paisajes estables y diversos, puesto de manifiesto, cuantitativamente, por la comparativa de mapas de orientaciones y pendientes.

Para **D.1.1.2**, los objetivos fueron la comparación, mediante fotografías de campo y aéreas oblicuas, de la evolución geomorfológica de las superficies afectadas. Los resultados han sido una extraordinaria colección de levantamientos topográficos (enero de 2014, junio de 2016, junio de 2017, diciembre de 2019 y enero de 2020), de colecciones de fotografías aéreas oblicuas, FAV (enero de 2014, junio de 2014, mayo de 2015, octubre de 2015, junio de 2016, junio de 2017, abril de 2018, diciembre de 2019 y enero de 2020), y de colecciones de fotografías de campo con periodicidad anual, que han permitido realizar comparativas extraordinarias de los escenarios pre-restauración, restauración y post-restauración. La periodicidad de levantamientos topográficos y reportajes de FAV ha sido muy superior a lo previsto inicialmente.

La **Acción D3**. Substratos. Se centró en los substratos de las diferentes zonas del proyecto **Aurora**. Ligero incremento de carbono orgánico, superior en zonas con vegetación. El proceso de edafización parece ser un proceso activo aunque lento, como era esperable. La aportación de hojarasca es una acción que puede acelerar este proceso. Se observa un incremento significativo de nitrógeno total y carbono y nitrógeno en sus formas recalcitrantes en las zonas con adición de hojarasca respecto a suelos con o sin vegetación. Se observan pedestales de gran dimensión que permiten identificar que la pérdida de substrato ha podido ser de varios centímetros, especialmente en las laderas de los canales, donde se concentran además los hundimientos, regueros y cárcavas de mayores dimensiones, que se han incrementado a lo largo del tiempo. Entre 2016/2017 se identificaron puntualmente procesos de piping que se han relacionado con los materiales utilizados en la construcción de la morfología. La torrencialidad de las lluvias, propias del clima mediterráneo, ha permitido evaluar las posibilidades del modelo en este tipo de materiales utilizados en la creación de morfología, susceptibles a la erosión y subsidencia. Por ello, se proponen una caracterización previa de materiales que permitan seleccionar estrategias de restauración más adaptadas a la situación real.

Un año después de realizarse la adición de hojarasca a las microparcels del hueco Aurora, la abundancia de fauna en el nivel orgánico añadido se mantiene en niveles elevados. La estructura y composición faunística y trófica de las comunidades de microartrópodos en este nivel orgánico es muy similar a la de los bosques de referencia. Por ello, la adición de sustrato orgánico en superficie es una medida efectiva para incrementar la calidad biológica de los suelos en restauración.

**Pastor I**. En la zona con GeoFluv, el relieve construido es mucho más suave, con lomas de menor altura y superficie que en Aurora. Los márgenes de los canales son muy suaves y no presentan problemas erosivos importantes, aunque en el lecho se observa movilización de materiales. Los taludes del entorno sí presentan regueros y cárcavas frecuentes y de dimensiones importantes que acaban drenando en los cauces creados. La combinación/conexión de taludes de mucho desarrollo y pendiente con relieves suaves en la plataforma de explotación debería mejorarse.

**Pastor II**. La cuenca restaurada con GeoFluv presenta colinas de pendiente y desarrollo considerable, pero no excesivo que limiten la revegetación. Sin embargo, se constató que los procesos erosivos habían sido graves después de cada episodio lluvioso y los desperfectos han tenido que ser reparados varias veces, así como construir una cuneta de guarda posteriormente en algunos puntos. Posiblemente

deban adoptarse modelos geomorfológicos mixtos para este clima y/o con substratos tan erosionables e inestables.

Para la **Acción D4**. Revegetación y creación de hábitats, podemos resumir lo siguiente:

**Aurora.** Cuatro años después de las siembras, los filtros ecológicos han modelado la composición vegetal del estrato herbáceo-subarbusivo. La cobertura vegetal progresa lentamente, según los objetivos previstos. *Santolina chamaecyparissus* es la especie más abundante, junto con *Psoralea bituminosa* y *Sanguisorba minor*. Las especies oportunistas y ruderales anuales iniciales han desaparecido, pero se está estableciendo *Inula viscosa* y *Oryzopsis miliacea*. La supervivencia de las plantaciones es elevada (70-80%). Globalmente, los hábitats conseguidos presentan las especies clave y la estructura deseada, y básicamente se ha mantenido a lo largo del tiempo con algunos cambios de densidades y colonización por espontáneas. Los hábitats relacionados con los cauces no se han establecido correctamente por las condiciones de inestabilidad.

**Pastor I.** La vegetación es resultado de colonización espontánea (dominan especies anuales, principalmente *Brachypodium distachyon*), excepto en la zona periférica del hueco, donde se realizaron plantaciones. Los objetivos para la zona se han cumplido pero la obertura debería mantenerse alrededor del 20% (ver plan de gestión).

**Pastor II.** La severa erosión generada eliminó parte de los plantones.

La **Acción D5** se centró en el Fomento de la diversidad de hábitats.

En Aurora, se observa cómo la abundancia de aves se ha incrementado en 2019 respecto a 2014 y cabe atribuirlo a los cambios asociados a la restauración realizada. En Aurora y, en menor medida en Pastor I, la diversidad y la riqueza de especies se han reducido ligeramente en 2019 respecto a 2014, probablemente debido a que las actuaciones de restauración son muy recientes en ambos casos. En Pastor II los valores entre 2014 y 2019 son similares. Se ha preservado el hábitat de caza del águila perdicera (*Aquila fasciata*) y del búho real (*Bubo bubo*), y se ha cumplido el objetivo deseado. Así mismo, se han preservado los taludes de nidificación del abejaruco (*Merops apiaster*) en Pastor I de modo que, junto a la Curruca cabecinegra (*Sylvia melanocephala*), otra de las especies focales de este proyecto figura entre las 10 especies más abundantes en las explotaciones restauradas. La estrategia de mínima intervención en Pastor I ha permitido que, al menos en algunos años, se haya establecido la collalba negra (*Oenanthe leucura*). Así mismo, las poblaciones de aves acuáticas se han mantenido y potenciado en algún caso, merced al mantenimiento y restauración de las bandas de vegetación helofítica en Pastor I. Los resultados permiten afirmar que las acciones de restauración y conservación implementadas han favorecido las especies diana y las poblaciones relevantes que frecuentan la zona. Se pone de manifiesto el valor ecológico del espacio creado dentro del entorno para especies de aves residentes, invernantes, estivales y migratorias, y los objetivos del proyecto en este aspecto se han conseguido.

En la **Acción D.6**. Se estudió la *Evaluación de los servicios ecosistémicos y del impacto socio-económico del proyecto*, incluía dos objetivos: (a) evaluar la eficacia de la desviación parcial del cauce del barranco de Rocacorba hacia el hueco de Pastor I en la zona en la que previamente causaba inundaciones (cruce con la carretera C-42); y (b) evaluar la eficiencia del nuevo modelo geomorfológico en relación con una restauración convencional. Respecto al primer objetivo, es extraordinariamente interesante destacar que la obra de derivación, incluyendo la bajante de escollera, quedó finalizada en diciembre de 2019, y que entre el 20 y el 21 de enero de 2020, una borrasca muy intensa (Gloria) afectó una buena parte de la península Ibérica, con especial incidencia y efectos devastadores en el litoral Mediterráneo, y muy especialmente en el entorno del Delta del Ebro, y por tanto en la zona de influencia de ECORESTCLAY. Esta borrasca permitió demostrar el adecuado diseño y construcción de la obra de derivación, en tanto: (a) el nivel alcanzado por el barranco de Rocacorba a su paso por la derivación no llegó a desbordar, pero quedó a punto de hacerlo; (b) ese mismo caudal no causó daños aguas abajo. Todo ello quiere decir que, con caudales superiores, susceptibles de generar daño, el barranco derivaría parte de su caudal hacia Pastor I, impidiendo también la afección aguas abajo.

Riqueza de especies. Las acciones realizadas han permitido el establecimiento de unas 100 especies en la zona (plantas y aves) en cada hueco restaurado.

Fijación de carbono. Al final del proyecto, gracias a la restauración, se han captado unas 2 t/ha de carbono (suelo+vegetación). Son valores bajos, aunque coherentes con el tipo de ecosistemas creados. Conservación del suelo/control de la erosión. Este modelo morfológico, tal y como se ha implementado, no parece ser suficiente para garantizar al menos de manera mayoritaria la conservación del suelo y la estabilidad de los taludes en clima mediterráneo ni con determinados materiales, aunque ofrece muchas posibilidades ecológicas y paisajísticas

El objetivo fundamental de la **Acción E.1**. El conocimiento público y la difusión de resultados, consistió en dar a conocer el proyecto desde un punto de vista transversal; es decir, desde la población local hasta la comunidad científica, pasando por administraciones u operadores mineros. Los resultados en este sentido pueden describirse como verdaderamente exitosos y mucho más altos de lo esperado inicialmente. Estos se desarrollan en la Acción Acciones de Difusión y en el apartado 5.3.

## Executive Summary English

The overall objective of the project has been to develop a mining restoration protocol based on innovative solutions, promoting the restitution of biodiverse ecosystems. The specific objectives of this global approach were: (A) Design, build and monitor landforms that replicate those of natural landscapes, using the GeoFluv method, creating a new hydrographic network integrated functionally and aesthetically with the starting conditions and the environment. (B) Solve the problem of flooding in the Rocacorba ravine downstream of its passage through the C-42 highway, diverting part of the flow to the Pastor I mining hole, so that it acts as a laminating lagoon, or storm reservoir, before extreme rainfall: all this while maintaining the ecological flow, and even higher, of the ravine, and connected to the restorations. The deliverables have been very broad, as will be developed below.

The objectives of Action A1, Topographic and geomorphological characterization of the exploitation pits, focused on: (a) analyzing the starting point of the restorations; (b) identify the causes of instability; (c) adapt the restoration design to the conditions of the initial state. The main results and conclusions were: (1) the clay quarries fragmented the hydrological continuity of these landscapes, interrupting main drainage lines and generating lagoons at their bottom; (2) the initial topographic configuration (slopes-berms on the fronts, and platforms at the bottom of the pits) showed high geomorphological instability, with a generalized predominance of severe erosion; (3) said instability was the product of water erosion processes and mass movements, but also of "tunnel erosion" (piping, suffusion), due to the presence of sodium clays; (4) the exploitation configuration, pre-restoration, was very unstable.

The objectives of Action A2, *Installation of a HOBO type rain gauge and rainfall record* sought to have a continuous record of rainfall in the project area. Due to vandalism problems, the methodology had to be changed, completing the rainfall record from data from the AEMET, which has not had a decline in the project. The results have allowed us to conclude that LIFE ECORESTCLAY has developed in a dry cycle, since of the five complete hydrological years included in the course of the project (2014-2015 to 2018-2019), two had very close to average precipitation and three they were very dry. This fact could cast doubt on the representativeness of the monitoring (actions C2 and D2). However, it is well known that the erosive process in Mediterranean environments is due, more than to total annual rainfall, to phenomena of precipitation intensity. In this sense, the restored area has been affected by two extreme events, which made it possible to test the resistance of the restorations.

Action A3. Initial characterization of starting materials. Only the materials from the stockpiles in the quarries have been considered as susceptible to be substrates for revegetation. These materials came from the same exploited area and could make it possible to reproduce the edaphic characteristics of the surrounding soils. The dominant textures were fine (between silty clay loam and silty loam), with significant stoniness and moderate salinity. Fertility levels were low or very low, except in some

stockpiles with natural soils. Some of the materials had moderate salinity. In Pastor II, it was decided to characterize the natural soils that had to be stripped during exploitation to promote immediate replacement. They are shallow soils, with considerable stoniness, with a texture between sandy clay and sandy clay loam and slightly saline. These soils can be a good natural resource if the stock phase is avoided or minimized.

Action A4. Initial state of bird populations. In 2014, 38 species were identified in the Aurora area, 52 in Pastor I and 46 in Pastor II. These areas host or may host a group of interesting nesting bird species from the point of view of conservation, in particular the black wheatear (*Oenanthe leucura*), black-eared wheatear (*Oenanthe hispanica*), the blue rock thrush (*Monticola solitarius*), the eurasian eagle owl (*Bubo bubo*), Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*), the little grebe (*Tachybaptus ruficollis*) or the common moorhen (*Gallinula chloropus*), among others. It is a small area but the local effect is important for relatively rare species, such as black wheatear or for species that, such as Bonelli's eagles, use these clays as stable hunting areas in space and time. It is also a relevant locality for birds of passage or wintering, which find temporary shelter during their migratory trips. The maintenance of small refuges like this one is very important for the migration of birds, since it reduces the distances of the different scales in their journey and increases the chances of survival.

Action A5. Evaluation of the presence of *Obama nungara*. Individuals of the exotic flatworm (*Obama nungara*) were identified in the two nurseries reviewed. This was communicated to the Department of the Generalitat responsible for plant health. A sanitary protocol was established to prepare the seedlings before transferring them to the planting area. A file was prepared so that the nurseries and those responsible for the restoration could identify this species and prevent its expansion. A periodic field control was carried out to check the absence of this species in the planted areas. Until the end of the project, no indication suggests that there has been dispersal, although a subsequent control is proposed in time to be able to definitively verify that this species has not spread in the area.

Action A6 was aimed at the *Preliminary Training of Operators and Technicians* in the planning of operations, and movements of machinery and earth, typical of geomorphological restoration. The associated deliverable was the elaboration of an operational technical protocol, original of this LIFE, describing and illustrating a new way of regrading the landscape. Based on this guide, several training sessions were held, in the field and in the office, for both CEMEX personnel and machine operators. The results were very satisfactory. Then, throughout the project, continuous training was developed, constantly introducing aspects of improvement. The culmination has been the planning of a progressive geomorphological exploitation-restoration process for Pastor II. Revegetation activities. Different training sessions have been made, related to the actions to create habitats, substrates and the revegetation process, although initially they had not been considered in the proposal. Some techniques have been applied, derived from changes of approach in view of the evolution of the project. Some of the techniques adopted are novel and had not been implemented by the revegetation company or its operators. The training sessions were face-to-face. In the final phase of the project, with more expert operators, planting schemes were facilitated with some face-to-face session.

Action C.1. Geomorphology, included three sub-actions. The fundamental objective of Action C.1.1. *Design of the definitive geomorphology* was to introduce, with an innovative character, an alternative for regrading the land different from the usual ones used by mining. Conventional practices consist of the design of stepped and flat landforms. Faced with them, geomorphological restoration proposes the construction of complex landforms, which imitate natural ones, using the hydrographic basin as the basic unit of restoration. The deliverables and results consisted of the geomorphological restoration designs of the Aurora, Pastor I (one sector) and Pastor II (all) exploitation holes, including plans, reports and associated files. In the case of Pastor I, the reduction of the risk of flooding in the Rocacorba ravine required a specific hydrological and hydraulic study, including the design of a diversion and downspout structure from the Rocacorba stream to Pastor I.

The fundamental objective of Action C.1.2. *Construction and technical control of the execution* resided in a continuous staking of the designed topographies, through the use of differential GPS,

guiding the construction process. In this case, the deliverables committed, in addition to the final designs, described in the previous section, consist of comparative tables of the longitudinal and transverse profiles of the designed channels and a dossier with the graphic documentation collected. The results were the construction of three magnificent examples of geomorphological restoration. In the case of Aurora, for all of the old clay quarry. In Pastor I, for a sector of the same, that meets the fundamental objective of reducing the risk of flooding downstream. All this after the readjustment of the project, which would allow the conservation of the habitat of the black wheatear. In Pastor II, a hydrographic sub-basin was built, of the total design, which served as an example for the implementation of a geomorphological-based progressive mining restoration system.

The fundamental objective of Action *C.1.3. Monitoring and graphic recording*, consisted of documenting the entire process of stakeout, direction and execution (machinery). The deliverables consisted of a detailed graphic dossier. The results are a very complete database, which will be extremely useful for similar future projects.

Actions C.2. Hydrological characterization after restoration and D2 Hydrological behavior over time shared the objective of measuring the flows and suspended materials emitted from the restored basins, having as initial indicators the flow (m<sup>3</sup> / sec) and the concentration of sediments (mg / l). Flows and suspended solids measurements were planned by means of pressure sensors, flumes and a system of "sample-taking cans", installed in known sections of the constructed channels. The pressure and flow sensors could not be acquired (see explanation below). After the geomorphological restoration of Aurora, several "sampling jars" and "stilling wells" were installed (10/14/2015), with three measurements being carried out until 06/06/2016. However, this instrument did not measure adequately, as it was repeatedly buried by sediments. The reason was that the bottom freight transport was much higher than initially foreseen in the project request. For all these reasons, it was decided to replace the runoff measurement with that of another component of the water cycle: soil moisture content. This does not report on the water emissions (off-site) of the restored surfaces, but on the supply of water to the plants, an on-site process, the main limitation of the development of the vegetation. And the emission of sediments was replaced by the quantification of erosion in rills and gullies networks, a process responsible for the exit of most of the sediments from the restored areas. As a result, it has been shown, for the first time on an international scale, that the water supply to plants offered by GeoFluv-type reliefs is higher, throughout the year, than that of conventional reliefs (slope-berm). The report on rill erosion has revealed the causes of erosive instability, which have been: (a) the entry of external runoff to restored areas from unrestored areas, such as upper slopes, and tracks or roads; (b) the absence of an adequate cover of edaphic substrates on specific areas of sodium clays triggers piping processes; (c) deviations in the designed morphological finishes (for example, construction of convex slopes where they should have been concave) have also been a source of instability. Based on these conclusions, in 2018 corrective actions were carried out, remodeling two access roads, and extending topsoil, to eliminate instabilities in several areas of Aurora.

### Action C3 Substrate

C.3.1 Obtaining the substrate through mixtures of materials and amendments. The approach has been to control and slow down plant development by using substrates of low chemical fertility. With the addition of litter, it was intended to create dispersal patches of soil fauna that accelerate their presence in the area, because the natural colonization of these organisms from the environment is very slow. It is a pioneering experience and of great interest for the creation of biologically active substrates.

C.3.2 Placement and construction management. In general, the management of the edaphic materials and materials that were used as substrates has not been totally satisfactory. Some possible problems could have been: a) Little information on how the creation of the morphology would develop, little coordination and little planning to better organize the distribution of the stockpile materials. b) The initial delay in the execution of the project had to be compensated with very fast phases of construction of the relief. In this phase, new stockpiles were generated with materials obtained during the excavation that were mixed with the old stockpiles. c) The construction was carried out from the

bottom of the exploitation towards the lagoon, generating a definitive relief that did not allow the circulation of machinery (neither hydroseeder nor irrigation trucks) that affected the revegetation phase, which had to adapt to this situation.

The litter application has developed satisfactorily as it is a subsequent, small-scale and manual application that has not interfered with aspects of creating the morphology. Surface substrate (L + F + H horizons) was collected from Pastor II forests, which was applied in 12 plots of Aurora. As a first experience, a mesh was installed to avoid movement of the litter, but it is an artificial measure. For this reason, in the restoration of Pastor II, an application was made with litter and gravel that tried to reproduce the conditions of the natural soils of the environment.

### C3.3 Characterization of the post-replacement substrate

Physical and chemical aspects. In Aurora, a mosaic of materials has been generated with certain differences between the different sub-basins, basically in stony and salinity. These substrates have been adequate to meet the objectives of revegetation and creation of habitats. In Pastor II, expanding clays have been observed and are possibly contributing to the erosive or instability processes post-construction.

Soil fauna. In Aurora, the initial abundances of microfauna and mesofauna were lower compared to the reference forests, while the abundance of macrofauna was higher. The main macrofauna groups were ants, mites from the Trombidiform group and collembola from the Entomobryidae family. These groups are characterized by their great ability to move on the surface of the soil in search of food and shelter, and can be considered as pioneers in the colonization of soils in the process of restoration. The initial fauna communities are qualitatively very different from those in the reference forests. The scarcity of typically euedaphic fauna groups and saprophagous regime stands out.

## Action C4

C 4.1 Revegetation guidelines. The main guideline has been to create a mosaic of vegetation that is integrated into the matrix of the environment's semi-natural landscape, but with the added value of promoting minority habitats in the area and in the territory. Compositions and densities of woody species were combined to generate Mediterranean scrub with the presence or absence of Aleppo pine, which provided vertical structure and trophic diversity. In these bushes, a subshrub layer was also generated by plantain.

Aurora. Four habitats were planned: Thermo-Mediterranean and pre-desert scrub (HIC 5330), Mediterranean pine forests (HIC 9540), calcareous rosemary scrub (Corine 32.42) and stream vegetation in warm areas. Given the limited supply in nurseries of most species in the subshrub layer of many habitats, the composition was adapted to provide similar structures and benefits.

Pastor I. The approach has been to preserve as much as possible areas with little vegetation inside the quarry and surround the entrances to lead visitors only to the viewpoint set up in order to conserve the habitat of the black wheatear. For this reason, the interventions have been minimal (screens in the outer contour of the quarry and specific plantations to increase perches. At the same time, the wet zone with reedbed has been promoted. A report was also produced on how to manage the deviation of the Rocacorba torrent towards Pastor I to minimize / offset possible impact.

Pastor II. Plantations have been designed to favor a very lax vegetation, formed by calcareous scrub of rosemary and calcareous thyme, very scattered.

C4.2 Execution and construction management. Include the dates and the list of non-conformities, which basically occurred at the beginning. The incidents in this task have been minimal.

C4.3 Record of the final situation. The main deviation, already observed one year after the plantation in Aurora, has been in the vegetation of streams and channels, with a scarce survival and a very modest development, basically caused by the instability of the margins of the built channels.

### Action C5. Promotion of bird diversity.

The actions implemented have been diverse: 1) protect the ecological quality of the Cervera lagoon by maintaining the dike that separates Aurora from the lagoon, thus changing the initial project; 2) give preference to revegetation with bushes and subshrubs over the use of tree species to favour open formations; 3) plan emergency actions upon confirmation of the presence of a pair of black wheatear (protected bird and target of the project). The complementary study carried out showed a predilection for the areas of slopes of Pastor I. The actions had been: maximum conservation of clay slopes, closure of accesses to the hole, adaptation of the schedule of interventions outside the nesting period and maintain a vegetation cover below the 20% on most of the surface. The maintenance of the ponds of the mining complex and the promotion of the helophytic vegetation belt of the Pastor I lagoon were also promoted.

### Action D Geomorphology.

D.1.1. *Monitoring the geomorphological evolution of the restored surfaces* included two actions (D.1.1.1 *Scale of detail*) and D.1.1.2. *Large scale, photographic records*. The objectives at a detailed scale have consisted of a topographic mapping and characterization of the restored. Although it was not initially planned, between the initial cartographies (Action A1) and the final ones, a very high number of intermediate topographic surveys have been carried out, using photogrammetric techniques. Specifically, five for Aurora, four for Pastor I and three for Pastor II. Intermediate topographic surveys were not planned, but the reason that they have finally been carried out has been that, in the course of the project, photogrammetric techniques have become really affordable, based on the use of drones and specific software. All of this has made it possible to produce much more information than was initially planned, without increasing the budget. The results and conclusions of this action show that it has been possible to build stable and diverse landscapes, demonstrated, quantitatively, by comparing orientation and slope maps.

For D.1.1.2, the objectives were the comparison, through field and oblique aerial photographs, of the geomorphological evolution of the affected surfaces. The results, have been an extraordinary collection of topographic surveys (January 2014, June 2016, June 2017, December 2019 and January 2020), collections of oblique aerial photographs, FAV (January 2014, June 2014, May 2015, October 2015, June 2016, June 2017, April 2018, December 2019 and January 2020), and collections of field photographs on an annual basis, that have allowed extraordinary comparisons of the pre-restoration, restoration and post-restoration scenarios. The periodicity of topographic surveys and AVF reports has been much higher than initially expected.

### D3. Substrates

Aurora. Slight increase in organic carbon, higher in vegetated areas. The edafization process appears to be an active but slow process, as expected. The contribution of litter is an action that can accelerate this process. A significant increase in total nitrogen and carbon and nitrogen in their recalcitrant forms is observed in the areas with added litter compared to soils with or without vegetation. Large pedestals are observed that allow identifying that the loss of substrate could have been several centimeters, especially on the slopes of the channels, where the subsidence, rills and gullies of greater dimensions are also concentrated, which have increased over time. Between 2016/2017, piping processes were identified and have been related to the materials used in the construction of the morphology. The torrential rains, typical of the Mediterranean climate, have made it possible to evaluate the possibilities of the morphological model in this type of materials used, susceptible to erosion and subsidence. Therefore, a preliminary characterization of materials is proposed that allows selecting restoration strategies more adapted to the real situation.

One year after the addition of litter to the Aurora microplots, the abundance of fauna in the added organic level remains high. The structure and faunal and trophic composition of the microarthropod communities at this organic level is very similar to that of the reference forests. Therefore, the addition of organic substrate on the surface is an effective measure to increase the biological quality of soils under restoration.

Pastor I. In the area with GeoFluv, the built relief is much smoother, with hills of lower height and surface than in Aurora. The slopes of the canals are very soft and do not present significant erosive

problems, although the mobilization of materials is observed in the channel bed. The surrounding slopes do present frequent and large rills and gullies that end up draining into the created channels. The combination / connection of highly developed slopes with soft reliefs on the mining platform should be improved.

Pastor II. The GeoFluv-restored basin features sloping hills and considerable development, but not excessive to limit revegetation. However, it was found that the erosive processes had been serious after each rainy episode and the damage had to be repaired several times. It is considered that possibly this model is not compatible with the torrential characteristics of the Mediterranean climate and in this case, in addition, with the materials used. Mixed geomorphological models may have to be adopted for this climate and / or with such erodible and unstable substrates.

#### Action D4 Revegetation and creation of habitats

Aurora. Four years after sowing, ecological filters have modeled the plant composition of the herbaceous and sub-shrub stratum. Vegetation cover progresses slowly, according to planned objectives. *Santolina chamaecyparissus* is the most abundant species, along with *Psoralea bituminosa* and *Sanguisorba minor*. The initial annual opportunistic and ruderal species have disappeared, but *Inula viscosa* and *Oryzopsis miliacea* are establishing themselves. The survival of the plantations is high (70-80%). Globally, the habitats achieved present the key species and the desired structure, and it has basically been maintained over time with some changes in shrub density and spontaneous colonization. Channel-related habitats have not been properly established.

Pastor I. The vegetation is the result of spontaneous colonization (annual species dominate, mainly *Brachypodium distachyon*), except in the peripheral zone of the quarry, where plantations were made. The objectives for the area have been achieved, but the vegetation cover should remain around 20% (see management plan).

Pastor II. The severe erosion generated eliminated partially seedlings.

#### Action D5 Promotion of habitat diversity

In Aurora, it is observed how the abundance of birds has increased in 2019 compared to 2014 and can be attributed to the changes associated with the restoration carried out. In Aurora and, to a lesser extent, Pastor I, diversity and species richness have decreased slightly in 2019 compared to 2014, probably because the restoration work is very recent in both cases. In Pastor II the values between 2014 and 2019 are similar. The hunting habitat of Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) and eurasian eagle owl (*Bubo bubo*) has been preserved and the desired objective has been achieved. Likewise, the nesting slopes of the european bee-eater (*Merops apiaster*) in Pastor I have been preserved so that, together with the sardinian warbler (*Sylvia melanocephala*), another of the focal species of this project is among the 10 most abundant species in the restored quarries. The strategy of minimal intervention in Pastor I has allowed the black wheatear (*Oenanthe leucura*) to become established at least in some years. Likewise, the waterfowl populations have been maintained and enhanced in some cases, thanks to the maintenance and restoration of helophytic vegetation in Pastor I. The results allow to affirm that the restoration and conservation actions implemented have favored the target species and the relevant populations that frequent the area. The ecological value of the space created within the environment for resident, wintering, summer and migratory bird species is revealed, and the project's objectives in this topic have been achieved.

