

Rehabilitación de escombreras en  
el tramo minero del río Cúa  
(Fabero, León)

Virginia Camacho Martín



# **Rehabilitación de escombreras en el tramo minero del río Cúa (Fabero, León)**



Depósito Legal: LE-1143-2013

ISBN: 978-84-616-7879-2

# REHABILITACIÓN DE ESCOMBRERAS EN EL TRAMO MINERO DEL RÍO CÚA (FABERO, LEÓN)



**VIRGINIA CAMACHO MARTÍN**

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Alcalá de Henares, a 13 de septiembre de 2013

**Directores:**

Avelino García Álvarez (CIEMAT)

Néstor Hernando Rodríguez (UCM)

Jorge Ramón Travieso (CIUDEN)

**Tutor académico:**

José F. Martín Duque (UCM)



AGRADECIMIENTOS .....	I
RESUMEN .....	III
1 INTRODUCCION .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
3 ANTECEDENTES .....	5
3.1 Situación actual de la minería del carbón en la comarca de El Bierzo y repercusiones socioeconómicas de la restauración .....	7
3.2 Problemas ambientales asociados a la minería del carbón .....	9
4 PLAN DE TRABAJO.....	15
5 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	17
5.1 Rasgos distintivos de la cuenca carbonífera de El Bierzo: El medio natural ..	18
5.2 Características socioeconómicas de la comarca .....	27
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
6.1 Tipología de las escombreras en el tramo minero del río Cua.....	33
6.2 Criterios que justifican la elección de escombreras .....	33
7 PROPUESTAS DE ACTUACIÓN .....	37
7.1 Escombrera FAB_FAB_05.....	43
7.2 Antiguo cielo abierto (FAB_FAB_08) .....	55
7.3 Escombrera de las Galladas (FAB_FAB_10) .....	66
8 BIBLIOGRAFÍA .....	75
9 ANEXOS .....	81





## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a mis directores del proyecto, al Dr. Avelino García Álvarez, investigador titular del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), por enseñarme la problemática de la cuenca minera del río Cúa, y del Bierzo en general. Sin sus conocimientos, paciencia, motivación y correcciones este trabajo no habría existido. A Néstor Hernando Rodríguez, por su ayuda con el programa Natural Regrade y por mostrarme como con esfuerzo, ganas y persistencia se pueden conseguir grandes cosas. A Jorge Ramón Travieso, por acogerme en su casa y darme la oportunidad de conocer *in-situ* la realidad de la zona.

A mi tutor académico, José F. Martín Duque, profesor titular del departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) por su interés en que este trabajo saliera adelante y ser la mecha que encendió mi curiosidad por la restauración de las actividades extractivas.

A Carlos Manzanares Román por su tiempo y ayuda.

A Julio Cesar Arranz, Científico Titular del Área de Recursos Energéticos y Sostenibilidad Minera del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), por su tiempo y documentación aportada.

Agradecerles a todos aquellos que me han apoyado siempre que lo he necesitado. En especial, a la persona que me ha enseñado que cuando crees que no puedes continuar, si paras y miras a los lados siempre encuentras algo con lo que avanzar.

*Gracias.*



## **RESUMEN**

La Cuenca Carbonífera de El Bierzo (Comarca de El Bierzo, León) tiene ocupado un 5,6% de su territorio por escombreras de origen en la actividad minera. Estas estructuras se encuentran sin restaurar o con unas restauraciones muy precarias. Son focos de contaminación que generan una serie de impactos ambientales, sociales y económicos.

En concreto, el trabajo se centra en las 11 escombreras de lo que se ha denominado “el tramo minero” del río Cúa (Fabero) el cuál presenta un lamentable estado que requiere una actuación integral y continuada en el tiempo.

La complejidad y diversidad de los impactos que afectan a la zona demanda una serie de estudios y trabajos previos necesarios para establecer un diagnóstico como parte del proyecto de rehabilitación. El elevado coste económico que implica un proyecto de tal envergadura requiere de una jerarquización espacial de los escenarios de actuación en función de la gravedad de los impactos. Dicha priorización será el resultado de aplicar un análisis multicriterio evaluando una serie de factores o variables de decisión.

Las escombreras cuyo resultado de aplicar dicha metodología obtienen el valor más alto serán objeto de las propuestas de actuación incluidas en este trabajo.

Dichas propuestas se adaptan a un protocolo de restauración basado en principios ecológicos siendo específicas de cada estructura según su afección ambiental.



## 1 INTRODUCCION

La Comarca de El Bierzo se sitúa al oeste de la provincia de León (Comunidad Autónoma de Castilla y León), tiene una extensión de 2.997 km<sup>2</sup> y una población de 134.301 habitantes (INE, 2011). Posee unas características geográficas, históricas, sociales y económicas propias, siendo la única comarca española reconocida por la ley, formada por 38 municipios con capital administrativa en Ponferrada (BOE, 1991).

La Cuenca Carbonífera de El Bierzo se extiende por el norte de la comarca, con una longitud de 50 km (en el sentido E – O) y 18 km en su parte más ancha (Vadillo *et al.*, 2009). De los 38 municipios incluidos en el Consejo Comarcal del Bierzo, diez de ellos pertenecen a la cuenca carbonífera e incluyen explotaciones de carbón. El área ocupada por dichos municipios tiene una extensión de 907 km<sup>2</sup>, lo que representa un 32 % de la superficie total de la comarca. De esta superficie, un 5,6 % está ocupado por escombreras que tienen su origen en la actividad minera.

Aunque existen evidencias de su riqueza carbonífera desde la segunda mitad del siglo XVIII (Alberruche, 2010), no fue hasta la década de los años veinte del siglo pasado cuando se convirtió en la actividad predominante de la zona, constituyendo la base de su desarrollo económico. Sin embargo, durante los años ochenta del pasado siglo empezó la progresiva decadencia del sector a nivel nacional, debido a la entrada en la CEE y a la pérdida de competitividad del carbón español frente al de otros países (Alberruche, 2010).

Como consecuencia de la intensa explotación del carbón durante todos estos años, existen numerosas estructuras mineras (cielos abiertos, escombreras, instalaciones, balsas de lodos, bocaminas con drenajes ácidos) sin restaurar o con una restauración muy precaria que presentan el legado histórico de una explotación de los recursos sin ninguna consideración por las repercusiones ambientales de dicha actividad. Estas estructuras, sobre todo cielos abiertos y escombreras, se relacionan con una pérdida de suelo generalizada en toda la cuenca, a lo que contribuye también una topografía con fuertes pendientes que favorece los procesos de erosión y la pérdida de la capacidad de sustentar la biocenosis edáfica o la vegetación. Así mismo, las escombreras y otras estructuras asociadas a la actividad minera son focos contaminantes que generan una serie de impactos ambientales característicos, como son los drenajes ácidos y los productos generados en la autocombustión, que utilizando el agua como vehículo de transporte (escorrentía superficial y

lixiviados terminan en las corrientes fluviales), tienen impactos que afectan a una superficie mayor, incluso fuera de la cuenca minera (Mejuto, 2011).

Debido a estos problemas ambientales, sociales y económicos provocados por la minería del carbón, y los indicios evidentes de la desaparición de su actividad, es necesario plantear iniciativas que contemplen un impulso de las actividades económicas a partir de los recursos endógenos y su aprovechamiento creativo, incentivando la formación de capital humano. La recuperación ambiental de los terrenos afectados por la actividad minera, dándoles usos alternativos, es una de las iniciativas que pueden contribuir a la creación de esos nuevos escenarios (García Álvarez y del Riego, 2010).

Como exponente de las graves consecuencias económicas y sociales en la comarca, puede mencionarse la pérdida de una tercera parte de los empleos desde 1994 y un descenso de población en los municipios mineros de la zona (García Álvarez y del Riego, 2010). Particularmente, el municipio de Fabero es el más perjudicado por las explotaciones de carbón dentro de la cuenca carbonífera de El Bierzo, ya que casi el 27 % de la superficie de su término municipal se encuentra afectada por escombreras, explotaciones a cielo abierto y otras estructuras asociadas a la actividad minera. Es por ello que la crisis que ha padecido el sector, que ha dado lugar al declive progresivo que actualmente experimenta, ha repercutido muy notoriamente en la población y la economía de este municipio.

El lamentable estado que presenta la zona requiere una actuación integral y continuada en el tiempo. Las actuaciones de carácter puntual o muy localizadas pueden contribuir a disminuir la presión de los impactos en el territorio, pero nunca minimizarán o eliminarán el problema. Sin embargo, la inversión económica que requiere una restauración de tal envergadura es considerable y en la situación actual poco realista que se produzca de una sola vez. Es por ello que se requiere planificar las intervenciones de manera gradual, pero continuadas en el tiempo.

Debido a la diversidad y complejidad de los impactos que afectan a la zona de Fabero, deben realizarse una serie de actuaciones previas, encaminadas hacia una caracterización precisa de dichos impactos y establecer posteriormente una jerarquía en el proceso de rehabilitación. Determinar cuáles son los estudios previos que deben realizarse y la repercusión de la información que de ellos se obtenga en la elaboración de eventuales proyectos de restauración, es la premisa con la que se inicia este trabajo.

## 2 OBJETIVOS

La restauración de espacios degradados por la minería del carbón en la cuenca carbonífera de El Bierzo debe hacer frente a la eliminación o minimización de los graves impactos introducidos por las actividades mineras y, como fin a largo plazo, la recuperación del capital natural perdido. En correspondencia con todo lo anterior, este trabajo se propone el siguiente **objetivo general**:

Elaborar un proyecto de rehabilitación de escombreras en el tramo minero del río Cua, dentro del municipio de Fabero, cuya propuesta debe precisar los estudios y trabajos previos necesarios para establecer un diagnóstico de las afecciones ambientales que producen las escombreras y, con ello, poder adaptar un protocolo de restauración basado en principios ecológicos, cuya aplicación debe jerarquizarse espacialmente, dada la imposibilidad de poder actuar en toda la zona debido al elevado coste económico de una actuación integral.

Para la consecución del objetivo general se han desglosado los siguientes **objetivos específicos**:

- ✓ Delimitación de superficies afectadas, caracterización e identificación de los impactos ambientales que ocasionan en el tramo minero del río Cúa.
- ✓ Priorización en las actuaciones de restauración, con propuestas acordes al escenario económico actual.
- ✓ Creación de condiciones adecuadas que permitan el desarrollo de una cubierta vegetal que restablezca la biodiversidad y la riqueza de especies del entorno, creando una continuidad del hábitat de la zona.
- ✓ Participación de la población de la zona en la ejecución del proyecto y conseguir con ello divulgar el beneficio social de la restauración.

Con el objetivo general se pretende:

- ✓ **Incrementar el valor paisajístico de la zona integrándola en el entorno:** Las actividades extractivas han destruido el paisaje característico de la zona creando un fuerte impacto visual. Con éste objetivo se pretende recuperar su belleza intrínseca integrándola en un entorno con un alto valor y calidad paisajística que lo convertido en un lugar declarado como LIC y ZEPA “Sierra de los Ancares”.
- ✓ **Paliar o mitigar los problemas ambientales generados por las escombreras:** Los problemas como la erosión, los drenajes ácidos de mina o la autocombustión son especialmente graves en el tramo minero del rio Cua, por lo que es necesaria cuanto antes la aplicación de medidas correctoras que minimicen dichos problemas.
- ✓ **Contribuir a desarrollar una economía alternativa a la minería:** Debido al mencionado legado histórico que padece la zona, la recuperación edafopaisajística del espacio en desuso puede proporcionar nuevas fuentes de ingresos como el turismo sostenible, siendo un importante impulso para la economía y el empleo local.
- ✓ **Contribuir a la reducción de la fragmentación de los hábitats naturales del entorno:** La recuperación de la cubierta vegetal favorece la conectividad entre manchas forestales fragmentadas beneficiando a las poblaciones faunísticas del área.
- ✓ **Poner en valor la zona para aprovechamientos educativos, divulgativos y recreativos:** La cercanía del municipio de Fabero hace que esta zona se encuentre muy demandada para realizar diversas actividades de ocio relacionadas con el medio natural, tales como pesca, senderismo, mountain bike...



### 3 ANTECEDENTES

Las circunstancias históricas que en cada momento ha tenido la explotación de carbón en la comarca de El Bierzo, repercuten en una situación en que las escombreras susceptibles de rehabilitación tengan una casuística muy variada. En cualquier caso, las tareas de restauración afectarían al legado histórico anterior a 1982, inmerso en cierta indefinición jurídica y administrativa y por ello abandonado a su suerte, ya que a partir de esa fecha el marco legal obliga a presentar un plan de restauración de forma simultánea al plan de explotación.

La sensibilidad y preocupación por la repercusión ambiental de las explotaciones mineras está presente desde las disposiciones legislativas más antiguas. La Ley de Minas 22/1973, ya esbozaba la necesidad de realizar estudios y someterlos a informe de organismos de control.

Sin embargo se puede afirmar, por la herencia recibida y según se puede constatar en la actualidad, que dichos mecanismos no se aplicaron con el debido rigor o sus recomendaciones fueron ignoradas, a pesar de que como se refleja en la Ley 6/1977, de Fomento de la Minería, se articulaban generosas medidas financieras para favorecer las acciones paliativas sobre el medio ambiente.

Posteriormente por el R. D. 2857/1978, reglamento que desarrolla la mencionada Ley de Minas 22/1973, se especifican con detalle los procedimientos para efectuar estos “estudios”. Se articula este reglamento de modo más extenso que la Ley, si bien en principio repite de modo casi literal lo allí mencionado, pero con un desarrollo algo más matizado y concreto en ciertos aspectos.

En realidad, es a partir de la incorporación a la Unión Europea, y la transposición de sus directivas (con la posibilidad de obtener ayudas para este sector, condicionadas a que se cumplan las medidas ambientales), cuando de verdad se comienzan a efectuar restauraciones ambientales de las zonas afectadas y su entorno natural.

En la década de los 80, se emiten diversos decretos y normativas que van mejorando la regulación de los aspectos procedimentales para conseguir los objetivos en restauración ambiental. En principio son normativas emanadas de la Administración Central, pero siempre con mención y reserva de su aplicación a las posibles competencias que puedan ser asumidas por las Comunidades Autónomas.

Sin embargo no se deja claro el posible carácter retroactivo de estas normas y su aplicación en actividades anteriores a la entrada en vigor de esta legislación, por lo que hay centenares de explotaciones, la mayoría inactivas en la actualidad, que se encuentran en un vacío legal en cuanto a la obligación de efectuar la restauración e integración ambiental. En otros casos, como es el de la responsabilidad de los titulares de la concesión, resulta complicado, cuando no inviable, la aplicación de la legalidad vigente en estas materias, ya que dichos titulares han desaparecido.

La citada Ley de Minas de 1973 dispone que las concesiones sean de una duración máxima de 30 años, con opción de ampliarse hasta los 90 años previa justificación perfectamente documentada de la continuidad de la actividad de explotación. Sin embargo, en la práctica se observan concesiones consolidadas directamente por 90 años o renovadas sin ningún tipo de justificación.

En concreto, el escenario en la zona de Fabero fue complicándose a partir de la década de los noventa del siglo pasado, cuando la reestructuración del sector dio paso a una concentración empresarial que ha culminado con la presencia de sólo dos grupos empresariales en la comarca, UMINSA-MSP y Grupo Viloría, que fueron absorbiendo paulatinamente las decenas de empresas pequeñas y de tamaño medio que operaban en la zona. Como consecuencia de ello la situación legal es compleja ya que los nuevos propietarios consideran que no son responsables de las actuaciones anteriores y la administración encargada del cumplimiento de la legislación no ha tomado muchas iniciativas en ese sentido.

En la comarca de El Bierzo, la mayoría de las concesiones siguen activas, como se puede observar en la cartografía del Anexo 1. En ellas no se ha realizado ninguna labor de restauración o se han llevado a cabo actuaciones muy precarias, sin ningún éxito en cuanto a su integración en la dinámica del paisaje circundante. Se destaca que el canon a pagar por mantener activa la concesión es irrelevante, siendo de aproximadamente unos 80 euros anuales por cada cuadrícula de una hectárea de terreno.

### 3.1 Situación actual de la minería del carbón en la comarca de El Bierzo y repercusiones socioeconómicas de la restauración

La reconversión del sector de la minería del carbón, que comenzó en 1986, evolucionó en su estrategia hacia una reducción de la actividad en los siguientes años, ahora ya dentro del marco económico de la Unión Europea, cerrando las explotaciones que no eran rentables y subvencionando sólo aquellas consideradas estratégicas. Como consecuencia de ello, la pérdida de puestos de trabajo ha provocado un descenso significativo de la población en las cuencas mineras, particularmente en la cuenca carbonífera de El Bierzo, que produce casi la mitad de todo el carbón extraído en nuestro país.

Las últimas decisiones del Consejo de la Unión hacen presumible que la continuidad de las explotaciones quede reducida significativamente a muy corto plazo, con el cierre de la minería no competitiva, y ligada sólo a aquellas que tengan una rentabilidad adecuada. En esta nueva situación las explotaciones deben decidir su futuro, en función de su capacidad para seguir produciendo más allá de 2014 (entre 2014 y 2018) o aquellas que quieran continuar su actividad más allá de 2018, en cuyo caso tienen la obligación de devolver las ayudas percibidas desde 2011. Ante ese panorama es previsible que haya una mayor contracción de la industria del carbón, lo que repercutirá en un nuevo descenso en el número de trabajadores.

En ese contexto, el Instituto para la Reestructuración de la Minería del Carbón y Desarrollo Alternativo de las Comarcas Mineras (IRMC), ha tenido como uno de sus objetivos “*servir como catalizador para un desarrollo económico diversificado*” en las comarcas mineras, proponiendo actuaciones para el desarrollo de infraestructuras, la promoción de nuevas actividades económicas y proyectos empresariales generadores de empleo, así como actuaciones formativas dirigidas a los habitantes de las comarcas mineras.

Las propuestas anteriores, sin embargo, requieren un esfuerzo continuado y prolongado en el tiempo, a la vez que supone la introducción de cambios estratégicos para todos los agentes implicados en el desarrollo de actividades económicas alternativas a la industria del carbón. Pero también introduce el reto de saber aprovechar las circunstancias favorables y dirigirlas hacia nuevas iniciativas, mediante un cambio en la percepción de cómo utilizar y mejorar el estado de los recursos propios disponibles, aspecto en el que adquiere una relevancia especial la **recuperación de los espacios degradados por la minería**. Al rehabilitar los parámetros ambientales más afectados,

suelos, vegetación y calidad de las aguas, se ponen en valor recursos que, de otra manera permanecerían en un estado que impediría cualquier iniciativa planteada en términos de sostenibilidad económica y ambiental. Además, indirectamente, sería un elemento que ayudaría a vencer la aversión hacia los territorios afectados por la minería que tienen muchas de las iniciativas empresariales.

En ese contexto, dentro del ámbito de la restauración, pueden destacarse las iniciativas que ha llevado a cabo el consorcio formado por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y la Fundación Ciudad de la Energía (CIUDEN), entre las que cabe señalar

- 1) Realización de un Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los Espacios Degradados por la minería del carbón en la Comarca de El Bierzo cuyos objetivos incluyen un inventario de los espacios degradados, un diagnóstico de la situación y la propuesta de medidas y protocolos de actuación, adaptadas a las circunstancias y características de este territorio (García Álvarez, 2010).
- 2) Cumpliendo con los objetivos marcados en el citado Plan, se llevó a cabo la elaboración de un protocolo, la dirección científico-técnica y la supervisión de la restauración edafopaisajística de las escombreras que afectan al núcleo urbano de Tremor de Arriba (municipio de Igüeña) en la comarca de El Bierzo. A partir de esta iniciativa se están recuperando con éxito aproximadamente 8 ha de escombreras, siguiendo los principios de la fidelidad ecológica (replicación estructural, éxito funcional y durabilidad) (García Álvarez, 2010).
- 3) En 2011 se propuso la redacción de un Proyecto integral de Restauración Ambiental del tramo minero del río Cua (PIRAC). Con este proyecto se buscaba:
  - a. Disponer de un diagnóstico completo de las afecciones sobre suelo y agua de las estructuras mineras, así como de los efectos de bocaminas y lixiviados de escombreras en los procesos recurrentes de mortandad de la biocenosis acuática.
  - b. Elaborar un plan de intervención para ejecutar una restauración integral del territorio afectado, con las actuaciones graduales y continuadas en el tiempo, desde un modelo jerarquizado en función de la gravedad de los impactos.

## 3.2 Problemas ambientales asociados a la minería del carbón

La minería, en general, tiene un impacto ambiental muy intenso sobre las zonas en las que se desarrolla esta actividad, si no se toman las medidas oportunas. La minería del carbón comparte los problemas ambientales de la minería general, pero a la vez es causa de problemas específicos como son la autocombustión y los drenajes ácidos de mina (DAM). Los efectos incluyen cambios profundos en la morfología del terreno, las propiedades físicas y químicas de suelos y agua, así como notables alteraciones en el paisaje que repercuten en un descenso considerable de la biodiversidad.

A continuación se describen las afecciones más relevantes de la minería del carbón en el medio ambiente en general y en los suelos en particular:

➤ ***Movimientos de tierras, generación de cielos abiertos y escombreras.***

La minería supone una modificación de la topografía, una destrucción del paisaje y del suelo, sin mencionar las posibles afecciones a la red hidrográfica, a los acuíferos y a la calidad del aire. El movimiento de tierras provocado por la actividad minera, sobre todo por la minería a cielo abierto, afecta severamente a los tres compartimentos de los ecosistemas terrestres: vegetación, suelo y subsuelo (Mejuto, 2011).

El movimiento de tierras destruye la estructura del suelo generando superficies donde se mezclan horizontes removidos y estériles, lo que modifica la textura y granulometría y afecta directamente a la retención de agua y al desarrollo de las raíces de las plantas (Arranz González, 2004; Lobo, 2007a).

La generación de frentes de explotación y la acumulación de materiales estériles que se extraen para poder acceder a las capas productivas es un problema general que afecta a todo tipo de minería. Ambas operaciones suponen un impacto visual de la zona en explotación y la pérdida de este terreno, de su suelo y su cobertura vegetal, lo que provoca problemas de erosión hídrica y eólica.

Los problemas medioambientales que generan la erosión y los deslizamientos de materiales en escombreras y cielos abiertos, abandonados o restaurados, han sido estudiados ampliamente y tienen una relación muy directa con el diseño de su morfología, pendiente, altura de talud y control de la escorrentía

Es importante resaltar que las escombreras son el resultado de la acumulación de estériles que no han sufrido procesos edafogénicos, procedentes de actividades mineras o subproductos de elaboración, clasificación, limpieza, etc. (Arranz González, 2004). Las características de los suelos de las escombreras, en especial la baja proporción de elementos finos (limos y arcillas) junto con la escasez de materia orgánica, suelen dar lugar a suelos con estructuras poco estables que las hacen muy susceptible tanto a la erosión hídrica como eólica. Esta erosión, además de los problemas de contaminación por lixiviados que se verán más adelante, someten a una degradación física a los suelos cercanos con aportes de materiales movilizados, y por la inestabilidad.

La superficie afectada por la minería del carbón en El Bierzo se incrementó de 3.870 ha en 2004 (Vadillo *et al.*, 2006) a 5.251 ha en 2009 y supone el 5,6% de la superficie total de los municipios mineros.

En El Bierzo existen actualmente graves problemas de erosión debido a que las escombreras se han originado sin ningún diseño de construcción ni de posterior restauración, siendo un vertido producido por caída libre de los estériles (García Álvarez, 2010). Presentan los problemas generales encontrados en la minería del carbón, con un desarrollo vegetal escaso y muy lento (Mejuto *et al.*, 2008). El impacto visual también es patente debido a que se sitúan en zonas accesibles, de mucha visibilidad, con un fuerte contraste con el paisaje circundante, produciendo, en resumen, un gran impacto paisajístico (Loredo, 2010).

### ➤ **Autocombustión**

La combustión espontánea del carbón (autocombustión) se debe a una reacción química entre el carbono y el oxígeno del aire. Esta reacción exotérmica se produce a cualquier temperatura, sin embargo la velocidad de la reacción es fuertemente dependiente de esta y se incrementa exponencialmente con su aumento. Si esta se mantiene, la reacción se produce cada vez más rápido hasta que el combustible entra en combustión (Bell *et al.*, 2001 y Bauer, 2006 en Mejuto, 2011).

Los factores más importantes que influyen en la autocombustión son las características físicas y químicas del carbón, su exposición a los agentes atmosféricos, la conservación de la temperatura, la cantidad de combustible fósil y la presencia de pirita (Bell *et al.*, 2001; Sahu, 2009 y Querol *et al.*, 2010 en Mejuto, 2011). Es un problema común en escombreras, con cantidades significativas de carbón y poca compactación, por donde circula el aire fácilmente.

Los problemas generados por este proceso son la pérdida de carbón y los impactos ambientales producidos por la combustión: gases de efecto invernadero, lluvia ácida y movilización de elementos traza como Hg, As, Pb, Zn y Cu (Mejuto, 2011, refiere para ello las siguientes fuentes: Kalyoncu y Olson, 2001; MDoE, 2003; CIAB, 2005; Yudovich y Ketris; 2005c, Mangena y Brent, 2006; Pone *et al.*, 2007; WHO, 2007; Vejahati *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2010).

Afecta a los suelos además de por las temperaturas extremas, que llegan a los 1.240 °C, por la acumulación de productos volatizados que se producen durante el proceso y los lixiviados de zonas que han sufrido dicha combustión. Dentro de estas acumulaciones destacan los sulfatos de Al-K-Fe y elementos como: Hg, Pb, As, Zn, Cu y S (Mejuto, 2011, refiere para ello las siguientes fuentes Karayigit *et al.*, 1997; Bell *et al.*, 2001; Pone *et al.*, 2007; Querol *et al.*, 2010).

Como dato significativo cabe resaltar que en China se queman debido a este problema entre 100 y 200 Mt de carbón de alta calidad al año, y este proceso es el responsable del 2-3% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo (ITC, 2005)

La autocombustión lleva asociada problemas de subsidencia y deslizamientos por fragmentación de la roca y de los pilares de contención de las minas. También el fuego supone un problema que genera un deterioro severo a los ecosistemas y que afecta particularmente a los suelos.

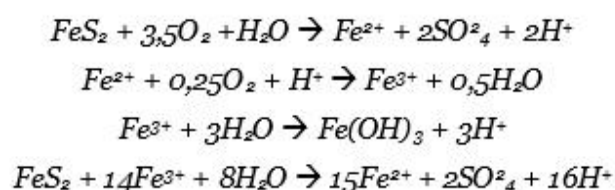
En las escombreras de la zona de estudio existen casos de autocombustión pasada visible por los restos de procesos de subsidencia y deslizamientos. En algunas escombreras la autocombustión sigue activa, apreciándose en la acumulación de cristales de pirita en las grietas, el fuerte olor a azufre y el vapor generado en episodios de lluvia.

### ➤ ***Contaminación de las aguas***

La alteración de los drenajes superficiales será tanto mayor cuanto mayor sean las modificaciones fisiográficas producidas. Esto conlleva una contaminación física debido al aumento de sólidos en suspensión por el arrastre de elementos finos de las aguas de escorrentía.

En las escombreras y frentes de explotación de carbón, además de la contaminación física, tienen el añadido de la contaminación química debido a este combustible fósil como son los Drenajes Ácidos de Mina (DAM). En el caso de carbones con alto contenido de azufre, como es habitual en los

carbones de la cuenca minera de Fabero, entre los estériles almacenados en la escombrera será bastante frecuente la presencia de pirita. Como consecuencia de la existencia de este material sulfurado, generador de acidez, a medida que los lixiviados procedentes de la interacción del agua de escorrentía con los materiales de la escombrera se movilizan, tendrá lugar una importante solubilización de elementos tóxicos. Concretamente se producen por la oxidación de los sulfuros metálicos al entrar en contacto con agua y oxígeno, dando como resultado ácido sulfúrico e hidróxidos del metal correspondiente (Tiwarý, 2001):



Los microorganismos, entre los que destacan *Thiobacillus ferroxidans* y *Ferroplasma acidarmanus*, juegan un papel importante ya que aceleran esta reacción química. Los DAM se caracterizan por tener un pH muy bajo, que favorece la liberación y movilización de metales pesados que se encuentran en los sulfuros metálicos de las capas de carbón, además de tener altas concentraciones de Fe, Al y sulfatos que provocan recubrimientos naranjas, blancos y amarillos que inhiben por lo general la actividad biológica (Tiwarý, 2001)

Las zonas de exposición suelen ser principalmente frentes de explotación, escombreras sometidas a la meteorización y salidas de bocaminas. Los metales pesados y el pH ácido en general son tóxicos para la vida acuática y terrestre (Mejuto, 2011 por fuentes de Gray, 1998; Adriano, 2001; Moreno *et al.*, 2007; WHO, 2007; EPA, 2008).

Hay que tener en cuenta que un porcentaje importante de las aguas de escorrentía se infiltra a través del suelo. Éste alcanza niveles de saturación del suelo pasando a formar parte de las aguas subterráneas, a las que aporta los elementos disueltos mencionados.

En El Bierzo existen trabajos recientes sobre los DAM y la contaminación de metales pesados que provocan, centrados en el estudio de la bioacumulación en organismos vivos, cuyos resultados ponen de manifiesto que existe una gran acumulación de elementos traza como Al, Fe, Mn, Zn, Co, Pb y Cd (Mejuto, 2011; Herrero Barrero, 2009; Lacal Guzmán y Herrero Barrero, 2010).



En relación a la calidad de las aguas del río Cúa y sus afluentes en la zona de estudio, hay que destacar dos episodios de mortandad de peces por recurrencias de los DAM y altas concentraciones de metales pesados, ambos tras días de lluvias importantes. El 24 de Septiembre de 1999 se produjo la mortandad de 864 truchas comunes (*Salmo trutta*), valorada según los daños y perjuicios ocasionados a la fauna ictícola como 65.544.796 pesetas. Como consecuencia de esto, se inició una investigación por parte del SEPRONA y biólogos de la Sección de Pesca de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Castilla y León. Tras una serie de análisis de muestras, mediciones de pH y conductividad de las aguas en diversos puntos del río Cúa y sus afluentes, el informe técnico de la Guardia Civil concluye que la causa de la mortandad de los ejemplares de fauna ictícola, fue debida a un descenso del nivel de pH de las aguas del río Cúa, causadas por el vertido de origen ácido con origen en la escombrera que ocupa el cauce del arroyo de las Galladas.

Como consecuencia de otra mortandad de peces en noviembre de 2009, se lleva a cabo un seguimiento del arroyo de las Galladas y de la incidencia que tiene el mismo en el Cúa, llegando a la misma conclusión que en 1999.

Aunque se descartó como posible responsable de los episodios de contaminación al arroyo Fuente Lamocos, los datos analizados en la actualidad demuestran que son aguas afectadas por drenajes ácidos.

Además, también se observa que hay mayor aporte de acidez en los periodos de lluvia respecto a los meses de verano (secos), debido a que se produce mayor lavado y disolución de la pirita expuesta a la acción de lixiviación del agua de lluvia y esorrentía, manteniendo así un comportamiento estacional en los aportes de acidez por la hidrólisis de Fe y Al (IGME, 2006).

### ➤ *Contaminación por elementos traza en suelos*

Uno de los impactos de mayor interés en relación con la potencial alteración de las características geoquímicas y mineralógicas de los suelos, como consecuencia de las actividades mineras, es la incorporación a los suelos de residuos o de materiales almacenados en las escombreras y que son transportados por gravedad, el aire y/o agua, bien a través de una fase líquida (en suspensión o solución) o bien en fase sólida.

Este tipo de contaminación es consecuencia principalmente de los DAM, aunque también existen por acumulaciones de materiales estériles y de la combustión del carbón. Los elementos traza son aquellos que normalmente aparecen en la naturaleza o en ambientes alterados en pequeñas concentraciones, y que cuando están biodisponibles en concentraciones importantes pueden ser tóxicos para la vida de los organismos. El suelo y los sedimentos son el principal compartimento donde acaban reteniéndose estos elementos persistentes debido a su capacidad de amortiguación o retención. Los parámetros que influyen en la adsorción y en la distribución de metales pesados en suelos son la concentración de los mismos, la especiación, el pH y Eh del suelo, el tiempo de contacto con los elementos, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de óxidos de Fe y Mn, así como el tipo y cantidad de materia orgánica y de arcilla. Los metales pesados pueden provocar daños severos al medio ambiente y a la salud humana (Refutado en Mejuto, 2011 por Gray, 1998; Adriano, 2001; Chunilall *et al.*, 2006; Jonnalagadda *et al.*, 2006; Moreno *et al.*, 2007; WHO, 2007; EPA, 2008).

En cuanto a la contaminación por elementos traza en el tramo minero del río Cúa, lo más destacable es la falta de estudios que analicen el problema más allá de aquellos que están asociados a la producción de DAM.

## 4 PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo se ha realizado siguiendo una serie de fases encadenadas, cuyo resultado final concluye en la propuesta de actuación de las escombreras del tramo minero del río Cua que tienen mayor afectación en el ambiente, de acuerdo con los objetivos que nos habíamos propuesto inicialmente. De forma secuenciada, las distintas fases de trabajo aparecen reflejadas en la Fig. 1.

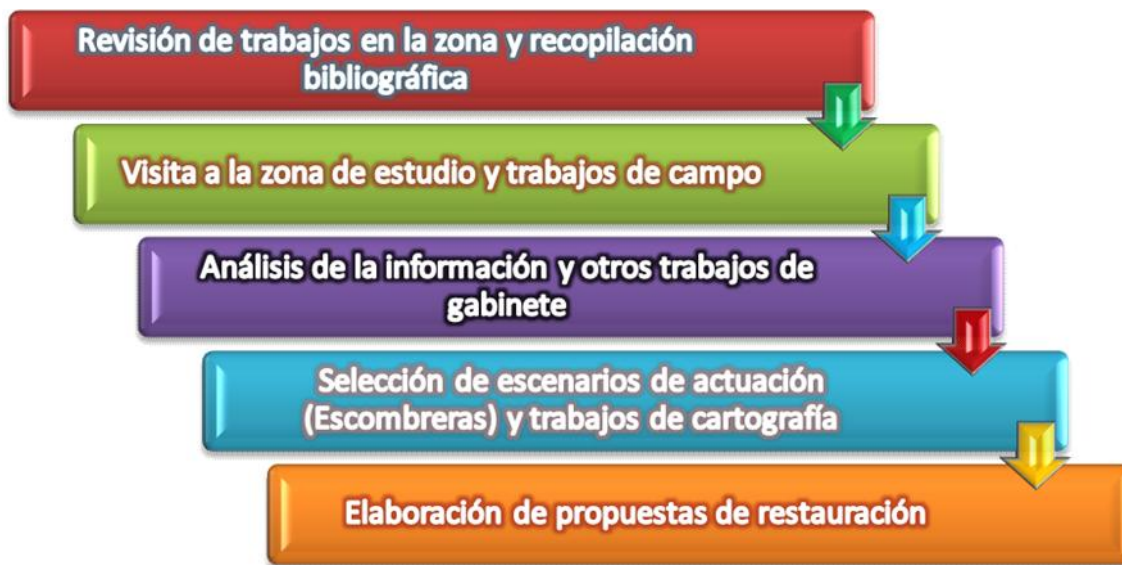


Figura 1. *Secuencia de las fases del plan de trabajo.*

Como ya se comentó, una actuación de la envergadura que supone la restauración completa del tramo minero del río Cua resulta inviable económicamente, si se pretende realizar de una sola vez. Actuaciones anteriores en la zona ponen de manifiesto la necesidad de priorizar una actuación u otra, no entendida esta como una actividad aislada sino como parte de un proyecto integral de restauración que, necesariamente, se prolongará en el tiempo.

En sintonía con lo anterior se comenzó recopilando toda la información de la zona y, particularmente, de cada una de las escombreras que componen el tramo minero del río Cúa a su paso por el municipio de Fabero (11 estructuras mineras), disponible en diferentes organismos como CIUDEN, CIEMAT, IGME y SEPRONA que permitieron elaborar un diagnóstico previo de la zona de estudio. La información relativa al estado legal de las escombreras, propiedad y estado de las

concesiones se obtuvo de la Junta de Castilla y León, en el caso de las concesiones, y del Ayuntamiento de Fabero para la titularidad de los terrenos.

En una etapa posterior se realizó una primera visita a la zona objeto de estudio para tener una visión general de la problemática ambiental generada en el territorio por la actividad minera. Al observar la lamentable situación se constató la necesidad de llevar a cabo una actuación en el área que permita rehabilitar el ecosistema degradado.

Una vez analizada la información y contrastada en campo en posteriores visitas a la zona, se llevó a cabo una evaluación para seleccionar aquellas escombreras en la que deben priorizarse las labores de restauración. Para ello se ha empleado el análisis multicriterio (Mejuto *et al.*, 2010), ya utilizado en estudios anteriores en la misma zona de estudio (Ramón Travieso, 2010) que sigue unos criterios de evaluación en base a las características endógenas del territorio, que permiten establecer un conjunto de variable decisorias.

Una vez efectuado el análisis multicriterio con las variables consideradas relevantes y la ponderación de éstas según la actual situación, se procedió a la selección de las escombreras en las que se debería actuar, realizando las correspondientes propuestas de actuación. Como herramienta complementaria se desarrolló una cartografía de detalle a diferentes escalas, mediante los programas ArcGIS y AutoCAD.

Cada propuesta se ajusta a las características específicas del escenario concreto en el que se pretende actuar, pero en todos los caso se sigue un mismo guion, basado en el protocolo experimental de restauración ecológica, descrito en el *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los Espacios Degradados por la Minería de Carbón en la Comarca de El Bierzo* (García Álvarez, 2010).

## 5 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está situada en ambos márgenes del río Cua, que discurre al oeste del núcleo poblacional de Fabero. Las explotaciones mineras en ese municipio se distribuyen por todo su territorio, pero hay una zona particularmente afectada por estructuras asociadas a la actividad extractiva. El trabajo se centra más concretamente en las 11 escombreras que se localizan en lo que se ha denominado “tramo minero” del río Cua (García Álvarez, com. pers., Fig.2).

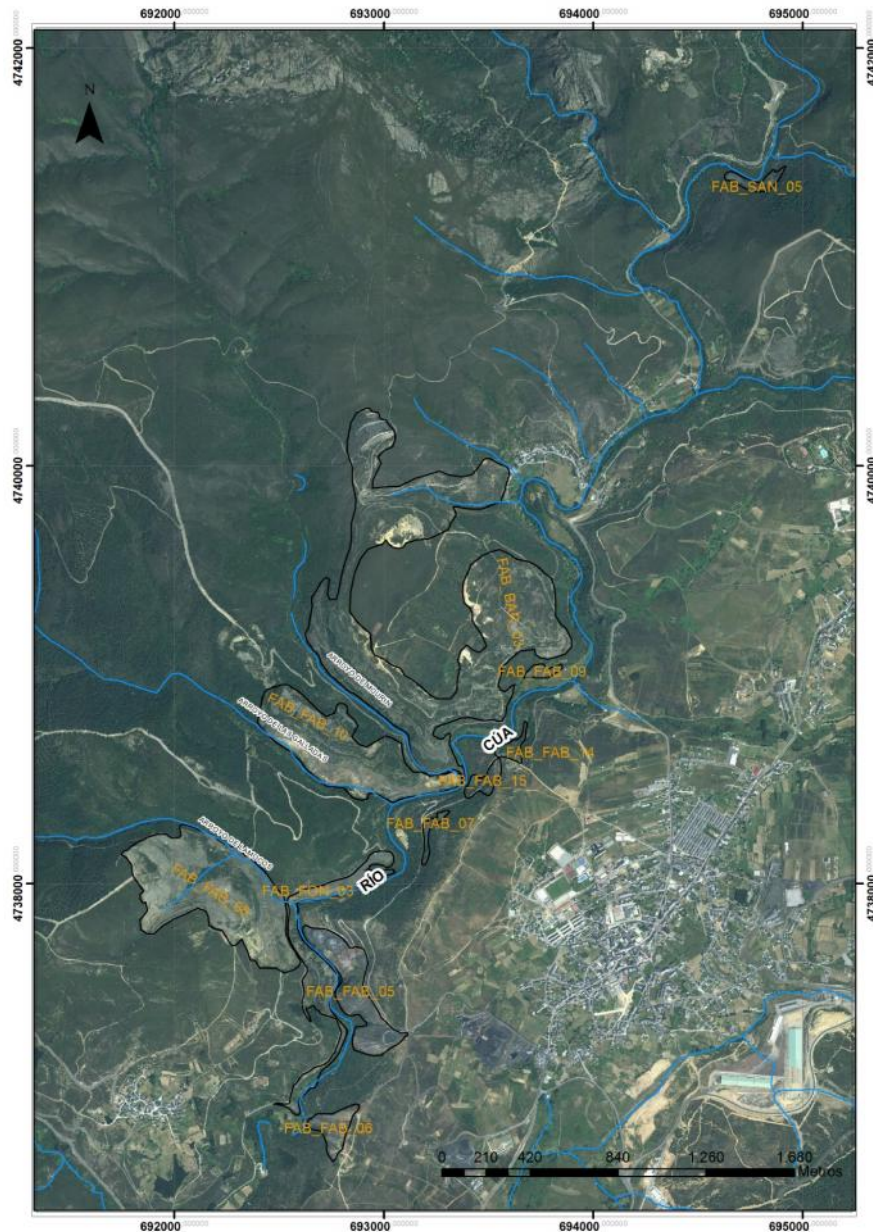


Figura 2. *Situación geográfica del tramo minero del río Cúa.*

## 5.1 Rasgos distintivos de la cuenca carbonífera de El Bierzo: El medio natural

La Comarca de El Bierzo se sitúa al oeste de la provincia de León (Comunidad Autónoma de Castilla y León), con una extensión de 2.997 km<sup>2</sup> y una población de 134.301 habitantes (INE, 2011) (Fig. 3).

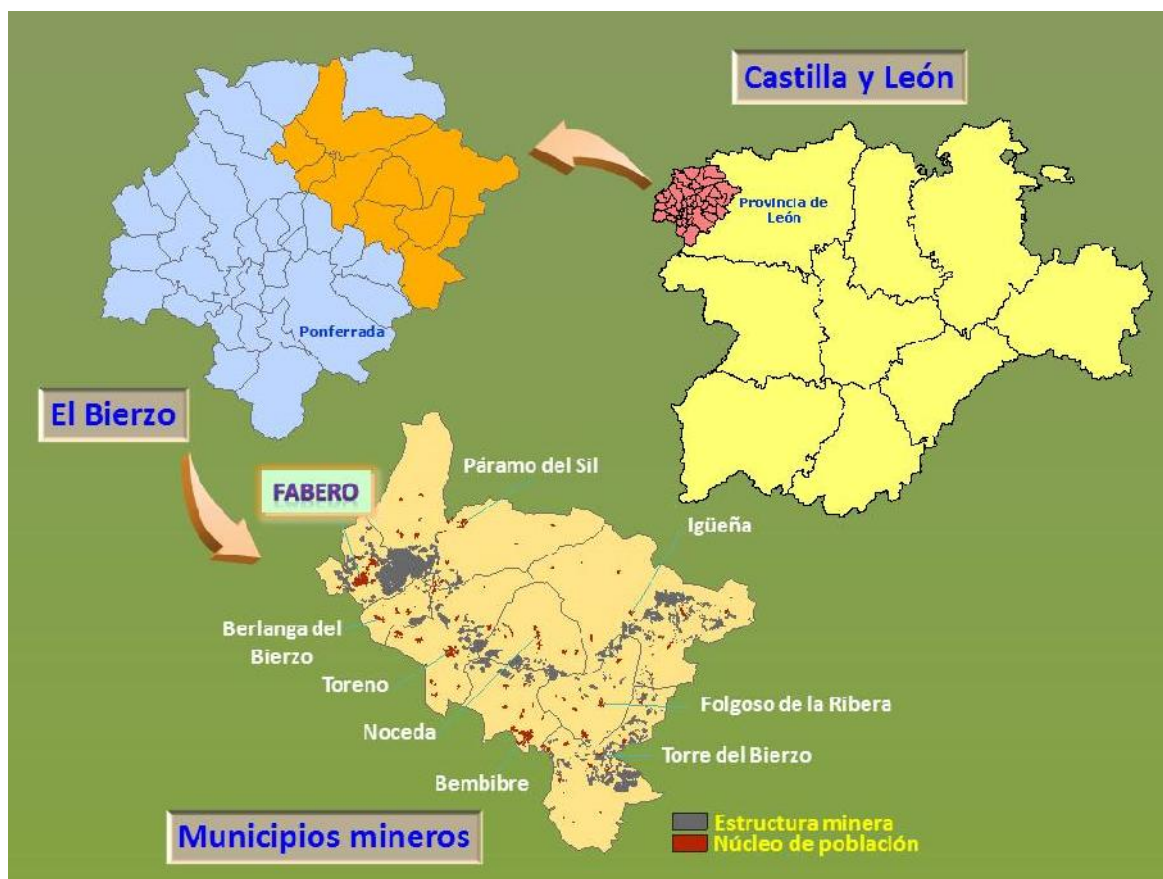


Figura 3. *Situación geográfica de la Comarca y de la cuenca carbonífera de El Bierzo.*

El Bierzo tiene unas características geográficas, históricas, sociales y económicas propias, siendo la única comarca española reconocida por la ley, formada por 38 municipios con capital administrativa en Ponferrada (BOE, 1991).