Action D.6. Evaluation of the ecosystem services and the socio-economic impact of the project, included two objectives: (a) evaluate the effectiveness of the partial deviation of the channel of the Rocacorba ravine towards the Pastor I pit in the area where it previously caused flooding (junction with the C-42 highway); and (b) evaluate the efficiency of the new geomorphological model in relation to conventional restoration. Regarding the first objective, it is extremely interesting to note that the diversion work, including the breakwater downspout, was completed in December 2019, and that between January 20 and 21, 2020, a very intense storm (*Gloria*) affected a large part of the Iberian Peninsula, with special incidence and devastating effects on the Mediterranean coast, and especially in the surroundings of the Ebro Delta, and therefore in the area of influence of ECORESTCLAY. This storm made it possible to demonstrate the adequate design and construction of the bypass work, as: (a) the level reached by the Rocacorba ravine as it passed through the bypass did not overflow, but was

about to do so; (b) that same flow did not cause damage downstream. All this means that, with higher flows, susceptible to causing damage, the ravine would divert part of its flow towards Pastor I, also preventing the affection downstream.

Other ecosystem services have been assessed:

Species richness. The actions carried out have allowed the establishment of about 100 species in the area (plants and birds) in each restored hole.

Carbon fixation. At the end of the project, thanks to the restoration, about 2 t / ha of carbon (soil + vegetation) have been captured. They are low values, although consistent with the type of ecosystems created.

Soil conservation / erosion control. This morphological model, as it has been implemented, does not seem to be sufficient to favour soil conservation and slope stability in a Mediterranean climate or with certain materials at least in a majority way, although it offers many ecological and landscape possibilities

The fundamental objective of Action E.1. Public knowledge and dissemination of results, consisted in publicizing the project from a transversal point of view; that is, from the local population to the scientific community, through administrations or mining operators. The results in this sense can be described as truly successful, and much higher than initially expected. These are developed in the *Dissemination Actions* Action and in section 5.3.

### 3. Introducción

El objetivo global ha sido desarrollar un protocolo de restauración de zonas mineras donde se reconstruyan ecosistemas con relieves similares a los naturales para obtener espacios con una elevada biodiversidad. Los objetivos específicos son:

- Diseñar, construir y monitorear relieves en diferentes huecos mineros con GeoFluv que repliquen las geoformas naturales del entorno, creando una nueva red de drenaje que incluye las lagunas existentes en la zona.
- Crear un mosaico edáfico, reutilizando los estériles de la explotación que puedan reproducir las características físicas, químicas y biológicas de los suelos naturales del entorno.
- Establecer elementos vegetales que promuevan la creación de comunidades y hábitats de la vegetación del entorno, algunos de ellos incluidos en la Directiva de hábitats con una elevada presencia de especies autóctonas, que pueden favorecer una mayor especialización de viveros y suministradores de semillas.
- Promover un incremento de la biodiversidad de la población de aves en las zonas mineras y su entorno, con especial atención de las especies incluidas en la Directiva de Aves.
- Promover una solución ambiental para las inundaciones existentes derivadas de la construcción de un drenaje artificial que reconduce el torrente de Rocacorba bajo la carretera C-42. La solución incluye derivar una parte del caudal a Pastor I durante las avenidas, dejando un caudal ecológico en el torrente natural.
- Promover una alta especialización de trabajadores y operarios relacionados con la restauración.

El Proyecto se ha desarrollado en tres arcilleras (Aurora, Pastor I y Pastor II) localizadas en el Municipio deslocalizado de Campredó (Tortosa, Tarragona).

Los hábitats a favorecer son: 9540, 5330, 92A0 y 91E0. Las especies a promover son: *Sylvia undata*, *Sylvia conspicillata*, *Sylvia hortensis*, *Sylvia melanocephala*, *Oenanthe leucura*, *Aquila fasciata*, *Falco peregrinus*, *Bubo bubo*, *Merops apiaster*, *Alectoris rufa*.

Las principales acciones de conservación se centran en favorecer la población de las especies protegidas, especialmente *Oenanthe leucura*.

El contexto social de la zona hace muy relevante el proyecto desde el punto de vista de la mejora de imagen de la actividad extractiva, en un área muy sensibilizada, pero con una tradición de muchas décadas en la extracción de arcillas.

Económicamente la extracción de arcillas tiene una alta relevancia, al suministrar de parte de la materia prima necesaria a la cercana planta de fabricación de cemento de Alcanar, planta que genera mucha actividad en la comarca, tanto directa como indirectamente, estimándose una contribución total de más de 300 puestos de trabajo

A largo plazo, los resultados esperados se centran en favorecer el establecimiento y desarrollo de poblaciones de aves protegidas o de especial interés mediante la creación de sus hábitats. El proyecto se centra en las poblaciones de aves. El hecho de mantener las poblaciones de algunas especies durante las actuaciones con maquinaria se puede considerar ya un éxito, derivado de una correcta implementación. Si además se favorece la presencia de algunas especies nuevas de interés, debe considerarse un éxito específico del proyecto relacionado con la creación de hábitats adecuados.

## 4. Parte administrativa

### 4.1 Descripción del Sistema de gestión

La coordinación del Proyecto la realiza CEMEX España Operaciones SLU, que es una subsidiaria de Cemex, empresa transnacional dedicada a la fabricación comercialización de materiales de construcción (Cemento, Áridos y Hormigón), aunque existe una comunicación muy fluida con los otros beneficiarios. En el proyecto presentado se proponía la realización de 3 reuniones: Reunión inicial de coordinación, Reunión de trabajo (intermedia) - Fecha aproximada 30/09/2016 y Reunión de trabajo (final) - Fecha aproximada 28/02/2018. Por último, se realizó una última reunión para abordar los temas relacionados con la finalización del proyecto en Mayo del 2019.

A fecha actual se han realizado las siguientes reuniones a las que han asistido todos los beneficiarios.

- Reunión inicial Barcelona, 10/10/2013
- 1º Visita de Coordinación 28/03/2014
- Reunión de Seguimiento 8/05/2014
- Reunión con equipo de Seguimiento CE externo 14/07/2015
- Presentación del proyecto a grupos de interés. 23/10/2015
- Reunión con equipo de Seguimiento CE externo 13/07/2016
- Reunión con equipo de Seguimiento CE 20/03/2017
- Reunión de equipo de Seguimiento CE 08/05/2018
- Reunión de equipo de Seguimiento CE 28/05/2019

Además, cada uno de los beneficiarios ha mantenido reuniones de coordinación con sus equipos y con algunos de los socios.

De forma adicional a estas reuniones, se producen comunicaciones a través de teléfono o correo electrónico para informar de los avances/incidencias del proyecto. Estas comunicaciones técnicas se adaptarán a las necesidades del proyecto.

### **ESTRUCTURA ORGANIZATIVA**

A continuación, se pasa a presentar la estructura organizativa de los distintos equipos que participan en el proyecto.

#### **CEMEX España Operaciones S.L.U**

Las figuras previstas en el proyecto presentado son las siguientes:

Administración	10% de las horas del proyecto
Ayudante de Coordinación	40% de las horas del proyecto
Coordinación General	28% de las horas del proyecto
Técnico de Seguridad	23% de las horas del proyecto

Según se comenzó a trabajar en el proyecto se detectó la necesidad de incluir más figuras que las propuestas en la planificación inicial. Además de incluir la figura de Relaciones Institucionales y Comunicación, fundamentales para la difusión del proyecto, la estructura actual de CEMEX implica la participación de varios empleados dentro de la misma función.

Por otro lado, en los últimos años CEMEX ha tenido que realizar numerosos cambios en las plantillas de trabajo con el fin de adaptarse a una decreciente demanda de cemento en el mercado.

Además de los cambios ya reportados en el Midterm Report, desde junio de 2016 se han producido los siguientes cambios en el personal asociado al proyecto:

- La Gerente de Medio Ambiente solicitó un traslado a otro país y fue reemplazada por Judit Blasco Martí en agosto de 2016
- La Gerente de PRL fue trasladada a otra ubicación y ha sido sustituida por Jorge Hernández en agosto de 2017
- La responsable de administración del proyecto Ruth Millán, fue trasladada a otro departamento, siendo sustituida por Francisco González Martín-Consuegra

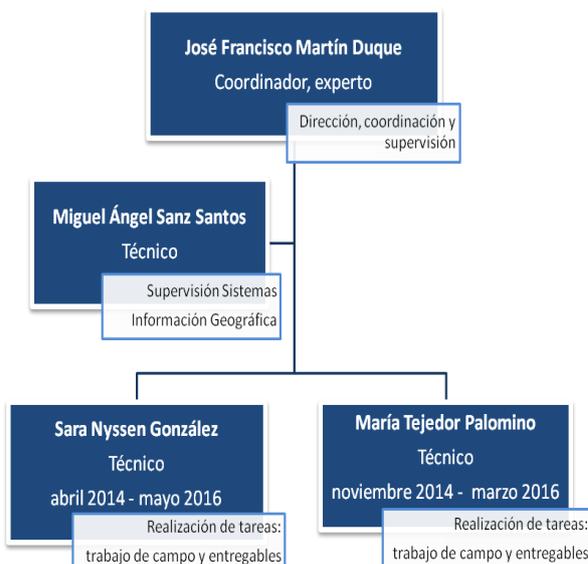
Organización: CEMEX Corporation:



Organización: Universidad de Barcelona



Organización UC Madrid



Organización: Universidad de Zaragoza

## 4.2 Evaluación del Sistema de gestión

### **Comunicaciones con la Comisión y el equipo de seguimiento.**

En mayo de 2014 se presentó el Inception Report con la información del proyecto hasta dicha fecha. En fecha 18/11/2014 se recibe escrito de la Comisión (Ref. Ares(2014)3842165) solicitando ciertas aclaraciones sobre ese informe. Se envían en noviembre de 2014 recibiendo respuesta positiva por parte de la Comisión en fecha 11/02/2015.

El 14/07/2015 se realiza la visita anual por parte del Monitoring Team. Se realiza una visita a la zona de restauración así como la revisión de la documentación del proyecto. Se recibe escrito con comentarios a esa visita en fecha 03/02/2016.

En fecha 02/03/2016 se recibe comunicación de la Comisión informando de la necesidad de cumplimentar la base de datos de indicadores creados para el seguimiento de proyectos LIFE. Se completó en fecha 30/04/2016.

El 13/07/2016 se realiza la visita anual por parte del Monitoring Team. Se realiza una visita a la zona de restauración así como la revisión de la documentación del proyecto.

En agosto de 2016 se envía informe Midterm Report. Se recibe escrito de la Comisión Europea en fecha 09/11/2016 con una serie de mejoras al informe y de documentación que se debe enviar en el informe final del proyecto.

El 20/03/2017 se recibe visita de Doña Dorte Pardo López y Doña Laura Minniti, responsables técnico y financiero de la Comisión respectivamente, y de la representante del equipo externo de seguimiento, Doña Mariona Salvatella. Se recibe acta de la visita en fecha 14/09/2017

Se solicita prórroga para la ejecución del proyecto a través del escrito reglamentario en agosto de 2017. Se recibe aceptación de la misma en fecha 17/10/2017

El 15 de Enero del 2018 se presenta un Informe de Progreso del Proyecto, recibándose comunicado de la Comisión Europea de fecha 15/05/2018 con un análisis y consideraciones sobre el mismo

Por último y previo a este Informe Final, en Mayo del 2019, tras varias reuniones de preparación entre los integrantes del equipo del Proyecto, se presenta el último Informe de Progreso del mismo, en el cual se actualiza la situación y avance del mismo desde todas sus vertientes.

## 5. Parte Técnica

### 5.1. Progreso Técnico, (por tarea)

#### **Acción A1. Caracterización topográfica y geomorfológica de los huecos de explotación. (Entregable A1)**

Esta acción ha consistido en levantamientos topográficos de las explotaciones Aurora, Pastor I y Pastor II en su estado pre-restauración. Éstos se han realizado mediante técnicas fotogramétricas (vuelos con dron y uso de software específico), combinado con trabajo de campo y de gabinete. Para cada escenario, mediante trabajo de campo realizado por expertos en geomorfología, se ha procedido a realizar un análisis de geoformas que denotaban inestabilidad (procesos geomorfológicos activos). Finalmente, en gabinete, se ha analizado la información topográfica de partida, produciendo y elaborando información derivada: modelos digitales de elevaciones, mapas de pendientes y mapas de orientaciones, siempre de la situación de partida, de cada uno de los tres escenarios (Aurora, Pastor I y Pastor II). La acción A1 ha sido desarrollada por los socios UCM y UZ, pero parte de la información fotogramétrica ha sido subcontratada (empresas DIEDRO y OFTECO).

Los resultados de esta acción son:

- Los planos A1.1, A1.2 y A1.3, que reflejan el punto de partida topográfico pre-restauración para cada arcillera.
- Tres entregables, uno por cada arcillera, que incluyen
  - Un catálogo, descripción y análisis de geoformas que denotan actividad geomorfológica, y por tanto, erosión e inestabilidad
  - Vistas 3D de los modelos digitales del terreno
  - Mapas de pendientes y orientaciones.
  - Un análisis del contexto hidrográfico en el que se inserta cada explotación.

El desarrollo de esta Acción A1 ha puesto de manifiesto una elevada inestabilidad geomorfológica como punto de partida (situaciones pre-restauración). Dicha inestabilidad era producto de procesos de erosión hídrica y movimientos en masa, con geoformas producto de erosión y sedimentación debidas a escorrentía, de tipo laminar y concentrada (regueros, cárcavas, barrancos, conos aluviales...), y a desprendimientos, deslizamientos, colapsos o flujos. También como resultado de procesos de erosión en túnel (*piping*, sufusión), debido a la presencia de arcillas sódicas. La identificación de procesos erosivos de tipo *piping* ha sido una contribución destacada de este proyecto. Como norma, las superficies de explotación (taludes-bermas) y plataformas muestran una gran uniformidad, y no son estables en el largo plazo. Es decir, la topografía inicial, previa a este proyecto, no era adecuada como relieve para la restauración. Los análisis hidrológicos han permitido identificar desconexiones y fragmentaciones hidrológicas y la existencia de fondos endorreicos, como punto de partida para la restauración. La lógica dirigió a utilizar los fondos endorreicos como niveles de base de las restauraciones geomorfológicas. Pastor II mostró un escenario distinto a Aurora y Pastor I, en tanto se encontraba en un estado muy inicial de explotación, de modo que buena parte de los terrenos analizados no tenían su relieve transformado por la extracción. Todo ello mostraba un escenario ideal para establecer aquí un proyecto de explotación-restauración progresiva, de base geomorfológica, como así fue.

No ha habido variación con respecto a los contenidos de los resultados planificados. Es decir, la acción se ha completado de modo completo y satisfactorio. Sin embargo, sí que ha habido variación respecto al cronograma. Todos estos cambios en el desarrollo del proyecto han sido notificados a lo largo del proyecto. Un resumen de estos cambios se recoge en la tabla inferior.

Caracterización topográfica y geomorfológica de los huecos de explotación – ACCIÓN A1	Fecha prevista entregable	Fecha en la que se realizó
Arcillera Aurora	30/05/2014	30/05/2014
Arcillera Pastor II	30/11/2015	01/03/2019
Arcillera Pastor I	30/05/2014	30/09/2016

Al tratarse de una acción preparatoria, no procede hablar de indicadores para comprobar la eficacia de la acción. En todo caso, sí que se realizaron análisis dirigidos a evaluar el potencial erosivo por *piping*. Estos valores sí que sirven como indicadores de tal potencial.

Los cambios en el orden de actuación para cada arcillera (Aurora, Pastor I y Pastor II) corresponden a cambios globales del proyecto, y como indicamos, ello ha sido notificado en distintos entregables e informes. La tipificación de procesos de erosión en túneles (*piping*) no había sido identificada a priori, en la solicitud del proyecto, y ha constituido un condicionante para abordar los procesos de restauración. Pero se ha resuelto sin coste adicional, mediante el extendido de sustratos edáficos adecuados.

El estudio de geformas que atestiguan actividad geomorfológica en espacios mineros, y por tanto inestabilidad, es muy escaso a nivel mundial. Los artículos científicos de Martín Duque et al. (2015) y Sanchez Donoso et al. (2019), del que son coautores miembros del socio UCM de este proyecto, se encuentran entre los pocos trabajos internacionales al respecto. A su vez, la inestabilidad debida a procesos de *piping* se ha mostrado como un descubrimiento interesante, muy poco estudiado. Por todo ello, se pretende realizar una publicación científica al respecto (en el periodo After-LIFE), que sintetice todos estos aspectos incluidos en la Acción A.1.

Martín Duque, J.F., Zapico, I., Oyarzun, R., López García, J.A., Cubas, P. 2015. A descriptive and quantitative approach regarding erosion and development of landforms on abandoned mine tailings: New insights and environmental implications from SE Spain. *Geomorphology* 239: 1-15.

Sánchez Donoso, R., Martín Duque, J.F., Crespo, E., Higuera P.L. 2019. Tailing's geomorphology of the San Quintín mining site (Spain): landform catalogue, aeolian erosion and environmental implications. *Environmental Earth Sciences* 78: 166 (publicado online) <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12665-019-8148-9>

No se incluyen aquí fotografías, planos o figuras de esta acción, puesto que los correspondientes entregables incluyen un gran número de esos documentos gráficos. Pero sí incluimos aquí la tabla con análisis de propiedades del suelo que sirven como indicador potencial de erosión en túneles (*piping*), realizada para materiales de la cantera Aurora. El análisis de esta tabla se encuentra realizado en el artículo Martín Duque et al. (2020b, ver referencia en *Dissemination Actions*). Este artículo, que también se adjunta como pdf, es un resultado del proyecto LIFE ECORESTCLAY.

Propiedades del suelo	Unidades	Muestras						
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
pH		8.41	8.67	7.91	7.96	7.93	8.11	7.42
Contenido en K intercambiable	$\mu\text{g g}^{-1}$	83.0 $\pm$ 2.0	87.3 $\pm$ 10.0	102.3 $\pm$ 11.1	94.0 $\pm$ 7.0	89.7 $\pm$ 2.5	86.0 $\pm$ 9.5	136.0 $\pm$ 15.7
Contenido en Mg intercambiable	$\mu\text{g g}^{-1}$	348.7 $\pm$ 65.2	213.7 $\pm$ 38.8	251.0 $\pm$ 12.8	318.3 $\pm$ 29.4	314.7 $\pm$ 17.6	327.0 $\pm$ 74.5	1049.0 $\pm$ 106.4
Contenido en Na intercambiable	$\mu\text{g g}^{-1}$	52.4 $\pm$ 21.4	93.8 $\pm$ 34.7	40.0 $\pm$ 5.8	132.9 $\pm$ 83.6	64.5 $\pm$ 18.1	55.3 $\pm$ 12.4	998.3 $\pm$ 329.2
Contenido en Ca intercambiable	$\mu\text{g g}^{-1}$	6703.7 $\pm$ 22.2	7460.7 $\pm$ 193.3	7460.3 $\pm$ 266.2	7583.3 $\pm$ 132.1	7459.3 $\pm$ 176.4	7883.3 $\pm$ 235.5	7222.0 $\pm$ 524.1
% de sodio intercambiable (ESP)	cmol kg <sup>-1</sup>	1.24	2.07	0.87	2.82	1.32	1.19	19.14
Conductividad eléctrica (EC)	dS m <sup>-1</sup>	472	452	374	1171	776	661	4.5



*Figura A.1.1. Cavidades formadas por procesos de piping en bermas de la arcillera Pastor I.*

## **Acción A2. Instalación de un pluviógrafo tipo HOBO y registro de precipitaciones. (Entregable A2)**

La acción A2 ha incluido las siguientes operaciones:

- Instalación de un pluviógrafo tipo Hobo el 24 de septiembre de 2014, y registro de datos hasta el 17 de febrero de 2015, fecha a partir de la cual el pluviógrafo fue vandalizado. El pluviógrafo fue reinstalado dos veces más, obteniendo de nuevo registros parciales, hasta que se decidió abandonar esta posibilidad, pasando a obtener los datos de precipitación directamente de la AEMET, estación de Tortosa.
- Adquisición de los datos de precipitación de la AEMET, de la estación meteorológica de Tortosa, tanto para los cinco años hidrológicos (2014-2015 a 2018-2019) del proyecto, como de su serie completa (1920-2019). El año hidrológico 2019-2020 no es susceptible de análisis, pues finaliza con posterioridad a la entrega de este informe final.
- Análisis de estos datos de la AEMET, caracterizando la naturaleza (seca o lluviosa) del periodo del proyecto ECORESTCLAY en el contexto de 99 años de datos (1920-2019) para esa misma estación.
- Análisis específico de los datos de precipitación del mes de enero de 2020, dado que durante los días 20 y 21 de este mes, las zonas restauradas fueron afectadas por la borrasca Gloria, excepcionalmente intensa, y de los efectos de dicha tormenta.

Desde un punto de vista metodológico, la acción ha incluido:

- Instalación de instrumental en campo
- Adquisición y análisis de datos en gabinete
- Comprobación de efectos erosivos asociados a la tormenta Gloria en campo.

La acción A2 ha sido desarrollada por los socios UCM y UZ. Sus contenidos han sido incorporados en distintos informes, si bien se ha procedido a actualizar este entregable, incluyendo la descripción de todo lo todo realizado y analizado al respecto.

Los resultados más destacados han sido los siguientes. La precipitación media anual del entorno estudiado, obtenidos a partir de la estación meteorológica de Tortosa, es de 526,6 mm, para una serie 99 años (1920-2019). De esa serie histórica analizada, el año hidrológico 1970-1971 fue el que registró mayor precipitación, con 1225,8 mm. El año hidrológico más seco fue 1923-1924, con 221,8 mm. Respecto a los años en los cuales se ha desarrollado el proyecto, el análisis de los datos muestra que los años hidrológicos 2014-2015 y 2018-2019 tuvieron valores cercanos (muy ligeramente superiores) a la media, con valores de 576,6 mm y 542 mm respectivamente. Sin embargo, los años 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018 fueron muy secos, con valores de 296,8 mm, 370,6 mm y 354,2 mm respectivamente. Una conclusión poco detenida podría llevar a interpretar que, al haber desarrollado el proyecto en un periodo seco, el comportamiento de las restauraciones ante la lluvia, y su erosión, no es representativo. Pero ello no es correcto, dado que está bien estudiado que la erosión hídrica en los ambientes mediterráneos depende, sobre todo, de la intensidad de las precipitaciones, y no de la precipitación total. En este sentido, el periodo en el que se ha desarrollado LIFE ECORESTCLAY ha incluido dos eventos de precipitación extremos. El primero ocurrió el 19 de octubre de 2018, día en el que se registró una intensidad de 110,4 mm/24h. El otro valor intenso tuvo lugar el 21 de enero de 2020 (dentro de la borrasca Gloria), día en el que la precipitación correspondió a 137,2 mm/24 horas. Ambos valores pueden considerarse elevados, ya que el valor medio de las máximas diarias, para el periodo 1920-2019, es de 72,34 mm/24h. Y también atendiendo al valor máximo registrado en ese periodo de 99 años, que fue de 209,2 mm/24h, precipitación ocurrida el día 18 de octubre de 1940. En definitiva, los dos eventos extremos ocurridos dentro del desarrollo de ECORESTCLAY son suficientes como para testar la resistencia y resiliencia erosiva de las restauraciones, y puede adelantarse, como se verá más adelante, que ésta ha sido, en general, elevada y satisfactoria, lo que no quita para que se hayan podido identificar fenómenos erosivos, si bien éstos

están asociados a otras causas distintas a la intensidad de la precipitación, tales como entradas no controladas de escorrentía o presencia de arcillas sódicas. Estos factores se analizan en detalle tanto en este informe final como en los entregables asociados (ver Acción D2).

Según el cronograma inicial, el entregable de la acción A2 estaba previsto para el 15 de diciembre de 2018. Es decir, al final del final del proyecto, previsto inicialmente. Pero como el proyecto solicitó, y le fue concedida, una prórroga hasta marzo de 2020, ello significa que en realidad la fecha del entregable es la del final del proyecto, y por tanto, marzo de 2020.

La acción no es susceptible de evaluación en términos de eficacia, mediante indicadores. El motivo es que se trata de un registro continuado de datos, expresados en mm o l/m<sup>2</sup> hora (datos de precipitación), o bien de intensidad de precipitación (mm o l/m<sup>2</sup> para distintos periodos de tiempo), o datos de Intensidad – Duración – Frecuencia, es decir, datos de precipitación para distintas duraciones (intensidad) relacionados con su periodo de retorno. Se da la circunstancia de que estos valores han sido también utilizados como *inputs* de los diseños GeoFluv, que los incorpora para determinar caudales asociados a distintas precipitaciones, y diseñar, sobre esa base, distintas secciones de cauces fluviales.

Como ya se ha adelantado, el desarrollo de esta acción sí que ha tenido problemas, de tipo logístico. En concreto, los actos continuados de vandalismo nos llevaron a desistir del uso del pluviógrafo, instalado y reparado hasta tres veces. Por ello, también la metodología de esta acción ha sido modificada, pues del registro directo de datos de precipitación en un pluviógrafo se ha pasado a la adquisición de los mismos a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Estos cambios han sido informados y aprobados por parte de la Comisión, y como se pone de manifiesto en el entregable, no han supuesto una merma, en absoluto, de los objetivos inicialmente establecidos. Y tampoco ha habido consecuencias negativas para otras acciones.

Como acciones complementarias fuera del Proyecto LIFE, y perspectivas para continuar la Acción después del LIFE, está previsto profundizar en las relaciones intensidad de precipitación y fenómenos erosivos. Este objetivo tiene un fin más científico que técnico, y podría ser objeto, si los resultados lo permiten, de una publicación científica.

El entregable completo de la acción A2 incluye numerosas tablas, fotografías y gráficos. Se incluye aquí, únicamente a nivel representativo, la figura que muestra los valores de precipitación anual para la serie 1920-2019, mostrando los cinco años hidrológicos incluidos en el desarrollo de ECORESTCLAY, lo que permite observar, gráficamente, el carácter seco del periodo estudiado.

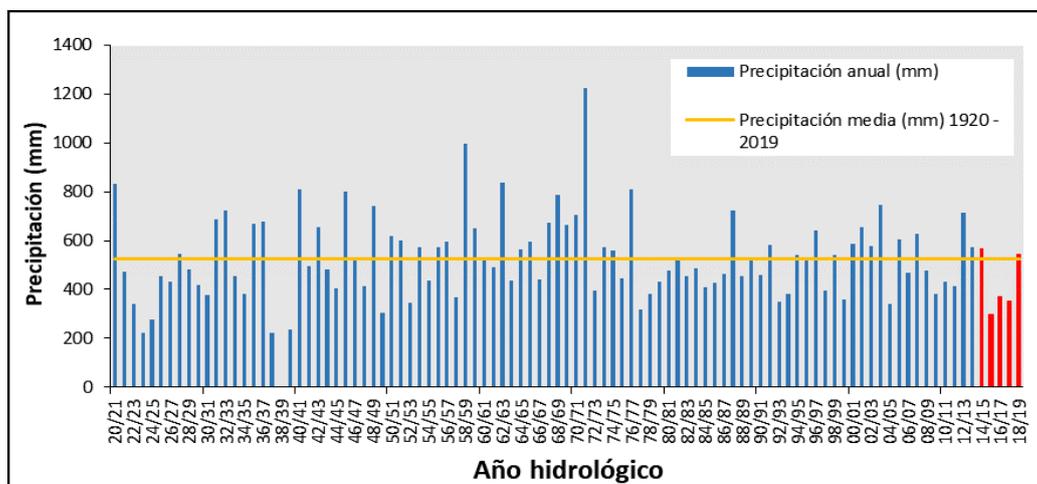


Figura A.2.1. Histograma de datos de precipitación total anual para los años hidrológicos de la serie 1920-2019, para la estación meteorológica de Tortosa. La precipitación media anual para esa serie (línea horizontal) es de 526,6 mm La precipitación anual de los cinco años hidrológicos incluidos en LIFE ECORESTCLAY: 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019 se representa con las barras en rojo.