La cuenca carbonífera de El Bierzo se extiende de este (Valdesamario) a oeste (Fabero) con una rama derivada hacia el sur, a la altura de Almagarinos. Su longitud es de 50 km aproximadamente (en el sentido E – O), siendo su anchura máxima de 18 km. (Vadillo *et al.*, 2009). De los 38 municipios incluidos en el Consejo Comarcal de El Bierzo, diez de ellos incluyen explotaciones de carbón. El

área ocupada por dichos municipios tiene una extensión de 907 km<sup>2</sup>, lo que representa un 32 % de la superficie total de la comarca.

La zona se enmarca en el piso mesomediterráneo superior húmedo, pero con estío más o menos prolongado. Su dominio climático corresponde siempre a bosques sobre suelos pobres y ácidos, por lo que sólo ha podido sostener economías de tipo primario mixto con baja especialización, donde adquirirían cierta importancia la ganadería y una agricultura de subsistencia, con predominio de la pequeña propiedad, y cuyo cierre geográfico ha sido la causa de un aislamiento social y económico secular. Con la llegada de la minería a la comarca se abrieron las puertas al exterior y se produjo un crecimiento económico acompañado del aumento de la población. El apogeo de la industria minera hizo que se convirtiera en el sector económico dominante, con la consecuente dependencia de la población. Esa dependencia es una de las causas que permitieron una explotación de los recursos carboníferos sin ningún tipo de planificación, tratando de maximizar los beneficios y, consecuentemente, sin ninguna consideración a los daños ambientales que provocaba la actividad minera, que ha deteriorado otros recursos endógenos importantes, a veces de forma irreversible, hipotecando con ello otras formas de desarrollo orientadas desde planteamientos basados en la sostenibilidad.

### ➤ **Geología**

La geología de la cuenca, y en concreto la de la zona de estudio, se caracteriza por el predominio de materiales paleozoicos, mayoritariamente estefanienses del periodo carbonífero (Fig. 4), entre los que predominan areniscas, pizarras, conglomerados y capas de carbón. En los márgenes del río Cua se diferencian aluviones que datan del cuaternario (holoceno).

Geológicamente se diferencian tres áreas carboníferas con ciertas características particulares: Toreno-Valdesamario, Torre-Bembibre y Fabero-Matarrosa. Estas áreas se pueden a su vez dividir en varios bloques, en los cuales se describen series estratigráficas particulares con nomenclatura propia: Bloque de Fabero, Langre, Noceda, Almagarinos y Torre.

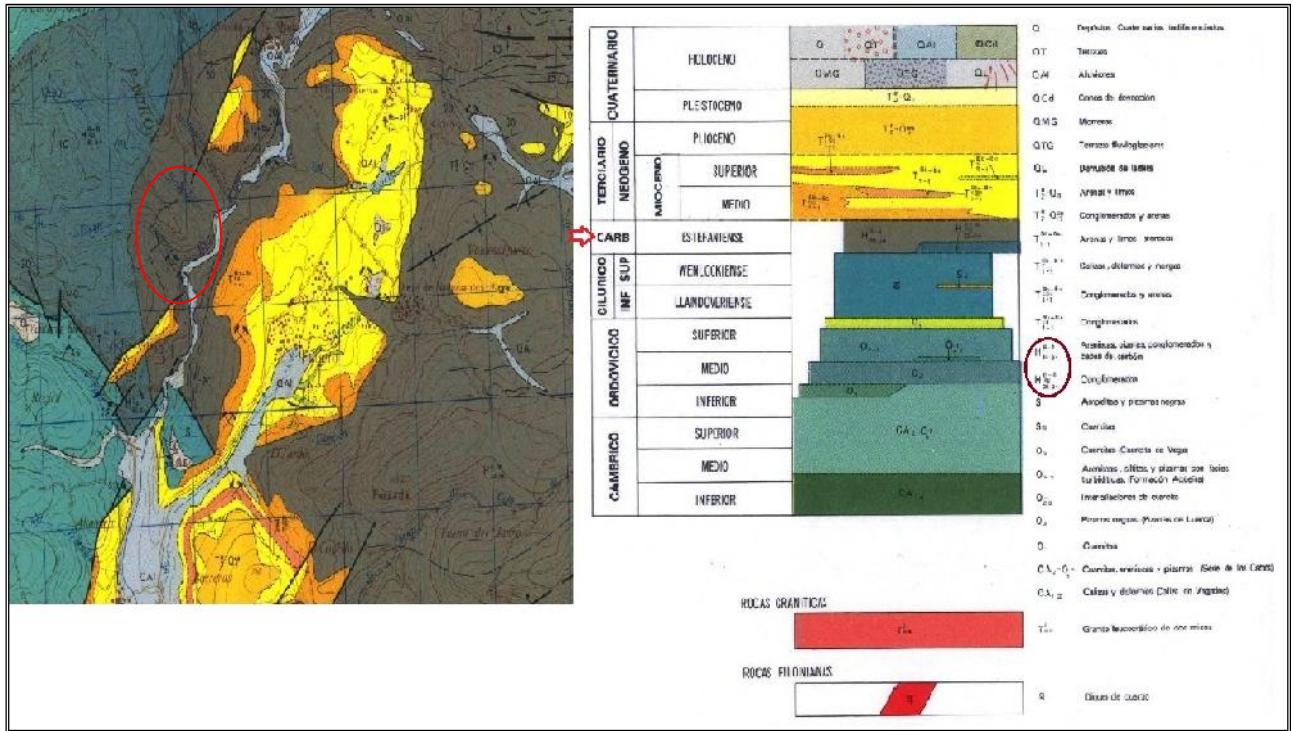


Figura 4. Mapa geológico de la zona de estudio. (Hoja nº 126, serie MAGNA. IGME, 1989)

En la Fig. 5 se esquematiza la situación del carbonífero productivo de la cuenca de El Bierzo en relación con algunas poblaciones de la zona. Los límites entre los Bloques están constituidos por grandes fallas cuyas denominaciones son:

- Falla de Matarrosa, que separa los bloques de Fabero y Langre.
- Falla de Tombrio-Igüeña, que separa los bloques de Langre y Noceda.
- Falla de Boeza-Ponjos, que separa los bloques de Noceda y Almagarinos.
- Falla de Folgoso, que separa el Bloque de Almagarinos del Bloque de Torre.

La compartimentación de la cuenca y la ausencia de niveles guía imposibilitan la identificación y correlación inequívoca de dichos niveles entre los distintos bloques a lo largo de toda la cuenca. A su vez, cada bloque se encuentra dividido en tramos, definidos a partir del reconocimiento de capas de carbón continuas (Fig.5).



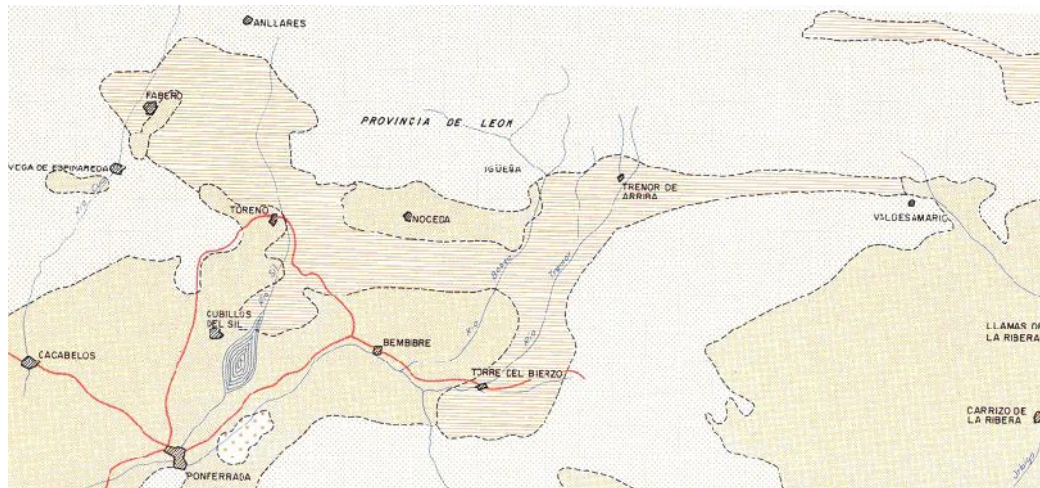


Figura 5. **Extensión y situación del Carbonífero Estefaniense productivo de la zona de trabajo (rayado horizontal), extraída de la Actualización del Inventario de Recursos Nacionales de Carbón (IGME, 1985).**

### ➤ Geomorfología

La gran bóveda constituida por los Montes de León y la Cordillera Cantábrica delimita en su evolución dos unidades morfoestructurales bien definidas: el Zócalo Hercínico y la Depresión del Duero. El primero se puede subdividir en otras subunidades de rango menor entre las que se encuentra El Bierzo, que es esencialmente una cuenca intramontañosa separada de la Depresión del Duero por los Montes de León. A su vez puede verse como dos cubetas (Ponferrada-Villafranca y Bembibre) rodeadas por un conjunto de depresiones menores más o menos colgadas y mal individualizadas.

Durante el Paleógeno, El Bierzo estaba unido al resto de la Meseta, hasta que se produce su aislamiento por causas tectónicas. La morfogénesis terciaria se caracteriza por el relleno y colmatación de las cuencas intramontañosas con la consiguiente construcción de piedemontes. La organización del drenaje es simultánea al levantamiento de los bloques montañosos produciéndose la génesis y relleno de las cuencas interiores. Se forma una superficie erosiva (denominada “alta superficie aluvial”), afectada ocasionalmente por alteración, que enlaza con los depósitos pliocuaternarios (semejantes a los miocenos sobre a los que a veces se superponen). Dicha superficie de enlace puede describirse como el resultado de aplanamientos asociados a la fase final de colmatación de las cuencas terciarias.

Durante el cuaternario, la continuación del encajamiento y la densificación de la red fluvial culminan en la situación actual, en la que los sedimentos terciarios se encuentran fuertemente disectados.



químicos, marcados por los materiales que atraviesan y la complejidad estructural de la zona (Vadillo *et al.*, 2008).

El régimen de aportación es pluvio-nival. Su estiaje es relativamente intenso, con un mínimo en agosto que no alcanza la cuarta parte del caudal medio anual. Las aguas de estos ríos son templadas, con una temperatura media anual cercana a los 14 °C y tienen oscilaciones estacionales pequeñas, desde los 6 °C invernales a los 22 °C estivales. Desde un punto de vista de comunidades biológicas son ríos de montaña media, con aguas oligotróficas, rápidas, frescas y muy oxigenadas, clasificándose desde el punto de vista piscícola como ríos salmonícolas (Masachs, 1948).

En cuanto a los recursos hídricos subterráneos, éstos son muy escasos, debido a que buena parte del territorio coincide con materiales paleozoicos de naturaleza impermeable (alternancia de pizarras y areniscas), limitándose a pequeños caudales que se mueven por la red de diaclasas y fracturas en los niveles cuarcíticos (Vadillo *et al.*, 2006).

El río Cúa atraviesa la zona minera del área de Fabero. De sus 66 km de recorrido solamente 7 km de longitud y 32 km<sup>2</sup> de superficie corresponden a la zona. Tiene un caudal medio de 6,57 m<sup>3</sup>/s, medido en Bárcena de la Abadía. En general las aguas mantienen una buena calidad, a excepción de los arroyos de las Galladas y Fuente Lamocos que serán objeto de un análisis más exhaustivo en capítulos posteriores.

### ➤ **Suelos**

Los suelos que aparecen en la comarca de El Bierzo pueden ser clasificados dentro de los órdenes Entisol (subórdenes Orthent y Psamment) e Inceptisol (subórdenes Ochrept y Umbrept) de la clasificación americana (Soil Survey Staff, 1999), o bien como Cambisoles, Leptosoles, Regosoles, Arenosoles y, más ocasionalmente, Fluvisoles, según los grupos de suelos incluidos en la base mundial de referencia de la FAO (FAO, 2006). En cualquier caso se trata, mayoritariamente, de suelos azonales con escaso desarrollo que solamente presentan un epipedón ócrico o antrópico (Entisoles) y un horizonte cámbico subyacente (Inceptisoles). Son suelos asociados a las regiones montañosas, en las que el relieve condiciona y limita la aparición de suelos más evolucionados. Estos suelos tienen un perfil A/C, con un horizonte A rico en materia orgánica, mezclada con minerales escasamente alterados y de textura mayoritariamente arenosa. Asociados a las zonas donde discurren

los cauces de agua y se van suavizando las pendientes se encuentran los Fluvisoles (García Álvarez y Díaz Puente, 2010).

Por último, hay que destacar las escombreras y vertidos producidos por la minería del carbón, que ocupan un 5,6 % de la superficie de los municipios mineros de la cuenca carbonífera de El Bierzo (Mejuto *et al.*, 2010). Estas escombreras se clasifican como Tecnosoles dentro de la clasificación de la FAO, donde se incluyen los deshechos de minería y cenizas, de origen técnico y sin ningún desarrollo de perfil. Sin embargo, la mayoría de estos vertidos no presenta rasgos edafogénicos por lo que en otras clasificaciones no aparecen reflejados.

### ➤ **Climatología**

La presencia de la Cordillera Cantábrica al norte de la zona de trabajo es el factor más influyente sobre el clima a nivel de mesoescala. Los contrastes climáticos apreciables en esta zona están gobernados por las diferencias en altitud. Los vientos dominantes, de procedencia atlántica, descargan su humedad en la vertiente Norte, mientras que la meridional, que recibe vientos del interior o flujos oceánicos secos, muestra rasgos de carácter mediterráneo.

La zona de estudio y la cuenca carbonífera de El Bierzo, al estar situada en la zona oriental de la comarca, se enclava en el Macrobioclima Mediterráneo (Rivas Martínez *et al.*, 2004), caracterizado por dos meses consecutivos de aridez, durante el periodo más cálido del año.

En concreto, Fabero se sitúa en el **piso bioclimático mesomediterráneo superior**, caracterizado por una temperatura media anual (T) de 11,40 °C, 1,57 °C más baja que la T de España. Como extremos, en los meses más cálidos (Julio-Agosto) la media mensual de las temperaturas máximas diarias (TM) alcanza 28 °C y en los meses más fríos (diciembre-enero) la media mensual de las temperaturas mínimas diarias (tm) es de -0,5 °C.

En cuanto a la pluviometría de Fabero, la precipitación media anual (R) es de 1045 mm, la cual es 400,7 mm más alta que la R de España. La Evotranspiración (ETP) está en torno a 650 mm anuales y el balance hídrico tiene exceso en invierno y un déficit anual alrededor de 178 mm, siendo julio y septiembre meses relativamente secos y agosto seco. Esto da lugar a un periodo seco moderado, característico del **clima mediterráneo húmedo** (Arranz González, 2004).

En resumen, el clima es bastante frío y húmedo en el invierno y pasa, casi sin estaciones intermedias, a veranos soleados y secos que llegan a producir déficits hídricos estivales de moderada importancia. Además, en este entorno montañoso y de umbrías son frecuentes las heladas, con un periodo que pueden abarcar desde primeros de septiembre hasta mediados de junio.

La estación meteorológica más cercana se encuentra en Vega de Espinareda a 6 kilómetros de Fabero.

### ➤ **Vegetación**

El paisaje vegetal de la comarca de El Bierzo se encuentra muy alterado por el hombre como consecuencia de las tradicionales actividades agropecuarias y de aprovechamiento de los montes, además de por las más recientes actividades mineras.

Dentro de la tipología biogeográfica de la Península Ibérica (Rivas Martínez, 2007), la cuenca carbonífera de El Bierzo pertenece a la región Mediterránea, subregión Mediterránea Occidental, provincia Mediterránea Ibérica Occidental, subprovincia Carpetano-Leonesa, sector Berciano-Sanabriense, distrito Berciano. Geográficamente, el distrito ocupa la comarca de El Bierzo que comprende los montes Aquilianos y las cuencas bajas de los ríos Burbia, Cúa, Sil y Tremor.

Las series edafohigrófilas vienen condicionadas por la presencia de agua o de elevada humedad edáfica. Los bosques riparios se encuentran condicionados por los suelos con alta humedad edáfica existentes en la orilla de los ríos, por lo que, incluso bajo clima mediterráneo, están formados por árboles caducifolios. En el noroeste de la Península Ibérica, bajo la influencia del clima oceánico y sobre suelos silíceos, los más abundantes son los bosques dominados por el aliso (*Alnus glutinosa*), que son los que predominan en la cuenca carbonífera de El Bierzo (Ver más información en el Anexo 2)

Las series climatófilas aparecen en laderas y bases de zona de montaña. Los bosques más desarrollados corresponden a los melojares y encinares. Los bosques de roble melojo (*Q. pyrenaica*), también denominados rebollares, son el tipo de vegetación potencial más extendida en la cuenca carbonífera y en todo El Bierzo. Son bosques caducifolios marcescentes de ámbito subatlántico, muy resistentes a la continentalidad, propios de suelos silíceos.

La serie supramediterránea salmantino, orensano-sanabriense y leonesa subhúmeda del roble melojo (*Genisto falcatae-Querceto pyrenaicae* S.) se extiende por la baja montaña, por debajo de los 900 m, donde las precipitaciones son menores y el clima más cálido. Dentro de las áreas de actuación especial se encuentra en los valles del río Cúa y del río Sil, en la zona de Fabero-Toreno. La formación madura es un melojar (*G. falcatae-Q. pyrenaicae*), dominado por ejemplares de talla media de *Q. pyrenaica*, sobre substratos ácidos. Su presencia es mayoritaria en las laderas de umbría, mientras que en los valles de orientación norte- sur, puede aparecer en ambos lados o alternando con franjas de encinar. Entre las especies más características de este bosque aparecen *Q. pyrenaica*, *G. falcata*, *Festuca elegans*, *Cytisus scoparius*, *Genista florida*, *Erica arbórea*, *Primula vulgaris*, y *Cytisus multiflorus*, entre otras. En situaciones de sotobosque más cerrado, aparecen numerosas herbáceas como *Helleborus foetidus*, *Lathyrus montanus*, *Poa nemoralis*, *Polygonatum odoratum*, *Silene nutans*, *Lotus corniculatus*.

Es en la zona ocupada potencialmente por estos bosques donde se desarrolla mejor el castaño (*Castanea sativa*), por lo que la presencia de éste es un buen indicador del lugar donde se ubicarían estos melojares.

Los matorrales densos de sus primeras etapas de sustitución son diversos tipos de matorral como los piornales con cantueso (*Lavandulo sampaioanae-Cytisetum multiflori*) dominados por *C. multiflorus* con *Lavandula pedunculata* y acompañados por *Cytisus striatus*, *E. arborea*, *Adenocarpus complicatus*, *Pteridium aquilinum*, o los piornales con aulagas (*Genisto hystricis-Cytisetum multiflori*) también dominados por *C. multiflorus* pero con abundancia de *Genista hystrix* y acompañados por *Genista florida* subsp. *polygalaephylla*, *C. scoparius*, y *Adenocarpus complicatus*.

Los bosques de encinas o carrascas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) ocupan como vegetación potencial una superficie mucho menor que los melojares tanto en la cuenca carbonífera como en el resto de El Bierzo. Son bosques perennifolios esclerófilos típicamente mediterráneos, también muy resistentes a la continentalidad, como los melojares, pero más resistentes a la sequía. Son indiferentes edáficos por lo que se extienden por gran parte de la Península Ibérica y a muy diversas altitudes, por los pisos termo, meso y supramediterráneo. La serie mesosupramediterránea salmantina y orensano-sanabriense silicícola de la encina (*Genisto hystricis-Querceto rotundifoliae* S.) se extiende por las laderas de solana de la media montaña, en el curso bajo de las cuencas de los ríos Tremor, Cúa y Sil. La etapa madura corresponde a un encinar con sotobosque rico en arbustos, pero pobre en especies

herbáceas, siempre sobre cuarcitas y pizarras. Entre las especies características se encuentran *Quercus ilex* subsp. *ballota*, *Genista hystrix*, *C. multiflorus*, *Daphne gnidium* y *Cistus ladanifer*. En el río Cúa se reconoce una subasociación termófila caracterizada por la presencia de *Arbutus unedo*, *Rubia peregrina* y *Ruscus aculeatus*.

Sus etapas de sustitución comienzan con los carrascales abiertos y diversos piornales similares a los correspondientes a la serie de los melojares subhúmedos, como son los piornales con cantueso (*Lavandulo sampaiana-Cytisetum multiflori*) y los piornales con aulagas (*Genista hystrix-Cytisetum multiflori*) (Zaballos *et al.* en García Álvarez, 2010).

## 5.2 Características socioeconómicas de la comarca

### ➤ Usos y aprovechamientos del territorio

El principal motor de la economía de la comarca de El Bierzo y particularmente del municipio de Fabero es la minería, apreciable por el gran número de minas a cielo abierto que hay en el territorio municipal, pertenecientes la mayoría a la empresa UMINSA del grupo de Victorino Alonso.

Esta actividad provocó, durante el siglo XX, una transformación económica y un incremento de población en la zona. Sin embargo, las minas están siendo cerradas debido al agotamiento de los recursos y a su cada vez menos rentable explotación.

En la zona se dan otras actividades económicas, como son la agricultura y la ganadería (comarca ganadera SP24070 “Fabero”). El turismo también forma parte de la economía de la zona, así como la caza. Cabe destacar que el municipio de Fabero forma parte de la zona de producción de cuatro productos que sobresalen por su calidad: la manzana reineta (con Denominación de Origen Protegida de El Bierzo), el botillo, la cecina (Indicación Geográfica Protegida) y la pera.

Pese a la existencia de estas actividades el declive de la población pone de manifiesto la excesiva dependencia de la industria minera y la ausencia, hasta el momento, de alternativas económicas.

La generación de empleo alternativo es un largo y difícil camino (Sánchez Melado, 2006) que debería re-examinar el estado y la calidad de los recursos endógenos (inventario de recursos) y, a partir de ello, vertebrar iniciativas hacia un escenario de medio ambiente e innovación (Rojo, 1999),

en un contexto de sostenibilidad. Ello requiere un esfuerzo continuado y prolongado en el tiempo, a la vez que implica cambios estratégicos de todos los agentes implicados en el desarrollo de actividades económicas alternativas, pero también saber aprovechar las circunstancias favorables y dirigirlas hacia nuevas actividades, mediante un cambio en la percepción de cómo utilizar los recursos propios

La rehabilitación de espacios degradados por la minería, sobre todo de aquellos denominados como “legado histórico” (García Álvarez, 2010), puede contribuir directa o indirectamente al desarrollo de esas nuevas actividades. Al rehabilitar los factores ambientales más afectados, suelos, vegetación y calidad de las aguas, se ponen en valor recursos que, de otra manera permanecerían en un estado que impediría cualquier iniciativa planteada en términos de sostenibilidad (García y del Riego, 2010).

En lo referente a usos del suelo para el municipio de Fabero, se puede observar en la Fig.7 como predomina el suelo poblado por matorral y por bosque. Seguido por urbano e industrial (donde se encuentra incluido el suelo dedicado a minería). No obstante, conviene recalcar que casi el 27% de la superficie del municipio de Fabero (1447ha) se encuentra ocupada por escombreras.