### **Acción A3. Caracterización inicial de materiales de partida. (Entregable A3 Aurora y Pastor I y Entregable A3 Pastor II)**

Esta tarea se ha desarrollado según lo establecido en la propuesta, aunque con un gran retraso en el caso de Pastor II, que ya fue informado en su momento a la CE. Se especifica que el equipo de la UB ha considerado los substratos como recursos naturales que forman parte de ecosistemas y hábitats, sin considerar su función ni comportamiento como materiales de relleno. Por ello, únicamente se han estudiado acopios y horizontes superficiales de suelos naturales a decapar y sus protocolos de gestión.

En Aurora y Pastor I, la caracterización se realizó en acopios que ya existían antes del inicio del proyecto (5 acopios en Aurora y 1 en Pastor I). En minería el decapado y acopio de suelos y estériles es una práctica habitual. Estos materiales se utilizan posteriormente durante la restauración. Se han descrito efectos negativos del decapado y acopio de suelos en la fertilidad física (estructura, porosidad), química (materia orgánica y nutrientes) y biológica (macrofauna, mesofauna, hongos y bacterias). Como resultado de la compactación y el decapado, la estructura queda destruida y alterada la porosidad. La circulación de agua y aire se reduce, con situaciones de anoxia, que afectan a la disponibilidad de algunos elementos. Los organismos no pueden sobrevivir en estas condiciones y las partes compactadas deben considerarse inertes desde el punto de vista biótico. Se recomienda eliminar o minimizar la fase de acopio, con reposición inmediata después del decapado.

El estudio de imágenes históricas de Aurora mostró que los acopios eran relativamente recientes (2010-2014). Durante la fase de muestreo, se constató la compactación de los acopios más antiguos (Aurora I, III, IV), que se habían construido con el objetivo de acopiar mucho material en poco espacio. Esto generó acopios altos que han necesitado la circulación de la maquinaria por los materiales durante su construcción. Como consecuencia, existían horizontes sub-superficiales muy compactados con algunos montones poco compactados depositados en su superficie. Globalmente, los materiales eran moderadamente básicos, algo salinos (especialmente en Aurora III) y con baja fertilidad. Las texturas dominantes eran finas y oscilaban entre franco arcillo limosas y franco limosas, aunque presentaban contenidos importantes de fracciones superiores a 2 mm. La variabilidad tanto entre acopios como dentro de los mismos era importante, poniendo de manifiesto el origen diverso de los materiales. La mayoría parecían rechazos de la misma explotación y algunos acopios presentaban niveles de nutrientes y de materia orgánica superiores y parecían contener suelos naturales decapados.

El acopio de Pastor I era mucho más antiguo (2000), de gran altura y muy compactado. Los materiales presentaban una pedregosidad elevada, texturas franco arcillosas y baja fertilidad química.

En el caso de Pastor II, se optó por caracterizar directamente los suelos naturales afectados por la explotación que debían utilizarse en la restauración. De esta forma, se podrían gestionar los materiales desde el inicio de la explotación. Los suelos de los bosques estudiados presentan profundidades variables, pero son someros (alrededor de 25 cm), limitados en algunos puntos por costras calizas subsuperficiales. Presentan una pedregosidad considerable y las texturas oscilan entre arcillo-arenosa y franco-arcillo-arenosa. Son suelos básicos ( $\text{pH} = 7,76-8,03$ ) y ligeramente salinos ( $1,01-1,78 \text{ dS/m}$ ) con presencia de sulfatos. Los horizontes superficiales presentan una fertilidad elevada que decrece con la profundidad, y que determina una actividad microbiana destacable. Superficialmente presentan grosores de horizontes orgánicos considerables (5-10 cm). En el banco de semillas la especie arbórea predominante es *Pinus halepensis*, seguido de *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Rhamnus* spp. y *Rosmarinus officinalis*. Minoritariamente se identifican también especies de la familia Geraniaceae. En la mesofauna, los grupos más abundantes tanto en horizontes orgánicos como minerales han sido ácaros (mayoritariamente oribátidos), colémbolos, tisanópteros y la familia Formicidae. La macrofauna está representada sobre todo por arañas, isópodos, hormigas, ortópteros, opiliones y dípteros.

A la vista de estos resultados se desprende que estos suelos representan un recurso cuantificado y de alto valor ecológico como materiales para la restauración.

## Acción A4. Estado inicial de las poblaciones de aves. (Entregable A4)

En 2014 se llevaron a cabo los censos de aves según lo previsto, en invierno y primavera (Tabla 1).

**Tabla 1.** Fechas de inicio y finalización de los censos La media ( $\pm$  desviación estándar) hace referencia a la periodicidad semanal (número de censos/semana),  $n$  es el número de censos realizados y el *Tiempo* es el total de horas acumulado que se censó cada cantera.

Zona	Año	Primero	Último	Media $\pm$ sd	n	Tiempo
<b>Aurora</b>	2014	24/01/14	30/05/14	1,26 $\pm$ 0,81	24	25h:09m
<b>Pastor I</b>	2014	24/01/14	30/05/14	1,26 $\pm$ 0,81	24	50h:31m
<b>Pastor II</b>	2014	24/01/14	30/05/14	1,32 $\pm$ 0,82	25	39h:54m

Los censos permitieron detectar la presencia de 38 especies de aves en la zona de Aurora, 52 en la zona de Pastor I y 46 en la zona de Pastor II. Estos valores de riqueza se corresponden perfectamente con las características de cada una de las zonas, dando valores más altos en la explotación de Pastor I, en desuso, y más bajos en Aurora, en explotación reciente, siendo intermedios en Pastor II, también en desuso, pero sin tanta diversidad de hábitats como Pastor I.

Los censos revelaron la presencia de algunas especies de aves especialmente interesantes, que han resultado ser más o menos habituales en la zona. Las arcilleras han generado nuevos biótotos faunísticos que incrementan la biodiversidad del ecosistema a nivel local y regional, tales como el biotopo rupícola y el biotopo acuático. Estas zonas acogen o pueden acoger un conjunto de especies de aves nidificantes interesantes desde el punto de vista de la conservación, que las utilizan para anidar o para alimentarse, en particular las collalbas negra (*Oenanthe leucura*) y rubia (*Oenanthe hispánica*), el roquero solitario (*Monticola solitarius*), el búho real (*Bubo bubo*), el águila perdicera (*Aquila fasciata*), el zampullín chico (*Tachybaptus ruficollis*) o la polla de agua (*Gallinula chloropus*), entre otras. Aunque se trata de una zona pequeña y que, lógicamente, sólo puede albergar efectivos reducidos para estas especies, el efecto local es importante para especies relativamente escasas, como la collalba negra o para especies que, como las águilas perdiceras, utilizan estas arcilleras como zonas de caza estables en el espacio y en el tiempo, de modo que favorecen su presencia y éxito reproductor a nivel regional. También se ha visto que es una localidad relevante para aves de paso o invernantes, que encuentran cobijo temporal durante sus viajes migratorios. El mantenimiento de pequeños refugios como este es muy importante para la migración de las aves, ya que reduce las distancias de las distintas escalas en su trayecto e incrementa las posibilidades de supervivencia.

## **Acción A5. Evaluación de la presencia de *Caenoplana coerulea* (*Obama nungara*) en los posibles viveros suministradores y en la zona experimental. (Entregable A. 5)**

Esta tarea se ha desarrollado según lo que estaba previsto en la propuesta. Se visitaron dos viveros y se identificó la presencia de la planaria exótica *Obama nungara*, en lugar de *Caenoplana coerulea* como inicialmente se había considerado.

El vivero que finalmente se seleccionó para el suministro de plantones (Vivero Alomà) fue alertado y se proporcionó un protocolo de prevención para evitar que esta especie pudiese colonizar espacios naturales. También se informó al Departamento de plagas de la Generalitat.

Aunque no estaba previsto en la propuesta inicial, se realizaron controles en las zonas plantadas desde 2014 instalando trampas para verificar la posible expansión de esta planaria en campo. Hasta la finalización del proyecto no se ha observado ningún individuo en las trampas. Se puede pensar que esta especie no tolera una sequedad ambiental excesiva y las condiciones de la zona no sean favorables a su proliferación. Sin embargo, la prospección debería mantenerse post-proyecto para garantizar que la colonización de esta especie ha sido nula.

## **Acción A6. Formación preliminar de operarios y técnicos. (Entregable A6)**

Se desarrolló todo un proceso de formación de personal técnico y de operación de CEMEX, con el fin de que el mismo adquiriera el *know-how* necesario para construir geoformas de tipo GeoFluv. Dicha formación se realizó mediante

- Sesiones presenciales, con presentación en power point.
- En campo, mediante láminas ilustrativas, y mediante sesiones de formación específicas.

Existe un entregable asociado, que incluye una descripción del proceso formativo, de la presentación en *Power Point* utilizada, y de las láminas empleadas para la formación en campo.

Los resultados fueron muy satisfactorios. Después, durante todo el proyecto, se desarrolló una formación continua, introduciendo constantemente aspectos de mejora. La culminación ha sido la planificación de un proceso explotación-restauración geomorfológica progresiva para Pastor II. De este modo se ha realizado una transferencia completa de esta nueva forma de explotación minera, que ha implicado también a los consultores técnicos que trabajan habitualmente para CEMEX en labores de planificación, como es el caso de OFTECO. Las personas incluidas en todo el proceso formativo fueron

### **Formadores**

- José F. Martín Duque, Sara Nyssen, María Tejedor, Cristina de Francisco y Cristina Martín Moreno, Universidad Complutense de Madrid
- José M. Nicolau Ibarra, Universidad de Zaragoza

### **Formados**

- Xavier Gombau, capataz o jefe de obra de la empresa GERBEL, Tarragona subcontrata de CEMEX para movimiento de tierras
- Julián Llambriach, Fernando Vidiella, Leocadio Cavalle y Álvaro Matamoros, operadores de maquinaria
- Francisco Díaz Martínez, José M. Gómez Díaz y Francisco González Martín-Consuegra, ingenieros de minas y geólogos de CEMEX España Operaciones S.L.U., encargados de la planificación de operaciones de explotación restauración
- Oscar García Ferreres, Carles Roig Mateu, empresa de consultoría OFTECO, Tarragona, encargada de realizar trabajos de planificación minera para CEMEX, Tarragona. En este caso, la formación e interacción se mantuvo en la fase final del proyecto (planificación de restauración progresiva, de base geomorfológica, de Pastor II).

La comparación entre los resultados planificados y los ejecutados no ofrece variación alguna. O en todo caso, más positiva de lo inicialmente previsto, por varios motivos:

- El proceso de formación se planificó como ‘inicial’, y sin embargo, se mantuvo de manera continuada durante todo el proceso de restauración.
- La formación e implicación de personal de consultoras relacionadas con la planificación minera, como OFTECO, no estaba prevista inicialmente, y en cambio, se desarrolló de manera exitosa en la parte final. Es relevante que incluso se llegó a elaborar un artículo conjunto con ellos, sobre la restauración progresiva con base geomorfológica de la arcillera Pastor II (ver referencia Martín Duque et al., 2020b, en *Dissemination Actions*).

En esta acción no procede hablar de “indicadores utilizados para comprobar la eficacia de la acción”, en los términos que habitualmente utilizamos en hidrología o ecología. Sin embargo, sí que procede destacar que un total de 16 personas han estado implicadas en el proceso de formación: seis como formadoras y diez como formadas.

La acción no ha tenido problemas o limitaciones significativas, ni retrasos o consecuencias para otras acciones. Quizás la contingencia más significativa de todo el proceso formativo ha sido la que se describe a continuación. El acabado morfológico ‘final’ de las formas del terreno diseñadas con el método GeoFluv suele ser realizado por un bulldozer de pequeño tamaño, tipo D6 o similar. Este tipo de máquina suele estar compuesta por un tractor de orugas, de chasis rígido o articulado, equipada en la parte delantera con una cuchilla vertical colocada perpendicularmente al eje principal de la máquina, con un movimiento vertical de corto recorrido. Sus cuchillas frontales suelen ser cóncavas, de modo que además de cortar el terreno, voltean las tierras que arrastran, facilitándoles su movimiento, y acumulando cada vez más material movilizado. Sin embargo, por el tipo de operaciones extractivas específico que se desarrolla en las arcilleras de CEMEX, la máquina disponible era un tractor de orugas, pero en este caso, con una pala frontal con dientes, de modo que además de arrancar el material, la máquina puede realizar carga, transporte y descarga de las arcillas arrancadas. Pues bien, dada esta circunstancia, hubo que ‘adaptar’ el proceso de formación y de movimiento de tierras a las características precisas de este bulldozer especial. Pero ello no significó detrimento alguno en el proceso de construcción, como bien puede verse sobre el terreno, y en las distintas imágenes, de las zonas restauradas.



*Fotografías que ilustran el proceso de formación de la acción A6. Arriba izquierda, tractor con orugas de pala frontal, encargado de otorgar las formas finales de tipo GeoFluv (ver texto para la explicación de las características específicas de este tipo de maquinaria para este tipo de proceso). Arriba derecha, sesión formativa y demostrativa sobre el terreno, en noviembre de 2014; en esa imagen, Xavier Gombau, Francisco Díaz, José Manuel Nicolau y José F. Martín, de izquierda a derecha, observan cómo Julián Llambrich, operador del bulldozer, ejecuta las instrucciones recibidas. Abajo izquierda, José F. Martín da instrucciones a Xavier Gombau y José M. Gómez. Abajo derecha, Xavier Gombau, Julián Llambrich y José F. Martín recorren una zona replanteada y marcada para su reconstrucción topográfica.*

Se han realizado además, diferentes sesiones de formación relacionadas con las acciones de creación de hábitats, substratos y proceso de revegetación, aunque inicialmente no se habían considerado en la

propuesta y esto ha representado una dedicación extra por parte del personal de la UB. Algunas técnicas se tuvieron que adoptar derivadas de cambios de planteamiento a la vista de la evolución del proyecto. Algunas de las técnicas adoptadas son novedosas y no habían sido implementadas por la empresa de revegetación ni por sus operarios. Las sesiones de formación han sido presenciales.

#### 1. Construcción de alcorques y preparación de hidrogel

El relieve creado con GeoFluv dependiendo de cómo se organiza es finalista, lo que impide realizar las tareas de mantenimiento habituales (riegos de soporte, resiembras con maquinaria...). Esto ha obligado a plantear técnicas que favorezcan el aprovechamiento de la escorrentía superficial para suplir los riegos de soporte. La construcción de alcorques específicos requirió diferentes sesiones de formación y aprendizaje.

#### 2. Identificación de planarias

La evidencia de la presencia de una planaria exótica (*Obama nungara*) potencialmente invasora en los viveros analizados obligó a realizar una sesión para su identificación tanto en el vivero como para los técnicos responsables de las plantaciones. Se ha diseñado una lámina para facilitar su identificación (ver deliverable de la tarea).

#### 3. Ensayos de riegos

La UCM informó que los riegos que se aplicaban eran la causa de la creación de regueros que podían interpretarse como una baja efectividad del modelo GeoFluv. Dado que la prioridad de este proyecto es valorar precisamente la efectividad del modelo GeoFluv, se optó por realizar sesiones con operarios para evitar que los riegos de soporte fuesen excesivamente erosivos. Se ensayaron intensidades, duraciones y frecuencias.

#### 4. Ensayos de hidrosiembra

La empresa de revegetación no disponía de hidrosembradora y se adaptó un camión cuba para poder aplicar esta técnica de siembra. Se realizaron diferentes ensayos, aunque el principal problema vino por la limitación de la maquinaria utilizada.

#### 5. Recogida de hojarasca

La metodología de recogida de hojarasca en sistema forestal cercano se supervisó directamente por el técnico responsable. Se seleccionaban las mejores zonas y el método de recogida.

#### 6. Correcciones con gravas y creación de hábitats

La corrección de la pedregosidad de substratos no es fácil. En este caso, la incorporación de gravas se realizó en profundidad, pero principalmente en superficie con el objetivo de generar substratos similares a los naturales y para controlar los procesos erosivos superficiales. El proceso se supervisó presencialmente durante las primeras aplicaciones hasta que el proceso se realizó adecuadamente. La creación de estas superficies se completó con plantaciones de composiciones específicas.

Esta acción se ha desarrollado satisfactoriamente y ha contribuido a la especialización de operarios de restauración en aspectos novedosos y poco desarrollados hasta la fecha. Esto puede mejorar el resultado de las acciones de restauración.

## Acción C1. Geomorfología. (Entregables C1\_1; C1\_2 y C1\_3)

### Acción C1.1. Diseño de la geomorfología definitiva

Se han realizado los diseños de reconstrucción topográfica y geomorfológica de las arcilleras Aurora, Pastor I y Pastor II. Los diseños se han realizado con el método GeoFluv, a través del software Natural Regrade, en formato CAD. Estos diseños han sido elaborados por el socio UCM. Como resultado de esta acción se introdujo, con carácter innovador, una alternativa real de remodelado del terreno diferente a las habituales utilizadas por la minería (en general), y en particular a las propuesta con anterioridad para estas explotaciones (Figura C1.1), con formas escalonadas en los frentes, y fondos planos, que temporalmente podrían estar cubiertos por agua.

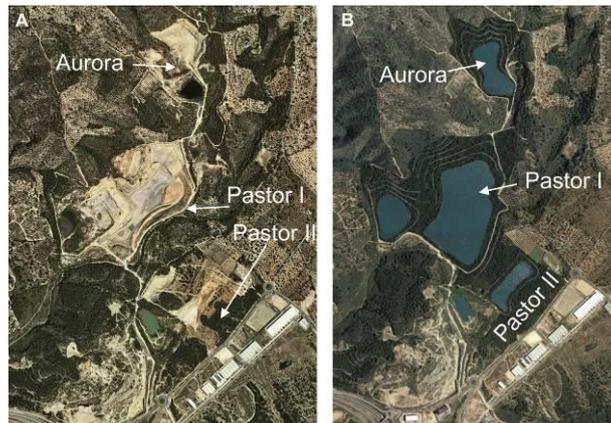


Figura C1.1. Propuesta convencional de restauración propuesta para Aurora, Pastor I y Pastor II con anterioridad al LIFE ECORSTCLAY.

El producto de esta acción son los propios diseños geomorfológicos representados por ficheros de muy distintos formatos: dwg (ficheros de AutoCAD), planos en pdf, ficheros de coordenadas XYZ para replantear en campo, o vistas 3D. Las figuras C1.2 y C1.3 son capturas de pantallas de esos diseños, cuyos planos son entregables comprometidos. Una comparativa entre estos diseños y los de la figura C1.1 (derecha) ilustra el cambio de paradigma llevado a cabo gracias a ECORESTCLAY.

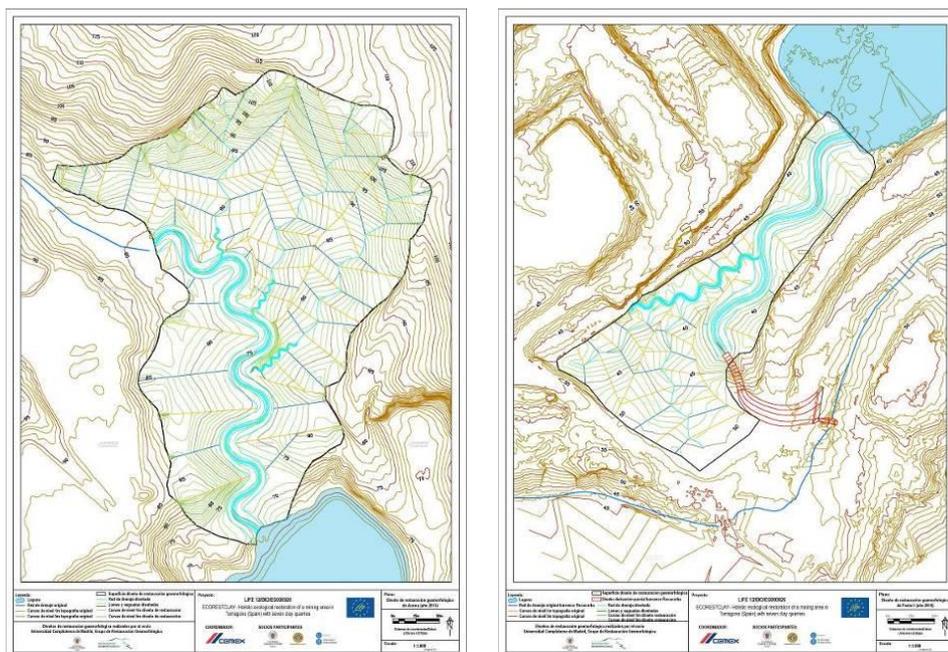


Figura C1.2. Planos de los diseño de restauración geomorfológica de las arcilleras Aurora (izquierda) y Pastor I (derecha). Los planos se incluyen como entregables.

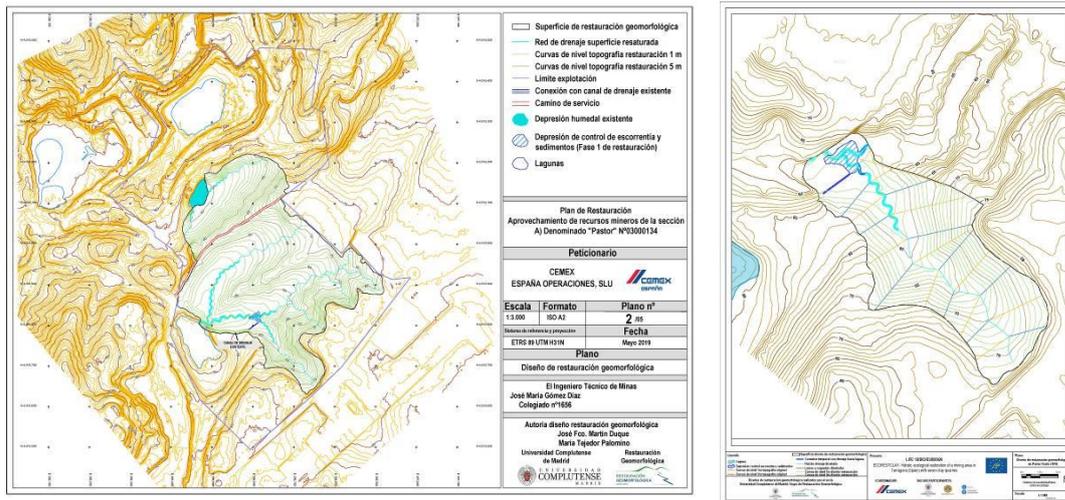


Figura C1.3. Planos de los diseños de la arcillera Pastor II. Conjunto (izquierda) y detalle del sector construido dentro de ECORESTCLAY (derecha). Los planos se incluyen como entregables.

La figura C1.4 ilustra el tipo de información complementaria producida. Frente a la propuesta convencional, la restauración geomorfológica diseñó geformas complejas, que imitan a las naturales, utilizando como unidad de restauración la cuenca hidrográfica, cuyo interior alberga cursos fluviales y laderas de perfiles longitudinales y transversales que imitan a los naturales.

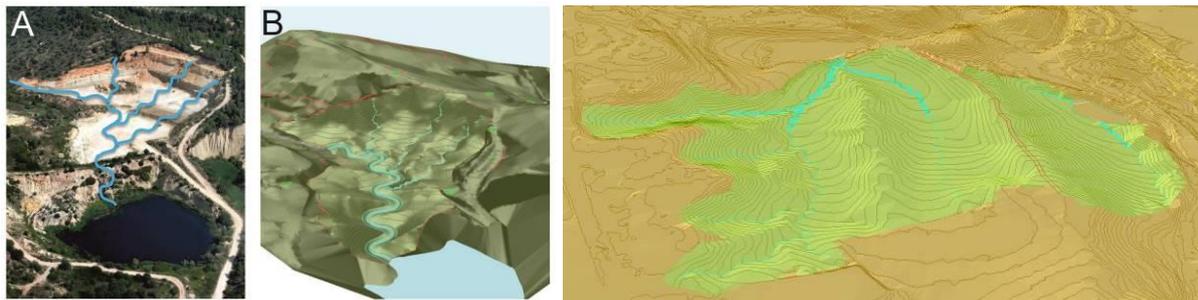


Figura C.1.4. Ejemplos de esquemas y vistas tridimensionales complementarias a los diseños. Izquierda, A, esquema con las directrices de la red hidrográfica objeto de reconstrucción (arcillera Aurora); B, vista 3D del diseño para ese mismo sector. Derecha, vista 3D del diseño propuesto para el conjunto de Pastor II.

La relación entre lo planificado y lo ejecutado ha sido la siguiente. En el caso de Aurora, el diseño fue para la totalidad de la arcillera, tal y como se propuso. Dado que este diseño debía conectarse con un barranco natural, fue necesario realizar un estudio hidrometeorológico específico, que lleva un entregable asociado (Acción C1\_1\_Modelización\_Hidrometeorológica\_Caudales\_Aurora). En el caso de Pastor I, sólo para su sector sur, incluyendo la obra hidráulica de derivación y bajante desde el arroyo Rocacorba. Sin embargo, el sector norte de Pastor I no se diseñó, habida cuenta del cambio de plan en el proyecto, para esta explotación, tras la constatación de nidificación de la collalba negra en sus cortados (antiguos frentes de explotación). Este cambio fue aprobado por la Comisión en el transcurso del proyecto. Para Pastor II, el compromiso inicial era sólo realizar un diseño de un sector, pero finalmente los diseños se han elaborado para el total del plan de explotación de esta arcillera, habiéndose extraído de ese diseño completo una subcuenca, para su construcción dentro de ECORESTCLAY. Para Pastor II, dada su importancia, por constituir la arcillera a la que se ha transferido el conocimiento en fase operativa, se han hecho toda una serie de planos complementarios (ver entregable Acción C1\_1\_diseño\_PASTOR II\_DOCS ASOCIADOS).

Como acciones complementarias fuera del Proyecto LIFE, y perspectivas para continuar la Acción, cabe destacar que la arcillera Pastor II continuará explotándose y restaurándose sobre la base del diseño geomorfológico que es producto de este LIFE. Ello requerirá, pues, de un proceso de refinado de los diseños del resto de subcuencas, que se irán construyendo de manera progresiva (figura C.1.5).



Figura C.1.5. Organización del diseño geomorfológico de Pastor II en subcuencas, que constituyen fases de explotación-restauración minera. Durante ECORESTCLAY se ha construido la subcuenca 1.

En el caso de Pastor I, la reducción del riesgo de inundación del barranco de Rocacorba requirió un estudio hidrológico e hidráulico, y un proyecto específico, incluyendo el diseño de una estructura de derivación y bajante del arroyo de Rocacorba hacia Pastor I (ver entregable Acción C1\_Proyecto\_Derivación\_Bajante\_Pastor I). Este informe fue elaborado por la Universidad Politécnica de Cataluña. El diseño de la obra de derivación consistió en un paso por encima del camino y una bajante de escollera hacia la cantera (Figura C.1.6). Esta tarea fue desarrollada por expertos de la Universidad Politécnica de Cataluña, utilizando herramientas de simulación numérica bidimensional del flujo de agua, concretamente utilizando la herramienta Iber (Bladé et al., 2014). El entregable es un informe específico (Bladé et al., 2017). Esta obra no estaba prevista inicialmente, pues en la propuesta original se pretendía enlazar directamente el barranco Rocacorba con el hueco de Pastor I, mediante un cauce fluvial de tipo GeoFluv. Tras la modificación experimentada por el diseño de Pastor I, debido a la presencia de la collalba negra, ésta fue la única opción que permitió compatibilizar todos los objetivos del proyecto (reducción del riesgo de inundación aguas abajo, conexión con diseños GeoFluv, y conservación de la collalba negra). Desde el punto de vista de los socios de este proyecto, la solución ha sido extraordinariamente positiva, siendo además innovadora en un contexto internacional (combinación de obra hidráulica y remodelado tipo GeoFluv).

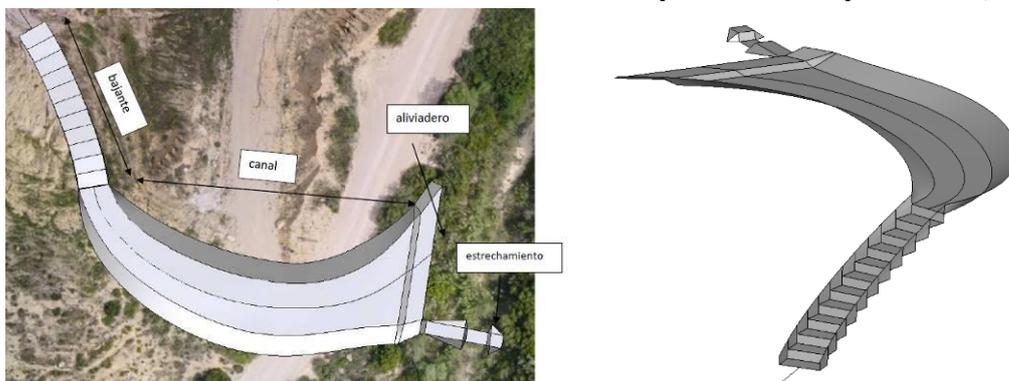


Figura C.1.6. Plano (izquierda) de las actuaciones de derivación vista 3D (derecha) de la bajante.

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., and Coll, A. 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya), 30(1), 1–10.

Bladé, E., Martín, C., de Lis, A., Martín Duque, J.F. 2017. *Estudio hidrológico e hidráulico y diseño de una estructura de derivación y bajante del arroyo de Rocacorba hacia la cantera de Pastor I en Campredó (Tarragona)*. Informe inédito elaborado a solicitud de CEMEX.

## Acciones C.1.2. Construcción y control técnico de la ejecución y C.1.3. Seguimiento y registro gráfico

La Acción C.1.2 residió en un replanteo continuo de las topografías diseñadas, mediante el empleo de GPS diferencial, guiando el proceso constructivo. La acción C.1.3 consistió en documentar todo el proceso de replanteo, dirección y ejecución (maquinaria). Los entregables comprometidos de la Acción C1, además de los diseños definitivos, descritos en la sección anterior, consisten en Tablas comparativas de los perfiles longitudinales y transversales, en sus situaciones de diseño y construcción real (Figura C.1.2-3.1). También en un dossier con la documentación gráfica recabada (C.1.2-3.2 y C.1.2-3.3). Este dossier tendrá una enorme utilidad para proyectos similares, futuros. Las acciones C.1.2 y C.1.3 han sido llevadas a cabo por los socios UCM-UZ.

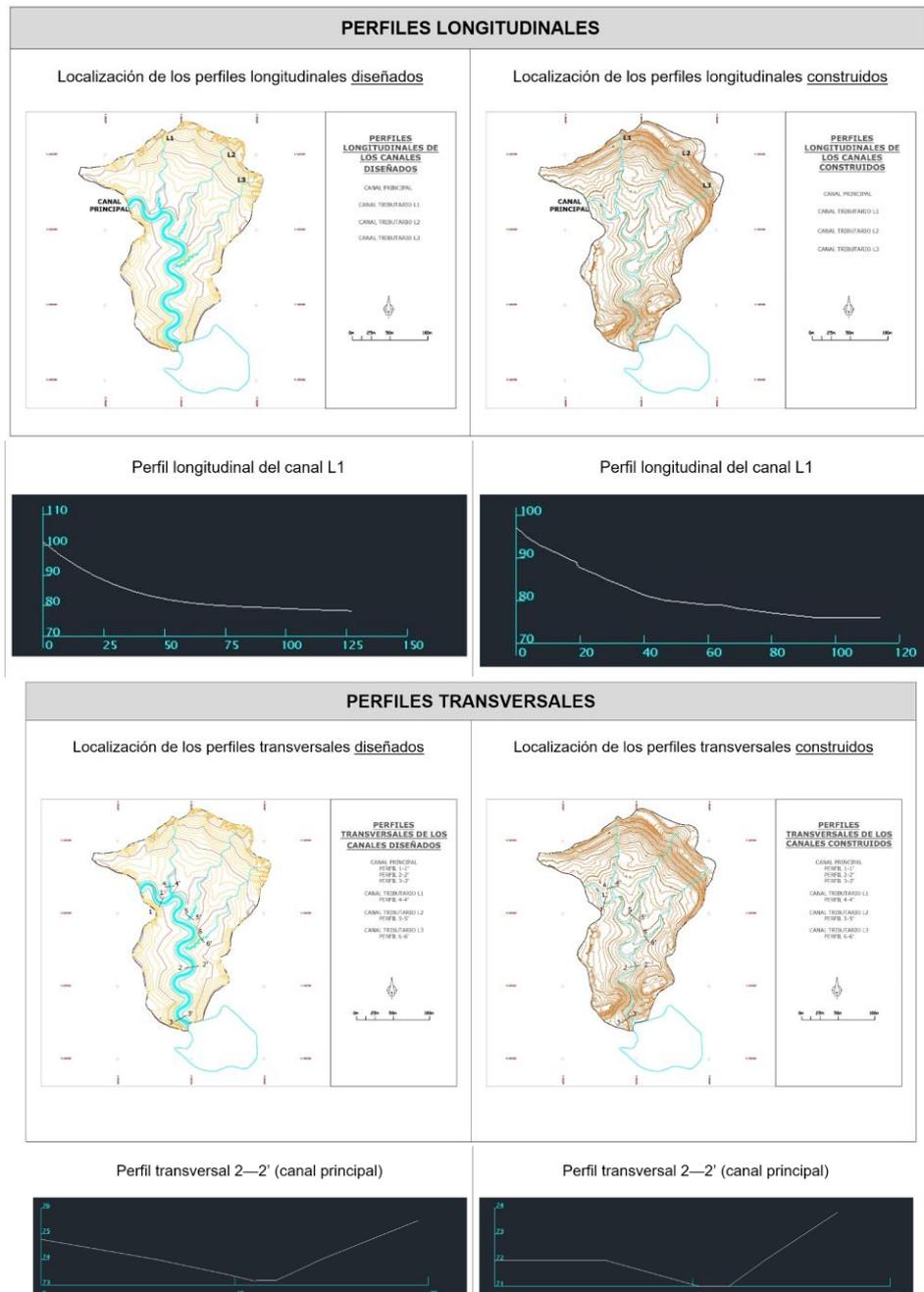


Figura C.1.2-3.1. Ejemplo de material incluido en el entregable sobre Tablas comparativas de entre perfiles longitudinales y transversales entre los canales fluviales diseñados y construidos. Ejemplo para la arcillera Aurora. Las desviaciones entre lo diseñado y construido fueron mínimas.



Figura C.1.2-3.2. Ejemplo del dossier gráfico elaborado sobre el proceso de construcción y control técnico de la ejecución, seguimiento y registro gráfico. Las seis imágenes de la izquierda muestran detalles de los trabajos de replanteamiento topográfico y marcado sobre el terreno. Las dos imágenes de la derecha, A y B, muestran el proceso de restauración de Aurora, en el que estuvo implicado un parque de maquinaria elevado.



Figura C.1.2-3.3. Ejemplo del dossier gráfico elaborado sobre el proceso de construcción y control técnico de la ejecución, seguimiento y registro gráfico. Las seis imágenes de la izquierda muestran detalles de los trabajos de construcción de diseños geomorfológicos, y la imagen de la derecha ilustra el proceso de construcción de la sección de un meandro fluvial. Dicha sección, equivalente a la de meandros naturales, puede observarse en el corte del terreno.

Pero, sin duda, los resultados más tangibles de esta acción fueron la construcción de tres magníficos ejemplos de restauración geomorfológica, visitables sobre el terreno. En el caso de Aurora, para la totalidad de la antigua arcillera. En Pastor I, para un sector de la misma, que cumpliera el objetivo fundamental de reducción del riesgo de inundación aguas abajo. Todo ello tras el reajuste del proyecto, que permitiera la conservación del hábitat de la collalba negra. En Pastor II se construyó una subcuenca hidrográfica, del total del diseño, que sirvió de ejemplo para la implementación de un sistema de restauración geomorfológica progresiva.

La comparación entre los resultados planificados y ejecutados muestra un gran ajuste, salvo la modificación de Pastor I, debida a las necesarias medidas de conservación de la collalba negra, circunstancia debidamente informada y aprobada por la Comisión. Igualmente, las modificaciones del cronograma atienden a los cambios generales de actuación para las distintas arcilleras, habiendo comenzado por Aurora, actuando luego en Pastor I y finalizando en Pastor II. Los indicadores utilizados para comprobar la eficacia de la acción son la propia comparativa entre perfiles longitudinales y transversales diseñados y construidos, los cuales muestran un gran ajuste. No ha habido problemas o limitaciones significativas. Por tanto, tampoco ha habido retrasos o consecuencias para otras acciones. Como labores complementarias fuera del Proyecto LIFE, y perspectivas para continuar la acción después del LIFE, existe el compromiso de organizar adecuadamente, y elaborar una base de datos muy completa, sobre el ingente material gráfico producido (fotografías y vídeos que documentan los procesos de construcción de las nuevas geoformas).

## **Acción C2. Caracterización hidrológica después de la restauración. (Entregable C2)**

Esta acción C2 y la D2 –“Comportamiento hidrológico en el tiempo”- constituyen en la práctica una única acción, con el mismo objetivo de cuantificar las emisiones de escorrentía y sedimentos desde las zonas restauradas. Al término de la ejecución de la restauración geomorfológica en Aurora se comenzó la monitorización hidrológica de la superficie restaurada. El sistema de medida previsto de flumes tipo Parshall –para medir escorrentía- y sensores de presión –sedimentos- se sustituyó por otro de pocillos tranquilizadores y botes tomamuestras. El motivo inicial del cambio fue la imposibilidad de que la UCM cofinanciara la compra de equipamientos, circunstancia que sólo se pudo conocer con posterioridad a la concesión. Esta circunstancia fue debidamente notificada a la Comisión. El instrumental se instaló el 14 de octubre de 2015, llevándose a cabo tres campañas de recogidas de datos: 09/11/2015, 07/04/2016 y 06/06/2016. Sin embargo, este dispositivo de medidas no funcionó adecuadamente a causa del enterramiento del instrumental de medida que se producía por los arrastres de sedimentos en los eventos de lluvia. En el desplegable se muestran imágenes que ilustran el problema. La causa de esta contingencia fue la siguiente: inicialmente, se preveía que la mayor parte de la emisión de sedimentos correspondía a materiales en suspensión, pero después se comprobó que la mayoría del material se movilizaba como carga de fondo, lo que hacía inservibles el uso de pocillos tranquilizadores y botes tomamuestras, dirigidos a medir sólidos en suspensión.

Así las cosas, se decidió sustituir la medida de escorrentía superficial por la de otro componente del ciclo del agua, complementario: la humedad edáfica. Éste no informa de las emisiones hídricas (*off-site*) de las superficies restauradas sino de la oferta de agua a las plantas (proceso *on-site*), principal limitante del desarrollo de la vegetación. Se midió mensualmente entre 14.07.2015 y 07.04.2016 el contenido de humedad edáfico en diversas formas de relieve GeoFluv (divisoria, laderas y cauces), con dos tipos de sustrato (coluvión y estéril arcilloso) y dos orientaciones (solana y umbría). Este estudio formó parte del Trabajo de Fin de Máster de Miguel Lalaguna, que se adjunta como entregable. En una segunda fase (18.11.2016 a 29.11.2017), estas medidas se continuaron y ampliaron como parte de la acción D2 “Comportamiento hidrológico en el tiempo”.

En relación a la erosión, dado que no se podía medir la cantidad de sedimentos procedentes de las zonas restauradas que llegan a las cuencas naturales (inmisión / sediment yield), se optó por medir la pérdida de suelo de las zonas restauradas (emisión / erosion rates). Hay que tener en cuenta que una parte de esos materiales erosionados no salen de las zonas restauradas, almacenándose en el pie de las laderas y en los cauces. Esta medida –que se considera también parte de la acción D2- se realizó mediante la cartografía en campo de la red de regueros en Aurora y Pastor I.

Los resultados de la primera aproximación –fallida- mediante pocillos tranquilizadores y botes tomamuestras se presentaron en el entregable “Informe caudales y sedimentos\_Aurora”. El estudio de la humedad del suelo en las distintas formas de relieve GeoFluv constituyó el Trabajo de Fin de Máster del Máster en Restauración de Ecosistemas (UCM, UAH, UPM y Universidad Rey Juan Carlos), que se presenta como entregable: *Distribución espacio-temporal de la humedad edáfica en canteras restauradas por el método GeoFluv*, Autor: Miguel Lalaguna, Director: José Manuel Nicolau. El estudio de cuantificación de la erosión en regueros en Aurora y en Pastor I ha dado lugar a dos entregables (uno para cada explotación).

En relación a los resultados obtenidos, la figura C2.1 informa de que los valores de humedad registrados en el paisaje restaurado con GeoFluv™ están más determinados por el tipo de sustrato y por la orientación de las laderas que por las formas de relieve. En efecto, se aprecia que el sustrato de coluvión almacena (y por lo tanto oferta) más agua a las plantas que el estéril arcilloso. Por otro lado, la orientación de solana presenta valores inferiores de humedad que la umbría. Estas diferencias son estadísticamente significativas. En general, estos valores de humedad indican que los recursos hídricos para el desarrollo de la vegetación son suficientes.

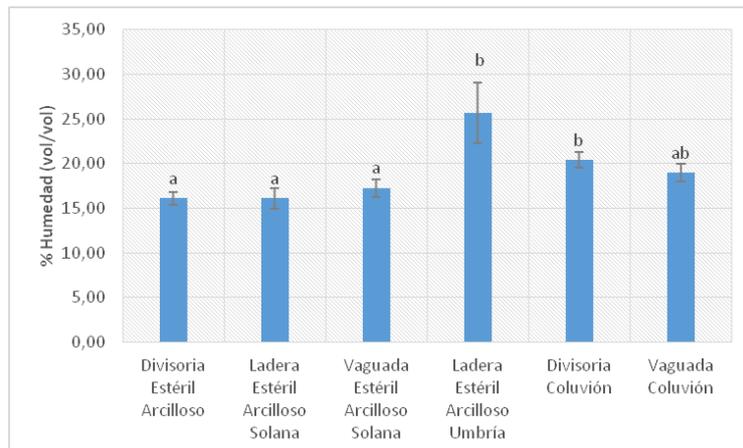
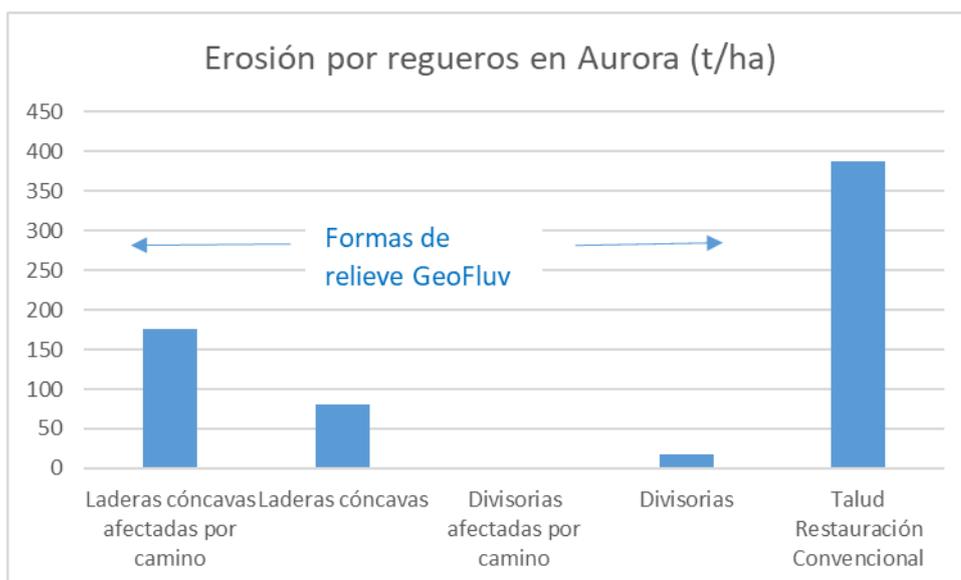


Figura C2.1. Valores medios de humedad en las formas GeoFluv<sup>TM</sup> de Aurora para el periodo 14.07.2015 – 07.04.2016

Respecto a la cuantificación de la erosión en regueros, los resultados más relevantes en Aurora se muestran en la figura C2.2. En primer lugar, se observa que la pérdida de suelo por regueros en las divisorias GeoFluv es muy baja. Las divisorias son la forma de relieve más extensa y que albergan la mayor parte de la superficie revegetada, lo que confirma el carácter favorable de la Restauración Geomorfológica para el desarrollo de la vegetación. Entre las formas GeoFluv destacan las elevadas tasas de erosión por regueros en las laderas cóncavas debajo del camino de acceso, las cuales se sitúan por encima de las 50 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Es bien conocido el problema de las entradas exógenas de escorrentía –desde caminos y pistas o bermas- en las restauraciones mineras. Este dato, nos llevó a elaborar un informe y a realizar las actuaciones pertinentes para corregir el problema, que se explican en la acción D2. El tercer aspecto a destacar es que las tasas de erosión por regueros registradas en el talud convencional son las más elevadas de Aurora y, por su magnitud, resultan incompatibles con el desarrollo de la vegetación.



*Figura C2.2. Tasas de erosión por regueros en las distintas formas de relieve de Aurora. Hay que notar que las tasas de erosión en las formas GeoFluv se han producido en tres años y las del talud de restauración convencional en un periodo superior indeterminado*

Los cambios en el tipo de medidas han conllevado cambios en el cronograma. Esta actividad estaba prevista realizar durante los cuatro meses posteriores a la ejecución de la restauración. Sin embargo, las medidas de humedad se han llevado a cabo a lo largo de 9 meses y, posteriormente, se han alargado y ampliado 12 meses más, como parte de la acción D2. El estudio de regueros de Aurora se llevó a cabo en marzo de 2018, tres años después de su restauración. En Pastor I se llevó a cabo en marzo de 2019, un año tras su restauración.

En relación a los indicadores, para la humedad edáfica se ha utilizado el porcentaje en peso del agua en el suelo, que informa de la disponibilidad de agua para las plantas. La erosión por regueros en las zonas restauradas se ha cuantificado en toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ) y, cuando ha sido posible, en  $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ .

Como se ha comentado la realización de esta acción se cambió de forma importante por dos motivos principales. Por un lado, por la imposibilidad de adquirir el instrumental inicialmente previsto (flumes Parshall y sensores de presión) y, por otro, por el inadecuado funcionamiento de los pocillos tranquilizadores y botes toma-muestras, debido a la intensa dinámica hidrológica de los cauces en el clima mediterráneo marítimo de la zona de trabajo, ambiente en el cual la mayoría del sedimento se moviliza, por parte del sistema fluvial, como carga de fondo, y no como material en suspensión. La sustitución de las medidas previstas, por la medición de la humedad y la cuantificación de la erosión por regueros se considera muy acertada, hasta el punto que ha sido el método de monitoreo adoptado en los proyectos LIFE de restauración de canteras que estamos desarrollando posteriormente (TECMINE y RIBERMINE). Como comentario adicional para desaconsejar la utilización de flumes y sensores de presión, habría que indicar el enorme esfuerzo de tiempo y trabajo que implican tales estudios, más propios de una tesis doctoral que del seguimiento técnico que requieren los proyectos LIFE.

Otro cambio importante respecto a las previsiones del proyecto ha tenido que ver con que las medidas de humedad se han llevado a cabo exclusivamente en la cantera Aurora, descartándose en Pastor I y Pastor II. La razón es que la información sobre la dinámica hidrológica que se ha obtenido en Aurora es generalizable al resto de los paisajes GeoFluv<sup>TM</sup> de la zona. Por ello se tomó la decisión de continuar en Aurora con estas medidas un año más, ampliándolas también a los taludes convencionales para poder comparar la nueva aproximación introducida en este Life respecto a las restauraciones tradicionales talud-berma.

Entre las perspectivas para continuar esta acción después del LIFE se encuentra la realización de medidas de infiltración y capacidad de retención del agua en el suelo para una mejor interpretación del funcionamiento de los dos tipos de sustrato. Está prevista su realización en el octubre de 2020.

Por otro lado, también está previsto analizar de manera pormenorizada los MDTs, comparando su evolución a lo largo del tiempo. El objetivo de ambas acciones es elaborar una publicación científica sobre la evolución ecohidrológica del paisaje restaurado en Aurora.



Instrumental para la medida de la humedad edáfica: TDR y varillas (sensores) de humedad

## **Acción C 3 Substrato. (Entregable C3)**

### **C.3.1 Obtención del sustrato mediante mezclas de materiales y enmiendas**

Como ya se explicó en informes anteriores, aunque en la propuesta se había planteado la corrección de los rechazos a utilizar con enmiendas, el plan de creación de hábitats hizo desestimar esta acción. Los objetivos de la revegetación se han dirigido a obtener vegetaciones abiertas, discontinuas, que se mantengan así durante el máximo de tiempo posible para fomentar especies de aves que requieren estos hábitats. El planteamiento ha sido controlar y ralentizar el desarrollo vegetal mediante el uso de sustratos de baja fertilidad química. Aplicar enmiendas orgánicas representa añadir nutrientes de rápida mineralización que fomentan crecimientos rápidos, con frecuencia protagonizados por especies vegetales no deseadas. En cambio, el esfuerzo se centró en aprovechar al máximo el papel ecológico del recurso “sustrato” dentro de todo el proceso de restauración y no únicamente considerando criterios agronómicos como habitualmente se tienen en cuenta.

Además, los sustratos son ligeramente salinos. La adición de compost incrementa la salinidad de los sustratos y esto puede afectar a algunas especies de la siembra y de la plantación (Consultar Anexo 3.1 entregado en el informe intermedio).

En el caso de la adición de hojarasca, el objetivo ha sido crear núcleos de dispersión de organismos de la fauna del suelo que aceleren su presencia en la zona, ya que la colonización natural de estos organismos desde el entorno es muy lenta. Se trata de una experiencia pionera y de gran interés para la creación de sustratos biológicamente activos. Sin embargo, esta acción se vio afectada por la paralización del proyecto por retención del segundo pago a los socios, como ya se comunicó a la CE en su momento. La aplicación de hojarasca se realizó en Aurora en mayo del 2018 y en diciembre de 2019 en Pastor II (la construcción del relieve finalizó en setiembre del 2019). Se desestimó realizar la intervención en Pastor I para no afectar a los individuos de collalba negra, especie muy sensible a las perturbaciones y a la presencia de personas en su territorio.

### **C3.2 Colocación y dirección de obra**

En general, la gestión de los materiales edáficos y materiales que se usaron como sustratos no ha sido totalmente satisfactoria. Aportamos diferentes reflexiones para contextualizar e identificar los posibles problemas.

- Se trataba de la primera vez que se realizaba una modelación del relieve con GeoFluv a gran escala y donde intervenían diferentes equipos con diferentes objetivos, y encadenando la dirección de diferentes facultativos a lo largo de todo el proyecto. Desconocemos si la creación de la morfología se hubiese podido construir por subcuencas y no avanzando desde el fondo de la cantera hacia la laguna de Cervera, como se hizo. Consideramos que construir la morfología por subcuencas como en un principio se dio a entender hubiese favorecido una gestión mucho más detallada de los materiales disponibles. También se hubiese podido ir revegetando por etapas con sus correspondientes riegos de soporte localizados como se realizó en la primera subcuenca construida en 2014.
- El retraso inicial en la ejecución del proyecto tuvo que compensarse con fases muy rápidas de construcción del relieve. La primera intervención se hizo en 2014 en Aurora en una subcuenca de unas 0,2 ha. Sin embargo, la comunicación de la Comisión Europea de cerrar el proyecto si no se cumplían los plazos, generó fases de gran actividad durante primavera-verano de 2015, en las que se priorizó la construcción de la morfología. Durante esta fase se generaron pilas de materiales obtenidos durante la excavación que se mezclaron con los antiguos acopios por falta de espacio dentro de la explotación. La observación de cómo se construyó la morfología puso de manifiesto que la planificación detallada de los movimientos de tierras es un aspecto crucial para evitar problemas como los citados en este tipo de construcción de morfología. El avance en la construcción se realizó desde el fondo de la explotación hacia la laguna, generando un relieve definitivo que no permitía la circulación de maquinaria (ni hidrosebradora ni cubas de riego) que afectó a la fase de revegetación, que tuvo que adaptarse a esta circunstancia. La aplicación de los sustratos tampoco pudo seguir los

criterios facilitados porque la prioridad fue crear la morfología relegando otros aspectos. Este hecho y otros aspectos determinaron que la gestión de materiales en Pastor I y Pastor II la acabase asumiendo básicamente el equipo de UCM, con recomendaciones de la UB. Así, se podía desarrollar plenamente la ejecución de la morfología según el criterio que el responsable de la tarea considerase oportuno. Con ello, la evaluación posterior se podía centrar en el modelo morfológico innovador, eje principal de la propuesta, sin interferencias de otras acciones. Se facilitaron igualmente protocolos de gestión que la empresa puede aprovechar en otras restauraciones. Consideramos que se ha perdido una buena oportunidad para poder testar una gestión de sustratos novedosa. La ejecución simultánea de los dos aspectos debía planificarse mucho más de lo descrito y previsto en la propuesta, deficiencia que se ha puesto de manifiesto durante la fase de obra. A ser posible, la reposición de sustratos/suelos debe ser la siguiente etapa después de la construcción de la morfología. Consideramos que esta reflexión debe tenerse en cuenta para futuras intervenciones con este modelo morfológico tan finalista.

- La gestión de los materiales edáficos ha sido y sigue siendo una asignatura pendiente para el sector extractivo. Este sector, como otros sectores vinculados a la construcción, entiende el suelo como un componente inerte y no como un recurso natural con funciones ecológicas en los ecosistemas. Esta interpretación limita las posibilidades de una gestión más ecológica, por falta de tradición en esta filosofía. Esto se ha discutido directamente con el segundo facultativo del proyecto, que posteriormente ha facilitado algunas experiencias y acciones puntuales, aunque a pequeña escala. Sin embargo, en Aurora se realizaron aplicaciones de materiales edáficos en 2019 para reparar zonas muy degradadas por la erosión, no comunicadas ni consensuadas con el equipo responsable de la UB, hecho que vuelve a poner de manifiesto el poco valor que se concede a los suelos, considerando que cualquier material puede servir.

En cambio, la aplicación de hojarasca se ha desarrollado según lo establecido por el técnico al ser una aplicación a pequeña escala y manual que no ha interferido con aspectos de la morfología. De los bosques de Pastor II se recogió sustrato superficial (horizontes L+F+H) hasta una profundidad máxima de 10 cm (sin llegar nunca al nivel de tierra). En el hueco de Aurora se establecieron 12 parcelas de 2x2 m en las que se aplicaron los sustratos procedentes de Pastor II. En total se recogieron 4.8 m<sup>3</sup> de sustrato de Pastor II (0.4 m<sup>3</sup> por parcela). Como primera experiencia, se instaló una malla para evitar movilización de la hojarasca, pero es una medida artificial. Por ello, en la restauración de Pastor II se realizó una aplicación con hojarasca y grava que intentaba reproducir las condiciones de los suelos naturales del entorno.

### C3.3 Caracterización del sustrato post-reposición

#### *Características físicas y químicas*

En Aurora, se ha generado un mosaico de materiales con ciertas diferencias entre las distintas subcuencas. La pedregosidad del sector 3 y 4 es superior al resto de subcuencas (39 y 37% respectivamente) y responde a la selección de materiales propuesta para estas zonas. Predominan las texturas franco arcillo limosas, aunque en algunas zonas es franco arcillosa (sector 4 principalmente). Globalmente, la salinidad detectada es baja (0,8 dS/m) aunque existen subzonas en el sector 4 y 5 que presentan conductividades eléctricas algo superiores a la media, donde se detectan sulfatos y cloruros. El pH es básico (7,9-8,4) y el contenido de carbonatos elevado (43-46 %). La fertilidad es baja, con porcentajes de carbono que oscilan entre 0,44 y 0,71% y niveles de nitrógeno entre 0,05 y 0,08%. El calcio es el catión de intercambio más abundante (1711-1879 mg Ca/kg suelo), seguido del magnesio (168-246 mg Mg/kg suelo).