Así mismo, como se visualiza en la Fig. 8, la distancia de estas a los núcleos de población es corta, encontrándose la mayoría en el perímetro menor de 1000 m e incluso varias a menos de 100 m. Dato relevante en el momento de tomar decisiones respecto a las actuaciones a llevar a cabo en el ámbito de la restauración.

A lo largo del último siglo y medio han ido desapareciendo la mayoría de las masas de melojar, robledal y encinar, las alisedas y alcornocales, algunos sotos de castaños y madroñales, siendo sustituidos por matorrales diversos. Los incendios, las obras públicas y la minería de carbón a cielo abierto han sido las agresiones de los últimos tiempos sobre los bosques de este territorio. De entre ellas, se ha destacado el fuego como la peor de las plagas que han azotado a las masas arboladas, pues hasta nuestros días, los pastores, siguiendo prácticas ancestrales, han promovido el fuego como medio de aclarar el monte y fomentar la producción de brotes tiernos y hierbas. Los robledales, encinares y melojares han sido intensamente aprovechados para obtener leña y carbón vegetal. Incluso, el ramón del melojo ha sido empleado para echarlo a las tinadas de ganado. No obstante, es posible encontrar algunos rebollares en buen estado, salpicados de robles, serbales, espinos, manzanos silvestres, cerezos y otras especies.



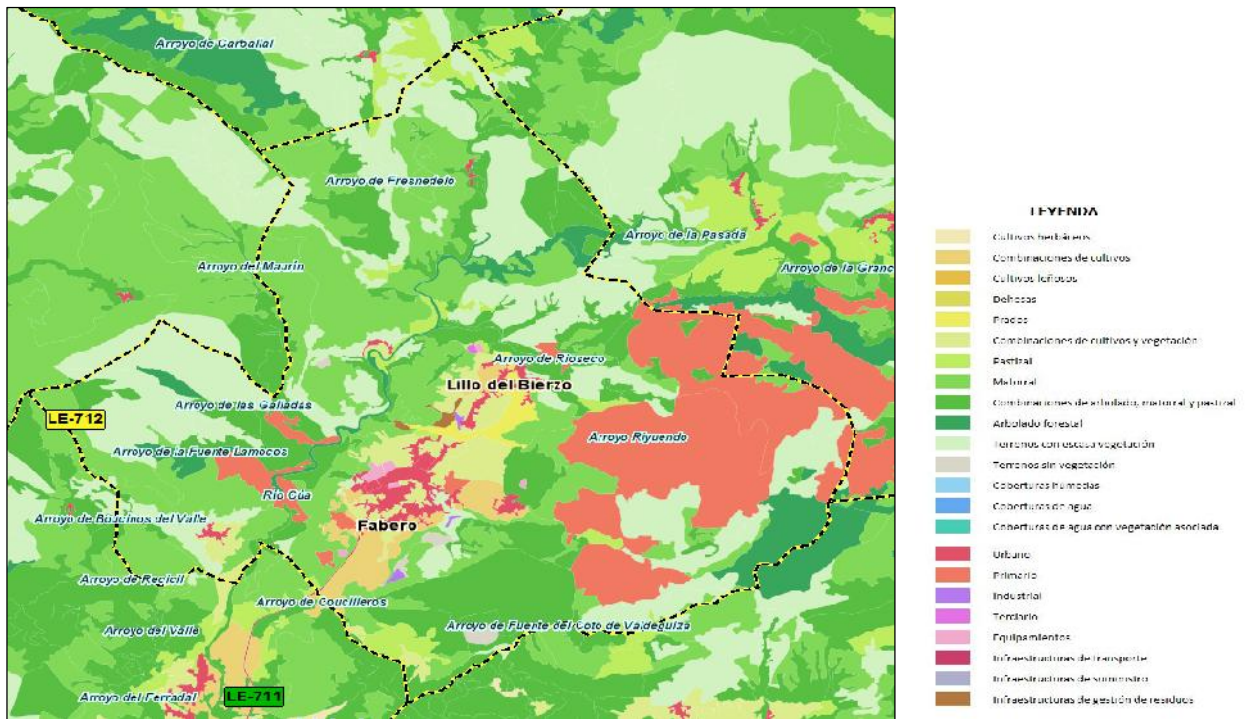


Figura 7. **Mapa de Ocupación del suelo. SIOSE 2005.**

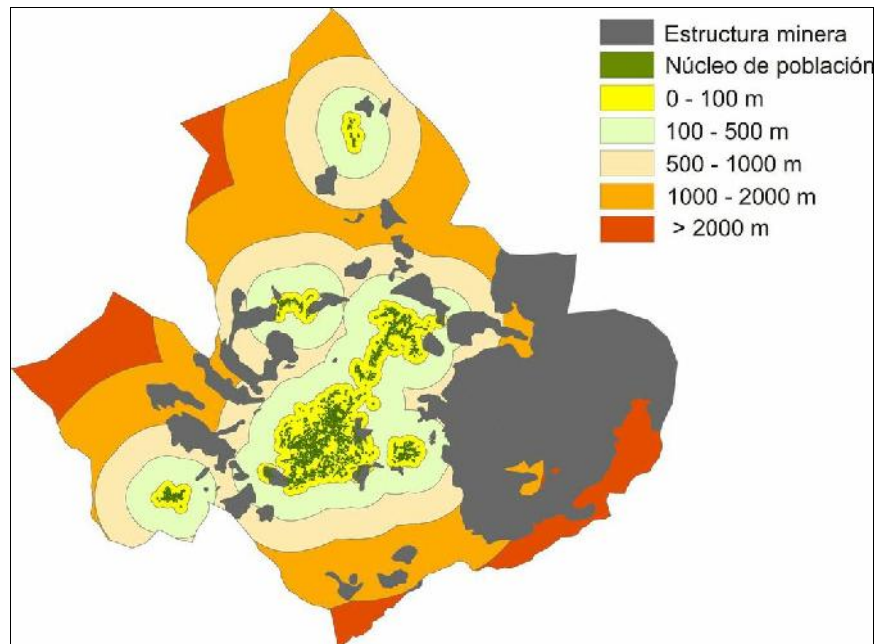


Figura 8. **Municipio de Fabero. Núcleos de población y ubicación de las escombreras.**

También la cepa y raíz del brezo se han utilizado mucho en tiempos pasados para fabricar carbón vegetal destinado a las fraguas. En general las masas de matorral también han sido víctimas de los incendios provocados, si bien todavía abundan matorrales nobles, densos, de alta cobertura, enriquecidos por arbustos y matas leguminosas que actualmente se ven amenazados por la actividad repobladora indiscriminada con desbroce total. Muchos de ellos podrían verse sometidos a un estilo de repoblación menos agresivo, orientado a introducir especies de mayor interés económico y ecológico: abedul, roble carballo y albar, fresno, cerezo, castaño o nogal.

Junto a los brezales, los pinares de repoblación, son posiblemente ahora la unidad más extendida, si bien, al ser la mayoría de ellas recientes presentan un aspecto de landa de brezos entre los que se encuentran los pequeños pinos aún no crecidos. Las principales especies plantadas son *Pinus sylvestris*, *P. pinaster* y *P. nigra*. La actividad repobladora de la última década ha alcanzado a 14.000 ha, fundamentalmente sobre montes de brezo - carqueixa, empleando especies frugales como el pino silvestre o el laricio. En determinadas estaciones de mayor calidad se han introducido frondosas como el cerezo, el nogal, el roble o el serbal.

Otro aprovechamiento tradicional de la zona es el de los castaños o sotos de castaño. Las castañas han sido parte importante de la dieta de los pobladores de El Bierzo desde el tiempo de los romanos hasta fechas recientes. Igualmente ha sido tradicional el aprovechamiento de frutos silvestres tales como los del endrino (*Prunus spinosa*) o el madroño (*Arbutus unedo*).

La ganadería ha sido un recurso estratégico en la economía de muchos pueblos de la montaña berciana, pero en la actualidad está profundamente afectada por la despoblación y las sucesivas crisis que han afectado particularmente a un sector escasamente profesionalizado. Por ello hemos asistido a un descenso alarmante de la cabaña ganadera y el consecuente abandono de amplias zonas de pasto, sometidas actualmente a un proceso de sucesión ecológica de la vegetación, que está siendo sustituida por formaciones de matorral de retama en altitudes medias y por brezales en las zonas de pasto de mayor altitud.

### ➤ Figuras de protección y regulación

La zona de actuación se encuentra cerca del *Espacio Natural Sierra de Ancares* que forma parte del Plan de Espacios Naturales Protegidos de Castilla y León (*Ley 8/1991, de Espacios Naturales de Castilla y León*, aprobada por las Cortes de Castilla y León el 30 de abril de 1991).

Las escombreras se encuentran en el límite o incluidas en el Lugar de Interés Comunitario (LIC) y Zona de Especial Protección para Aves (ZEPA) *ES4130010 SIERRA DE LOS ANCARES-ALTO SIL*, propuesto con fecha de Enero 1998, del que se ha segregado la superficie correspondiente al Lugar ES0000210 ALTO SIL (ver Anexo 3 ).

Cabe destacar que muy cerca al área de estudio se desarrolla parte de la porción castellano leonesa de la población cantábrica de oso pardo (*Ursus arctos*), que junto con el urogallo (*Tetrao urogallus cantabricus*) y el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), presentes en la zona, constituyen las especies en peligro de extinción (Real Decreto 139/2011). En el anexo 4 se numeran algunas de las especies vistas en la zona incluidas en la Directiva 92/43/CEE de Hábitats.

Al ser una zona LIC y ZEPA, y considerando los objetivos de la restauración, habría que tener en cuenta:

- La Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.
- La ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- La ley 08/1991, de 10 de mayo, de Espacios Naturales de la Comunidad de Castilla y León.
- La ley 37/1996, de 31 de mayo, que declara la Sierra de Ancares “Reserva Nacional de Caza”.



## **6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1 Tipología de las escombreras en el tramo minero del río Cua**

Antes de realizar cualquier tipo de intervención en el territorio, es necesario realizar un diagnóstico exhaustivo y pormenorizado de la zona, ya que puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso de las actuaciones. El conocimiento preciso de las afecciones es lo que permitirá intervenir de forma adecuada, adaptando los fundamentos ecológicos, que siempre han sido la referencia para la realización de las propuestas, a las características concretas de cada escombrera, que tienen una gran variabilidad de procesos que afectan al ambiente. Dicha variabilidad ha sido recapitulada en las tablas que aparecen en el Anexo 5, a partir de la información recopilada, que ha permitido tipificar las 11 escombreras incluidas en el tramo minero del río Cua, en función de sus características y de los problemas ambientales que generan.

### **6.2 Criterios que justifican la elección de escombreras**

Como ya se ha comentado, las actuaciones de carácter puntual o muy localizadas pueden contribuir a disminuir la presión de los impactos en el territorio, pero nunca minimizará o eliminará el problema. Sin embargo, la inversión económica que requiere una restauración de tal envergadura es considerable y en la situación actual es poco realista que se produzca en su integridad. Es por ello que debe partirse de un planteamiento que hace necesario priorizar las intervenciones de manera gradual, pero continuada en el tiempo.

Tras el análisis de los problemas ambientales que ocasionan las escombreras, se realizó una evaluación de las mismas mediante la aplicación del análisis multicriterio (Mejuto *et al*, 2010; Ramón Travieso, 2012), con el fin de establecer una jerarquía de escenarios de actuación en función de la gravedad de los impactos y priorizar así las propuestas de restauración en la zona. De acuerdo con la metodología del análisis multicriterio se han evaluado una serie de factores o variables de decisión a los que se les ha asignado un valor de ponderación, relacionado con el peso relativo de cada variable en la toma de decisiones.

Para evaluar la prioridad de actuación mediante este método, se han anotado los valores asignados (VA) a las variables de decisión en cada escombrera, obtenido en la mayoría de los casos a

partir de observaciones en campo. Los VA son transformados mediante el peso ponderado establecido para cada variable, obteniendo así el valor asignado ponderado (VAP). Finalmente se aplica el sumatorio para conseguir el valor final (S) para cada escombrera. Los resultados obtenidos en el análisis quedan reflejados en la Tabla 1.

Como se muestra en la tabla, las variables decisorias se distribuyen en varias categorías: factores de riesgo para personas, bienes e infraestructuras; criterios ecológicos y ambientales; y repercusiones sociales de la restauración. El peso ponderado ha sido asignado según criterios subjetivos pero relevantes para la zona y la situación socioeconómica actual.

En concreto, debido a los graves impactos que las explotaciones están teniendo en el territorio, parte del cual está incluido en zonas LIC y ZEPA, los criterios ecológicos y ambientales han sido a los que se les ha asignado el mayor valor (4-5).

En cuanto a los factores de riesgo para las personas, bienes e infraestructuras se han ponderado en (4-3) ya que aun cuando se han observado en la zona, no suponen un riesgo relevante.

Las repercusiones sociales de la restauración se valoraron en 4-3. Se considera muy importante involucrar a los ciudadanos de la zona. Debe asumirse que el éxito en la restauración de un espacio degradado es más una percepción humana que una realidad ecológica (Davis y Slobodkin, 2004 en Ramón Travieso, 2010), por lo menos a corto y medio plazo.

En relación a esto cabe mencionar que actualmente no está previsto actuar en la zona a corto plazo, debido a la falta de presupuesto, por lo que el factor económico no ha sido incluido dentro del conjunto de variables decisorias. Sin embargo, se actuará siguiendo un principio de fidelidad ecológica, entendido en un contexto que enfatiza la viabilidad económica y el apoyo y la participación social en las tareas de restauración.

**Tabla 1. Resultado de aplicación del análisis multicriterio a las escombreras del río Cua, en el municipio de Fabero.**

Escombrera	Ponderación	FAB_FAB_05		FAB_FAB_06		FAB_FAB_07		FAB_FAB_08		FAB_FAB_09		FAB_FAB_10		FAB_FAB_14		FAB_FAB_15		FAB_BAR_03		FAB_FON_03		FAB_SAN_05	
		VA	VAP	VA	VAP	VA	VAP	VA	VAP	VA	VAP	VA	VAP	VA	VAP	VA	VAP	VA	VAP	VA	VAP	VA	VAP
<b>Factores de riesgo para las personas, bienes o infraestructuras</b>																							
Estabilidad de la escombrera. Riesgo de deslizamiento	4	5	20	3	12	2	8	3	12	2	8	3	12	2	8	2	8	2	8	4	16	3	12
Proximidad a vías interurbanas y otras infraestructuras frecuentadas por la población	3	4	12	1	3	1	3	3	9	1	3	2	6	1	3	1	3	3	9	1	3	3	9
<b>Criterios ecológicos y ambientales</b>																							
Impacto visual y paisajístico	4	5	20	4	16	2	8	3	12	3	12	3	12	1	4	2	8	3	12	3	12	4	16
Proximidad a zonas protegidas o de interés natural	5	4	20	4	20	4	20	5	25	5	25	5	25	4	20	4	20	5	25	5	25	4	20
Proximidad a corrientes fluviales	4	5	20	5	20	4	16	5	20	3	12	5	20	4	16	4	16	5	20	5	20	5	20
Riesgos de contaminación y generación de aguas	5	4	20	4	20	2	10	5	25	3	15	5	25	3	15	3	15	3	15	4	20	4	20
<b>Repercusiones sociales de la rehabilitación</b>																							
Nivel de percepción de los habitantes afectados	4	5	20	4	16	2	8	3	12	3	12	4	16	1	4	1	4	2	8	3	12	3	12
Usos potenciales tras la rehabilitación	3	5	15	4	12		0	4	12	4	12	5	15	4	12	4	12	4	12	5	15	3	9
<b>S Valor final</b>			<b>147</b>		<b>119</b>		<b>73</b>		<b>127</b>		<b>99</b>		<b>131</b>		<b>82</b>		<b>86</b>		<b>109</b>		<b>123</b>		<b>118</b>

*Donde VA= valores asignados, VAP = valor asignado ponderado y S = Valor final de cada escombrera*

Las escombreras que han obtenido un valor final más elevado son: FAB\_FAB\_05, FAB\_FAB\_10 y FAB\_FAB\_08 que se encuentran recogidas en la Fig.9. Se trata de escombreras cuya actuación es prioritaria y urgente y sobre las que se realizan las propuestas de actuación del presente trabajo.

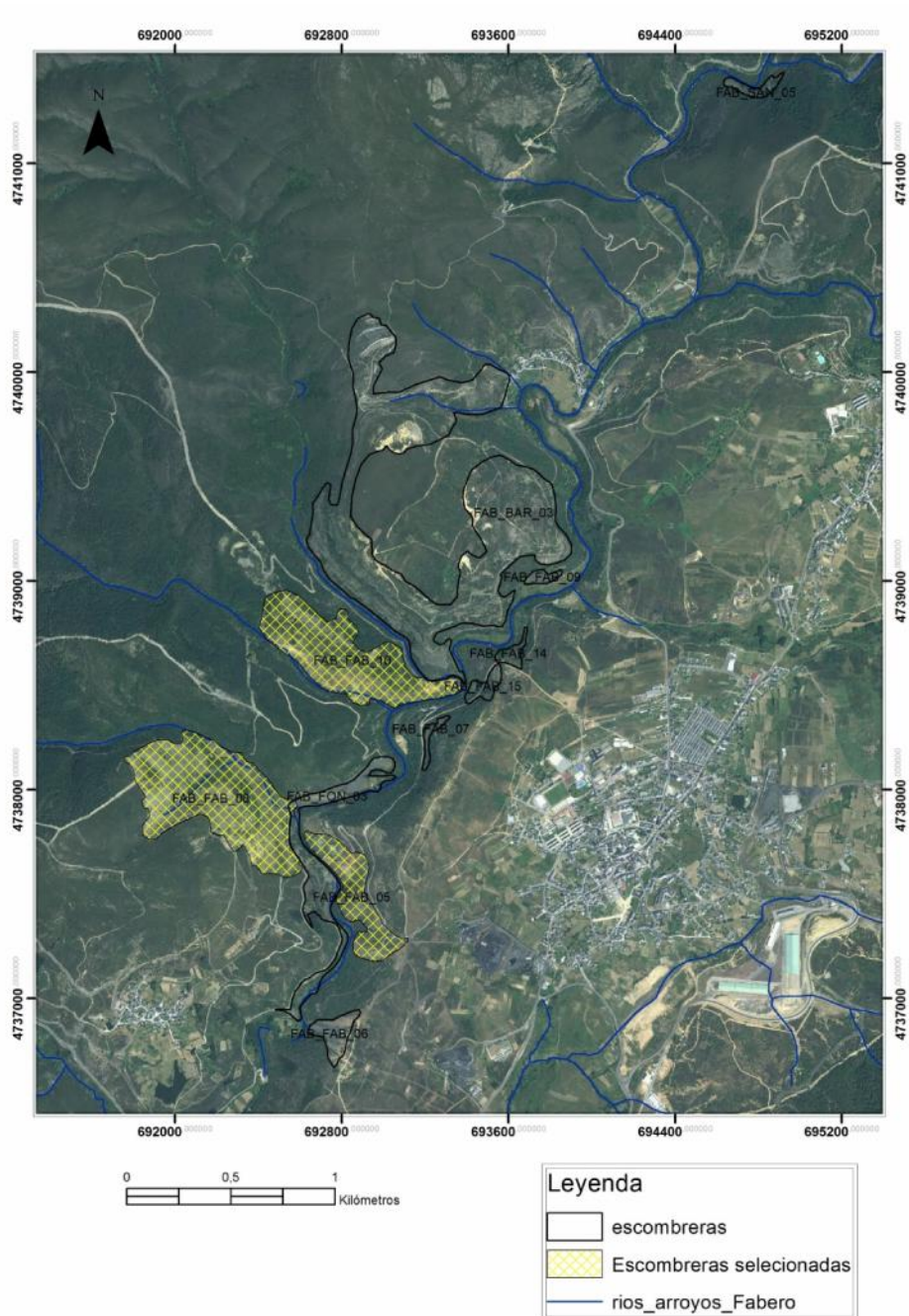


Figura 9. **Situación geográfica de las escombreras seleccionadas.**



## 7 PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

Las distintas actuaciones que se proponen van dirigidas a integrar las escombreras en el entorno paisajístico y suprimir o minimizar los impactos que producen, entre otros objetivos, asumiendo que las alteraciones causadas suponen un cambio profundo e irreversible que impone nuevas condiciones en el proceso de auto-organización del ecosistema.

Dicha integración tiene lugar a partir de un proceso de sucesión ecológica ligado a los factores ecológicos y ambientales, pero que es sensible a las condiciones iniciales. Conocer estas condiciones es el punto de partida en cada uno de los casos de estudio que se recogen, a modo de corolario, en este apartado.

Para elaborar las propuestas de actuación y conseguir la integración paisajística de las escombreras en el entorno, se han seguido los criterios que se describen en el *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería del carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, 2010), cuyo protocolo de restauración ya ha sido utilizado con éxito para la restauración de dos escombreras en el núcleo urbano de Tremor de Arriba (municipio de Igüeña) y en un conjunto de escombreras situadas en Arlanza (municipio de Bembibre).

Dicho protocolo incluye cinco fases de aplicación gradual, tal y como se recogen en la Fig. 10: i) tareas preliminares ii) estudios y trabajos previos, iii) proyecto de ingeniería civil, iv) activación de los procesos de edafización y revegetación, y v) monitorización de la evolución de la restauración (García Álvarez, Cardona y Millán, 2010).

Basándonos en esto, se desarrollaron las diferentes propuestas de actuación para las escombreras seleccionadas. Se incluye un esquema jerarquizado de las diferentes etapas del proceso, que ni es cerrado ni implica la inclusión obligatoria de cada una de las tareas para un escenario concreto. Cada caso será estudiado con detalle incluyendo o ignorando diferentes actuaciones según los requerimientos.

Etapa	Tarea	Requerimiento
<b>Preliminares</b>		
	Solicitud de permisos y gestión de licencias	Obligatorio
	Memoria técnica y presupuesto	Obligatorio
<b>Estudios y trabajos previos</b>		
	Estudio de campo/Recogida de muestras	Obligatorio
	Levantamiento topográfico	Obligatorio
	Estudio geofísico	Obligatorio/Opcional
<b>Aplicación del protocolo</b>		
	Remodelación del relieve	Obligatorio/Opcional
	Aplicación de una enmienda orgánica/fracción fina	Obligatorio
	Acolchado con banco de semillas	Obligatorio
	Implantación de especies arbustivas	Obligatorio
	Repoblación con especies arbóreas	Obligatorio
<b>Post-restauración</b>		
	Monitorización	Obligatorio/Opcional

Figura 10. *Etapas de actuación en la restauración de escombreras (García Álvarez, en prensa ).*

## ESQUEMA DE LAS PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

1. **DIAGNÓSTICO:** Incluye la información detallada de cada una de las escombreras, la caracterización de las condiciones iniciales y los estudios o trabajos previos realizados o requeridos.

### ➤ Descripción

Se incluyen las características principales de la escombrera a restaurar, tanto la información recopilada bibliográficamente como la obtenida con las visitas a la zona de estudio y trabajos de campo y gabinete.

### ➤ Cartografía y levantamiento topográfico

Realización de un levantamiento topográfico de cada escenario y su posterior representación cartográfica. Además, para cada una de las escombreras se presenta la cartografía del relieve realizada con el programa AutoCAD y el resultado de comparar el modelo digital del terreno (MDT)

de la cartografía del vuelo americano de 1957 con el MDT de las ortofotos de 2008. Con esto último se obtuvo una representación de los cambios morfológicos que se han producido en el terreno por el aporte de vertidos procedentes de la actividad minera.

En este apartado también se incluye la clasificación morfológica de la escombrera en base a los criterios seguidos en el “Manual de construcción y restauración de escombreras” (López *et al.*, 2006).

#### ➤ **Estudio geofísico**

Se expondrá la necesidad o no de llevar a cabo un estudio geofísico mediante diferentes técnicas como tomografía eléctrica, tomografía sísmica de alta resolución y/o geo-radar. Con el fin de conocer el espesor y volumen de materiales vertidos en la escombrera y los flujos de agua difusos subsuperficiales.

Esta información será imprescindible si se pretenden llevar a cabo actuaciones en el relieve de las escombreras o sobre los flujos de agua que discurren bajo materiales. Y resultará de gran utilidad en el momento de adoptar decisiones para la implantación de la cobertura vegetal.

#### ➤ **Estudio de la estabilidad de las escombreras**

En la minería del carbón en El Bierzo muchas escombreras no presentan problemas de estabilidad geomorfológica, incluso en aquellas en las que la geometría del talud tiene rangos de pendiente mayores de 35°, algo que se pone de manifiesto después de haber transcurrido decenas de años sin detectar la presencia de fenómenos de inestabilidad. Esta apreciación ha sido confirmada en un estudio de dos escombreras en Tremor de Arriba (CEDEX, 2009), en el que los resultados obtenidos en los cálculos de estabilidad, pese a la heterogeneidad de los materiales depositados (pizarra, arenisca, carbón), aseguran un riesgo potencial de inestabilidad reducido, a pesar de las pendientes que aparecen en muchos casos.

Esta circunstancia debe ser comprobada puntualmente con los estudios de estabilidad correspondientes.

A falta de los estudios geofísicos, se realizó una búsqueda de procesos de erosión “activos” basados en Tongway y Hidley (2004), para la caracterización de surcos y abarrancamientos, terracillas, erosión laminar, truncamiento de suelos, erosión en pedestales, etc.

## 2. **PROPUESTAS:** Referidas a la aplicación del protocolo

### ➤ **Remodelado del relieve**

Como se ha mencionado, en la mayoría de las escombreras los materiales se han redistribuido y estabilizado con el tiempo a lo largo de la pendiente. Aunque sean necesarios los estudios de estabilidad, en muchas ocasiones no hará falta actuar sobre este aspecto.

No obstante, en la mayoría de los casos sí será necesario realizar obras de ingeniería civil a la hora de ejecutar el proyecto de restauración: acondicionar caminos para el acceso de camiones, desmantelar instalaciones abandonadas o demoler edificios mineros que, en ocasiones, tienen un fuerte impacto en el paisaje. En dichos casos, se deberá proceder mediante gestores autorizados para tal fin.

### ➤ **Actuaciones sobre impactos específicos**

Se incluirán propuestas de actuación para intentar evitar o paliar los impactos presentes en cada escenario, en la medida de lo posible. Se destaca que estas propuestas serán dependientes de los resultados de los estudios previos para establecer un diagnóstico global, por lo que a la hora de ejecutar el proyecto de restauración algunas serán desechadas y otras nuevas incluidas.

### ➤ **Aplicación de enmienda orgánica/fracción fina**

Como se comentó, se parte de un sustrato inerte (que carece de energía y biocenosis), conseguir activar los procesos de creación del suelo se hace un punto clave para que la actuación de restauración sea un éxito. Culminar con la aparición de un suelo capaz de sustentar una colonización por especies vegetales del entorno sin incluir actuaciones de reintroducción de cobertura vegetal, se puede considerar como un objetivo de la labor de restauración en sí mismo.

Sin entrar en detalles, esta activación se realizará a partir de la adición de materiales orgánicos que aportarán nutrientes de liberación lenta e inmovilizarán aniones tóxicos y metales pesados. Asimismo, la fracción orgánica actúa como vector en la introducción de poblaciones edáficas (baterías, hongos, nematodos, etc.) ausentes en dicho escenario.

El tipo, modo y momento de aplicación de la enmienda resultan críticos y deben de ser estudiados y elegidos para cada caso en concreto, teniendo siempre en cuenta la disponibilidad de éste cerca del escenario de actuación.

- **Implantación de la cobertura vegetal:** Acolchado con banco de semillas, implantación de especies arbustivas y repoblación con especies arbóreas.

Cuando se observe que es necesario realizar labores de revegetación, bien sea porque la implantación de la cobertura vegetal no se produce de manera natural, porque se quiera acelerar el proceso o porque no ha existido remodelado del terreno que permita fijar el sustrato, se llevará a cabo un proyecto de revegetación que cumpla con los objetivos fijados.

Sin entrar en detalle, se tendrán en cuenta consideraciones como la utilización del banco de semillas procedente de la siega de pastizales y praderas de la zona de la escombrera, garantizando de esta manera la introducción de un sustrato herbáceo de especies autóctonas con ecotipos locales. Tras la siega (julio), trillado y almacenamiento, la mezcla de paja y semillas se dispondrá superficialmente en la escombrera (octubre) de manera que a la vez que se introduce el banco de semillas, se constituye una capa de protección (mulch o acolchado) que contribuye a mejorar las condiciones microclimáticas del suelo y estabilizar los materiales superficiales de la escombrera.

En los casos que se considere oportuno, a la vez que se va aplicando el mulch semillado se recubrirá con una malla de material orgánico (p. ej. fibra de coco) que favorecerá la estabilidad e impedirá la pérdida de la mezcla.

Si se considera pertinente realizar plantación, será con la producción y mano de obra de CIUDEN-vivero que cuenta con un taller de empleo en el ámbito de la restauración. El material se producirá con sustrato y semillas recolectadas en la zona. Esto tiene la doble función de asegurar la integridad biológica del entorno con el origen autóctono de la especie arbustiva y fomentar la aceptación y el empleo en la zona.

Las especies serán elegidas entre las más apropiadas según cada escombrera entre las enumeradas en el apartado de vegetación.

### ➤ **Actuaciones complementarias**

Para cada caso serán necesarias diferentes actuaciones complementarias que fomenten el éxito de la restauración. Entre ellas se estudiará la posibilidad de: construcción de posaderos artificiales para aves o la entrada controlada de fauna que disperse semillas y material orgánico.

### **3. MONITORIZACIÓN**

Se llevará a cabo un plan de seguimiento no sólo para el control de las repoblaciones y la reposición de marras cuando se haya llevado a cabo labores de implantación de vegetación, sino una monitorización de cómo evoluciona el terreno tras la restauración, a partir de variables edáficas y de los cambios que experimenta la cubierta vegetal. Entre las variables consideradas para su monitorización dentro del plan de seguimiento destacan:

Parámetros físicos (densidad aparente, estabilidad de agregados, etc.) que proporcionan información sobre el estado físico de la matriz del suelo.

Variables químicas, especialmente en lo que se refiere a la dinámica de los metales pesados y su eventual inmovilización.

Determinaciones bioquímicas y microbiológicas, que aportan información sobre los ciclos biogeoquímicos de la materia y la disponibilidad de nutrientes para la vegetación.

Entomofauna del suelo y su variación en el tiempo, ligada a la caracterización de los procesos de madurez en los ecosistemas terrestres.

Evolución de la vegetación herbácea, a partir de inventarios cuantitativos y cualitativos.

Inventario de especies arbustivas y arbóreas con objeto de establecer niveles de supervivencia.

Detección de cambios en el paisaje a nivel de mesoescala, con ayuda de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

## 7.1 Escombrera FAB\_FAB\_05

### 1. DIAGNÓSTICO

La mina “Combustibles de Fabero”, como el resto de la cuenca minera del río Cúa, se dedicaba a la extracción de antracita. Pese a encontrarse técnicamente abandonada y carecer de licencia de explotación alguna, tiene su concesión activa y se encuentra actualmente en uso por la empresa UMINSA, como zona de vertidos de lavadero.

Esta escombrera, denominada por los trabajos del CIEMAT como FAB\_FAB\_05 (X;Y: 692.860; 473.7484) es una escombrera de lavadero y mina de 9,99 ha, con una orientación suroeste y una altitud media de 690 m. Se encuentra en el límite de la zona declarada como LIC-ZEPA (ver Anexo 3), y próxima a lugares con valores estéticos o arquitectónicos. Se considera que posee usos potenciales tras su rehabilitación, adquiriendo valores científicos y/o educativos.

Su cercanía al núcleo urbano de Fabero (500 m) y a vías interurbanas y otras infraestructuras frecuentadas por la población, la dotan de un impacto visual muy alto, debido en parte al contraste de color que presentan los estériles. Para su descripción y debido a su heterogeneidad, se ha dividido en

dos partes, una correspondiente a la zona de lavadero (*FAB\_FAB\_05a*) y otra de mayor pendiente (*FAB-FAB\_05b*) (Fig.11).



Figura 11. *División de la escombrera FAB\_FAB\_05.*

❖ Zona de lavadero o *FAB\_FAB\_05a*

Se trata de una acumulación de estériles de material fino procedentes del lavado de carbón. Son materiales con una granulometría inferior a la del resto de escombreras pero sin llegar al rango de arenas y lodos. Un informe de laboratorio (IGME, datos sin publicar) revelan un pH de la muestra en pasta saturada (relación 1:1) de 4.66.

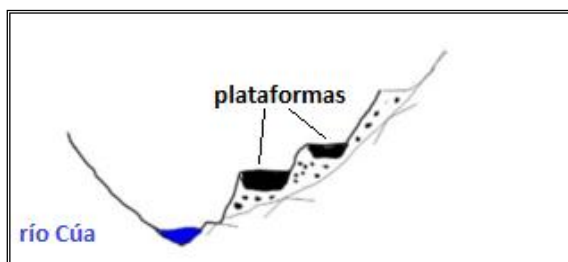


Figura 12. **Esquema estructural**  
*FAB\_FAB\_05 a.*



Figura 13. **Vista de la zona de lavadero**  
*(FAB\_FAB\_05 a).*

Como se distingue en las Figuras (12 y 13), consta de dos plataformas separadas por un talud muy acarcavado, de unos 36° de pendiente y 7 metros de altura, y otros dos taludes de mayor pendiente, por encima y debajo de éstas. Llamen la atención sus formas artificiales, con perfiles rectilíneos que generan un claro impacto visual, al no existir concordancia con las formas naturales de su entorno. Tiene unos 60 m de longitud y 80 de ancho, ocupando una superficie de unas 3,67 ha.

❖ Zona de ladera de mayor pendiente (*FAB\_FAB\_05b*)

La morfología de esta parte de la escombrera, con un emplazamiento de ladera, consta de un talud de gran pendiente de impluvio (37°), compuesto por los estériles de mina de pizarras y carbón de una litología heterométrica y de forma mixta (Fig.14 y 15). En este caso, el 50 % del tamaño de partícula ya alcanzan los 0,2000 mm. El pH de la muestra sólida (relación 1:1) es de 2,80, lo que denota un suelo muy ácido (IGME, datos sin publicar).



Tiene una longitud de unos 695 m y 147 m de ancho

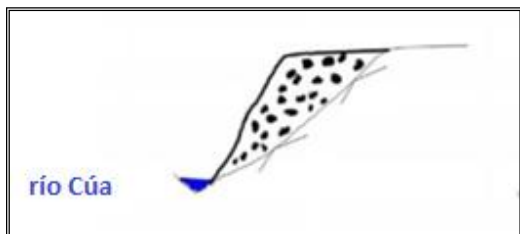


Figura 14. *Esquema estructural FAB\_FAB\_05b.*

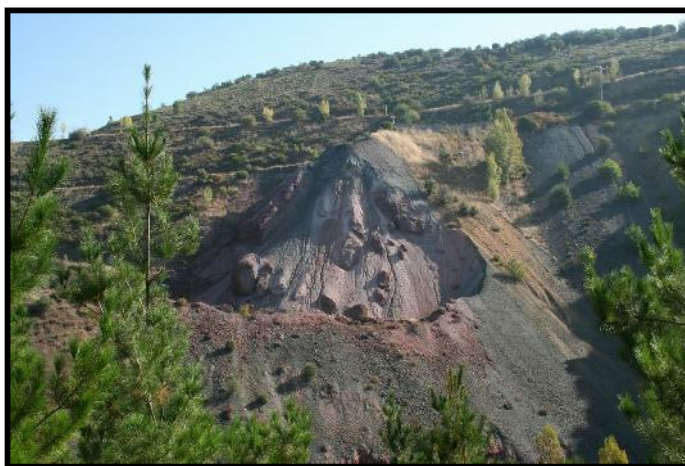


Figura 15. *Vista de FAB\_FAB\_05b.*

De manera general se observa que aunque no haya existido ninguna labor de restauración, y la falta de suelo se haga notable a simple vista, existen zonas con vegetación parcial, que consta de gramíneas y algún ejemplar de encina y pino (Fig.16 y 17).



Figura 16. *Detalle de vegetación estableciéndose*



Figura 17. *Encina sobre terreno con muestras de inestabilidad.*

Según el documento de IGME (2006), se clasifica como una escombrera con Impacto Ambiental severo, entendiéndose éste como aquél en que las condiciones del medio exige la adecuación de medidas protectoras o correctoras, y en el que, aun con esas medidas, aquella recuperación precisa de un periodo dilatado.

En cuanto a los impactos más significativos y específicamente asociados a la escombrera destacan:

✓ Movimiento de tierras/erosión:

Como se ha expuesto, los materiales estériles que constituyen la escombrera son de litologías



distintas y granulometrías variables, por lo que de entrada pueden plantear problemas físicos para la implantación de vegetación. Se observa (Fig. 18) una gran cantidad de surcos o cárcavas, prueba de la fuerte erosión hídrica que presenta el terreno. También hay restos de erosión laminar y diferentes formas de acumulación del material erosionado.

**Figura 18. Imagen con detalle de las consecuencias de la erosión hídrica de la zona del lavadero de carbón.**

La inestabilidad de los materiales de la capa superficial causa numerosos problemas y

limita el enraizamiento de muchas plantas. Aunque en campo se puede observar como en zonas con cierta estabilidad geomorfológica la vegetación espontánea ha salido adelante, las condiciones edáficas caracterizadas por un sustrato prácticamente inerte (actividad biológica nula) con un contenido de nutrientes muy bajo y en algunos casos con ausencia de microelementos esenciales, hacen que la colonización espontánea sea un proceso prácticamente imposible o muy prolongado en el tiempo.

✓ Autocombustión

La escombrera sufrió procesos de autocombustión en el pasado. Como muestra de ello se encuentran materiales conglomerados (Fig 19) y deslizamientos en ladera como los que se observan en las Fig 16. Actualmente no existe riesgo de autocombustión.



**Figura 19. Detalle de "conglomerado" producto de los procesos de autocombustión.**

✓ Contaminación del agua

Aunque no existe ningún arroyo en contacto directo con esta escombrera, su cercanía al río Cúa ocasiona que los materiales movilizados en la erosión acaben en éste. Además, existen drenajes al pie de la escombrera de aguas ácidas.

✓ Contaminación por elementos traza en suelos

Como se vio anteriormente, existen numerosos estudios sobre los DAM y la contaminación de aguas y sedimentos por metales pesados en El Bierzo, pero no hay estudios específicos en suelos (Mejuto, 2011). Como resultado del lavado de carbón se distingue la presencia de sulfatos en el terreno y precipitados de aluminio.

➤ **Cartografía y levantamiento topográfico**

Para poder estudiar a fondo la morfología del terreno y decidir las actuaciones o no sobre ésta, se llevó a cabo un levantamiento topográfico (Fig.20 y Anexo 6).



Figura 20. **Levantamiento topográfico de la escombrera FAB\_FAB\_05 con imagen PNOA. Ver mayor detalle en Anexo 6.**

En la Fig. 21 se recoge el resultado de comparar los MDT tal como se explicó anteriormente. Se observa como la zona destinada al lavado del carbón (*FAB\_FAB\_05a*) presenta una elevación de cota por el sobrante de los materiales de dicha actividad que alcanza los 25 m. Esta parte se clasifica como exenta o de llanura, es decir que se construye por apilamiento o amontonamiento de material sobre un terreno llano o con ligera inclinación (López *et al.*, 2006). En la parte de la escombrera construida

sobre ladera (*FAB\_FAB\_05b*) se observa como el apilamiento del material vertido llega a elevar la cota hasta los 35 m.

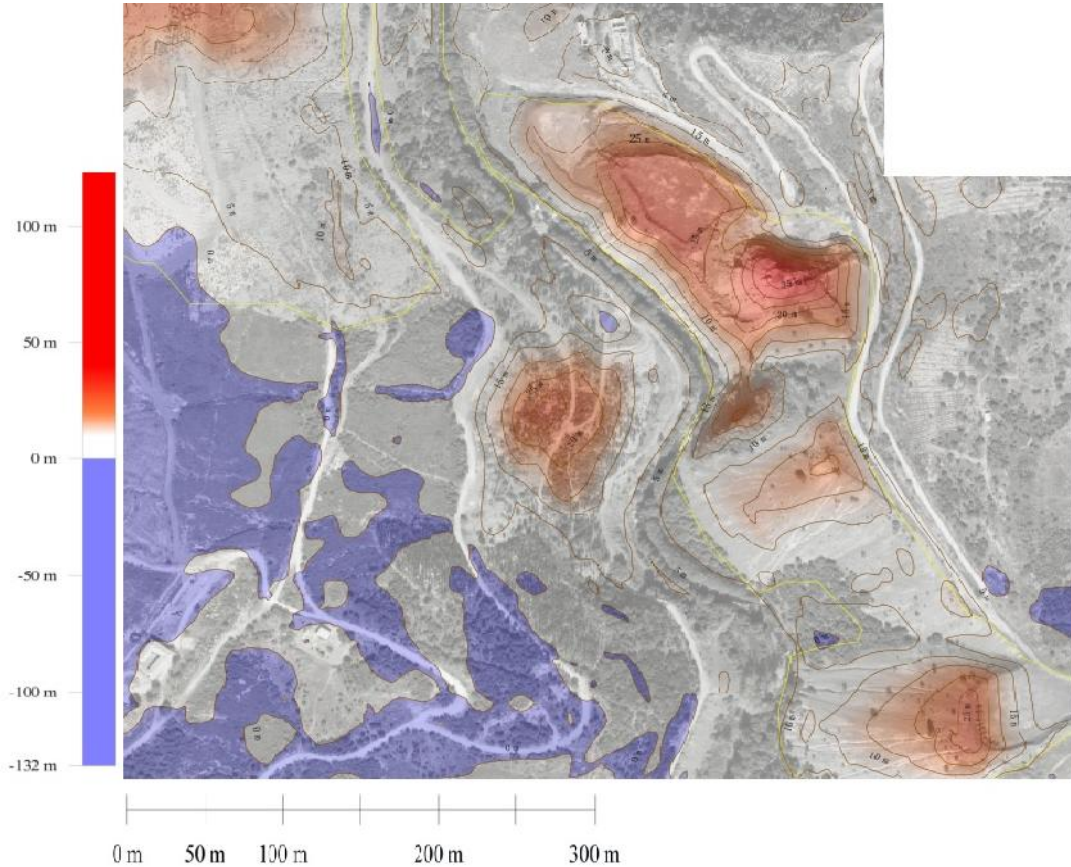


Figura 21. **Resultado comparación de los MDT de 1957-2008 para FAB\_FAB\_05.**

### ➤ Estudio geofísico

Debido a que se pretende realizar actuaciones sobre la geomorfología del terreno que implican un movimiento del material, se hace imprescindible tener conocimiento del espesor y volumen de materiales vertidos en la escombrera y los flujos de agua superficiales. Es necesario realizar un estudio geofísico mediante tomografía sísmica de alta resolución y/o geo-radar.

Los resultados, resultarán así mismo de gran utilidad en el momento de adoptar decisiones para la implantación de la cobertura vegetal.

### ➤ **Estudio de la estabilidad de escombreras**

No se ha realizado un estudio de estabilidad propiamente dicho. En cambio, se llevó a cabo una búsqueda *in-situ* de muestras de inestabilidad, que se describen en la problemática. Sin embargo, debido a la autocombustión sufrida en esta parte de escombrera, en la que hubo grandes movimientos de tierra y su posterior estabilización, se puede considerar como estable, ya que no existen grandes movimientos de tierra (movimientos en masa), ni se observan deslizamientos recientes.

## **2. PROPUESTAS**

Aparte de las propuestas técnicas que se van a exponer, debido a la situación legal en la que se encuentra la escombrera (ya mencionada en puntos anteriores), el primer paso para poder actuar en la zona es llegar a acuerdos con la empresa UMINSA. Ofrecerles los beneficios potenciales de la restauración, en busca de su implicación en el proyecto, es por tanto el primer punto necesario para iniciar cualquier actividad. Así mismo, la participación ciudadana también será un punto importante a desarrollar para garantizar el éxito de la restauración y justificar ¿Para quién se restaura?.

### ➤ **Remodelado del relieve**

Se procederá a configurar una morfología que se integre adecuadamente en el entorno. Con ello, no sólo se conseguirá reducir el impacto visual sino adoptar una topografía estructuralmente estable, que impida la movilización de materiales por gravedad y erosión. También se facilitará el drenaje del agua superficial sin erosión y la evolución del suelo con el consiguiente establecimiento de vegetación.

Para minimizar el efecto desestabilizador del agua, es necesario diseñar un eficaz sistema de drenaje. Éste evitará a su vez que el agua de lluvia caída sobre la escombrera forme acumulaciones, como las que se dan actualmente, e infiltraciones reduciendo así no solo su efecto desestabilizador sino también el contaminante (por oxidación o dilución de elementos potencialmente tóxicos).

La citada red de drenaje se diseñará mediante el método Geofluv y utilizando el programa Natural Regrade que lo desarrolla, para la zona de FAB\_FAB\_05 a. Este programa, basándose en cierta información previa, diseña formas de relieve estables, usando para ello principios de la

geomorfología fluvial. De manera conceptual, se realizó un diseño cuyo resultado se muestra en la Figura 22 y se detalla en el Anexo 7.