Las características de los sustratos repuestos en Aurora no difieren significativamente de los valores de los acopios obtenidos en 2014, aunque presentan pedregosidades inferiores. Estos sustratos son adecuados para cumplir los objetivos de revegetación y creación de hábitats.

En Pastor I, únicamente se ha caracterizado la zona restaurada con GeoFluv. Los materiales presentan una pedregosidad moderada (24,67±7,15 % de fracción >2mm), la textura varía entre franca y franco-arcillosa. La caolinita es la arcilla más abundante (50%), aunque se ha identificado también una baja

proporción de montmorillonita (2,69%). El porcentaje de carbonatos es elevado ( $42,97 \pm 1,49\%$ ), el pH muy básico ( $8,78 \pm 0,19$ ), con complejo de intercambio saturado por Ca ( $1425 \pm 65,21$  mg Ca/kg suelo) pero con una proporción importante de Mg ( $448,75 \pm 91,93$  mg Mg/kg suelo). La salinidad es muy baja ( $0,21 \pm 0,07$  dS/m). Los porcentajes de Carbono ( $0,42 \pm 0,06$ ) y Nitrógeno total ( $0,04 \pm 0,004$ ) son bajos.

Las características del sustrato repuesto no difieren globalmente de los materiales del antiguo acopio, pero con proporciones muy inferiores de la fracción  $> 2$ mm y con pH ligeramente superiores.

En Pastor II, la pedregosidad es importante ( $53,14 \pm 8,15$  %) y gran parte de las gravas parecen proceder de la costra caliza generada encima de los niveles arcillosos que se explotan. El porcentaje de arcillas es muy elevado ( $42,31 \pm 7,48$  %) y las texturas son mayoritariamente arcillosas y franco-arcillosas. La caolinita es la arcilla más abundante ( $44,16 \pm 4,42$  %) pero la presencia de montmorillonita es considerable ( $6,96 \pm 0,09$  %). El pH es muy básico ( $8,92 \pm 0,13$  %) y el complejo de intercambio está saturado por Ca ( $11342 \pm 1683$  mg Ca/kg suelo) y una gran proporción de Mg ( $778,60 \pm 246,98$  mg Mg/kg suelo). La presencia de carbonatos es muy variable ( $36,13 \pm 7,5\%$ ). Los materiales contienen sales solubles ( $0,7 \pm 0,24$  dS/m) en contenidos variables a lo largo de la cuenca y se ha detectado presencia de cloruros y sulfatos, aunque no en toda el área. El contenido de Carbono ( $0,65 \pm 0,15$  %) y Nitrógeno total ( $0,03 \pm 0,01$  %) son bajos.

Los materiales no deben presentar problemas destacables para el desarrollo vegetal. Las especies introducidas en la restauración toleran cierta presencia de sales y están presentes en el entorno natural, que también tiene salinidad. El principal problema puede surgir por la presencia de arcillas expandibles que podrían fomentar fenómenos de erosión e inestabilidad. Los materiales difieren significativamente de los suelos naturales originales, ya que para la construcción de la morfología se han usado materiales del subsuelo (en este caso se ha ensayado la creación del relieve simultáneamente con la extracción de la arcilla). Recomendamos que en esta situación los materiales que afloran durante la excavación deben ser ampliamente caracterizados con indicadores que identifiquen posibles problemas en el comportamiento mecánico/ecológico durante el proceso de restauración/revegetación.

Se proponen dos niveles de caracterización de materiales a utilizar:

- Materiales para la construcción de la morfología. Se sugieren algunos aspectos a considerar previamente como salinidad/sodicidad, textura, características vérticas, consistencia...
- Materiales que actuarán como sustrato. Corresponden básicamente a los aspectos aplicados en este proyecto como granulometría, textura, fertilidad física y química, salinidad, acidez/basicidad, componentes bióticos...

#### *Fauna del suelo*

En el hueco Aurora y en los bosques de Pastor-II (bosques de referencia) se realizaron tomas de muestras de sustrato para la obtención de la microfauna (11 de noviembre del 2016), mesofauna y macrofauna (25 abril del 2017). La extracción de la microfauna (representada por el grupo de los nematodos) de las muestras se realizó en un decantador con agua destilada por un periodo de 48 horas. La extracción de la mesofauna (representada por los diferentes grupos de microartrópodos) de las muestras se realizó mediante extractores Berlese-Tullgren, con malla de 2 mm de diámetro, por un periodo de dos semanas. Para la obtención de macrofauna (representada por los diferentes grupos de macroartrópodos) se utilizaron trampas Pitfall que se mantuvieron activas dos semanas.

Los ejemplares de fauna obtenidos fueron identificados en grupos taxonómicos a nivel de Orden, y en categorías morfoecológicas. Los datos de abundancia de cada taxón se reflejaron como número de ejemplares por muestra. Se realizaron comparaciones de la abundancia de los diferentes taxones entre Aurora y los bosques de referencia mediante análisis univariantes "One-Way Anova". Asimismo, se comparó la estructura de las comunidades de fauna entre Aurora y los bosques de referencia mediante análisis multivariantes "CLUSTER" y "Non-Metric Multidimensional Scaling". Los datos de las categorías morfoecológicas se utilizaron para el cálculo del índice de calidad biológica del suelo "QBS-ar" e índice de biodiversidad del suelo "IBS".

Las abundancias de microfauna y mesofauna fueron muy inferiores en el hueco Aurora con respecto a los bosques de referencia, mientras que la abundancia de macrofauna fue mayor en Aurora. Los grupos de macrofauna mayoritarios en Aurora fueron hormigas, ácaros del grupo de los Trombidiformes (depredadores muy activos) y colémbolos de la familia Entomobryidae (de talla relativamente grande y aparatos locomotores muy desarrollados). Estos grupos se caracterizan por su gran capacidad para el desplazamiento en la superficie del suelo en busca de alimento y refugio, y pueden ser considerados como pioneros en la colonización de los suelos en proceso de restauración.

Los análisis multivariantes indicaron que las comunidades de fauna en el hueco Aurora son cualitativamente muy diferentes a las comunidades de los bosques de referencia, destacando la escasez en Aurora de grupos de fauna típicamente euedáficos y de régimen saprófago. Los índices de calidad biológica y de biodiversidad del suelo (QBS-ar e IBS), indicaron una baja calidad de los suelos de Aurora con respecto a los bosques de referencia.

## C 4. Revegetación y creación de hábitats. (Entregable C4)

### C 4.1 Directrices de la revegetación

La directriz principal es crear un mosaico de vegetación que se integre en la matriz del paisaje seminatural del entorno, pero con el valor añadido de fomentar hábitats minoritarios en la zona y en el territorio. Entre éstos, además de las lagunas y sus riberas, destacan los matorrales bajos y con vegetación rala, poco desarrollada, que favorezcan la fauna asociada a este tipo de ambientes abiertos. Las directrices específicas para las diferentes zonas se han ido aportando en informes anteriores y se resumen a continuación.

**Aurora.** Se combinaron composiciones y densidades de especies leñosas para generar matorrales mediterráneos con presencia o no de pino carrasco. A la vez, en estos matorrales se generó un estrato subarbustivo por siembra, que incluye *Santolina chamaecyparissus* (que ha resultado muy exitosa), *Dorycnium pentaphyllum* y *Anthyllis cytisoides*. Las especies clave para el estrato arbustivo en los distintos hábitats creados son:

a) Maquia de lentisco y acebuche (HIC 5330). *Pistacia lentiscus*, *Olea europea* var. *sylvestris*, *Rhamnus lycioides*, *Quercus coccifera* y *Juniperus oxycedrus*. No se plantaron coscojas (*Q. coccifera*) por la dificultad en su implantación en fases iniciales de la restauración. Además, dado que en el entorno abunda dicha especie, posiblemente acabe apareciendo de forma espontánea en el seno de matorrales ya establecidos.

b) Pinar laxo de pino carrasco con sotobosque de lentisco y acebuche (HIC 9540). *Pinus halepensis*, *Quercus coccifera*, *Chamaerops humilis*, *Olea europea* var. *sylvestris*, *Rhamnus lycioides*. Tampoco se introdujo *Q. coccifera* por la misma razón que en el caso anterior.

c) Matorral calcícola de romero (CORINE 32.42). *Rosmarinus officinalis*, *Erica multiflora*, *Anthyllis cytisoides*, *Globularia alypum*, *Cistus clusii*, *Helianthemum syriacum*, *Linum suffruticosum*, *Lithospermum fruticosum*. Las especies introducidas han sido *Rosmarinus officinalis*, *Cistus albidus* y *Anthyllis cytisoides*. Para el resto de especies se intentaron conseguir semillas o plantones, sin resultado. Se planteó realizar recolecciones de algunas especies para que se prepararan en viveros. Según nos informaron se había ya intentado con escaso resultado y sin producción comercial rentable.

d) Vegetación de torrentes de zonas cálidas (inventarios propios de la zona). *Populus alba*, *Populus nigra*, *Celtis australis*, *Fraxinus angustifolia*, *Arbutus unedo*, *Olea europaea*, *Crataegus monogyna*, *Phillyrea angustifolia*, *Prunus spinosa*, *Pistacia lentiscus*, *Rubus ulmifolius*, *Smilax aspera*, *Sorbus domestica*, *Spartium junceum*, *Smilax aspera*. Se reprodujo parcialmente esta composición con plantaciones en los márgenes de los canales de *Populus alba*, *Populus nigra*, *Olea europaea*, *Crataegus monogyna*, *Phillyrea angustifolia*, *Prunus spinosa*, *Rubus ulmifolius* y *Smilax aspera*.

**Pastor I.** La revegetación fue muy puntual, atendiendo a planteamientos muy restrictivos para fomentar al máximo el hábitat de la collalba negra, de baja densidad vegetal. Las intervenciones se concentran en el contorno de la explotación con plantaciones de romero, lentisco, jara y genista que favorezcan barreras que limiten el acceso de visitantes a zonas no deseadas. El planteamiento en este caso ha sido preservar al máximo zonas con poca vegetación en el interior de la explotación y rodear los accesos para conducir a los visitantes únicamente al mirador habilitado.

**Pastor II.** Se ha cambiado el planteamiento de la propuesta inicial para favorecer vegetaciones muy poco densas con matorral calcícola de romero y tomillares calcícolas, muy dispersos.

### C4.2 Ejecución y dirección de obra

Para las diferentes etapas se han facilitado croquis y revisiones in situ. En Aurora se ha realizado la intervención más intensa y donde la revisión debía ser más detallada. En el deliverable se aportan las fechas y la relación de no-conformidades, que básicamente se produjeron al inicio. Las incidencias en esta tarea han sido mínimas.

### C4.3 Registro de la situación final

Al final del proyecto la vegetación presenta estados de desarrollo variables, principalmente dependiendo de la cronología de las intervenciones. En Aurora puede considerarse la vegetación en general bien estructurada y desarrollada. Sin embargo, las distintas especies han tenido un éxito variable, y ello afecta a la estructura y función de algunas comunidades. En el matorral, pinar y

maquia el romero ha resultado ser bastante protagonista, dado su mayor supervivencia y desarrollo en comparación con las otras leñosas; y en el matorral y la maquia destaca la abundancia de *Santolina chamaeriparissus* en el estrato inferior, por una razón similar. Una desviación importante, ya observada en el control un año después de la plantación, se ha dado en la vegetación de torrentes y cauces, causada por una supervivencia moderada y un desarrollo muy modesto de las especies trasplantadas. Estas desviaciones se asocian a diferentes factores que se describen también en la tarea D4. En el deliverable se aporta la cartografía final, aunque para Pastor I y Pastor II corresponde a la que se presenta en la tarea D4.

## **Acción. C 5 Fomento de la diversidad de aves. (Entregable C5)**

Una de las primeras acciones al inicio del proyecto fue proteger la calidad de la laguna Cervera. En el proyecto inicial, el dique que separa Aurora de Cervera debía desaparecer. Las primeras prospecciones ornitológicas en 2014 pusieron de manifiesto el alto valor ecológico de la laguna, protegida a posibles depredadores y visitantes por el dique y sus taludes abruptos. Posiblemente, los aportes de agua desde el acuífero mantienen esta laguna de forma permanente. Gracias a la colaboración de todos los equipos, se consiguió cambiar el proyecto inicial y preservar el dique.

Como medidas genéricas del proyecto, las actuaciones de revegetación se han encaminado a favorecer las especies de zonas abiertas. Por este motivo, se ha dado preferencia a la revegetación con arbustos frente al uso de especies arbóreas.

En el caso de Pastor I, se definieron y planificaron actuaciones de emergencia ante la confirmación de la presencia de una pareja de collalba negra. Se realizó un estudio del uso del espacio por parte de la collalba negra, para conocer exactamente los requerimientos de la especie y las zonas de la explotación que prefiere. Se comprobó su predilección por las zonas de taludes de Pastor I. Este estudio representa la principal desviación del presupuesto inicial y que ya se justificó adecuadamente en informes anteriores. Se encargó a un ornitólogo especialista en esta especie. En este caso, las principales actuaciones han sido de tipo indirecto, diseñadas a partir de los resultados del estudio:

- 1) Mantenimiento de los taludes arcillosos, adaptando el modelo GeoFluv inicial para no interferir con las zonas frecuentadas por la especie
- 2) Cierre de accesos del hueco, para promover la tranquilidad de las aves y adaptación del calendario de intervenciones fuera del periodo de nidificación de las especies
- 3) Revegetación mínima para mantener el hábitat con una cobertura inferior al 20%.

Como medida complementaria para fomentar la biodiversidad en Pastor I, se promovió el mantenimiento de las charcas y la promoción del cinturón de vegetación helofítica de la laguna.

## Acción D1. Geomorfología. (Entregables D1\_1 y D1\_2)

### Acción D.1.1. Seguimiento de la evolución geomorfológica de las superficies restauradas

#### Acción D.1.1.1. Escala de detalle

Esta acción ha consistido en una cartografía y caracterización topográfica de las superficies restauradas finales, mediante: (a) realización de levantamientos fotogramétricos de las superficies finales; (b) comparativa entre las topografías iniciales y finales, concretamente de sus MDE, y en especial de las pendientes y orientaciones de ambas situaciones. En la propuesta inicial se incluía aquí también un análisis de formas erosivas, pero este análisis no quedaba bien integrado en esta acción (pues de hecho luego no se consideraba como entregable); por todo ello, este análisis se ha pasado a la acción D2, donde se describe y analiza en detalle, y para el cual se han utilizado los equipamientos y procedimientos inicialmente propuestos (TLS, equipos topográficos y trabajo de campo). La acción D.1.1.1 ha sido llevada a cabo por los socios UCM-UZ. Sobre la base de lo recién expuesto, los informes y entregables son: (a) planos topográficos finales, que de hecho, se han actualizado a la situación más reciente posible (diciembre de 2019); (b) comparativas de los MDE iniciales y finales, y de los mapas de pendientes y orientaciones derivados. La figura D.1.1 muestra las cartografías de los tres espacios restaurados para diciembre de 2019. Los resultados y conclusiones de esta acción ponen de manifiesto que ha sido posible construir paisajes estables y diversos, puesto de manifiesto por la comparativa de mapas de orientaciones y pendientes.



Figura D.1.1. Cartografías finales y recientes (diciembre de 2019) de Aurora, Pastor I y Pastor II, de izquierda a derecha. Estos planos se incluyen como entregables.

Aunque no estaba previsto inicialmente, entre las cartografías iniciales (Acción A1) y las finales (Acción D1), se ha ejecutado un número muy elevado de levantamientos topográficos intermedios, mediante técnicas fotogramétricas (Tabla D.1.1). Pero el motivo de que finalmente se hayan realizado ha sido que en el transcurso del proyecto, las técnicas fotogramétricas se han vuelto realmente asequibles, a partir del uso de drones y software específico. Todo ello ha permitido producir mucha más información de la prevista inicialmente, sin incrementar el presupuesto.

Tabla D.1.1. Levantamientos topográficos mediante técnicas fotogramétricas de las arcilleras Aurora, Pastor I y Pastor II. Fuentes: subcontrataciones a DIEDRO, OFTECO y elaboración propia (UCM – UZ)

FECHA	AURORA	PASTOR I	PASTOR II	ESCENARIO
Enero de 2014	X	X		Pre-restauración*
Junio de 2016	X	X		Post-restauración
Junio de 2017	X			
Febrero de 2019			X*	
Diciembre de 2019	X	X	X	
Enero de 2020	X	X	X	

### Acción D.1.1.2. Gran escala. Registros fotográficos

Se ha realizado un seguimiento extraordinariamente detallado de la evolución de los escenarios restaurados. Bien mediante fotografías de campo, a partir de puntos de control (figura D.1.3), bien, sobre todo, a partir de series de fotografías aéreas oblicuas (Tabla D.1.2 y figuras D.1.4 a D.1.6).



Figura D.1.3. Comparativa de fotografías de campo, mediante puntos de control. Ejemplo en Pastor I (ver entregable asociado).

Tabla D.1.2. Reportajes de fotografías aéreas oblicuas de la arcilleras Aurora, Pastor I y Pastor II. Fuentes: subcontrataciones a Paisajes Españoles, DIEDRO y OFTECO. Al igual que con los levantamientos fotogramétricos, los reportajes realizados son muy superiores a los previstos en la propuesta inicial.

FECHA	AURORA	PASTOR I	PASTOR II	ESCENARIO
Junio de 2014	X	X		Pre-restauración*
Mayo de 2015	X			Restauración
Octubre de 2015	X			Post-restauración
Junio de 2016	X			
Junio de 2017	X			
Abril de 2018	X	X		
Febrero de 2019			X*	
Diciembre de 2019	X	X	X (fase 1)	
Enero de 2020	X	X	X (fase 1)	
Junio de 2020	X	X	X	



*Figura D.1.4. Evolución de la arcillera Aurora desde su situación pre-restauración (junio de 2014) hasta el final del proyecto (junio de 2020). Seguimiento de un total de 6 años, mediante fotografías aéreas oblicuas.*



*Figura D.1.5. Comparativa, a partir de fotografías aéreas oblicuas, entre el escenario de partida (febrero de 2019) y el final de la restauración (diciembre de 2019) para Pastor II.*





*Figura D.1.6. Imágenes recientes de las arcilleras restauradas de Aurora (superior) y Pastor I (inferior), en junio de 2020.*

Los resultados alcanzados en esta acción son **muy superiores** a los previstos, sobre todo por la ingente información adquirida a partir de reportajes de fotografías aéreas oblicuas. No se han encontrado problemas o limitaciones significativas. Al contrario, los cambios tecnológicos ocurridos en el transcurso del proyecto, con la generalización y asequibilidad del uso de drones, ha permitido una mejora sustancial de la Acción. Como tareas complementarias fuera del Proyecto LIFE, y perspectivas para continuar la acción después del LIFE, existe el compromiso de organizar adecuadamente, y elaborar una base de datos muy completa, sobre el ingente material gráfico producido (fotografías aéreas oblicuas). Es preciso indicar que el volumen de información es altísimo, y que no es posible incluir todo en los entregables, dada su naturaleza digital, si bien está a disposición de la Comisión.

## Acción D2. Comportamiento hidrológico en el tiempo. (Entregable D2)

Esta acción supone la continuación –y ampliación– de la acción C2 “Caracterización hidrológica después de la restauración”, de manera que, como ya se ha indicado, se ha modificado el sistema de medida previsto de flumes tipo Parshall (escorrentía superficial) y sensores de presión (sedimentos). Se han sustituido, respectivamente, por la medida de la humedad edáfica y la cuantificación de la erosión en regueros. Si en la Acción C2 el objetivo fue comparar la humedad edáfica –la disponibilidad de agua para las plantas– entre las distintas formas de relieve generadas mediante GeoFluv, en D2 ese objetivo se amplía para comparar la respuesta de las formas GeoFluv con la de las formas de relieve convencionales (talud-berma). Se quería comprobar la hipótesis –por primera vez a nivel internacional– de que la Restauración Geomorfológica proporciona más recurso hídrico a la vegetación, al reducir la formación de regueros, los cuales es sabido, que evacúan eficientemente el agua de lluvia de las laderas, reduciendo la infiltración. Para ello se instalaron sensores de humedad en una nueva unidad: un talud de diseño convencional. Adicionalmente también se han instalado más sondas de humedad en zonas de divisorias, por ser las formas donde se han realizado mayoritariamente labores de revegetación y, como se ha dicho, interesa conocer la disponibilidad de agua de las plantas. Finalmente, se ha continuado con las medidas en las formas de relieve GeoFluv (divisorias, laderas y cauces) que se habían monitorizado en la acción C2. El seguimiento de la humedad edáfica en la Acción D2 se ha desarrollado desde 18.11.2016 hasta 29.11.2017 en Aurora.

Este trabajo ha dado lugar al entregable “Informe humedad edáfica Entregable D2”.

En relación a los resultados obtenidos, la figura D2.1 muestra que los valores mensuales de humedad –y por tanto también la media anual– son inferiores en el talud convencional respecto a los de las formas GeoFluv. En concreto, la recarga hídrica invernal es muy superior en las formas GeoFluv. Ello indicaría que la Restauración Geomorfológica presenta una cierta ventaja sobre la Restauración Convencional en cuanto a la oferta del recurso más limitante para el desarrollo de la vegetación en las restauraciones mineras mediterráneas: el agua.

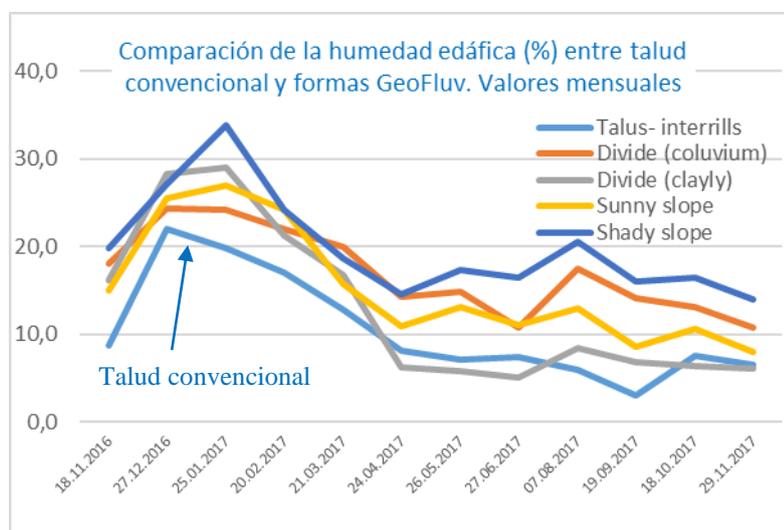


Figura D2.1. Comparación de la humedad edáfica (%) entre talud convencional y formas GeoFluv. Valores mensuales.

Entre las perspectivas para continuar esta acción después del LIFE se encuentra la realización de medidas de infiltración y capacidad de retención del agua en el suelo para una mejor interpretación del funcionamiento de los dos tipos de sustrato. Está prevista su realización en el octubre de 2020.

Respecto a la erosión, la cuantificación de la erosión por regueros ya se ha descrito en la Acción C2. De manera adicional, como parte de la Acción D2, se ha elaborado un informe de diagnóstico del estado de la erosión en la restauración de Aurora y otro de propuesta de acciones correctoras de la restauración para reducir el riesgo de erosión. Ello dio lugar a una serie de actuaciones por parte de CEMEX consistentes en la eliminación de caminos de acceso que generaban escorrentías que formaban regueros y en la extensión de tierra vegetal sobre superficies de sustratos arcillosos de carácter sódico que generaban erosión por *piping*. (ver fotografías).

Se han generado los entregables “Informe regueros Aurora Entregable D2” e “Informe regueros Pastor I Entregable D2”, así como “Actuaciones para corrección regueros en Aurora Entregable D2”.



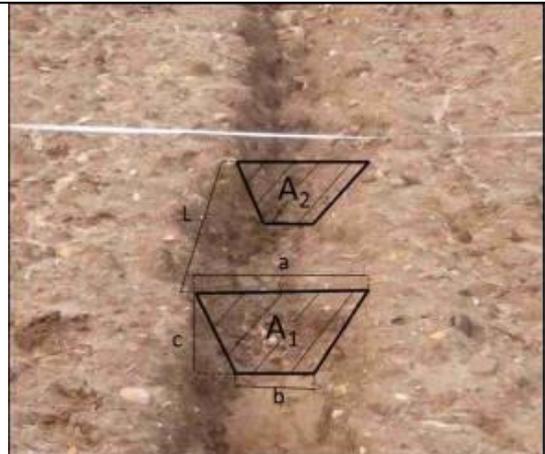
Camino ripado para favorecer la infiltración



Extensión de tierra vegetal sobre estéril arcilloso impermeable



Estudio de regueros. Medición in situ del volumen de materiales erosionados en una cárcava desarrollada en Pastor I, como punto de partida para el cálculo de tasas de erosión hídrica.



Estudio de regueros. Ejemplo de dos secciones de canal medidas en campo en las cuales se indican los valores tomados (a, b y c).

### **Acción D3. Evolución de los sustratos. (Entregable D3)**

En este apartado se aporta un resumen de los principales resultados, y se incluyen reflexiones sobre la efectividad de GeoFluv por si pueden ser de ayuda para mejorar futuras aplicaciones.

#### **Aurora:**

A nivel de fertilidad, se observa un ligero incremento de carbono orgánico en zonas revegetadas, aunque no de forma significativa ( $0,52 \pm 0,12$  % en 2016 y  $0,68 \pm 0,20$  % en 2019). El porcentaje de carbono orgánico en zonas sin vegetación es mucho menor, aunque se observa un ligero incremento ( $0,59 \pm 0,15$  % en 2019). Así, el efecto de la vegetación en la creación de horizontes edáficos incipientes parece ser un proceso activo aunque lento. La aportación de hojarasca es una acción que puede acelerar este proceso de edafización. Se observa un incremento significativo de nitrógeno total y carbono y nitrógeno en sus formas recalcitrantes en las zonas con adición de hojarasca respecto a suelos con o sin vegetación. En el caso de carbono orgánico las zonas con hojarasca presentan un incremento respecto a las zonas sin hojarasca, pero con una gran variabilidad y no de forma significativa.

En cambio, la inestabilidad del sustrato representa el mayor riesgo para la evolución de estos materiales y de la restauración. La cobertura vegetal ha ido progresando lentamente como se había planificado. El control de la erosión tampoco debe realizarse exclusivamente con vegetación, como erróneamente se considera, sino que ésta debe formar parte de un conjunto de factores que faciliten el control de la erosión. Las pendientes suaves podían generar unas condiciones de estabilidad mínimas, pero ya desde el inicio se observaron procesos de erosión laminar y concentrada importantes que se describen con más detalle en el anexo. Desde UCM se alertó que la construcción de alcorques podía ser una fuente de erosión por escorrentía concentrada. Ésta es una práctica habitual en restauración, especialmente en zonas áridas, pero existen muchas evidencias de que ésta no ha sido la única razón de la elevada erosión en Aurora. Hay documentados muchos ejemplos de pedestales edáficos de gran dimensión que permiten identificar que la pérdida de sustrato ha podido ser de varios centímetros, especialmente en las laderas de los canales (posiblemente demasiado abruptas), donde se concentran además los hundimientos y cárcavas de mayores dimensiones. La textura del sustrato favorece la erosión y la creación de relieves suaves no ha sido suficiente para controlar estos procesos como inicialmente se consideraba. El espesor de los sedimentos en los lechos de los canales y el mismo sistema de cubicación adoptado inicialmente puso de manifiesto que estos resultados no eran esperables ni por el mismo equipo responsable. La torrencialidad de las lluvias, propias del clima mediterráneo, ha permitido evaluar la efectividad del modelo. Conducir y concentrar la escorrentía (externa e interna) en cauces ha generado una dinámica hidrológica, potencialmente muy erosiva pero canalizada en sustratos no consolidados. Se observa que las aguas de escorrentía han superado ampliamente los niveles del cauce construido y que los márgenes únicamente se han mantenido cuando estaban formados por roca, mientras que se han erosionando notablemente las laderas construidas con materiales de relleno no consolidado. Posiblemente se deberían revisar los cálculos hidrológicos, especialmente en escenarios de cambio climático que prevé episodios tormentosos más severos. A la vista de los resultados en Aurora, este modelo debería ser revisado, considerando algunos de los aspectos mencionados, antes de realizar su replicabilidad en este clima y con estos materiales.