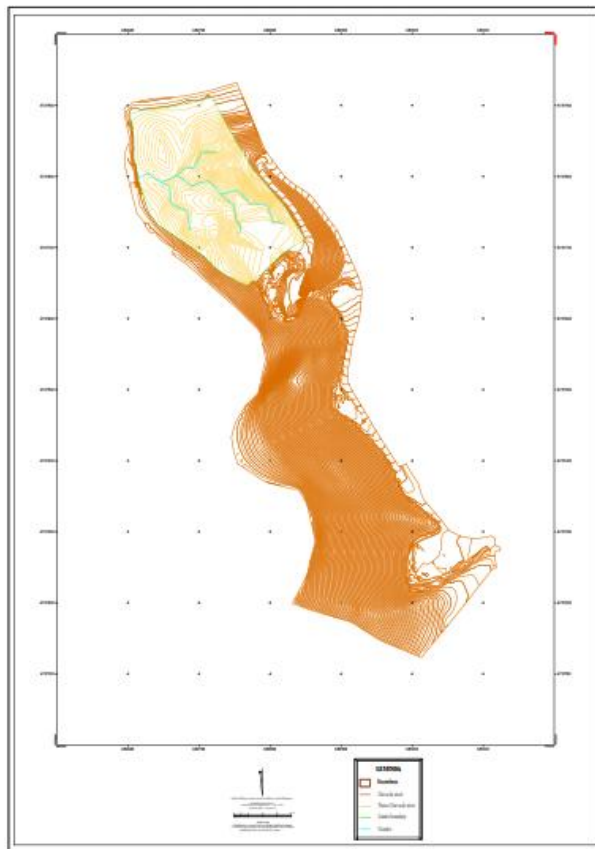


Figura 22. **Propuesta de tipo de diseño como solución de restauración para esta escombrera.**

En la parte *FAB\_FAB\_05b* colindante con el lavadero, donde la acumulación de materiales alcanza los 35 m, como se aprecia en las fotografías (Figura 23 y 15), se producen caídas de material por gravedad, que va a parar a un surco situado en el pie. Esta estabilización de manera pasiva impide la llegada de material al río. No se realizarán por tanto labores de remodelación del terreno en esta parte.

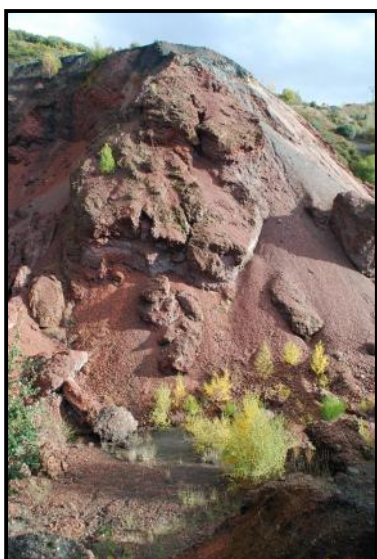


Figura 23. **Caída de material por gravedad en FAB\_FAB\_05.**

### ➤ **Actuación sobre la contaminación**

Para evaluar los resultados de elementos traza es necesario definir umbrales de referencia para los distintos elementos, un trabajo tan complicado que no existe una metodología estandarizada para definir estos umbrales (Mejuto, 2011). Un buen principio es establecer los niveles naturales que presentan los suelos que vienen definidos como los contenidos de elementos traza presentes en un suelo que proceden del material originario y no han sido influenciados por actividades humanas contaminantes de carácter puntual (Bech *et al.*, 2001 y De Miguel *et al.*, 2002 en Mejuto, 2011).

Sería necesario elegir un punto del territorio cercano a estas estructuras mineras que posea las mismas características pero que no se encuentre afectado por la actividad. A partir de este escenario, es necesario dar un conjunto de valores de referencia que permitan diferenciar con garantía un suelo contaminado de otro que no lo está. Según Mejuto, 2011, se podría realizar según recomendaciones de Adriano (2001) y De Miguel *et al.* (2002), por las que se establecen los niveles de referencia como los valores superiores al percentil 95%.

Una vez analizado el grado de contaminación del suelo, se debe decidir si es necesaria una actuación de descontaminación o no. En caso afirmativo, se han de barajar diferentes técnicas descontaminantes para aplicar la tecnología más adecuada. Estas se basan en la inmovilización, extracción o concentración de estos elementos.

### ➤ **Aplicación de fracción fina y actuación sobre el pH de los lixiviados**

Para activar los procesos de edacificación a la vez que se actúa sobre el pH del suelo, en lugar de aplicar una enmienda orgánica como la explicada en apartados anteriores, se probará con un nuevo material, una enmienda mineral ecológica llamada Carbocal. Esta espuma (por su alto grado de finura) se obtiene en el proceso de extracción del azúcar de la remolacha y es comercializado por Azucarera. Se define como un compuesto inorgánico que contiene carbonato cálcico precipitado (90%), materia orgánica y otros minerales en diferente proporción<sup>1</sup>. Debido a sus propiedades químicas, neutraliza la acidez de las soluciones del suelo elevando el pH. Además, interviene en los mecanismos de intercambio catiónico mejorando la fertilidad del suelo y la nutrición de los vegetales,

---

<sup>1</sup> Compuesto (Kg/t) : CaO (270); N (3,5); P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (11,5); K<sub>2</sub>O (2); MgO (12); S (2); material orgánica (75)



neutralizando los cationes dañinos como el Al y aumentando la disponibilidad de Zn, Fe, Mn y Cu. En cuanto a sus propiedades biológicas, como función más relevante destacamos la estimulación de la acción de los microorganismos. Además, su reducido coste (menor de un euro la tonelada) permite actuar siguiendo los principios de fidelidad marcados.

Una vez acabadas las labores de remodelación del terreno en la parte *FAB\_FAB\_05a* que garantizan una erosión prácticamente nula, resulta un escenario ideal para aplicar este material fino sin peligro de pérdida.

En cuanto a la zona de mayor pendiente de *FAB\_FAB\_05b*, se debe estudiar si su aplicación resulta viable.

➤ **Implantación de la cobertura vegetal: Acolchado con banco de semillas, implantación de especies arbustivas y repoblación con especies arbóreas**

En principio, en la zona *FAB\_FAB\_05a*, si las labores de remodelado del terreno y aplicación de la enmienda son un éxito, no será necesario actuar sobre la cobertura vegetal. El banco de semillas existente en la zona bastará para que la escombrera sea colonizada poco a poco.

Sin embargo, si tras la monitorización se considera oportuno acelerar este proceso, o se observa que no ocurre de manera espontánea, se actuará conforme se indicó en la introducción del apartado, realizando un proyecto de revegetación aparte.

➤ **Actuaciones complementarias**

Se pueden construir posaderos artificiales para aves que impulsen la llegada de semillas al terreno así como cualquier otra iniciativa con este fin.

### 3. **MONITORIZACIÓN**

Se realizarán aquellas que se convengan necesarias de las enumeradas anteriormente.

#### **4. OBSERVACIONES**

El primer punto a destacar a la hora de llevar a cabo cualquier actuación en la escombrera es el estado de su concesión. El hecho de seguir activa dificulta en gran medida, incluso imposibilita, la posibilidad de intervención ya que la obligación de restauración recae legalmente sobre la empresa que posee la concesión de los terrenos.

Cabe insistir en este punto como muestra de las dificultades con las que se encuentran los proyectos o actuaciones de restauración en la zona, y en general en la comarca, derivadas de la situación jurídico-administrativa confusa, que convierten escenarios potenciales de actuación en un galimatías legal en los que resulta prácticamente imposible intervenir, a pesar de que la actuación se considere prioritaria y sea abordable desde el punto de vista técnico y económico.

En cuanto a las actuaciones de remodelado del terreno con Natural Regrade, nos encontramos varias dificultades. Hay que destacar que el diseño presentado es conceptual. En caso de ejecución de la propuesta deberá ser revisado minuciosamente.

## 7.2 Antiguo cielo abierto (FAB\_FAB\_08)

### 1. DIAGNÓSTICO

La explotación a cielo abierto FAB\_FAB\_08 denominada “UMINSA”, como la empresa a la que pertenece, se ubica en el paraje “EL Cordón” de Fabero (X;Y: 692185,24; 4737958,79), tiene una extensión de 31,26 ha, orientación sureste y una altitud media de 751m

Igual que la anterior, se dedicaba a la extracción de antracita y aunque actualmente está abandonada, tiene parte de su concesión activa, con los problemas mencionados que ello implica.

Aunque se encuentra a unos 0.6 km del núcleo de Fabero, y cercano a zonas frecuentadas por la población, no posee un alto el impacto visual debido entre otras cosas a las actuaciones de restauración a las que se ha visto sometida. Se encuentra dentro de los límites de la zona de protección LIC-ZEPA (Anexo 3) así como de otros lugares con valores estéticos o arquitectónicos.

En este caso, debido a la dificultad de la problemática, no se considera que pueda tener un uso potencial tras las actuaciones ni educativo ni científico.

La peculiaridad de este cielo abierto es el relleno, compuesto por materiales terciarios (raña) de diferentes tamaños donde predominan los bloques y las arcillas. Este vertido de materiales provocó el enterramiento del suelo natural quedando en la superficie una mezcla de materiales con diferentes granulometrías y escasa capacidad de aportar nutrientes y retener agua.

Fue restaurada mediante el remodelado de relieve berma-talud. El suelo vegetal ha sido pobremente reinstalado y existe cierta vegetación en la zona como el centeno y los alamos que fueron introducidos y las herbáceas y genisteas que han ido estableciéndose, aunque de manera bastante precaria si se le compara con el paisaje adyacente.

El arroyo Lamocos nace en la localidad de Fontoria y tras 2.500 km desemboca en el río Cúa. Es en su tramo final donde soporta los restos de la explotación a cielo abierto por lo que tras ser embalsado se filtra bajo dichos materiales saliendo posteriormente de manera dispersa para desembocar en el río Cúa (Fig.24).

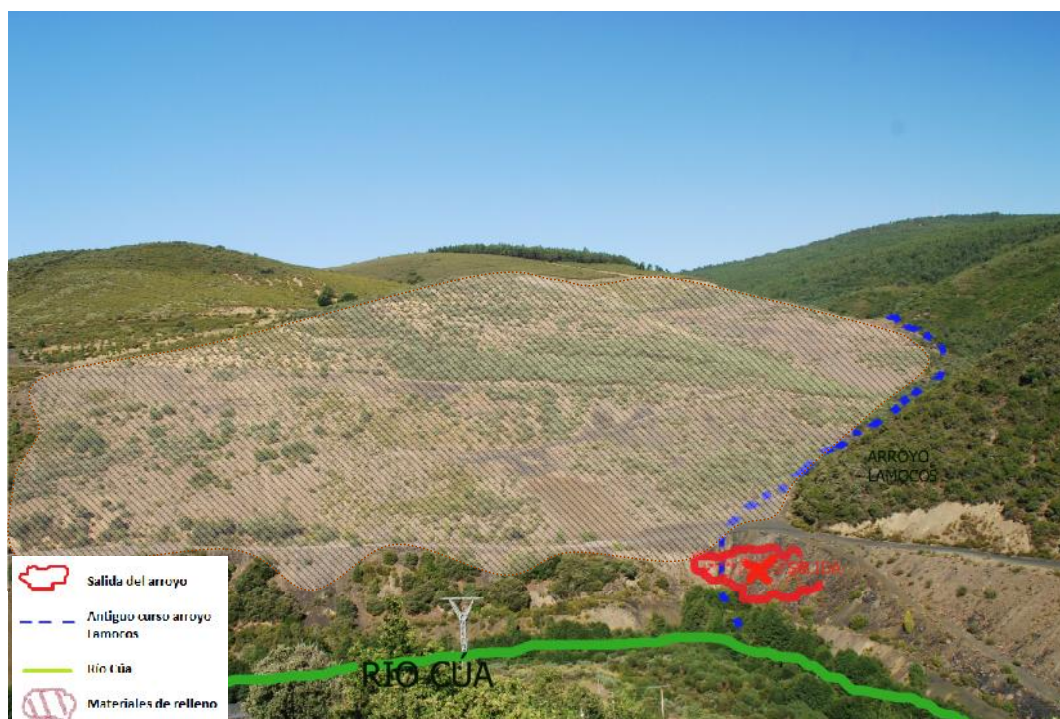


Figura 24. **Esquema de la zona donde se filtra el arroyo Lamocos debido al material de relleno y lugar donde surge disperso para desembocar en el Río Cúa.**

Según el documento de IGME (2006) se clasifica como una escombrera con Impacto Ambiental moderado entendiendo éste como: aquel cuya recuperación no precisa prácticas protectoras o correctoras intensivas, y en el que la consecución de las condiciones ambientales requiere cierto tiempo.

En cuanto a los impactos más significativos y específicamente asociados a la escombrera destacan:

- ✓ Movimiento de tierras/erosión

El movimiento de tierra que ha sufrido esta zona va más allá de la explotación a cielo abierto. Una vez finalizada la actividad, y como se ve en la Fig. 24, se realizó un relleno que elevó la cota hasta unos 45 metros.

Aunque se hizo la restauración en berma-talud, en los taludes restituidos se aprecia erosión laminar y en los que tienen más pendiente cárcavas, como muestra de la precariedad de la actuación. Y más preocupante es la erosión remontante que se aprecia en la zona donde afloran las aguas del arroyo que provoca el deslizamiento masivo de materiales (Fig.25). Sin actuación sobre esta parte del terreno, estos acabarían precipitándose en el lecho del río Cúa provocando represamiento y eventuales inundaciones.



Figura 25. ***Erosión remontante en el afloramiento de las aguas del arroyo Fuente Lamocos.***

✓ Contaminación del agua

El arroyo Fuente Lamocos tiene su cauce bajo los materiales depositados en el cielo abierto aflorando de manera difusa por la zona que se mencionaba anteriormente.

Los materiales (pizarras entre otros), están expuestos a la acción del agua y su posterior lixiviación, acelerándose la oxidación de la pirita, con la consiguiente formación de aguas ácidas, y la disolución de metales pesados.

El agua circulante por el interior de la escombrera tiene un pH extremadamente ácido (2,0-2,9), en el que son solubles muchos metales, particularmente Fe y Al. En las surgencias el agua circula para encontrarse con el aporte de otras corrientes que hacen que el pH aumente por encima de 4, propiciando la precipitación del hierro en forma de oxihidróxidos, con sus característicos tonos rojizos (Fig. 26).



Figura 26. *Precipitados de hierro en el arroyo Lamocos.*

Como se expuso, el arroyo sale al exterior de la escombrera por varios puntos a pocos metros de la desembocadura en el Cúa. Aquí se ha observado como el agua tiene un aspecto lechoso (debido al aluminio) y pH 3.8-4.8. Las surgencias afloran directamente sobre el río Cua que con su elevado caudal y un pH dentro del intervalo 6,5- 6,9, hace que aumente rápidamente el pH, induciendo la formación de precipitados de oxi-hidróxidos de aluminio, de aspecto blanquecino (Fig.27 y 28).



Figura 27. *Lixiviados de oxi-hidróxidos de aluminio. Arroyo de la Fuente Lamocos.*

Figura 28. *Aguas ácidas con precipitación de oxihidróxidos de Fe (centro) y Al (izquierda), Arroyo de la Fuente Lamocos.*

una el

la.

Entre las hipótesis que se barajan están que proviene del lavado del material de la explotación de cielo abierto o de una bocamina enterrada. Así mismo, y como se expondrá en la necesidad de realizar estudios de geofísica, se desconoce la manera en la que fluye el agua en el interior, como se organiza el flujo y por qué es durante los eventos de elevada pluviosidad cuando los episodios de mortandad son más recurrentes.

En cuanto a esto, cabe destacar que tras eventos de mortandad de truchas en septiembre de 1999 en el río Cúa se llevó a cabo una inspección y análisis de sus aguas por parte del SEPRONA. En el informe se descartó como consecuencia de las mediciones de pH que el posible origen del vertido causante de la mortandad proviniese del arroyo Fuente Lamocos siendo sus valores en su punto de desembocadura normales en torno a 6.

En esta investigación no se analizó la concentración de Al en las aguas, por lo que se desconoce si pudo ser causa de la mortandad de truchas. Y tras otra mortandad en 2009 no se tomaron muestras del arroyo Fuente Lamocos.

Los datos disponibles actualmente, dan muestra de que si no fue la causa, muy probablemente influyó bastante en esta.

✓ Contaminación por elementos traza en suelos

Este tipo de contaminación es consecuencia principalmente de los DAM, aunque también por las acumulaciones de materiales estériles. Como se vio anteriormente, existen numerosos estudios sobre los DAM y la contaminación de aguas y sedimentos por metales pesados, pero no hay estudios específicos en suelos.

Este tipo de suelos con drenajes ácidos, son sensibles de retener cantidades importantes de elementos traza. Sobre todo para los elementos Co, Ni, Mn, Zn, As y Cu. La retención de estos elementos traza es bastante precaria ya que estos elementos pueden ponerse en disolución fácilmente en periodos de encharcamiento (Mejuto, 2011).

No se dispone de información de la concentración de estos en esta escombrera por lo que a parte de los precipitados de Fe y Al, la contaminación por otros elementos en los suelos es una tarea pendiente muy importante.

➤ **Cartografía y levantamiento topográfico**

Para poder estudiar a fondo la morfología del terreno y decidir las actuaciones o no sobre esta, se llevó a cabo un levantamiento topográfico (Fig.29 y Anexo 6).



Figura 29. **Levantamiento topográfico de la escombrera FAB\_FAB\_10 con imagen PNOA. Anexo 6.**

La escombrera ocupa cauce, márgenes y zona de policía del arroyo Lamocos. Aunque no se conoce la naturaleza ni cantidad exacta de estériles acumulados, tras realizar el estudio de relieve con los MDTs se obtuvo la Fig. 30. En esta imagen se puede apreciar que hay hasta 45 metros más (en rojo), que cuando estaba el cielo abierto.



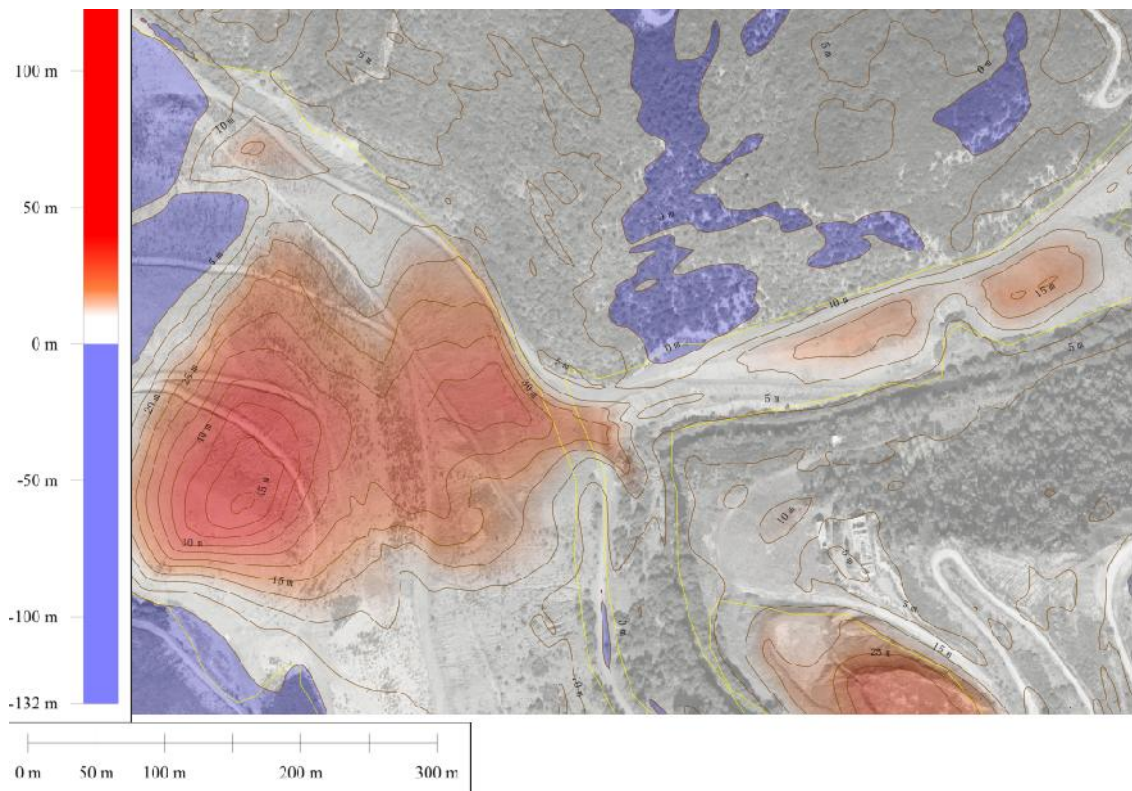


Figura 30. **Resultado comparación de los MDT de 1957-2008 para FAB\_FAB\_08.**

Se trata de una escombrera clasificada como de ladera (López *et al.*, 2006).

### ➤ **Estudio geofísico**

Cualquier actuación en esta escombrera estará marcada por los resultados que del estudio geofísico se extraigan.

Con tomografía eléctrica se realizará un estudio del subsuelo. Esta técnica se basa en la inyección de corriente eléctrica al terreno para medir las diferencias de potencial obtenidas. De esta manera se obtiene la resistividad del terreno, siendo está mínima cuando existe circulación de agua (Fig. 31). Se estudiará sobre el terreno la amplitud ideal entre los electrodos emisores y los receptores para obtener el balance ideal entre mayor profundidad y costes.

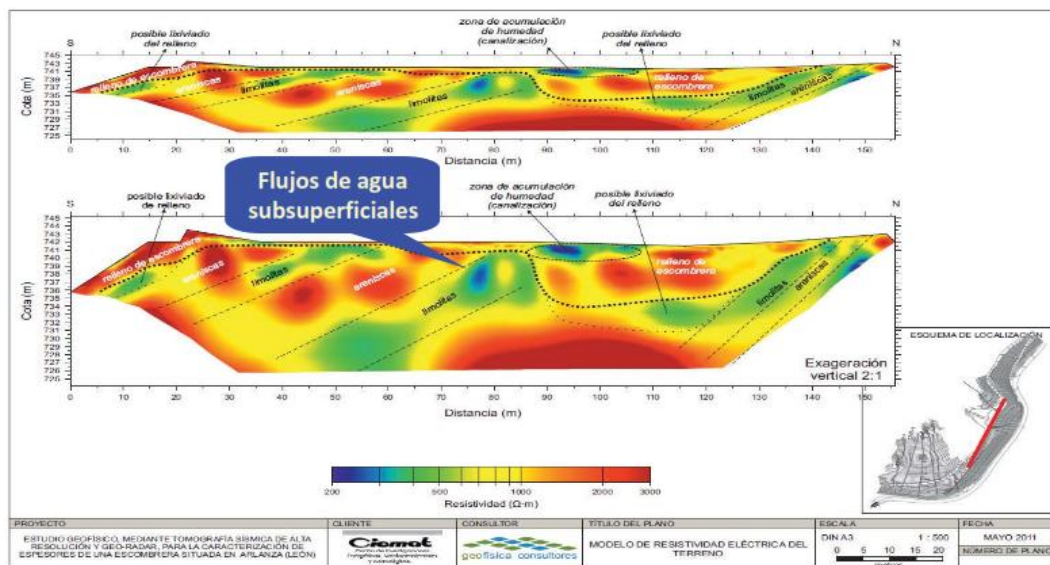


Figura 31. Ejemplo de los resultados de estudio geofísico con localización de los flujos de agua subsuperficiales (García Álvarez, ponencia).

Esta técnica nos permitirá conocer la trayectoria que lleva el arroyo Fuente Lamocos bajo los materiales que taponan su curso natural. Para estudiar cómo varía el flujo con el régimen de precipitaciones se realizaron dos estudios: uno en los meses de máxima precipitación de invierno y otros en la época seca.

### ➤ Estudio de la estabilidad de escombreras

Al igual que en la anterior escombrera no se ha realizado un estudio de estabilidad propiamente dicho. Tras la búsqueda de los signos de erosión que se incluyen en la problemática se puede suponer una estabilidad del terreno sin grandes movimientos de tierras atendiendo a la excepción de la zona de afloramiento del arroyo comentada.

## 2. PROPUESTAS

### ➤ Remodelado del relieve

Debido a la envergadura del movimiento de tierras que se llevó a cabo sobre esta escombrera, el remodelado del relieve no es una acción que se considere viable.

Aun así, una vez obtenido los resultados de los estudios previos, se analizará la posible actuación en la zona donde se produce la salida difusa del arroyo y donde los problemas de erosión

son relevantes. Se barajó la posibilidad de aplicar, como solución en este punto, un diseño con el método Geofluv y software Natural Regrade, concluyendo que no existe espacio suficiente y una actuación podría agravar el problema taponando el río Cúa.

### ➤ **Actuación sobre la contaminación**

Para concretar si existen problemas de contaminación por elementos traza, se deben realizar estudios en el suelo que permitan dar a conocer la concentración de estos elementos, más allá de aquellos consecuencia de los DAM. Una vez conocidos estos y definidos los umbrales de referencia ya mencionados, se expondrá el grado de contaminación y la necesidad de llevar a cabo actuaciones o no.

En caso afirmativo, se han de barajar diferentes técnicas descontaminantes para aplicar la tecnología más adecuada. Estas se basan en la inmovilización, extracción o concentración de estos elementos. Entre ellas se destacan:

*Lavado literal del suelo in-situ:* El líquido es inyectado al suelo, atraviesa su masa y se disuelven los contaminantes. Estos son arrastrados a los macroporos desde donde son bombeados a la superficie. Técnica descartada por la morfología de la escombrera, su coste y los parámetros de retención del suelo. Además, suele alterar por completo la estructura del suelo y no siempre se acaba extrayendo todo lo que se necesita (Lobo, 2007b).

*Fitoremediación:* Consiste en el uso de plantas para la extracción, concentración o inmovilización de metales pesados. Esta técnica está muy extendida en la recuperación de estériles de carbón y suelos contaminados por DAM en la minería del carbón (Mejuto, 2011 referencia actuaciones de Pudford y Watson, 2003; Chunilal *et al.*, 2006; Jonnalagadda *et al.*, 2006; Sheoran y Sheoran, 2006; Shrestha y Lal, 2006; Maiti, 2007). Si bien puede considerarse como viable, hay que estudiar los inconvenientes como: el destino de las plantas una vez que hayan cumplido su función, la limitación de actuación únicamente de contaminantes superficiales o tratarse de un proceso lento. Esto la hace una técnica que requiere actuaciones posteriores, una condición que se pretende evitar.

*Técnicas electrocinéticas:* Estas técnicas son un método “in situ” que consiste en la extracción de las partículas presentes en la solución del suelo mediante un gradiente eléctrico. Los metales se

acumulan en los electrodos, de donde pueden ser retirados. Es una práctica que está aún en experimentación (Lobo, 2007c) y requiere medios saturados.

### ➤ **Actuaciones sobre los drenajes ácidos de mina (DAM)**

Mientras no se acometa la depuración de lixiviados, los vertidos contaminantes seguirán repitiéndose y con ellos los episodios de mortandad, especialmente en los periodos de máxima pluviometría.

En general las principales especies de reacción alcalina en aguas naturales son las derivadas de la puesta en disolución de rocas carbonatadas (carbonatos y bicarbonatos). Si el balance ácido/base de las aguas es mayoritariamente a consumir acidez, se producirá la neutralización y una subida del pH. Sin embargo, la alcalinidad presente en estas aguas se debe principalmente a bicarbonatos, por lo que, la capacidad para reaccionar con los hidrogeniones de los drenajes ácidos es reducida. Además, las litologías que conforman la cuenca aportan poca alcalinidad, por tanto, presentan una baja capacidad de neutralización.

El principal tratamiento para los DAM es la adición de compuestos alcalinos, como el carbonato cálcico, para aumentar el pH y reducir la acidez y la movilización de metales pesados. También se han empezado a usar biotecnologías en la aplicación de tratamientos pasivos, con la utilización de bacterias sulfato-reductoras (Neculita *et al.*, 2007; Martins *et al.*, 2009). Por otra parte, los estudios de Rodríguez Gómez (2010) en ríos de El Bierzo apuntan a la existencia de mecanismos de atenuación natural, como la oxidación bacteriana de Fe y la precipitación de oxihidróxidos de Fe y Al al alcanzar su saturación, que reducen el nivel de  $H^{2+}$  del medio, aumentando el pH, y además, retienen metales pesados. El problema con el Al se reduce en suelos y escombreras que contienen una importante cantidad de materia orgánica la cual lo acompleja, reduciendo la hidrólisis de este elemento y sus consecuencias nocivas (Mejuto, 2011). En el arroyo Rodrigatos, de la misma cuenca minera, se ha implantado un *sistema de producción sucesiva de alcalinidad* (SAPS) diseñado por Kepler y McCleary que aún se encuentran en experimentación (Lacal y Herrero, 2010).

Tras analizar detenidamente las actuaciones realizadas en otros ambientes se afirma que en este terreno no resulta viable su aplicación por varios motivos, entre los que destacan la falta de espacio

para actuar y los costes elevados no asumibles. Así mismo, se concluye que en el caso de este arroyo la atenuación natural no es capaz de elevar el pH a la neutralidad.

Una vez caracterizado con los estudios de geofísica como es y por donde circula el flujo de agua del arroyo en diferentes régimen de pluviometría, se propone la realización de sondeos que añadan Carbocal (material ya utilizado y descrito en la escombrera FAB\_FAB\_05). Estos sondeos se harán dispersos por la escombrera en los puntos exactos que se consideren ideales tras los resultados de geofísica. Se dejará un tubo de PVC convenientemente tapado que permita mantener el tratamiento periódicamente, por lo menos hasta que los niveles de contaminación dejen de ser críticos.

Como se ha expuesto, el carbonato cálcico del Carbocal (90%) producirá un aumento del pH provocando la inmovilización del Fe y Al mediante la precipitación de oxihidróxidos de Fe y Al.

Se destaca que pruebas de laboratorio demuestran que una vez cubierta la caliza con precipitados, sigue disolviéndose, aunque un 20% menos que libre (Pearson y McDonnell, 1975 en López, 2006). Y otros trabajos demuestran que la tasa de disolución de la caliza cubierta con precipitados puede ser aún mayor (Ziemkiewicz *et al.*, 1997 en López, 2006).

### **3. MONITORIZACIÓN**

Se realizarán aquellas que se convengan necesarias de las enumeradas anteriormente

### **4. OBSERVACIONES**

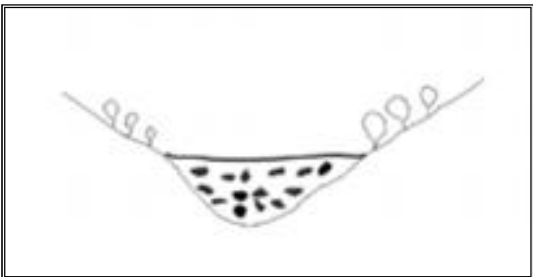
Como se comentó, esta escombrera ha sido objeto de labores de restauración con aplicación de tierra vegetal y revegetación. Si bien es cierto que sigue siendo un suelo pobre y que el establecimiento de la cobertura vegetal es escasa, consideramos que no es necesario realizar labores de aplicación de enmienda e implantación de vegetación con el fin de reducir costes del proyecto.

Si durante la monitorización no se observa una mejora en cuanto a la colonización de la vegetación, se planteará el desarrollo de las actuaciones de “Aplicación de una enmienda orgánica/fracción fina” y/o “Implantación de vegetación”

## 7.3 Escombrera de las Galladas (FAB\_FAB\_10)

### 1. DIAGNÓSTICO

La escombrera FAB\_FAB\_10 o “Las Galladas” se localiza sobre el arroyo del mismo nombre, en el paraje “Río Cúa” de Fabero (X; Y: 692808; 4738642,05), tiene una extensión de 23,47 ha, orientación sureste y una altitud media de 740 m. Con una longitud de unos 1128 metros y anchura variable, ocupa la mayor parte del ancho del valle de las Galladas, y el cauce, márgenes y zona de policía del arroyo en la parte más próxima a su desembocadura (Fig.32 y 33)



**Figura 32** Esquema estructural de la escombrera



**Figura 33** Escombrera FAB\_FAB\_10.

Se clasifica por ello como una escombrera de vaguada definida como aquella que rellena parcial o totalmente un valle o una vaguada, disponiéndose la superficie de la escombrera con cierta inclinación para evitar la acumulación de agua en la parte superior. En función de las surgencias aguas arriba y dependiendo de la altura de la escombrera, en algunos casos se requiere la colocación de sistemas de drenaje en el interior de la misma (López *et al.*, 2006).

Como se esquematiza en la Fig. 34, la escombrera posee un canal de hormigón que tienen por finalidad servir de aliviadero al valle en caso de fuertes avenidas o grandes lluvias, a fin de que estas aguas no se filtren junto con las del arroyo al interior de la escombrera, provocando corrimientos de tierras y estériles. Este aliviadero se encuentra entubado en su tramo final. Sin embargo, se ha podido observar in-situ como el agua se filtra en su totalidad no cumpliendo su función el canal artificial.



Figura 34. **Croquis de la desembocadura del arroyo de las Galladas en el río Cúa.**

Esta escombrera de minería de interior se dedicaba a la extracción de antracita y aunque está abandonada tiene parte de su concesión activa. Dicha concesión se aprobó en 1996, por un plazo de 10 años y un aval bancario de 1.931.530 pesetas.

Actualmente está compuesta por diferentes materiales, entre ellos areniscas, pizarras y carbón de diferentes tamaños.

Aunque se encuentra cerca de la población de Fabero (0.5 Km) y de las vías interurbanas y otras infraestructuras frecuentadas, visualmente no destaca en exceso debido a las labores de restauración que se llevaron a cabo (remodelado y revegetado). Se encuentra dentro del límite de la zona declarada como LIC-ZEPA (anexo 3) y próxima a lugares con valores estéticos o arquitectónicos. Debido a su compleja problemática se considera que no posee usos potenciales tras su rehabilitación, aunque sí valores científicos y/o educativos.

En cuanto a los impactos más significativos y específicamente asociados a la escombrera destacan:

- ✓ Movimiento de tierras/erosión:

En el ya citado informe del SEPRONA de 1999 ya se hizo mención al depósito de materiales en la zona de la escombrera con mayores pendientes y favorables al río, donde la misma ocupa el cauce

del arroyo. Los movimientos de tierra y depósitos de materiales han creado una morfología totalmente diferente a la original con elevaciones de la cota de hasta 40 metros

Se distinguen grietas de diferentes tamaños, cárcavas y erosión laminar.

✓ Autocombustión

Existe un evidente proceso de combustión espontánea del carbón en la escombrera marcado por un fuerte olor, acumulación de cristales de pirita en las grietas y vapor visible sobretodo en episodios de lluvia (Fig.35).



Figura 35. *Imágenes del proceso de autocombustión que sufre la escombrera de las Galladas. A la izquierda se distingue el detalle de los cristales de azufre saliendo de una grieta del terreno.*

✓ Contaminación del agua

El arroyo Galladas tiene su nacimiento en el paraje de Las Galladas y tras 3.5 kilómetros recorridos por el valle con igual nombre desemboca en el río Cúa en la localidad de Fabero. Como se ha mencionado, es en su tramo final donde dicho arroyo discurre bajo tierra y escombros al tener que atravesar la escombrera.

Tras la inspección y análisis de muestras realizadas en el periodo de mortandad de truchas en 1999 y posteriormente en 2009 se concluyó que el origen del vertido procedía de este arroyo.

Al margen de la discusión sobre si el arroyo Lamocos influyó o no en estos episodios, el informe afirma que la causa de la mortandad se debe a un descenso del pH de las aguas del río Cúa causado por un vertido de origen ácido (pH entorno a 3.5) con origen en la escombrera que ocupa el cauce del arroyo las Galladas. Ambos episodios de mortandad se corresponden con días posteriores a



lluvias importantes, que provocan un aumento de caudal en el arroyo y un aumento de su carga contaminante. Medidas tomadas: pH 3; conductividad 1456  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; sulfatos 990 mg/L; Al 33,5 mg/L; Fe 11,7 mg/L.

La conclusión del informe del Seprona de 1999 indica que “Dicho arroyo aporta aguas con esas condiciones de continuo, sin que hasta la actualidad se hubiera detectado mortandades de fauna ictícola, debido al escaso caudal que en condiciones normales aporta el río, lo que provoca que la carga contaminante se diluya en el mismo. Sin embargo, en los días anteriores a producirse la mortandad descrita, llovió en abundancia lo que produjo un aumento considerable en el caudal del arroyo, cuya carga contaminante no pudo ser absorbida por el caudal que el río llevaba en ese momento”

Como consecuencia de la otra mortandad de peces que tuvo lugar en noviembre de 2009, se llevó a cabo durante meses un seguimiento del arroyo Galladas y de la incidencia que tiene el mismo en el río Cúa. Como resultado de tales investigaciones se afirma nuevamente que el origen de las variaciones de pH y el contenido en metales es consecuencia de la escombrera que se encuentra sobre el arroyo.

- ✓ Contaminación por elementos traza en suelos.

Se destaca nuevamente el desconocimiento de la naturaleza de los residuos depositados sobre el valle. Y la falta de estudios sobre el suelo.

En la entrevista con responsables de UMINSA que se llevó a cabo durante la investigación de 2009, se manifestó que estos consisten en finos de carbón generados en el proceso de lavado donde no se utilizan productos químicos, sino sólo agua y magnetita en polvo (mineral de hierro).

Según el documento de IGME (2006) se clasifica como una escombrera con Impacto Ambiental crítico. Entendiendo éste como aquel cuya magnitud es superior al umbral aceptable, con el que se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas protectoras o correctoras.

➤ **Cartografía y levantamiento topográfico**

Como en los casos anteriores, se incluye el levantamiento topográfico de la escombrera (Fig.36) que permite disponer de un referencial espacial necesario para la planificación de diferentes etapas de actuación.

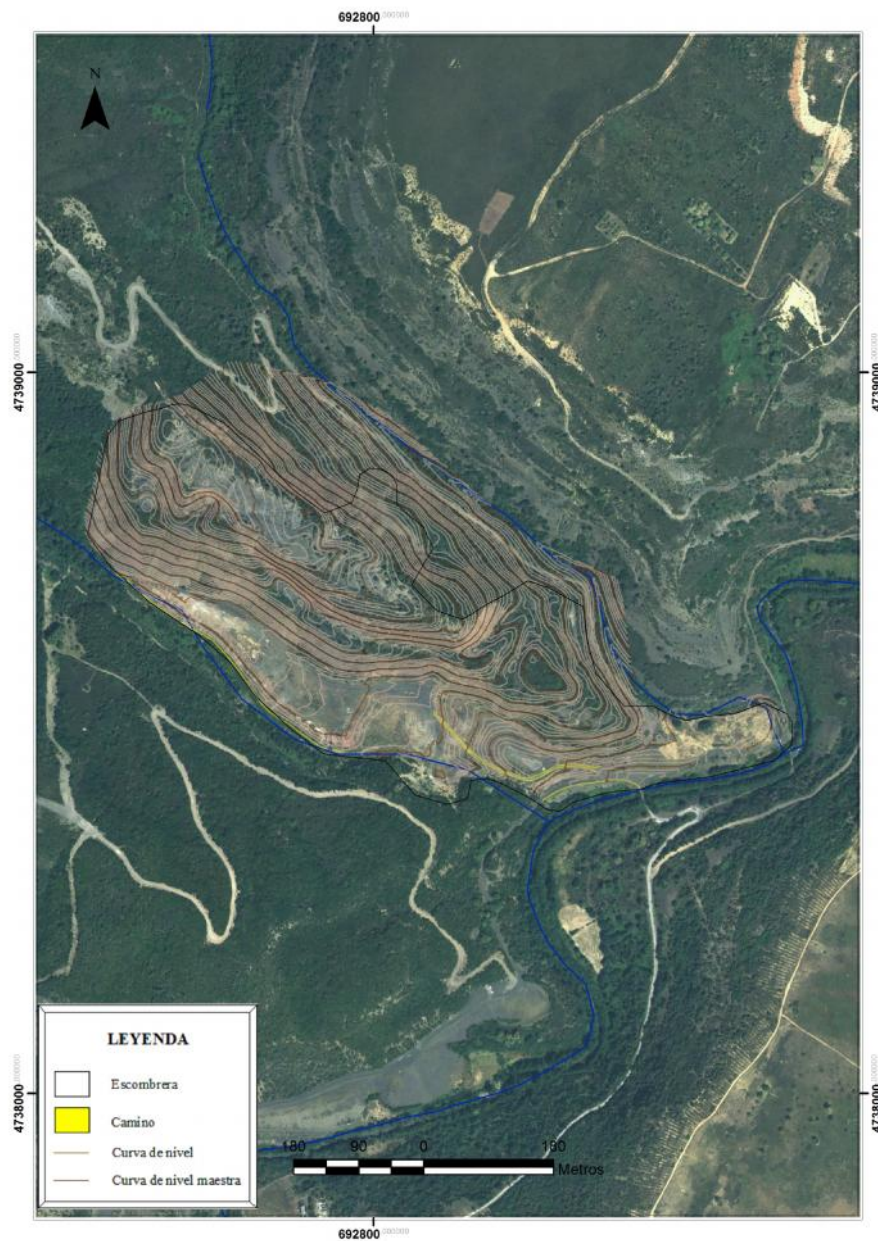


Figura 36. *Levantamiento topográfico de la escombrera FAB\_FAB\_10 con imagen PNOA. Anexo 6.*

El resultado de la comparación de los MDT muestra un relleno de la vaguada con zonas de hasta 40 m de elevación (Fig. 37).

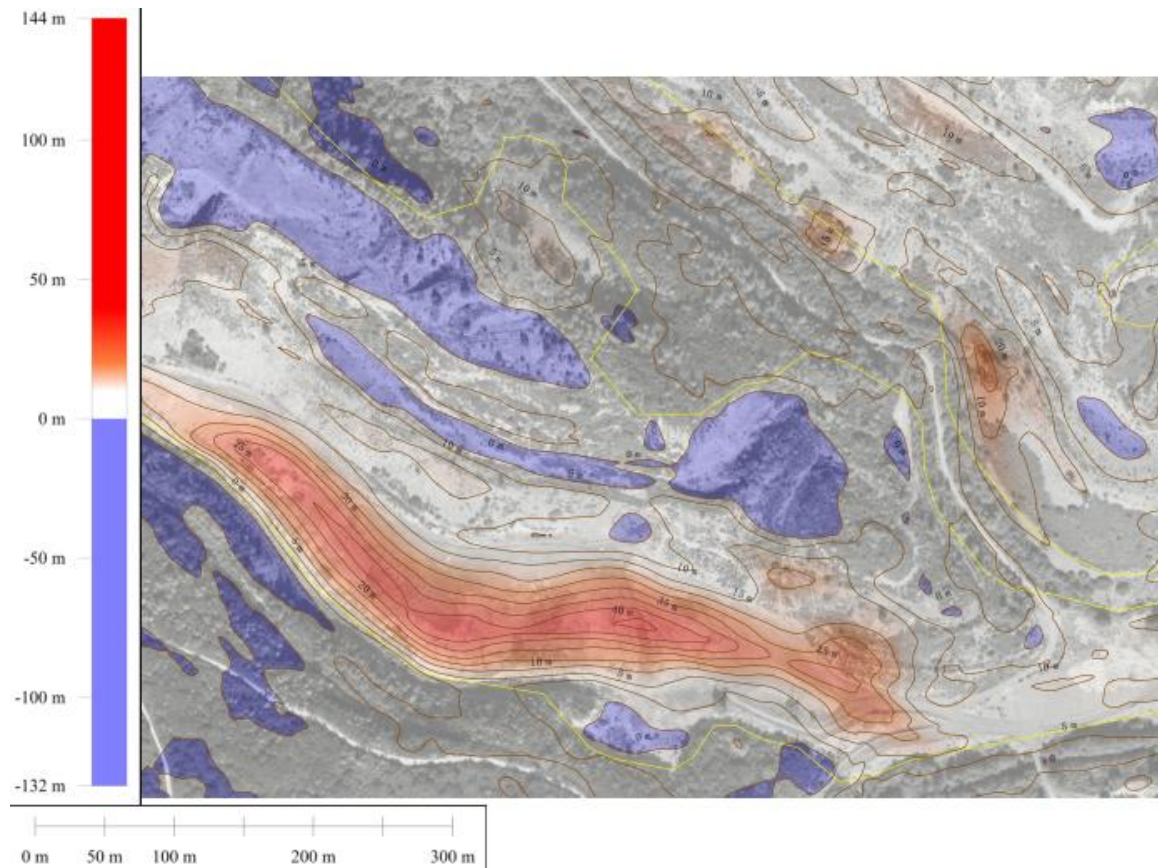


Figura 37. **Resultado comparación de los MDT de 1957-2008 para FAB\_FAB\_10.**

### ➤ **Estudio geofísico**

Se realizarán estudios mediante georadar o tomografía eléctrica para conocer el espesor y volumen del material de relleno que tapona el arroyo Las Galladas así como de tomografía eléctrica para determinar los flujos de circulación del agua. Esta última, de igual modo que en FAB\_FAB\_08, se efectuarán durante la época de mayor y menor pluviosidad para conocer cómo influye en el flujo de agua. Estos resultados marcarán las labores de restauración.

### ➤ **Estudio de la estabilidad de escombreras**

Al igual que en la anterior escombrera no se ha realizado un estudio de estabilidad propiamente dicho. *In-situ* se observaron diferentes muestras de erosión destacando las grietas y socavones provocados por los procesos de autocombustión actualmente activos.

Si bien no se puede considerar como una escombrera inestable ya que de manera global no presenta peligro de movimientos masivos de materiales, hay que prestar atención a los problemas de erosión antes mencionados y a las posibles consecuencias de un proceso de autocombustión que continúa activo.