Los estudios realizados sobre adición de hojarasca indican que, un año después de realizarse la adición de sustrato a las microparcels del hueco Aurora, la abundancia de fauna en el nivel orgánico añadido se mantiene en niveles elevados. Asimismo, la estructura y composición faunística y trófica de las comunidades de microartrópodos en este nivel orgánico es muy similar a la de los bosques de referencia. Por tanto, podemos concluir que la fauna presente en el paquete de material orgánico que se añadió a las microparcels se mantiene activa y en condiciones similares a la que se encuentra en los bosques de referencia. Todo ello es indicador de que la adición de sustrato orgánico en superficie es una medida efectiva para incrementar la calidad biológica de los suelos en restauración.

**Pastor I:**

En este caso, no se ha estudiado la evolución del substrato mediante parámetros químicos porque el corto periodo de tiempo desde su reposición no prevé cambios en la fertilidad. Se ha realizado una evaluación semicuantitativa mediante el método Tongway. No se observan síntomas de erosión destacables y la presencia de costras poco fragmentadas se da a lo largo de toda superficie tratada con GeoFluv. La cuenca construida en Pastor I es más reducida que la de Aurora, los aportes externos son menores, y posiblemente más fácilmente controlables. El relieve construido es mucho más suave, con lomas de menor altura y superficie. Los márgenes de los canales son muy suaves y no presentan problemas erosivos importantes, aunque en el lecho se observa movilización de materiales. El conjunto creado con GeoFluv parece estable. Este diseño podría ser adecuado para las plataformas finales de explotación, ya que podrían integrar paisajísticamente y ecológicamente estas superficies. Los taludes del entorno sí presentan regueros y cárcavas frecuentes y de dimensiones importantes, que acaban drenando en los cauces creados. El problema de la erosión/estabilidad de taludes no parece resolverse aplicando este modelo.

**Pastor II:**

Los materiales se colocaron en agosto de 2019 y el control post-reposición se realizó en otoño de 2019. Por ello, no es pertinente realizar ninguna evaluación de evolución química de estos substratos. Se quería realizar una evaluación mediante el método Tongway pero quedó afectada por el COVID. Se solicitó permiso para prolongar el cierre financiero hasta después del confinamiento y poder realizar los desplazamientos dentro del proyecto, pero esto no se aceptó desde la Comisión. La cuenca restaurada con GeoFluv presenta colinas de pendiente y desarrollo considerable, pero no excesivo que limiten la revegetación. Sin embargo, durante las diferentes visitas realizadas se constató que los procesos erosivos habían sido graves después de cada episodio lluvioso y los desperfectos han tenido que ser reparados varias veces (ver registro fotográfico del deliverable), así como construir una cuneta de guarda posteriormente en algunos puntos. Se considera que este modelo no es compatible con las características torrenciales del clima mediterráneo y en este caso, además, la presencia de arcillas expandibles ha podido influir en este mal resultado. Posiblemente deban adoptarse modelos geomorfológicos mixtos para este clima y/o con substratos tan erosionables e inestables.

## Acción D 4. Revegetación y creación de hábitats. (Entregable D4)

La cobertura vegetal debida a especies de subarbustos y herbáceas, principalmente sembradas, ha incrementado significativamente entre 2016 y 2019. Al cabo de un año de la siembra (2015), las coberturas eran limitadas (< 40%), mientras que al final del proyecto las coberturas son suficientes, superiores a 40%, siendo la orientación norte la que presenta mayor cobertura (Fig. 1).

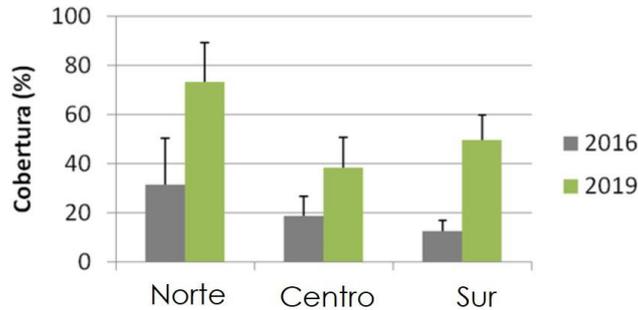


Figura 1. Evolución de la cobertura en Aurora según diferentes orientaciones (media y desviación estándar).

En esta cobertura, *Santolina chamaecyparissus* es la especie más abundante, junto con *Psoralea bituminosa* y *Sanguisorba minor*. También abundan *Anthyllis cistyoides* y *Dorycnium pentaphyllum*. El resto de especies sembradas han desaparecido prácticamente, a partir de una germinación y establecimiento inicial muy limitados. Las especies espontáneas iniciales eran mayoritariamente oportunistas y ruderales, en buena parte de ciclo anual. Actualmente han desaparecido la mayoría, si bien las oportunistas perennes *Inula viscosa* y *Oryzopsis miliacea* han formado notables poblaciones en algunas zonas concretas donde las siembras no se desarrollaron.

Si se analizan los inventarios en base a las formas biológicas o vitales, se observa una estructura de la vegetación distinta entre 2016 y 2019. Cuatro años después de las siembras, los filtros ecológicos han modelado la composición vegetal en Aurora (Figura 2). Por ejemplo, se observa que los caméfitos han tomado más importancia en suelos con densidades aparentes superiores.

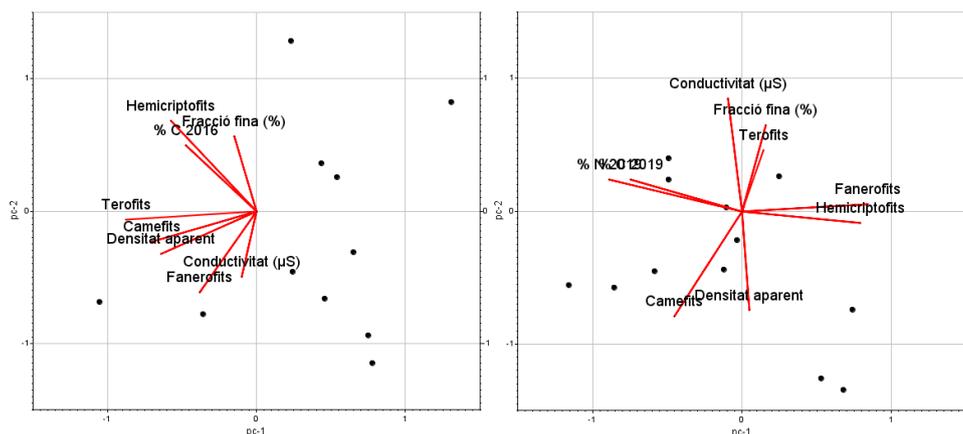


Figura 2. Ordenación (PCA) de los inventarios (puntos) y descriptores (vectores) correspondientes a las diferentes formas vitales y a parámetros de suelo (conductividad eléctrica, % tierra fina, densidad aparente, % C y % Nt) en 2016 (izquierda) y 2019 (derecha).

Las plantaciones realizadas en 2014 han presentado una supervivencia muy elevada (superior al 70%), excepto para *Juniperus oxycedrus* (40%), y se han observado reclutamiento de nuevos individuos a partir de semilla producida *in situ* de romero, pino y lentisco. También se ha observado fructificación en lentiscos y aladiernos. Esto garantiza la sostenibilidad de estas especies en la zona. En las plantaciones de 2015, la supervivencia es superior a 80 % para las especies de matorral. En cambio, en los márgenes de los canales la supervivencia ha sido mínima (*Prunus spinosa* 58%, *Crataegus*

*monogyna* 16 %, *Smilax aspera* 8% y la práctica desaparición de los individuos de *Populu sp*), aunque en orientaciones norte la mortalidad es inferior. Este pobre resultado se debe mayoritariamente a la inestabilidad de los márgenes de los canales y también a condiciones de aridez anómalas, principalmente durante el primer año.

Los hábitats conseguidos presentan las especies clave y básicamente se han mantenido a lo largo del tiempo con algunos cambios de densidades y colonización por espontáneas. Los hábitats relacionados con los cauces no se han establecido correctamente y posiblemente acaben desapareciendo si se mantienen las condiciones de inestabilidad.

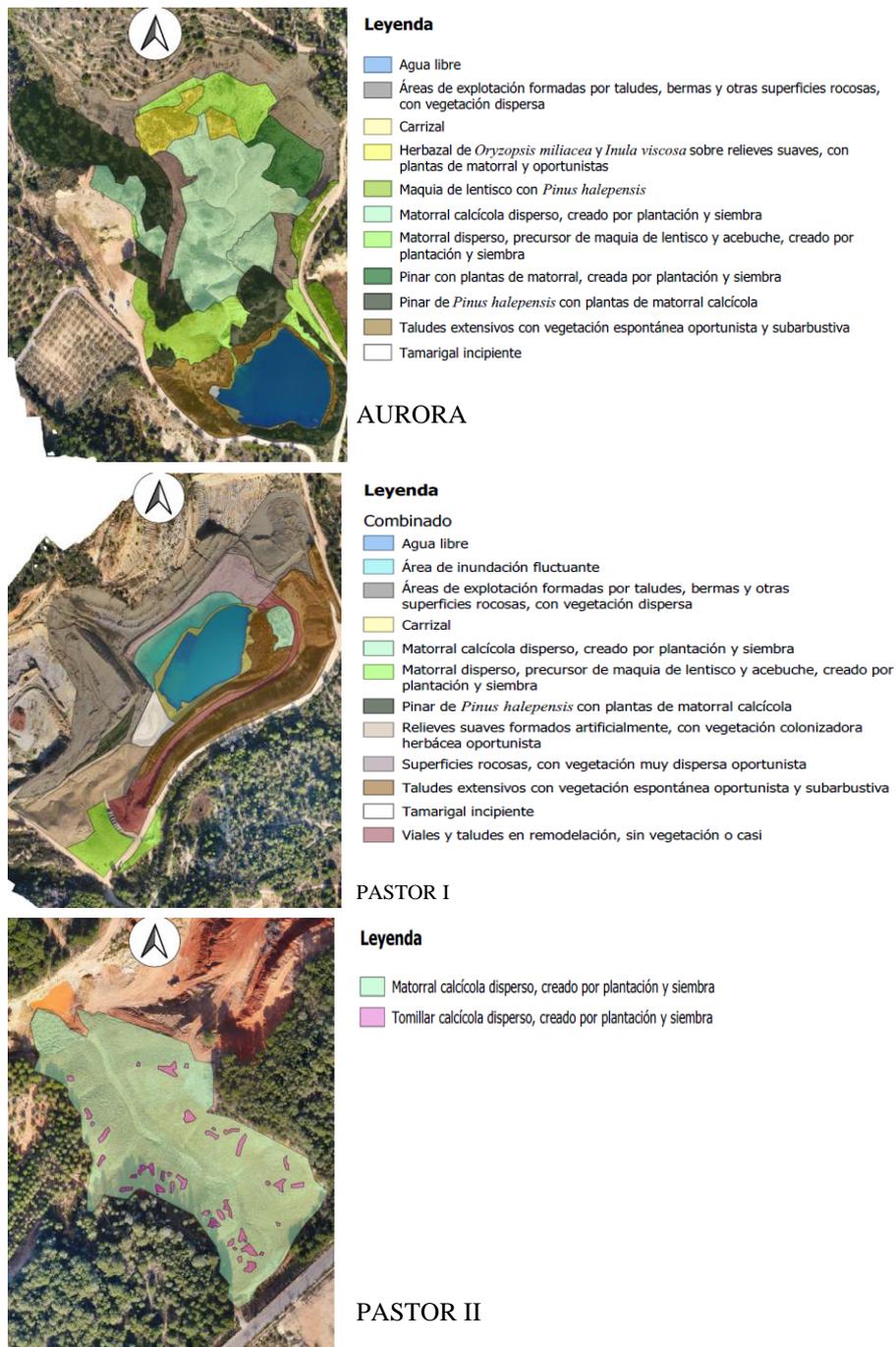


Figura 3. Hábitats en Aurora, Pastor I y Pastor II en 2019. Se incluyen tanto los creados con las intervenciones de revegetación, como los que se han establecido de forma espontánea (en el deliverable se presenta la cartografía a mayor escala).

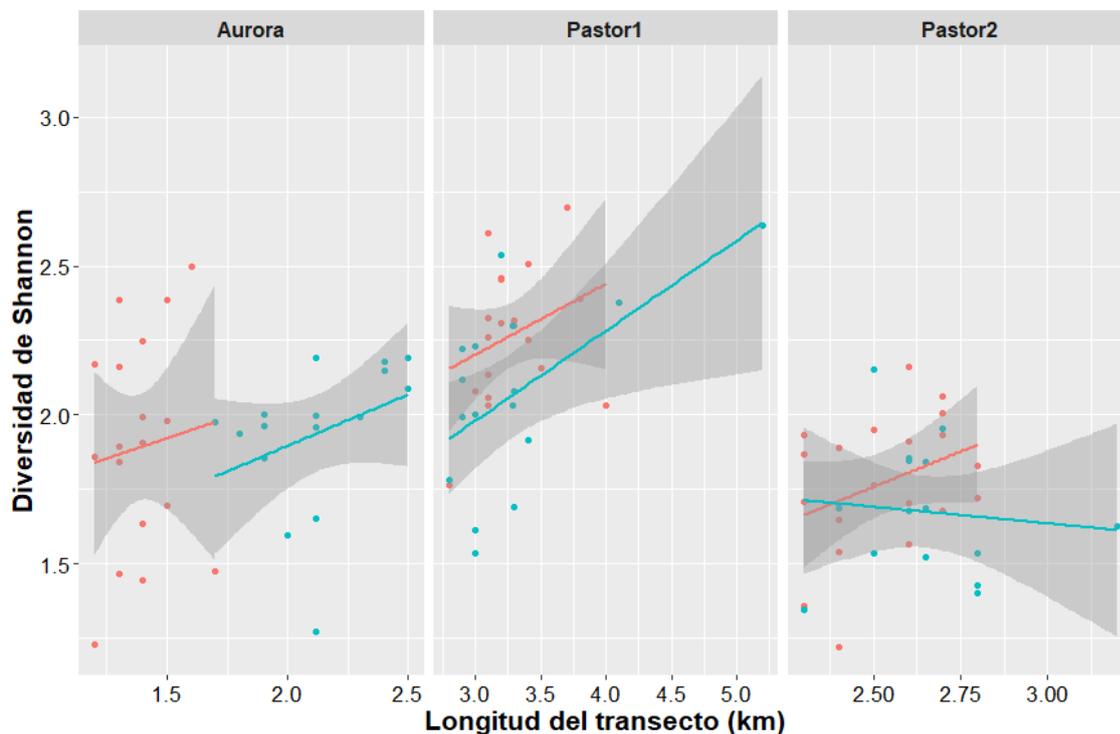
En Pastor I, la vegetación es mayoritariamente resultado de colonización espontánea, excepto en la zona periférica del hueco, donde se realizaron plantaciones. En la superficie tratada con GeoFluv la vegetación desarrollada es por ahora bastante rala y de desarrollo estacional. Está formada muy mayoritariamente por especies anuales, donde domina *Brachypodium distachyon*. Se prevé que algunas oportunistas vivaces, ahora simplemente presentes, tomen protagonismo en pocos años.

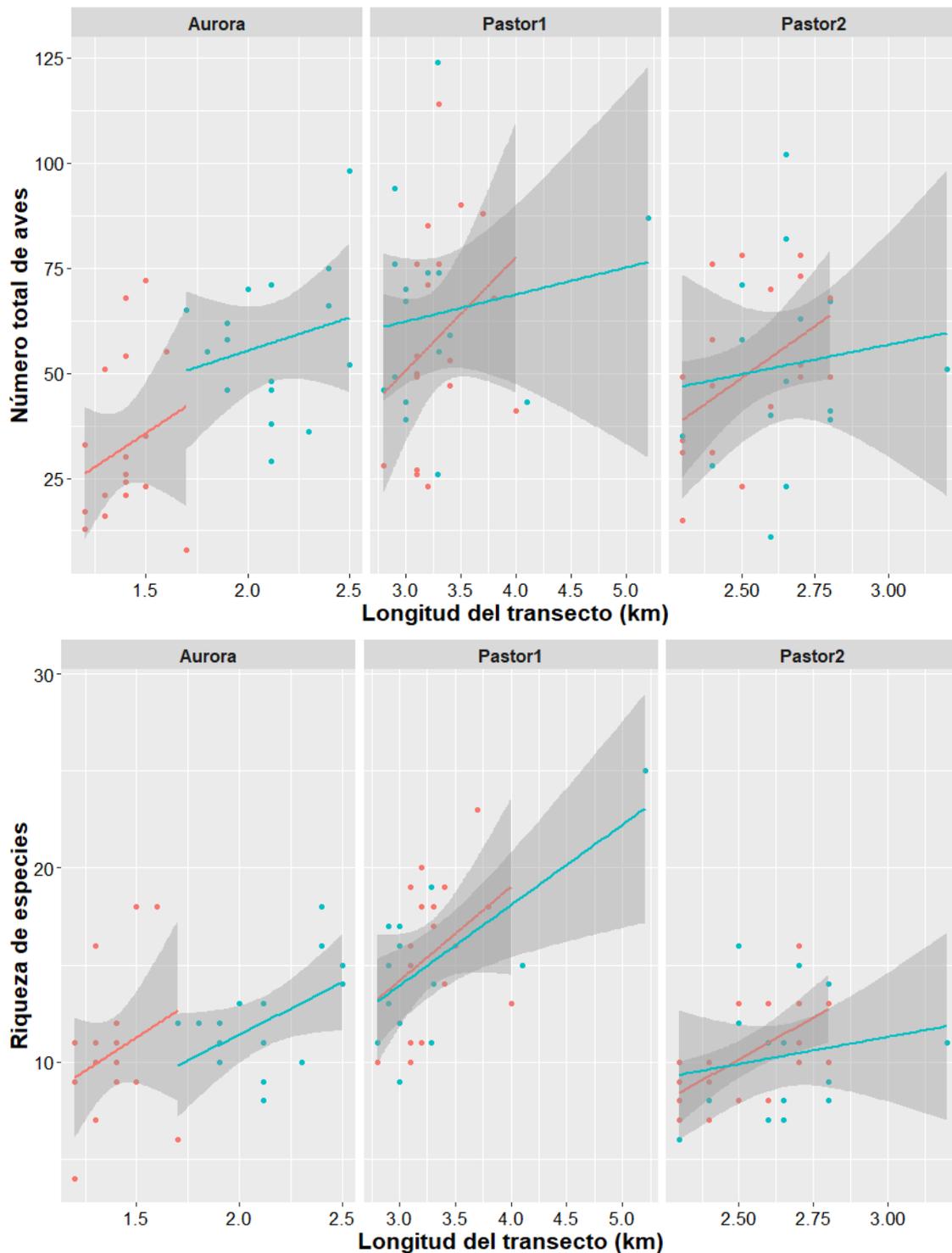
En Pastor II, la plantación acabó en enero del 2020. No se pudo realizar ninguna valoración post-plantación por el confinamiento del COVID, aunque se observó que la severa erosión generada por la tormenta Gloria, eliminó muchos plantones.

## D 5 Fomento de la diversidad de hábitats. (Entregable D5)

La comparación de los censos realizados en 2015 y 2019 (ver gráficos) muestra cambios aparentes en Aurora. Se observa cómo la abundancia de aves se ha incrementado en 2019 respecto a 2014. Aunque como se ve perfectamente en el gráfico, una parte de este aumento cabe atribuirlo a la mayor longitud de los censos en 2019 respecto a 2014, se observa que la recta que relaciona ambos parámetros en 2019 se encuentra desplazada hacia arriba respecto a la de 2014, indicando que una parte del cambio observado es independiente de la variación en el esfuerzo de muestreo. Este desplazamiento no se observa ni en Pastor I ni en Pastor II, y cabe atribuirlo a los cambios asociados a la restauración llevada a cabo en Aurora.

Cuando nos fijamos en la variación en la riqueza y diversidad de especies entre 2014 y 2019, observamos que en Pastor II no se aprecian cambios, ya que la zona ha permanecido en explotación. Aunque la actividad minera en Pastor II se ha incrementado en 2019 respecto a 2014, proporcionalmente la zona afectada es pequeña y no ha alterado sustancialmente la proporción de hábitats presentes, de modo que, igual que ocurría con la abundancia de especies, la riqueza y diversidad se han mantenido. En Aurora y, en menor medida en Pastor I, la diversidad y la riqueza de especies se han reducido ligeramente en 2019 respecto a 2014. Es probable que este efecto sea debido al hecho de que las actuaciones de restauración muy recientes en ambos casos y todavía en curso (especialmente en Pastor I), han afectado algunos hábitats naturales presentes en estas zonas, que todavía no se han recuperado, ocasionando un descenso en la presencia o abundancia de algunas especies, afectando a la riqueza y reduciendo la diversidad.





En relación a las especies de aves que se consideraron de interés al inicio del proyecto (ver introducción), cabe decir que se ha preservado el hábitat de caza del águila perdicera (*Aquila fasciata*), el búho real (*Bubo bubo*), de modo que ambas especies siguen frecuentando la zona para cazar, alimentarse o descansar, pudiéndose afirmar que se ha cumplido el objetivo deseado. Así mismo, se han preservado los taludes de nidificación del abejaruco (*Merops apiaster*) en Pastor 1 de modo que, junto a la Curruca cabecinegra (*Sylvia melanocephala*), otra de las especies focales de este proyecto, figura entre las 10 especies más abundantes en las explotaciones restauradas. A pesar de la pequeña superficie ocupada, también se ha detectado la presencia de la perdiz roja (*Alectoris rufa*) que se espera que, a medida que se consolide la restauración pueda establecerse como nidificante regular.

Finalmente, cabe destacar que la estrategia de mínima intervención en Pastor I ha permitido que, al menos en algunos años, se haya establecido la collalba negra (*Oenanthle leucura*). El mapa adjunto muestra las zonas utilizadas por la collalba negra, que han sido preservadas en su totalidad durante el proceso de restauración, modificando el plan inicial para conseguir no alterar estos hábitats.



Así mismo, las poblaciones de aves acuáticas se han mantenido y potenciado en algun caso, merced al matenimiento y restauración de las bandas de vegetación helofítica en Pastor 1, que se espera que evolucione en los próximos años y permita la consolidación de las poblaciones de polla de agua (*Gallinula chloropus*) y ánade real (*Anas platyrrhynchos*). Es Pastor 1, se modificó el proyecto de restauración inicial con objeto de mantener la charca en su estado inicial, ya que de otro modo hubiera desaparecido el zampullín chico (*Tachybaptus ruficollis*), cuya presencia ha posido ser mantenida.

## Acción D6. Evaluación de los servicios ecosistémicos y del impacto socio-económico del proyecto. (Entregable D6)

La Acción D.6. *Evaluación de los servicios ecosistémicos y del impacto socio-económico del proyecto*, incluía dos **objetivos** fundamentales: (a) evaluar la eficacia de la desviación parcial del cauce del barranco de Rocacorba hacia el hueco de Pastor I en la zona en la que previamente causaba inundaciones (cruce con la carretera C-42); y (b) evaluar la eficiencia económica del nuevo modelo geomorfológico en relación con una restauración convencional.

Respecto al primer objetivo, es preciso recordar que el paso del barranco de l'Espluga por debajo de la carretera C-42 constituía un punto crítico, en cuanto a la capacidad de desagüe de la escorrentía de este entorno ante eventos extremos, constatado por episodios de inundaciones en este lugar. Con este motivo, distintas administraciones llegaron al acuerdo de derivar parcialmente los caudales de esta cuenca hacia el hueco de explotación Pastor I. Estas actuaciones se incluyeron en el marco del proyecto LIFE Ecorestclay. En este tramo, el barranco circula encauzado en una sección trapezoidal construida en escollera, tanto en los taludes como en el fondo. En el mencionado punto, la sección limitante no es el paso bajo la C-42 propiamente dicho, sino el paso bajo un ramal, que corresponde a una vía de servicio que existe inmediatamente aguas abajo, dado que origina una menor sección (Figuras D.6.1 y D.6.2).

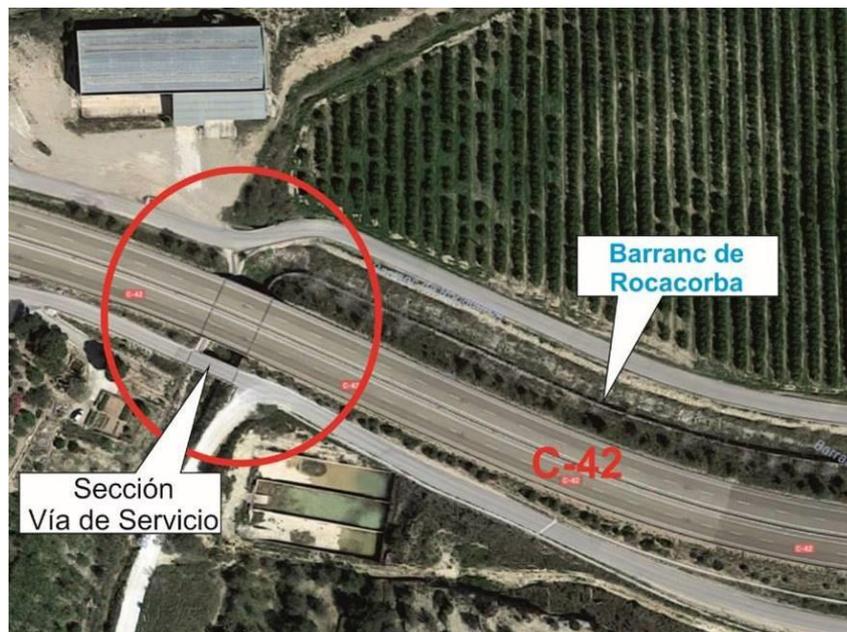


Figura D.6.1. Cruce del barranco de l'Espluga con la C-42.



Figura D.6.2. Sección limitante de desagüe, formada por la vía de servicio junto a C-42.

En el informe ya referido de Bladé et al. (2017), que constituye un entregable (adicional) de este proyecto, se estimó que el caudal punta para el periodo de retorno de 500 años, en este punto, es de 108,2 m<sup>3</sup>/s. Este caudal pasaría por la sección existente aguas debajo de la vía de servicio, si bien, habida cuenta de la referida ocurrencia de inundaciones en este punto, y del compromiso adquirido entre las distintas administraciones, la decisión final fue de diseñar una derivación para desviar hacia Pastor I un caudal máximo entorno a los 10 m<sup>3</sup>/s para el caudal de T 500 años, con una derivación que comenzara a funcionar para un caudal comprendido de entre el periodo de retorno de 50 años y el de 100 años. Se consideró que con ese caudal derivado era suficiente para solucionar el problema.

En este contexto, es extraordinariamente interesante destacar que tanto la obra de derivación desde el barranco de Rocacorba (afluente del barranco de l'Espluga) como la bajante de escollera, quedaron finalizadas en diciembre de 2019, y que entre el 20 y el 21 de enero de 2020, una borrasca muy intensa (Gloria) afectó una buena parte de la península Ibérica, con especial incidencia y efectos devastadores en el litoral Mediterráneo, y muy especialmente en el entorno del Delta del Ebro. Las noticias asociadas a este fenómeno tuvieron, de hecho, una gran repercusión nacional, a través de los medios de comunicación. Por tanto, por tanto en la zona de influencia de ECORESTCLAY. Pues bien, esta tormenta permitió demostrar el adecuado diseño y construcción de la obra de derivación, en tanto: (a) el nivel alcanzado por el barranco de Rocacorba a su paso por la derivación no llegó a desbordar, pero quedó **a punto** (a escasos centímetros) de desbordar; (b) ese mismo caudal no causó daños aguas abajo. Todo ello quiere decir que, con caudales superiores, susceptibles de generar daño, el barranco derivaría parte de su caudal hacia Pastor I, impidiendo también la afección aguas abajo. Los entregables de esta acción son los registros pluviométricos asociados a la tormenta Gloria, mientras que los resultados son las propias inspecciones sobre el terreno inmediatamente después de la misma. Dado que la máxima precipitación de la tormenta Gloria ocurrió 21 de enero de 2020, con una precipitación de 137,2 mm/24 horas, y dado que el caudal asociado a esa precipitación se quedó en el mismo borde de desbordar, ha sido posible establecer este valor como precipitación umbral, a partir de la cual se producirá la derivación hacia el hueco de Pastor I.



*Figura D.6.3. Fotografías tomadas en la derivación del barranco de Rocacorba hacia el hueco de Pastor I, diseñada y ejecutada como resultado de ECORESTCLAY, inmediatamente después de la ocurrencia de la borrasca Gloria. En la imagen de la izquierda puede observarse cómo los limos que transportó el barranco Rocacorba quedaron en el mismo borde de la derivación (apenas unos centímetros por debajo del nivel de rebose), habiendo quedado a punto de desbordar hacia el hueco de Pastor I. En la imagen de la derecha, se muestra la derivación hacia Pastor I, sin limos. Ver texto para la explicación sobre la determinación del valor de precipitación umbral, que ha podido establecerse en el transcurso del proyecto.*

En cuanto a la comparación de la restauración del modelo de restauración tradicional con el sistema de conformación geomorfológica se observa que:

Si nos basamos en Aurora sí que existe una desviación de costes, en la que se incrementa este tipo de restauración frente a una restauración tradicional. Hay que tener en cuenta que el plan de explotación inicial de la actividad extractiva no incluía los conceptos de restauración actuales, y la evolución de los huecos mineros fue acorde con los planes de restauración iniciales no para los actuales. Por lo tanto, la transición de un sistema a otro ha resultado en un incremento de coste.

En la actualidad la solución tendría que estar en Pastor II donde hemos iniciado la explotación en la que podemos aplicar conceptos de restauración morfológica desde el inicio. En este caso nos podrá dar una visión más exacta de la comparación económica entre ambos sistemas de restauración.

Desde el punto de vista de Biodiversidad/Hábitats para especies.

Los cálculos corresponden a los hábitats obtenidos en las zonas donde se ha realizado alguna intervención dentro del proyecto, aunque también se ha considerado la laguna Cervera por su importancia ecológica del conjunto.

Para la estimación se ha calculado la riqueza de especies actual (tabla 1).

En el caso de plantas la riqueza de especies depende de la estructura del paisaje (mucho más compleja). A escala local cuando hay más hábitats se interpreta que hay más especies y esto se puede observar entre Aurora y Pastor II. Además, la diversidad vegetal está condicionada aún por las intervenciones de revegetación realizadas.

En el caso de las aves, la riqueza depende de una escala de paisaje mayor y las diferencias entre explotaciones son menores. La riqueza de aves ha variado entre 2014 y 2019, cambiando la composición y la abundancia de algunas especies. En los censos de 2019, se observaron 27 especies catalogadas según la normativa de Cataluña.

En las parcelas con adición de hojarasca en el hueco Aurora, tras un año del inicio de la experiencia (de primavera de 2018 a primavera de 2019), se observa un incremento del 270% en la abundancia y de un 111% en la riqueza de grupos de mesofauna edáfica con respecto a las zonas donde no se ha añadido material orgánico en superficie.

	Plantas	Aves
<b>Aurora</b>	42	50
<b>Pastor I</b>	37	62
<b>Pastor II</b>	4 <sup>(1)</sup>	44

Tabla 1. Riqueza especies de plantas y aves en las diferentes explotaciones. Valores de 2019.

<sup>(1)</sup>No se han podido realizar inventarios en 2020 debido a la pandemia y solo se han contabilizado las especies plantadas.

En cuanto a la Fijación de carbono.

El cálculo se ha realizado únicamente en Aurora donde se dispone de registros completos de vegetación y substrato recientes. La estimación se ha obtenido según los datos de 2019, cuando se realizó el último muestreo (una antigüedad de 4 años). Según nuestras estimaciones (tabla 2), con las acciones de revegetación del proyecto la fijación de carbono en las zonas con matorral bajo está alrededor de 2 t/ha (1,48 en el estrato subarborescente y 0,56 en la vegetación leñosa). En el matorral de lentisco y romero se han fijado 1,36 t/ha. En cambio, en las zonas con pinar la estimación asciende aproximadamente a 2 t/ha (corresponde a las plantaciones realizadas en 2014). Se trata de una restauración joven donde el proceso de revegetación se ha ralentizado para mantener el máximo tiempo posible un hábitat con vegetación discontinua dentro de la matriz forestal del entorno. Los valores de fijación de carbono, por tanto, son reducidos.

Hábitat	Vegetación herbácea – subarbusciva (t/Cha)	Vegetación leñosa (t C/ha)	Carbono total (tC/ha)
<b>Pinar de pino carrasco con matorral mediterráneo de lentisco y acebuche</b>	--	1,99	1,99
<b>Matorral mediterráneo de lentisco y romero</b>	0,60	0,76	1,36
<b>Matorral bajo</b>	1,48	0,56	2,04

Tabla 2. Fijación de carbono en los diferentes tipos de vegetación (estimación realizada en 2019).

En el suelo, el carbono retenido es de 1,4 t/ha y el incremento desde la reposición ha sido mínimo. Una gran proporción del carbono presente está en formas estables, lo que permite suponer que su retención en el suelo será más o menos permanente.

Por último en lo relativo a Educación ambiental/Identidad cultural/Disfrute estético

La zona, en su conjunto, ha resultado ser un espacio diverso que ofrece grandes posibilidades para la educación ambiental y el ecoturismo. Relativo al primer aspecto, se han realizado jornadas de medio ambiente, algunas vinculadas a la actividad escolar local, y la última relativa al Día mundial de los humedales (2/02/2020). Las explotaciones restauradas son visitadas de forma más difusa, a través de distintos caminos, muy frecuentados por ciclistas).

La existencia de lagunas, por su singularidad en un entorno mediterráneo seco, aporta al conjunto un valor paisajístico añadido, además de los beneficios ecológicos vinculados.

## 5.2 Acciones de Divulgación

### 5.2.1 Objetivos

Se pretende dar la máxima difusión al trabajo realizado así como a la metodología aplicada, poniendo el énfasis en el carácter innovador del mismo y en su replicabilidad a explotaciones mineras de materiales arcillosos dentro del ámbito de la zona de climas mediterráneos, caracterizados por extensos periodos de aridez alternantes con breves pero violentos episodios de precipitación.

### 5.2.2 Divulgación: visión general por actividad

#### **Publicaciones en revistas especializadas y Presentación en Congresos (con publicación asociada)**

Los objetivos iniciales fueron la realización de **tres** artículos en revistas científicas, y presentar los resultados en **dos** congresos nacionales y **uno** internacional. Los resultados finales han variado algo respecto a esa previsión, si bien en global la han superado con creces. Sólo se ha podido enviar a publicación un artículo científico en una revista internacional, pero ello ha quedado compensado por su divulgación en tres revistas técnicas (una internacional y dos nacionales) y en cinco congresos internacionales –frente a uno previsto-. Y como tres de esos congresos internacionales tienen una publicación asociada, detallada, como capítulo de libro, compensan claramente la limitación de los *papers*. Y el resultado es una producción en publicaciones y congresos muy superior a la prevista. Los dos congresos nacionales se han ajustado a lo previsto.

Detallando lo recién esbozado, los contenidos de LIFE Ecorestclay han sido objeto de las siguientes publicaciones (se adjunta pdf en Anexo)

- a. **Un** artículo científico en la revista más emblemática y prestigiosa, a nivel internacional, sobre restauración minera, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* (Martín Duque et al., 2020a).
- b. **Tres** artículos en revistas técnicas, **una** internacional (*International Cement Review*; Gómez, 2017) y **dos** nacionales (RETEMA; Gómez, 2016; *Hormigón y Cemento*; Martín Duque et al., 2020b)
- c. **Cinco** comunicaciones en congresos internacionales, tres de ellos específicos sobre restauración minera, tres de ellos con publicación completa asociada (Martín Duque y Bugosh, 2014; Bugosh et al., 2016; Martín-Moreno et al., 2018a), y dos con publicación en formato *Abstract* (Martín Duque et al., 2015; Nicolau et al., 2018).
- d. **Dos** comunicaciones en congresos nacionales (Jorba et al., 2016; Martín Moreno et al., 2018b).

Bugosh, N., Martín Duque, J.F., Eckels, R., 2016. The GeoFluv method for mining reclamation. Why and how it is applicable to closure plans in Chile. In: Wiertz, J., Priscu, D. (Eds.), *Planning for Closure. First International Congress on Planning for Closure of Mining Operations*. Gecamin, Santiago de Chile, November 20-22, 2016, pp. 1–8.

Gómez Díaz, J.M. 2016. Campredó, un cambio de paradigma en la restauración de canteras. RETEMA. Julio – Agosto 2016: 50-56.

Gómez Díaz, J.M. 2017. The Restoration Revolution. *International Cement Review*, September 2017: 33-35

Jorba, M., Mateos, E., Mañosa, S., Ninot, J.M., Martín, J.F., Nyssen, S., Tejedor, M., Nicolau, J.M., Fibla, R., Gómez, J.M., Iniesta, F. 2016. Los nuevos planteamientos en la restauración de espacios mineros. XI Congreso Internacional Bioingeniería del Paisaje, European Federation of Soil and Water Bioengineering / Asociación Española de Ingeniería del Paisaje, 10-12 de Noviembre 10-12, 2016, Donostia, pp. 1-10.

Martín Duque, J.F., Bugosh, N., 2014. Examples of Geomorphic reclamation on mined lands in Spain. From pioneering cases to the use of the GeoFluv method. In: 2014 OSM National Technical Forum: Advances in Geomorphic Reclamation at Coal Mines, Albuquerque, New Mexico, May 20-22, Office of Surface Mining, Reclamation and Reinforcement (OSM). Department of Interior, United States.

- Martín Duque, J.F., Bugosh, N., de Francisco, C., Hernando, N., Martín, C., Nicolau, J.M., Nyssen, S., Tejedor, M., Zapico, I. 2015. Examples of geomorphic reclamation on mined lands in Spain by using the GeoFluv method. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-2895, 2015, EGU General Assembly.
- Martín Duque, J.F., Tejedor, M., Martín Moreno, C., Nicolau, J.M., Sánchez Donoso, R., Sanz Santos, M.A., Gómez Díaz, J.M. 2020a. Geomorphic landscape design integrated with progressive mine restoration in clay quarries of Catalonia. *International Journal on Mining, Reclamation and Environment* (in press) (ISSN: 17480949, 17480930).
- Martín Duque, J.F., Tejedor Palomino, M., Martín Moreno, C., Nicolau Ibarra, J.M., Gómez Díaz, J.M., González Martín-Consuegra, F., García Ferreres, O., Roig Mateu, C. 2020b. Paisajes ‘naturales’ que emergen a medida que la explotación minera avanza. Restauración minera progresiva incorporando principios geomorfológicos. *Cemento y Hormigón*, 997: 56-65 (ISSN: 0008-8919).
- Martín Moreno, C., Tejedor, M., Martín J., Nicolau, J., Bladé, E., Nyssen, S., Lalaguna, M., de Lis, A., Cermeño-Martín, I., Gómez J.M. 2018a. Natural Drainage Basins as Fundamental Units for Mine Closure Planning: Aurora and Pastor I Quarries. In: Priscu, D. (Ed.), *Planning for Closure. Second International Congress on Planning for Closure of Mining Operations*. Gecamin, Santiago de Chile, November 7-9, 2018, pp. 1-9.
- Martín Moreno, C., Martín Duque, J.F., Nicolau, J.M., Bladé, E., Tejedor, M., Nyssen, S., Lalaguna, M., de Lis, A., Cermeño-Martín, I., Gómez Díaz, J.M. 2018b. Restauración geomorfológica de dos arcilleras en Campredó (Tortosa, Tarragona). Una solución a los efectos del Cambio Global. En: García, C., Gómez-Pujol, L., Morán-Tejeda, E., Batalla, R.J. (eds). *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del Cambio Global sobre los procesos geomorfológicos*. pp 367-370. Universitat Illes Balears, Sociedad Española de Geomorfología, Palma.
- Nicolau, J.M., Martín-Moreno, C., Martín Duque, J.F., Tejedor, M., Cermeño, I., Nyssen, S., Lalaguna, M. 2018. ECORESTCLAY LIFE+ Project: Geomorphic Restoration improves soil moisture availability for plants in Aurora-CEMEX CLAY Quarry (Tarragona, Spain). *Quarries Alive 2018. Book of Abstracts, Enhancing Biodiversity and Ecosystems Services in Quarries. Challenges, Strategies and Practise*, 2-4 May 2018, University of Évora, Portugal. pp. 54-55.

- El conocido y longevo programa de medio ambiente de TVE2, *El Escarabajo Verde*, en su programa titulado Tierra Herida, emitido el 20 de abril de 2018, recoge una breve explicación de las técnicas de Restauración Geomorfológica del proyecto LIFE ECORESTCLAY. Éstas, que aparecen en el programa a partir del minuto 24:34. Link al programa: <https://www.rtve.es/alacarta/videos/el-escarabajo-verde/escarabajo-verde-tierra-herida/4575747/>.

### **Presentaciones en Conferencias Congresos y Jornadas**

Los resultados de LIFE ECORESTCLAY han sido divulgados en:

- Varias conferencias, impartidas en distintos centros internacionales. No se adjunta pdf de las presentaciones, pero quedan a disposición de EASME si así lo requiriese.
- Geomorphic restoration of landscapes degraded by human earth moving: Rebuilding ‘natural landscapes’ at mined sites. *Creating Value Through Closure – Progression beyond compliance*. Universidad de Lulea (Suecia). 24 de Septiembre de 2019
- Geomorphic mine rehabilitation: ‘Natural’ drainage basins as fundamental planning unit. *Mined Land Rehabilitation Conference 2018*. Universidad de Newcastle (Australia). 12 Abril 2018
- Sustainable Mining through Geomorphic Rehabilitation. *Examples from the European Union and South America*. Sustainable Minerals Institute Seminar Series. Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland (Australia). 7 de diciembre de 2017
- Sustainable Mining through Geomorphic Rehabilitation *Examples from the European Union and South America*. Post Graduate Research Seminar. Global Centre for Environmental Remediation (GCER), University of Newcastle (Australia). 24 de noviembre de 2017
- Sustainable Mining and Geomorphic Reclamation at the edge of a Natural Park in Spain. *Mine Rehabilitation and Planning Seminar*. AusIMM, The Minerals Institute (Australia). 11 de octubre de 2017
- Geomorphic Reclamation of Mined Sites. *GeoEnviron Seminar at the Center for Applied Geoscience*. University of Tübingen (Alemania). 23 Junio 2017
- Restauración geomorfológica – una solución eficiente para una verdadera restauración ecológica de espacios transformados por minería en Colombia. *III Congreso de Restauración Ecológica de Colombia: Un compromiso de país*. 19 a 21 de octubre de 2016

- Geomorphic reclamation of landscapes degraded by human earth moving. Rebuilding ‘natural’ landforms at mined sites. Seminarios en Ciencias de la Tierra, Universidad Ben Gurion del Negev. Beer Sheva (Israel). 11 noviembre 2016
- La aplicación de un enfoque ecológico para la planificación de cierres de pasivos mineros. Seminarios sobre Medio Ambiente. Facultad de Agronomía y e Ingeniería Forestal, de la Pontificia Universidad Católica de Chile. 27 de noviembre de 2014
- M. JORBA, S. MAÑOSA, E, MATEOS & J. NINOT. 2016. Los nuevos planteamientos en la restauración de espacios mineros. IX Congreso Internacional de Bioingeniería del Paisaje. Donostia. Comunicación 9-11 Noviembre 2016.
- M. JORBA. 2017. Restoration of mining areas. Alternatives and guidelines to deal with the different cases that occur during the exploitation of mining resources. VII Conference on Ecological Restoration. Foz de Iguazu. Brasil. Curso. 29 agosto 2017.
- M. JORBA & J.M. NINOT. 2018. Clay quarries restoration: a holistic framework. Quarries Alive. 'Enhancing Biodiversity and Ecosystems Services in Quarries - Challenges, Strategies and Practice. Évora. Portugal. 2-4 mayo 2018.
- M. JORBA, S. MAÑOSA, E, MATEOS & J. NINOT. 2016. Los nuevos planteamientos en la restauración de espacios mineros. IX Congreso Internacional de Bioingeniería del Paisaje. Donostia. Comunicación 9-11 Noviembre 2016.
- M. JORBA. 2017. Restoration of mining areas. Alternatives and guidelines to deal with the different cases that occur during the exploitation of mining resources. VII Conference on Ecological Restoration. Foz de Iguazu. Brasil. Curso. 29 agosto 2017.
- M. JORBA & J.M. NINOT. 2018. Clay quarries restoration: a holistic framework. Quarries Alive. 'Enhancing Biodiversity and Ecosystems Services in Quarries - Challenges, Strategies and Practice. Évora. Portugal. 2-4 mayo 2018.

- **Cuatro** cursos o workshop internacionales y **trece** cursos o jornadas técnicas nacionales sobre restauraciones mineras (ver listado). No se adjunta pdf de las presentaciones, pero queda a disposición de EASME si así lo requiriese.

- Curso Internacional de la Universidad Complutense *Landform Design and Modelling for Best Practise in Mine Rehabilitation*. September 18-21, 2018.
- Landform Design and Modelling for Mine Rehabilitation and Closure Workshop, 2 September 2019, Perth, Western Australia
- X Conference AEIP APENA EFIB, ECOMED, Soil and Water Bioengineering in the Mediterranean Ecoregion, Universidad Politécnica de Madrid. 21 al 23 de Noviembre de 2018.
- Curso “Restauración Ecológica en Minería” en el IX Congreso Colombiano de Botánica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. 28-30 de julio de 2017.
- II Jornadas Morella / Teruel de Minería Sostenible. Teruel, 31 de mayo – 1 de junio, 2019.
- Curso avanzado sobre Calidad y Evaluación Ambiental. Junta de Comunidades de Castilla – La Mancha. 4 a 8 de noviembre de 2019
- Curso Nuevas Tecnologías Aplicadas en la Restauración de Explotaciones Mineras. ETSI de Montes, UPM y proyecto LIFE TECMINE, 8, 9 y 10 de julio de 2019.
- Encuentro de Pueblos y Ciudades por la Sostenibilidad. CONAMA local. Toledo, 2-4 abril 2019
- Foro internacional “El Futuro de los Municipios Mineros”. Junta de Castilla y León, Bembibre (León), 19 y 20 de noviembre de 2018.
- Jornada Técnica sobre Mejores Prácticas en Restauraciones Mineras. Organizada por la Generalitat Valenciana, 10 de marzo de 2017.
- II Foro Internacional de Restauración Ecológica CREANDO REDES, Madrid, Casa Encendida, del 17 al 18 de diciembre de 2015.
- Jornada sobre Restauración de Paisajes y Espacios Degradados. Museo de la Evolución Humana, Burgos, 28 de octubre de 2016.
- Curso de Introducción a la Restauración Ecológica, Ferrovial. San Lorenzo del Escorial, Madrid. 24 de marzo de 2015.
- Jornada técnica del proyecto LIFE Renaix el Bosc. Restauración Ecológica de Hábitats Degradados. Morella, Castellón. 17-18 de septiembre de 2015.
- Seminario “Restauración de hábitats de alta montaña”. Life Econnect - Alto Campoo. Palencia. 25 y 26 de septiembre de 2014.

- Naturalización de zonas mineras degradadas. Máster Internacional en Planificación integrada para el desarrollo rural y la gestión del medio ambiente: Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza. 17 de enero de 2017.
- Restauración geomorfológica de terrenos afectados por actividad minera. Seminario universitario teórico-práctico aplicado. 26 de noviembre de 2018. Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid.

- **Tres** asignaturas (Procesos Geomorfológicos y Restauración del Medio Físico, Restauración de Espacios Degradados por Actividades Extractivas, y Restauración Geomorfológica), de **dos** Máster Universitarios (Restauración de Ecosistemas y Geología Ambiental), durante **seis** cursos académicos (2014-2015 a 2020-2021). Y **una** asignatura (Restauración de Ecosistemas) del Grado en Ciencias Ambientales de la Universidad de Zaragoza, también durante **seis** cursos académicos (2014-2015 a 2020-2021)
- **Dos** cursos de verano. Restauración Ecológica de Espacios Degradados por la Minería. Curso de Verano de la Universidad de León. Pobladoras de Regueras, León. Julio de 2014 y de 2015.
- **Dos** cursos de docencia oficial. Restauración de taludes y canteras. Máster de Ecología, Gestión y Restauración del Medio Natural. Universidad de Barcelona. 2013-2020.  
Y Restauración de espacios mineros y otros espacios degradados. Gestión de la biodiversidad. Curso de post-grado. 2015. Universidad de Barcelona

### Visitas científico-técnicas

- Alumnos del Máster de Ecología, Gestión y Restauración del Mundo Natural. 2015-2019.
- Visita del Dr. R. Josa (UPC). Marzo 2020.
- Visita de técnicos de la Societat Catalana d'Herpetologia. Febrero 2020.

### Trabajos de Final de Grado y Trabajos de Final de Máster vinculados

- Estudi de l'efecte del compost en dues barreges de sembra per la restauració de l'explotació d'argiles "Aurora" (Campredó). 2014.
- Caracterización Física, Química y de la Actividad Biológica de Suelos Forestales Previa a su Decapado en Actividades Extractivas: Propuesta de Gestión de los Materiales Edáficos. 2015.
- Análisis ambiental de las primeras etapas de una zona en fase de restauración (Campredó, Tortosa. 2015.
- Estudi del potencial biòtic dels sòls naturals afectats per l'activitat extractiva a Campredó (Tortosa, Tarragona) i propostes de gestió pel seu aprofitament. 2015.
- Estudio de la vegetación en las primeras fases de restauración de una cantera de arcilla. 2016.
- Evaluación la calidad biológica del suelo en áreas mineras restauradas mediante indicadores basados en la fauna edáfica. 2017.
- La restauració de la pedrera aurora com un recurs pedagògic a l'escola i d'educació ambiental a la població de Campredó. 2019.
- Avaluació a mig termini de tractaments de restauració en la pedrera Aurora i Pastor I (Baix Ebre). Efectes en la vegetació i el sòl. 2019.

### Nivel divulgativo:

- Comunicaciones en cada entidad. Noticia el día de la presentación a la Comunidad en la Web de la Universidad de Barcelona. 28/10/2015
- Participación en el diseño del díptico explicativo. 2014.
- Participación en el diseño de carteles del proyecto. Colocación en el vestíbulo central de la Facultad de Biología, puerta de acceso a BEECA, despachos investigadores (2013-2020).
- Presentación a la Comunidad (Campredó). 27/05/2015.
- Carteles en la zona. Diseño y contenidos. Febrero 2020.
- Visitas guiadas. Escola Agrària d'Amposta. TOC-TOC. 2017.
- Jornadas. Día Mundial del Medio Ambiente. Campredó. 7-8 junio 2019.
- Jornadas. Día Mundial de los humedales. Campredó. 2 febrero 2020.
- Día del árbol. Escola Port-Redó. Campredó. 2018.
- Día del árbol. Escola Port-Redó. Campredó. 2019.
-

### 5.3 Evaluación de la Implementación del Proyecto

Los procesos de diseño y ejecución de restauraciones geomorfológicas no han tenido incidencia alguna, habiéndose desarrollado con un éxito demostrable. Las alternativas de reconstrucción geomorfológica se han mostrado eficientes desde un punto de vista económico.

Los fallos metodológicos más significativos se refieren a la instalación de pocillos tranquilizadores y botes tomamuestras, para medir los sólidos en suspensión. El motivo es que, en la propuesta del proyecto, se estimaba que la mayoría del sedimento se transportaba y movilizaba, pero en el desarrollo del proyecto se ha constatado que, en cambio, se movilizaba, sobre todo, como “carga de fondo”. La medición de carga de fondo en cauces fluviales requiere del uso de equipamientos verdaderamente complejos, como muestreadores tipo Reid. Por este motivo, el cambio metodológico del proyecto consistió en pasar de medir los sedimentos “de salida” a los erosionados. El resultado es muy parecido, pues si bien parte del material erosionado queda almacenado en la base de las laderas, o en el fondo de cauces, para cuencas tan pequeñas, ese porcentaje es despreciable. Tampoco se pudieron medir caudales, pues la UCM no asumió la compra de equipamientos necesarios. La Comisión fue informada de todo ello, y lo aceptó. En su lugar, se pasó a medir la humedad del suelo, con equipamientos propios. La medición de humedad del suelo en relieves de tipo GeoFluv ha sido pionera, en este proyecto, a nivel internacional.

Respecto a la Geomorfología, los resultados son inmediatamente visibles, pues existen tres magníficos ejemplos de restauración geomorfológica. La recuperación de los hábitats (vegetación y fauna asociados) serán evidentes tras un cierto periodo de tiempo.

Desde un punto de vista geomorfológico e hidrológico, la principal mejora ha sido la adaptación ocurrida en el diseño y restauración de Pastor I. Tras la constatación de la aparición de la collalba negra en sus antiguos frentes de explotación, el retrolleado y remodelado de la totalidad del hueco, tal y como estaba previsto, se hacía imposible. En ese escenario, se preveía conectar, directamente, el barranco de Rocacorba a los relieves de tipo GeoFluv. Pero ante esa situación, se desarrolló una solución muy imaginativa e innovadora, consistente en diseñar y construir una obra hidráulica de derivación y bajante, conectada a unos relieves GeoFluv que solo ocuparan el sur de la explotación Pastor I, a una cota inferior a la inicialmente prevista. El resultado ha sido, a todas luces, extraordinario e innovador, constituyendo un ejemplo único a nivel internacional.

Las acciones de divulgación del proyecto han sido extraordinariamente amplias, y muy superiores a las inicialmente previstas. Éstas han consistido en:

- **En el ámbito local:** Informar y mostrar los trabajos a la comunidad circundante con, conferencias en las instituciones locales, participación en jornadas en campo con vecinos de la zona donde se muestran y se explican los trabajos. Siendo acompañados con la presencia de medios de comunicación locales.
- **En el ámbito educativo:** Mostrar los trabajos realizados a estudiantes con visitas de instituciones educativas in situ, como escuelas de formación profesionales próximas o universidades como la UCM, UB. También se promocionan eventos con estudiantes más jóvenes como el día del árbol.
- **En el ámbito científico, técnico:** Promover en foros especializados los trabajos realizados mediante artículos en publicaciones especializadas y conferencias realizadas por los socios del proyecto.
- **Publicaciones, presentaciones en Congresos y Jornadas (de carácter científico y técnico), formación universitaria y visitas científico-técnicas.** Sobre este bloque, los resultados concretos han sido: (a) un artículo científico en una prestigiosa revista científica internacional; (b) tres artículos en revistas técnicas (una internacional y dos nacionales); (c) cinco comunicaciones en congresos internacionales (tres con publicación completa asociada, y dos

con abstracts); (d) dos comunicaciones en congresos nacionales; (e) nueve conferencias internacionales; (f) cuatro cursos o workshop internacionales; (g) trece Jornadas Técnicas Nacionales; (h) desarrollo de contenidos en cuatro asignaturas, dos de Máster Universitarios y una de Grado, durante seis cursos académicos (2014-2015 a 2020-2021), incluyendo tres visitas científico –técnicas de máster (Geología Ambiental, UCM), y dos cursos universitarios de verano.

Indicadores adicionales de la efectividad de la divulgación del proceso han sido el elevado número de premios y distinciones recibidos. Así, las restauraciones ecológicas con base geomorfológica del proyecto LIFE Ecorestclay han sido objeto de importantes reconocimientos.

- 1) Obtuvieron en el año 2018 el primer premio de Buenas Prácticas Operacionales e Iniciativas – Mejores Técnicas Disponibles, y fue seleccionada para los Premios Europeos UEPG 2019, en el marco de los X Premios Nacionales FdA de Desarrollo Sostenible en canteras y graveras. Más información - <https://www.aridos.org/fallados-los-x-premios-nacionales-fda-de-desarrollo-sostenible-en-canteras-y-graveras/>
- 2) Fueron distinguidas en los Premios Europeos de Desarrollo Sostenible 2019, convocados por la UEPG -la Asociación que reúne a los principales fabricantes de áridos de la Unión Europea- con la Mención Especial a la Mejor Práctica en Innovación.
- 3) Por diversos trabajos de restauración geomorfológica en minería, incluyendo los de LIFE Ecorestclay, los componentes del socio UCM recibieron, en el año 2016, el II Premio de Transferencia de Tecnología y Conocimiento de la UCM, en la modalidad de Ciencias Experimentales e Ingenierías. Este galardón fue sido concedido, específicamente, por “ofrecer soluciones de restauración geomorfológica al sector minero”. <https://www.ucm.es/otri-cc-premio-transferencia-tecnologia>
- 4) El proyecto Ecorestclay ha sido reconocido como ejemplo de buenas prácticas en Restauración Ecológica en Minería por la Fundación Biodiversidad (Mola, I., Sopeña, A. y Torre, R. (eds.), 2018. Guía Práctica de Restauración Ecológica, Fundación Biodiversidad, Madrid).

## 5.4 Análisis de beneficios a largo plazo

### Beneficios Medio Ambientales:

Respecto a los contenidos hidrológicos geomorfológicos, los beneficios a largo plazo entendemos consisten en:

- Una eliminación de los efectos de inundaciones en el entorno del cruce del barranco de L'Espluga con la carretera C-42
- La recuperación de Paisajes y Ecosistemas resilientes, estables, y biodiversos, en las zonas de actuación, eliminando o reduciendo costes de mantenimiento.
- Reducción de los costes de Restauración en Pastor II, al integrarse éstos en la propia explotación, mediante un proceso de explotación – Restauración progresiva, de base geomorfológica.

Desde el punto de vista de la gestión de suelos, la experiencia con translocación de hojarasca ha sido novedosa y abre posibilidades a la mejora del uso de este recurso natural. La conservación de los componentes bióticos de los suelos repuestos puede mantener las relaciones tróficas y las dinámicas de los suelos naturales, acelerando el proceso de restauración de un espacio minero donde el momento post-extracción genera condiciones inertes que bloquean la actividad edáfica. Esta técnica puede representar un hito en este aspecto.

En el caso de hábitats, se han creado ambientes subdesérticos y rupícolas, para los que debe existir una gestión posterior para mantenerlos. Si los procesos degradativos no son determinantes en la evolución del sistema creado (erosión, plagas, invasiones de exóticas, incendios...), la sucesión natural avanzará hacia mayor complejidad y estructuración del ecosistema y determinará a lo largo del tiempo en la mayoría de huecos mineros una reducción progresiva de algunos de los hábitats creados. Los mismos filtros ecológicos han modelado en Aurora (restauración más antigua) ya la composición inicial obtenida mediante siembras y plantaciones. Esto pone de manifiesto la complejidad en la creación de nuevos ecosistemas con todos los componentes que lo constituyen y de su mantenimiento y/o progreso adecuado en el tiempo.

Es importante decir que para poder evaluar este posible impacto debería existir un periodo de evaluación más prolongado. Sin embargo y considerando únicamente los resultados obtenidos, se puede pensar que tanto los aspectos desarrollados en suelos como las acciones para la creación de hábitats minoritarios podrían favorecer planteamientos ecológicamente más efectivos que incluso permitan establecer certificados de calidad medioambiental, restauración y biodiversidad por la Administración para empresas mineras innovadoras que les ayudase a conseguir nuevas licencias de explotación o reducciones en las garantías financieras. Durante la preparación de una nueva normativa minera catalana donde la UB participó, se ya contempló esta posibilidad

El LIFE ECORESTCLAY ha contribuido a que la Unión Europea reconociera la restauración geomorfológica como Mejor Técnica Disponible (MDT) para la gestión de residuos de la industria extractiva (JRC, 2018. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from the Extractive Industries in accordance with Directive 2006/21/EC. Joint Research Centre, European Commission; EUR 28963 EN; Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/35297.JRC109657>.)

### Sostenibilidad y beneficios a largo plazo:

ECORESTCLAY ha constituido el punto de partida para que CEMEX incorpore esta metodología de restauración en sus explotaciones. Pero no sólo. De hecho, ECORESTCLAY ha constituido la base de nuevas concesiones y solicitudes de proyectos LIFE, complementarios de éste. El LIFE ECORESTCLAY ha abierto un nuevo camino para incrementar la biodiversidad en espacios mineros, a partir de la Restauración Geomorfológica, que ha continuado con los proyectos LIFE TECMINE y

LIFE RIBERMINE, los cuales parten del método GeoFluv, pero han completado las técnicas de restauración geomorfológica y ecológica. Todo ello con el fin de conseguir una estabilidad en el largo plazo, integrar las zonas restauradas en su entorno (hidrológica, ecológica y visualmente), y sobre todo, incrementar la biodiversidad. A su vez,

De todos modos como ya se ha dicho, es difícil proporcionar una proyección de futuro sobre los hábitats y especies favorecidos durante el proyecto. Sin embargo, se puede pensar que la sucesión vegetal jugará en contra del mantenimiento de hábitats abiertos y subdesérticos creados en Aurora y Pastor I. Esta ha sido la causa de la reducción de este tipo de hábitats a nivel del territorio. .

La gestión de la zona, una vez aceptada la restauración por la Administración Regional y si la empresa lo considera oportuno, podría asumirla el mismo Ayuntamiento a través de alguna figura de Custodia del Territorio, únicamente si se pudiesen conseguir recursos económicos suficientes, ya que se trata de un Municipio pequeño. Posiblemente un convenio suscrito por el mismo Ayuntamiento, la empresa y los socios que lo deseen puede posibilitar una buena plataforma para realizar adecuadamente la gestión de este espacio.

Con la participación de la UB se han mantenido conversaciones con la entidad municipal de Campredó para analizar la posibilidad de participación ciudadana en la gestión de la zona. Una posibilidad es que se cediera la zona al Municipio después de la finalización del periodo de garantía. La zona está catalogada como suelo no urbanizable según el POUM. Una de las funciones definidas en el suelo no urbanizable es la “*Función ambiental: Este suelo, produce los procesos ecológicos esenciales en equilibrio con las actuaciones humanas y es el lugar donde habitan la mayoría de las especies de flora y fauna autóctonas, que son la base de la biodiversidad local*”. En el artículo 174 del capítulo segundo del POUM se establecen las normas de protección ambiental en suelo no urbanizable donde se contempla establecer espacios que necesitan protección. En su artículo 177 se establece la protección de la flora y fauna autóctonas y los hábitats naturales según la directiva 92/43 CEE y el control de introducción de especies invasoras. Esta normativa permitiría establecer figuras de gestión y protección local para la zona como se ha hecho en otros Municipios de Cataluña (Santpedor, Vilobí, el Vendrell...).

La UB, en la medida en que pueda consolidarse alguna fórmula de subvención, ha expresado su interés para seguir analizando/asesorando este espacio. A partir de este curso académico, se realizará una de las visitas anuales programadas en el Máster de Ecología, Gestión y Restauración del Medio Natural. Algunos de los trabajos de alumnos se vincularán a esta zona. Esto posibilitará una revisión anual de la evolución de la zona que podrá realizarse con menor o mayor detalle en función de los fondos que se puedan conseguir. Se han mantenido conversaciones con CEMEX para poder garantizar parte de estos fondos, pero todo ha quedado paralizado con la pandemia.

#### Replicabilidad:

El equipo de la UB que trabaja en restauración en minería y como posible usuario final de la implementación del modelo geomorfológico con GeoFluv, considera que este modelo tiene una aplicabilidad parcial en clima mediterráneo y que hay posibilidad de mejora aun en aspectos de ejecución que permitan compatibilizar otras tareas vinculadas a la restauración holística de un ecosistema. Conceptualmente es un planteamiento muy sugerente que puede ser una alternativa para la restauración de ciertas explotaciones mineras.

#### Innovación:

El carácter innovador y demostrativo de LIFE ECORESTCLAY ha sido extraordinario Las evidencias al respecto son las siguientes:

- (a) Proponer y ejecutar un cambio de enfoque en las restauraciones mineras, creando paisajes más estables y diversos. La culminación del proyecto ha sido la transferencia del protocolo de restauración desde una mina ya explotada (Aurora) a otra en su inicio (Pastor II), de modo que el diseño de restauración ecológica con base geomorfológica dirige y dirigirá todo el proceso extractivo. Este sistema de explotación-restauración progresiva, de base geomorfológica, que es

resultado específico de ECORESTCLAY y que ha sido adoptado por CEMEX en Pastor II, es **pionero a nivel europeo** (ver Martín Duque et al., 2020a, 2020b – referencias en *Dissemination Actions*)

- (b) El diseño y construcción de una obra hidráulica (derivación y bajante escalonada de mampostería) conectada a una restauración geomorfológica de tipo GeoFluv, para derivar parcialmente los caudales del arroyo Rocacorba y reducir así el caudal punta e inundaciones asociadas a su paso por la carretera C-42, **son pioneros a nivel mundial** (ver Martín-Moreno et al., 2018).
- (c) **Por primera vez también, a nivel internacional**, se ha monitorizado la humedad edáfica que controlan los relieves de tipo GeoFluv.
- (d) La aplicación **de hojarasca** también ha representado una técnica eficaz para mejorar la calidad del sustrato y debería representar también un hito importante que impulse la gestión más sostenible de los recursos edáficos.

Indicadores a largo plazo:

Estos entendemos podrían ser alguno de los indicadores de mayor interés:

- (a) Conservación de suelo/estabilidad. Cuantificación periódica de fenómenos erosivos mediante indicadores semicuantitativos: presencia de pedestales, conteo y dimensiones de regueros, presencia de sedimentos movilizados
- (b) Fijación de carbono en el suelo
- (c) Dispersión de fauna del suelo. Colonización de edafofauna desde los puntos de aplicación de hojarasca: trampas pit-fall, muestreo e identificación en laboratorio
- (d) Censos de aves. Identificación visual y sonora de individuos en los mismos itinerarios del proyecto
- (e) Censo de anfibios. Identificación visual, sonora y trampeo en lagunas temporales y permanentes.
- (f) Calidad química del agua de las lagunas. Presencia de especies exóticas
- (g) Abundancia específica de la vegetación de los diferentes hábitats. Densidad de leñosas. Controles de desarrollo y estado. Reclutamientos. Fructificación de arbustos. Inventarios florísticos

## 6. Reporte financiero (Comentarios).

### 6.1. Resumen de costes incurridos

PROJECT COSTS INCURRED				
	Cost category	Budget according to the grant agreement*	Costs incurred within the project duration	% **
1.	Personnel	€ 1,040,383.00	€ 1,099,401.99	106%
2.	Travel	€ 50,985.00	€ 49,101.14	96%
3.	External assistance	€ 493,274.00	€ 582,189.06	118%
4.	Durables: total <u>non-depreciated</u> cost		€ 0.00	
	- <i>Infrastructure sub-tot.</i>	€ 35,054.00	€ 0.00	0%
	- <i>Equipment sub-tot.</i>		€ 2,300.00	
	- <i>Prototypes sub-tot.</i>		€ 0.00	
5.	Consumables	€ 122,070.00	€ 48,548.18	40%
6.	Other costs	€ 800.00	€ 10,011.83	1251%
7.	Overheads	€ 50,603.00	€ 125,408.65	248%
	<b>TOTAL</b>	<b>€ 1,793,169.00</b>	<b>€ 1,916,960.85</b>	<b>107%</b>

\*) If the Commission has officially approved a budget modification indicate the breakdown of the revised budget. Otherwise this should be the budget in the original grant agreement.

\*\*\*) Calculate the percentages by budget lines: e.g. the % of the budgeted personnel costs that were actually incurred

### Respuesta a las cartas enviadas por la CE Ref Ares (2016)6333633 – 09/11/2016

8. Rectificado en el informe financiero final "Financial Statement". La UB está sujeta a la prorrata del IVA, Investigación al 100% deducible, docencia no deducible y prorrata general para los gastos comunes.

11: Las personas involucradas en el proyecto han variado tanto en número como en tareas a lo largo del desarrollo del mismo. Durante los primeros años se han computado horas de ciertos altos cargos como el VP de Operaciones y el VP de Jurídico, aunque las horas computadas han sido mínimas. Esto ha sido así al haber sido necesaria su participación para aclarar y direccionar las dudas de organización y alcance del trabajo que han ido surgiendo en el avance del proyecto, al haber implicado este a varias personas de la organización pero solo de manera parcial.

12. Efectivamente las horas incluidas en los time sheet correspondientes a José Francisco Martín Duque, Miguel Ángel Sanz Santos (ambos de la UCM) y José Manuel Nicolau Ibarra (de la UZ) corresponden a horas productivas estándar. Esto se debe a que las horas productivas diarias, así como los días de vacaciones, festivos y asuntos propios están regulados en la universidad por el Real Decreto Legislativo 5/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del

Estatuto Básico del Empleado Público (BOE-A-2015-11719). Para cumplir con este Documento Oficial se incluyen las horas de acuerdo con el mismo.

13. Como se ha comentado en la contestación al punto 11 en el proyecto han participado de manera dinámica varias personas y con varias responsabilidades, además durante el periodo del mismo ha habido cambios en la estructura organizativa de la empresa (socio coordinador) que han derivado en cambios en las personas implicadas.

Francisco Hernández Avellaneda: Durante el periodo que ejerció como gerente de producción de Cataluña tuvo responsabilidad directa sobre el Jefe de canteras y por ende sobre la explotación de la arcillera de Campredó, por lo que participó en reuniones de seguimiento internas sobre evolución del proyecto y su implicación sobre los costes y la operativa de la cantera.

Vanesa Fabregat: Mientras estuvo en el cargo de responsable de PRL de la planta, participo en varias reuniones de coordinación interna del proyecto para controlar y certificar el cumplimiento de las directrices de su área de responsabilidad en las diversas tareas del proyecto.

Silvia Clusella: Silvia tuvo una participación puntual en el proyecto en su calidad de coordinadora regional de Medio Ambiente (región que englobaba Cataluña, Aragón y Baleares)

Angel Galán: Participó en los primeros años del proyecto tanto en reuniones internas como en calidad de representante institucional para dar a conocer el mismo a los diferentes “stakeholders” involucrados (ayuntamientos, administración autonómica, grupos vecinales, etc...).

Tomás Sánchez-Corral Gómez: Participó al inicio del proyecto en su calidad de máximo responsable de la operación para coordinar y definir directrices, así como junto al VP jurídico y de relaciones institucionales en reuniones con los “Stakeholders”.

Jesús de la Calle Bruquetas: Como responsable de las áreas técnicas que involucraban tanto a Materias Primas como a Medio Ambiente, participó en reuniones de coordinación y avance internas del proyecto

Francisco González Martín-Consuegra: Gerente corporativo de Materias Primas. Su participación al inició se requirió entre otros motivos para valorar e ir controlando la repercusión de las tareas definidas y proyectadas sobre la viabilidad de la explotación actualmente y tras el paso de Ruth Millán a otro departamento, es el encargado administrador del proyecto.

14.

La acumulación de horas de personal contratado de la UCM, Technical, de Sara Nyssen y María Tejedor, está plenamente justificada, por los siguientes motivos. De todas las tareas comprometidas, lo más laborioso ha sido la realización de los diseños de restauración geomorfológica, mediante un laborioso proceso siguiendo el método GeoFluv y el software Natural Regrade. Especialmente complejo ha sido el diseño de Pastor I, pues ha requerido múltiples alternativas, debido a la complejidad asociada a la introducción del barranco de Rocacorba. A su vez, también ha requerido más tiempo la formación de maquinistas, y la ejecución de Aurora, al ser la primera cantera en la que se ha desarrollado, y puesto a punto, la restauración geomorfológica. En definitiva, con estas horas se han realizado los diseños de restauración geomorfológica de las tres canteras (Aurora, Pastor I y Pastor II), y se ha ejecutado la primera (Aurora). Toda vez que estos diseños están realizados, y los maquinistas y operadores conocen el procedimiento de ejecución, la necesidad de este personal de la UCM ha sido mucho menor.

16.

Se adjunta entregable con la documentación solicitada (Anexo\_Contratos\_2%)

En el caso de la UB:

19.

Cemex:

Los costes de “asistencia externa” de la empresa Ofteco, han consistido en levantamientos topográficos, planimetrías, etc, con vistas a poder evaluar los grados de avance del desarrollo real de la geomorfología respecto al modelo proyectado. Así como la realización de videos en los que podía observarse y evaluarse los avances y servirían además como instrumentos de divulgación.

UB: Se presento y justificó su necesidad en el Informe Intermedio. (Anexo C5 final)

UCM: Los estudios realizados aparecen en el entregable

Acción\_C1\_1\_Modelización\_Hidrometeorológica\_Caudales\_Aurora. Aunque, tal y como indican, el Estudio de modelización hidro-meteorológica de caudales en el entorno de la localidad de Tortosa para los periodos de retorno 2, 7, 50,100 y 500 años no estaba incluido en los costes previstos, fue necesario hacer este informe para determinar los caudales punta de entrada del barranco que quedó interrumpido por la explotación Aurora. Estos datos eran necesarios para ser incorporados como inputs de entrada, para realizar los diseños adecuados de cauces fluviales mediante el método GeoFluv y el software Natural Regrade.

20. Se adjunta entregable al efecto (Anexo\_Compras\_Gerbel). En el que se entrega la documentación solicitada. De todos modos hay que recalcar que al realizarse simultáneamente las labores de explotación y restauración en este proyecto, la empresa adjudicataria de la explotación debía ser necesariamente la adjudicataria de los de restauración, tanto en los conceptos incluidos a precio cerrado, como en los no contemplados en el contrato inicial y que se debieron realizar pro administración (tarifario). Esto es así pues sería inviable por motivos de seguridad y de control de trabajos, disponer de dos empresas subcontratadas trabajando simultáneamente en la cantera y en trabajos antagónicos (explotar /restaurar)

#### **Respuesta a las cartas enviadas por la CE Ref Ares(2017)4485772 – 14/09/2017**

7.- Ver Anexo (Anexo\_Compras\_Gerbel) , en el aparece la política interna de compras.

11.- Como se requirió, se ha eliminado la retribución variable del personal de Cemex en el cálculo del coste del personal

12.- Se ha rectificado en el informe financiero final

#### **Respuesta a las cartas enviadas por la CE Ref Ares(2020)1411297 – 06/03/2020**

6. Ver contestación punto 11 **Ref Ares** (2016)6333633 – 09/11/2016

7. Enviado

8. Enviado

9. Realizado

## 6.2. Sistema de contabilidad

Cada socio ha establecido una cuenta de control de costes independiente para los gastos asociados al Proyecto. Se adjuntan las justificaciones de cada socio (cuenta, sistema, pantallazo):

- Cemex: La parte de la subvención está perfectamente separada en la cuenta 28111040 Cebe 108600.
- UCM

The screenshot shows a software window titled 'Mantenimiento Datos Proyectos'. It contains several tabs: 'Datos Generales', 'Fechas / Estados', and 'Datos Económicos'. The 'Datos Generales' tab is active, showing fields for 'Unidad de Gestión' (001008), 'Área de Gestión' (003003), 'Código Identificativo' (4129107), 'Título Presupuesto' (LIFE12 BIO/ES/000926), 'Situación del Proyecto' (ACTIVO), 'Título Abreviado' (ECORESTCLAY), and 'Director del Proyecto' (MARTIN DUQUE JOSE FRANCISCO).

Below this, a window titled 'Partidas de Gasto del Proyecto' is open, displaying a table for 'ECORESTCLAY'. The table has columns for 'Ejercicio', 'Inicial', 'Actual', 'Dispuesto', 'Obligado', 'Pagado', and 'Disponible'. The data for exercise 1 is as follows:

Ejercicio	Inicial	Actual	Dispuesto	Obligado	Pagado	Disponible
1	263.387,00	263.387,00	3.764,20	3.764,20	3.764,20	259.622,80
<b>TOTAL...</b>	<b>263.387,00</b>	<b>263.387,00</b>	<b>3.764,20</b>	<b>3.764,20</b>	<b>3.764,20</b>	<b>259.622,80</b>

On the left side of the table, there is a 'Saldo' field showing 50.195,80 and an 'Anticipos no Aplicados' field showing 0,00.

- UB

The screenshot shows an SAP report titled 'Execució Pressupost Despesa'. The report header includes the following information:

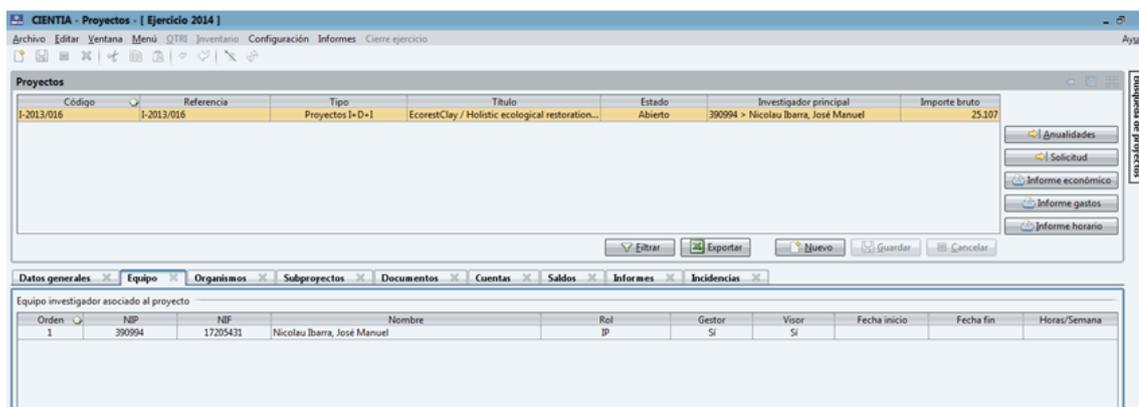
Entitat CP UB Universitat de Barcelona  
 Exercici 2014  
 Període inicial/final: 1 / 4  
 EXECU

Centre gestor :  
 Progr. pressupos :  
 Fons : I1RN000515 I1/LIFE12 BIO/ES/000926 ECORESTCLAY, JOR  
 Funcional :  
 Stat. Doc. : T

The main table is titled 'DESGLOSSAMENT PER ECONÓMIC' and has columns for 'CRÉDIT INICIAL', 'MOD. DE CRÉDIT', and 'CRÉ'. The data is as follows:

DESGLOSSAMENT PER ECONÓMIC	CRÉDIT INICIAL	MOD. DE CRÉDIT	CRÉ
***** TOTAL	0,00	94.176,98	
**** 6 INVERSIONS REALS	0,00	94.176,98	
*** 68 IMMOBILITZAT IMMATER. RECERCA	0,00	94.176,98	
** 689 ALTRES PROJECTES INVESTIGACIO	0,00	94.176,98	
* 689000100 PERSONAL PROJ. INVEST. ALTR. PROJ	0,00	29.767,19	
R2013A ROMANENT 2013 AFECTAT	0,00	29.767,19	
* 689000200 ALTRES PROJ. VIATGES I DIETES	0,00	0,00	
C2014A CORRENT 2014 AFECTAT	0,00	0,00	

- UZ



Otras acciones de control del estado financiero consolidadas en todos los socios son:

- En las facturas se indica la referencia del proyecto.
- Los gastos de cada socio son aprobados por los Coordinadores respectivos.
- Se realizan y se firman mensualmente las Timesheets por cada socio. Trimestralmente se envían a CX.
- Cada socio realiza el seguimiento mensualmente de todos sus gastos y trimestralmente se envían al coordinador, CX, para consolidarlos y realizar el seguimiento.

### 6.3. Acuerdos entre los socios

Los acuerdos entre socios ya fueron anexados en el Inception Report. No ha habido ninguna modificación de los mismos desde entonces.

### 6.4. Informe del auditor/Declaración (ver Entregable Audit Report)

Datos del auditor;

Juan Luis García de Leániz Bárcena

Membership nº of the association: 16,187

C/Espronceda, 38

Madrid 28003

## 6.5 Resumen de costes por acciones

Action no.	Short name	1. Personnel	2. Travel and subsistence	3. External assistance	4.a Infra-structure	4.b Equip-ment	4.c Prototype	5. Purchase or lease of land	6. Consumables	7. Other costs	TOTAL
A1	Topo	62217.71	118.62	31205.00		0.00			0.00	0.00	94541.33
A2	Pluviograph	23425.06	1423.64	0.00		0.00			0.00	0.00	24848.70
A3	Edafic	4918132	808.04	0.00		0.00			187.94	692.93	51870.22
A4	Birds Initial	29562.74	1411.72	0.00		0.00			0.00	0.00	30974.46
A5	(Obama nungara)	51823.47	154.23	0.00		0.00			0.00	84.00	52061.70
A6	Formation	9556151	517.57	15177.93		0.00			1328.00	0.00	112585.01
C1	Geomorphology	154028.69	11366.74	484566.64		0.00			0.00	0.00	649962.07
C2	Hidrology	39839.36	10529.54	0.00		0.00			0.00	0.00	50368.90
C3	Substract	38724.79	1711.72	0.00		0.00			865.63	2522.99	43825.12
C4	habitats	62497.04	1781.88	32704.95		0.00			6639.39	37.08	103660.34
C5	Birds diversity	32163.74	411.21	0.00		0.00			0.00	3089.00	35663.95
D1	Geom. Evolution	62607.68	596.39	5387.50		2300.00			0.00	0.00	70891.57
D2	Hidrol. Evolution	79661.02	3341.27	5387.50		0.00			57.43	309.40	88756.61
D3	Subst. Evolution	41427.18	540.71	0.00		0.00			1411.11	3092.44	46471.74
D4	Habit. Evolution	70491.04	1307.44	0.00		0.00			0.00	0.00	71798.48
D5	Birds Evolution	44178.02	710.65	0.00		0.00			0.00	0.00	44888.67
D6	Ecosystems	13970.11	0.00	0.00		0.00			0.00	0.00	13970.11
E1	Dissemination	53811.05	7573.88	437.54		0.00			37036.77	100.00	98521.70
F1	Management	94230.46	3795.90	7759.54		0.00			2161.11	84.00	105891.51
	Overheads				0.00		0.00	0.00			125408.65
	TOTAL	1099401.99	49101.14	582189.06	0.00	2300.00	0.00	0.00	48548.18	10011.83	1916960.86

## 7. Anexos/Annexes

### 7.1 Anexos Técnicos:

Lista de documentos (Entregables)/List of documents (Deliverables)

- A1
- A2
- A3
- A4
- A5
- A6
- C1\_1
- C1\_2
- C1\_3
- C2
- C3
- C4
- C5
- D1\_1
- D1\_2
- D2
- D3
- D4
- D5
- D6

### 7.2 Anexos de Divulgación

7.2.1 Layman's report

7.2.2 After-LIFE Communication plan – for LIFE+ Biodiversity and LIFE Environment Policy and Governance projects: (Versión Draft, pendiente de consensuar con administraciones)

7.2.3 Otros anexos de divulgación

### 7.3 Anexos Requerimientos

#### 7.4 Tabla Final de Indicadores (ver anexo)

## 8. Informe Financiero (ver anexo)