## **2. PROPUESTAS**

### ➤ **Remodelado del relieve**

El movimiento de tierras que requeriría una actuación sobre este terreno para devolver una red de drenaje estable no es factible y menos bajo las condiciones actuales de autocombustión.

### ➤ **Actuación sobre la combustión espontánea**

Las medidas activas contra este problema pasan por el enfriamiento con agua y nitrógeno líquido (ITC, 2005). Disminuir la circulación del oxígeno, disipar las elevadas temperaturas y retirar toda la cantidad de combustible fósil que sea posible (Kuenzer *et al.*, 2007). Esto se consigue reduciendo la porosidad de las escombreras con finos, arcillas o incluso con cenizas de centrales térmicas, con lo que se corrigen dos problemas a la vez. También con la retirada del carbón de las zonas sensibles a la oxidación de este (ITC, 2005). O efectuando un recubrimiento de la superficie de la escombrera, inyecciones en profundidad o compactación superficial. Se destaca sin embargo, que la efectividad probable de estos métodos es siempre inferior al 70% (López *et al.*, 2006).

Dadas las particulares y dimensiones de este escenario concreto, las medidas mencionadas son económicamente impracticables por lo que se propone una nueva alternativa más económica. Consiste en la dilución de Carbocal (material definido anteriormente) en agua para aplicarla en torno a 10 l/m<sup>2</sup> sobre la superficie. Al percolar la dilución de Carbocal aumentan el pH que, entre otros

beneficios ya comentados, produce la activación de microorganismos que coadyuvan en el proceso de autocombustión disparándolo.

Actualmente, se desconoce el éxito de dicha medida. Sin embargo, debido a que en esta escombrera la combustión está localizada, con un potencial de expansión muy limitado o nulo y sin riesgo para las personas, unido al bajo coste que supone la medida, se considera razonable aplicarla. Así mismo, si la actuación no resulta, el material combustible acabará por consumirse sin que exista probabilidad de empeorar la situación.

El terreno será debidamente señalizado restringiendo su acceso salvo a personal autorizado para evitar accidentes.

#### ➤ **Actuación sobre los DAM**

Una vez obtenidos los resultados de los estudio de geofísica, se realizarán sondeos localizados de igual manera que en FAB\_FAB\_08 con Carbocal.

### **3. MONITORIZACIÓN**

Se realizarán aquellas que se convengan necesarias de las enumeradas anteriormente

### **4. OBSERVACIONES**

Una vez que los problemas de combustión espontánea se consideren acabados se analizará la necesidad de continuar con las siguientes etapas del protocolo de actuación.

Si durante la monitorización no se observa una mejora en cuanto a la colonización de la vegetación, se planteará el desarrollo de las actuaciones de “Aplicación de una enmienda orgánica/fracción fina” y/o “Implantación de vegetación”. En este sentido cabe mencionar que la dilución con Carbocal no solo actuará sobre el problema de autocombustión sino que con esto se fomentará también el proceso de edificación del suelo. Es probable por ello que no haga falta un extendido de materia orgánica pasando directamente a plantearse la implantación o no de vegetación.



## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Alberruche, E. (2010). Evolución de la minería del carbón en la cuenca minera de El Bierzo. En: *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). CIUDEN y CIEMAT, Ponferrada, España, pp: 223-227.
- Arranz González, J. C. (2004). *Propiedades, Clasificación y Evaluación de Suelos Mineros. Implicaciones sobre la Ordenación y Gestión de Terrenos Alterados por Minería*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España, 457 pp.
- BOE. (1991). Ley 1/1991, de 14 de marzo, por la que se crea y regula la Comarca de El Bierzo. *Boletín Oficial del Estado*, Comunidad Autónoma de Castilla y León, España, número 96, 4 pp.
- CEDEX (2009). *Estudio de la Estabilidad de dos Escombreras de Estériles de Carbón Situadas en Tremor de Arriba*, León. Informe Técnico Fina I (81-408-7-001), 53 pp.
- FAO (2006). World Reference Base for Soil Resources 2006. *World Soil Resources Reports*, 103. FAO, Roma, 128 p.
- Fifield, J.S. 1996. *Field Manual for Effective Sediment and Erosion Control Methods*, HydroDynamics, Inc., Parker, Colorado.
- García Álvarez, A. [Coord.] (2010). *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo*. Fundación Ciudad de la Energía y Centro de Investigaciones Energéticas, medioambientales y Tecnológicas, Ponferrada, 276 pp.
- García Álvarez, A., Cardona, A. I. y Millán, R. (2010). Bases científicas y metodológicas para un protocolo de actuación. En: *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). Fundación Ciudad de la Energía y Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ponferrada, pp: 159-170.
- García Álvarez, A. y del Riego Celada. L. (2010). Perspectivas de la restauración en la situación económica actual. En: *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A.,

- Coord.). Fundación Ciudad de la Energía y Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ponferrada, pp: 229-236.
- García Álvarez, A. y Díaz Puente, F.J. (2010). Suelos. En: *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). CIUDEN y CIEMAT, Ponferrada, España, pp: 35-38.
- IGME (1985). Actualización del Inventario de Recursos Nacionales de Carbón.
- IGME (2006). *Acuerdo específico de colaboración entre el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) para la restauración ambiental de la región de El Bierzo*. Informe final coordinado por L. Vadillo.
- INE. (2011). *Territorio. Población, superficie y densidad por municipios. León*. Instituto Nacional de Estadística, España. Consultado el 10/11/2012. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?type=pcaxis&path=/t43/a011/a1998/densidad/a2008/l0/&file=t10059.px>
- ITC (2005) *ITC'S Coal Fire homepage*. Facultad de Geo-Información Ciencia y Observación de la Tierra de la Universidad de Twente, Holanda. Consultado el 11/12/2012. Disponible en: <http://www.itc.nl/external/coalfire/>.
- Kuenzer, C., Zhang, J., Dijk, P. Voight, S., Mehl, H y Wagner, W. (2007). Uncontrolled coal fires and their environmental impacts: Investigating two aridmining regions in north-central China. *Applied Geography* 27: 42-62.
- Lacal Guzmán, M. y Herrero Barrero, T. (2010). Hidrobiología. Índices biológicos y calidad de las aguas fluviales. En: *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). CIUDEN y CIEMAT, Ponferrada, España, pp: 87 -108.
- Lobo, C. (2007a). Procesos de degradación del suelo. En: *Contaminación de Suelos. Tecnologías para su recuperación* (Lobo, C. y Millán, R., Coord.). Ministerio de Educación y Ciencia y CIEMAT, Madrid, España, pp: 27 -36.
- Lobo, C. (2007b). Tecnologías aplicables a la recuperación de suelos contaminados. En: *Contaminación de Suelos. Tecnologías para su recuperación* (Lobo, C. y Millán, R., Coord.). Ministerio de Educación y Ciencia y CIEMAT, Madrid, España, pp: 283 292.



- Lobo, C. (2007c). Aplicación de tecnologías electrocinéticas para descontaminación de suelos. *En: Contaminación de Suelos. Tecnologías para su recuperación* (Lobo, C. y Millán, R., Coord.). Ministerio de Educación y Ciencia y CIEMAT, Madrid, España, pp: 293-301.
- López, J., Aduvire, O., Escribano, M., García, P., Mataix, C., y Vaquero, I., (2006) . *Manual de construcción y restauración de escombreras*. Universidad Politécnica de Madrid. España
- Loredo, J. (2010). Alteración de las características geoquímicas y mineralógicas en la cuenca carbonífera de El Bierzo, derivada de las actividades mineras. . *En: Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). CIUDEN y CIEMAT, Ponferrada, España, pp: 53-72.
- Martins, M., Faleiro, M. L., Barros, R. J., Verissimo, A. R., Barreiros, M. A. Y Costa, M. C. (2009). *Characterization and activity studies of highly heavy metal resistant sulphate-reducing bacteria to be used in acid mine drainage decontamination*, Journal of Hazardous Materials 166: 706-713.
- Masachs Alavedra, V. (1948). *El régimen de los ríos peninsulares*. Instituto Lucas Mallada. CSIC, Barcelona, 511pp.
- Mejuto, M., Millán, R., García Álvarez, A., Schmid, T. y Martínez, P.E. (2008). *Caracterización y estudio de escenarios edafopaisajísticos en zonas afectadas por las actividades mineras en la comarca de El Bierzo*. Informe interno nº 1142, CIEMAT, Madrid, España, 87 pp.
- Mejuto Mendieta, M., Schmid Sutter, T., Cantó Portillo, F. y García Álvarez, A. (2010). Representación cartográfica del catálogo. Aplicaciones. *En: Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). Fundación Ciudad de la Energía y Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ponferrada, pp: 119-135.
- Mejuto Mendieta, M (2011) *Afectación de la minería de carbón en las propiedades físicas y químicas de los suelos de la cuenca hidrográfica del río Rodrigatos (El Bierzo, León)*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, España, 273 pp.
- Neculita, C. M., Zagury, G. J. y Bussière, B. (2007). *Passive treatment of acid mine drainage in bioreactors using sulfate-reducing bacteria: critical review and researchneeds*. Journal of Environmental Quality 36 (1): 1 -16.

- Ramón Travieso, J (2010) *Rehabilitación de escombreras de Carbón en los márgenes del Río Cúa (Cuenca minera de Fabero, León). Evaluación y propuestas de protocolos de actuación*. Trabajo para proyecto final del Máster Oficial en Restauración de Ecosistemas, Universidad de Alcalá de Henares, 114 pp.
- Rivas Martínez, S., (1987). "Mapa de series de vegetación de España". *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA*.
- Rivas Martínez, S., Penas, A. y Díaz, T. E. (2004). *Bioclimatic map of Europe. Thermoclimatic belts*. Servicio de Cartografía, Universidad de León, León, España.
- Rivas Martínez, S. (2007). Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España En: *Itinera Geobotanica nº 17*. Universidad de León, León, España, pp: 5436.
- Rodríguez Gómez, V. (2010). Hidroquímica. Mecanismos de formación de aguas ácidas. En: *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). CIUDEN y CIEMAT, Ponferrada, España, pp: 73-86.
- Rojo, T (1999). El Futuro de las Cuencas Mineras de Castilla y León. *Sociología Rural Prospectiva. Fundación Santa Bárbara, León*, 374 pp.
- Sánchez Melado, J. (2006). *Crisis de la Minería del Carbón y Transformación del Espacio: El Caso de las Cuencas Orientales Leonesas*. Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid, 1067 pp.
- SITCYL, (2007). Sistema de información territorial de Castilla y León. Junta de Castilla y León. <http://www.sitcyl.jcyl.es>
- Soil Survey Staff, (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys (2º Ed.) USDA, Handbook 436*, Washington D.C., 869 p.
- Tiwary, R. K. (2001). Environmental impact of coal mining on water regime and its management. *Water, Air, and Soil Pollution* 132: 185 -199.
- Tongway, D.J. and Hindley, N.L., (2004). *Landscape function analysis. Procedures for monitoring and assessing landscapes. CSIRO Sustainable Ecosystems*, Canberra

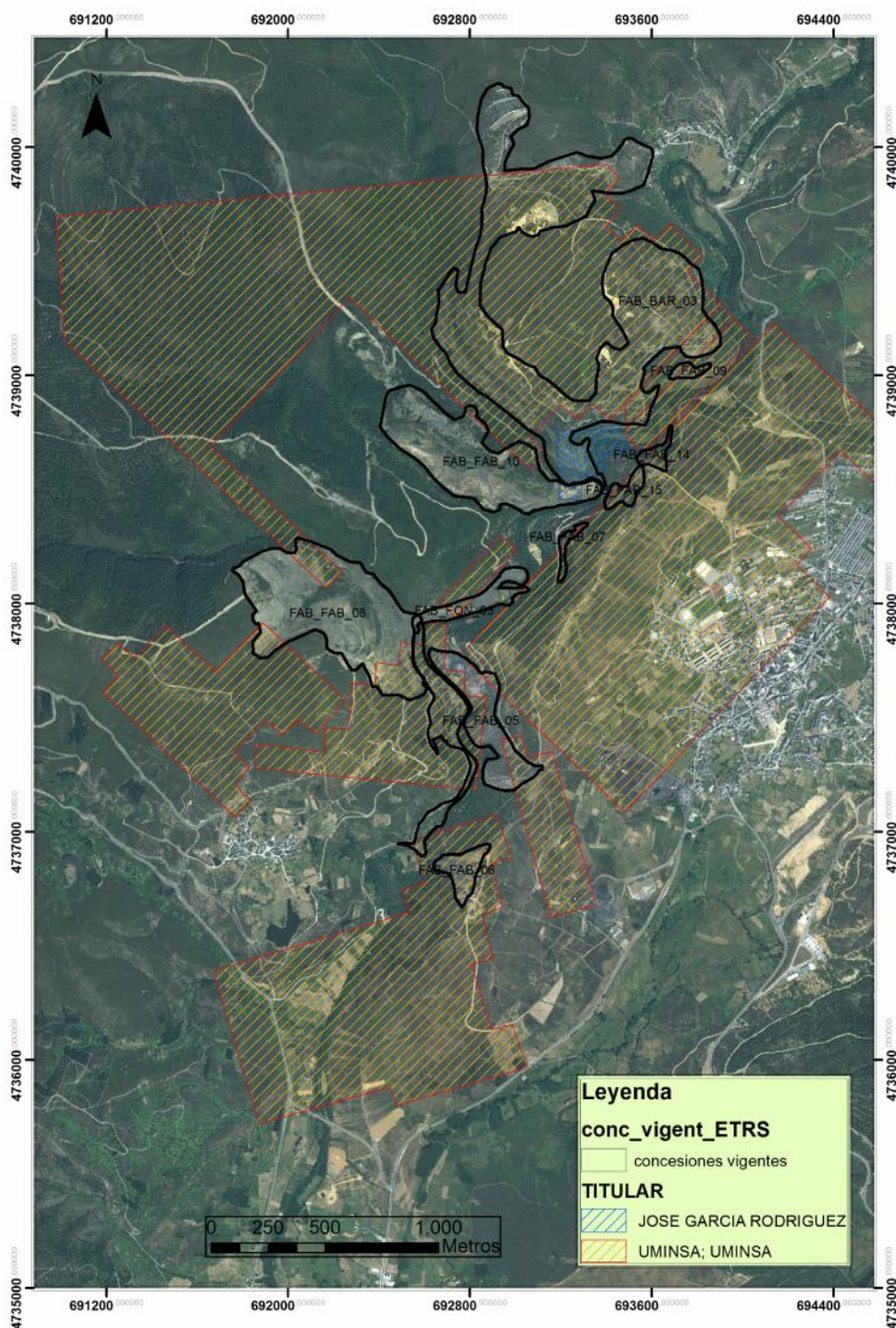
- Vadillo, L., Aduvire, O., Alberruche, M.E., Arranz, J.C., Lacal, M., Martínez B. y Moreno C. (2006). *Memoria del acuerdo específico de colaboración entre el CIEMAT y el IGME para la restauración ambiental de la región de El Bierzo*. IGME-CIEMAT, Madrid, España, 120 pp.
- Vadillo, L., de la Losa, A., Moreno, L. y Núñez I. (2008). *Calidad Química de las aguas subterráneas en una zona de actividad minera (Cuenca del Bierzo)*. Memoria .IGME, Madrid, España, 21 pp.
- Vadillo Fernández, L [Dir.]. (2009). *Evaluación del Impacto y Restauración Ambiental de la Cuenca Minera de El Bierzo*. Informes Técnicos IGME nº 1. Instituto Geológico y Minero de España, 1571 pp.
- Zaballos, J.P., Pulido, S. y Gamarra, R. (2010). Vegetación y flora en la cuenca carbonífera de El Bierzo. En: *Plan Director para la Restauración Edafopaisajística y Recuperación Ambiental de los espacios degradados por la minería de carbón en la comarca de El Bierzo* (García Álvarez, A., Coord.). CIUDEN y CIEMAT, Ponferrada, España, pp 39-50.



## 9 ANEXOS



**Anexo 1:** Estado de las concesiones para la minería de carbón que afectan a las escombreras del área de estudio.



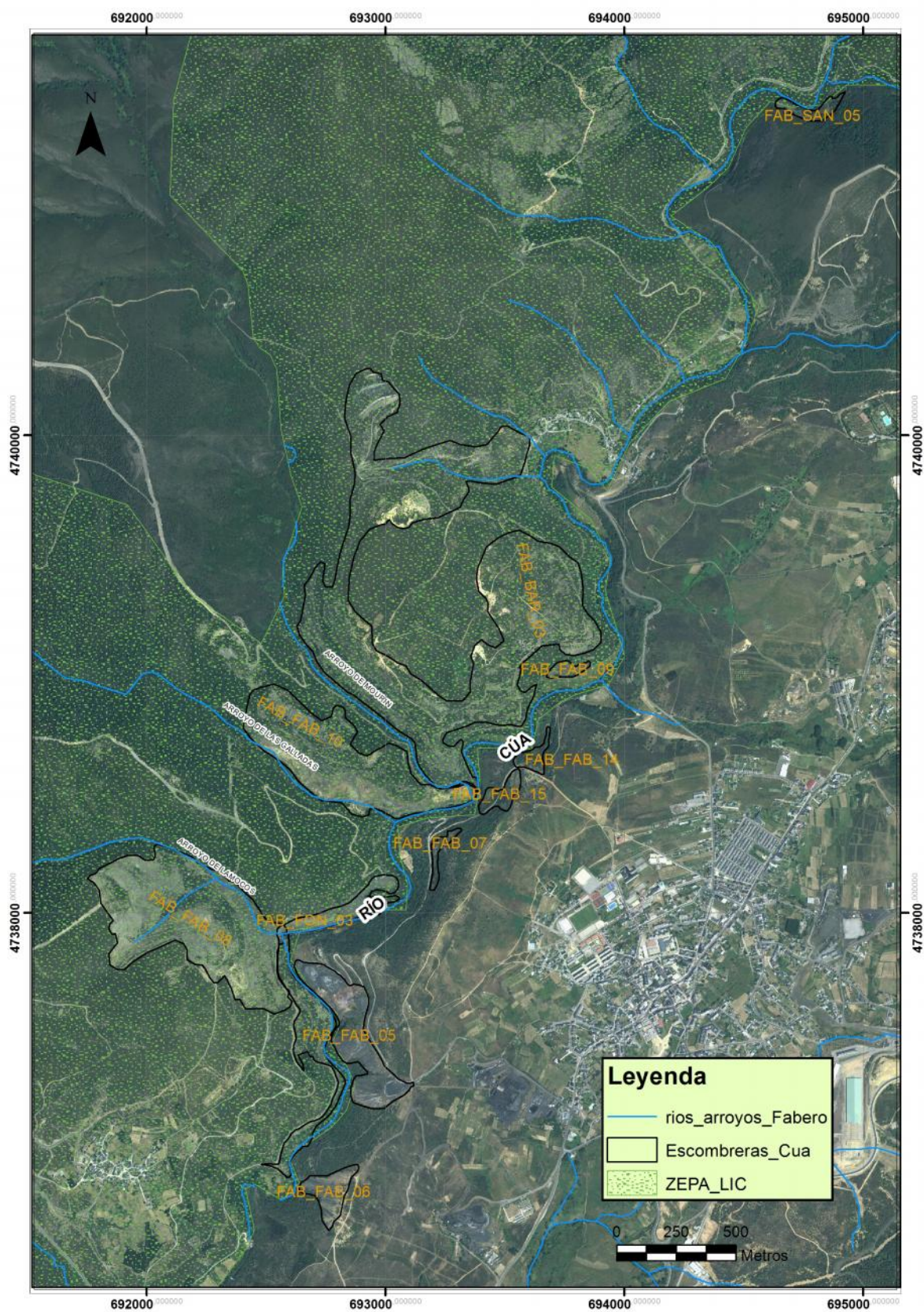
## **Anexo 2: Vegetación**

La principal serie pertenece a las alisedas (*Galio broteriani-Alno glutinosae* S.) sobre substratos ácidos. Aparece en el piso supramediterráneo con ombrotipo subhúmedo-hiperhúmedo. Constituyen la vegetación potencial de los bordes de los ríos y arroyos de estiaje moderado de la zona. La etapa madura de la aliseda se corresponde con la asociación *Galio broteriani-Alnetum glutinosae*, cuyas especies más características son *Alnus glutinosa*, *Fraxinus anfastifolia*, *Salix atrocinerea*, *Populus nigra*, *Franfula alnus*, *Carex acuta subsp. reuteriana*, *Galium broterianum*, *Galium torundifolium*, *Poa nemoralis* y *Brachypodium sylvaticum*. Es común la presencia de otros árboles caducifolios acompañantes como *Quercus pyrenaica*, *Prunus avium*, *Corylus avellana*, mientras que en su sotobosque son comunes *Crataegus monogyna*, *Hedera helix*, *Rubus sp.*, *Geum urbanum*, *Polystichum setiferum*.

Como etapa de sustitución de la aliseda, aparece una comunidad espinosa (*Rubo ulmifolii-Rosetum corymbiferae*) en zonas degradadas, y un herbazal perteneciente a la asociación *Geranio robertiani-Caryolophetum sempervirentis*. Ambas formaciones aparecen en distintos arroyos y cursos medios de los ríos.



**Anexo 3: Ubicación de LIC y ZEPa ES4130010 SIERRA DE LOS ANCARES**



**Anexo 4:** *Especies observadas en la zona de estudio pertenecientes a los Anexos I y IV de la Directiva 92/43/CEE de Hábitats*

- Anfibios y reptiles

*Lacerta schreiberi* (Lagarto verdinegro) (II, IV); *Rana iberica* (Rana patilarga) (IV).

- Aves

*Ciconia ciconia* (Cigüeña Blanca) (I); *Circaetus gallicus* (Culebrera europea) (I); *Circus cyaneus* (Aguilucho pálido) (I); *Circus pygargus* (Aguilucho cenizo) (I); *Columba trocaz* (Paloma torcaz) (I); *Dendrocopos major* (Pico picapinos) (I); *Emberiza hortulana* (Escribano hortelano) (I); *Falco peregrinus* (Halcón peregrino) (I); *Falco subbuteo* (Alcotán europeo) (I); *Fringilla coelebs* (Pinzón vulgar) (I); *Lanius collurio* (Alcaudón dorsirrojo) (I); *Lullula arborea* (Totovía) (I); *Milvus migrans* (Milano negro) (I); *Pernis apivorus* (Abejero europeo) (I); *Phoenicurus phoenicurus* (Colirrojo real) (I); *Sylvia undata* (Curruca rabilarga) (I); *Tetrao urogallus cantabricus* (Urogallo cantábrico) (I).

- Mamíferos

*Canis lupus* (Lobo) (II, IV); *Felis silvestris* (Gato montés) (IV); *Lutra lutra* (Nutria paleártica) (II, IV); *Myotis daubentonii* (Murciélago ratonero ribereño) (IV); *Rhinolophus hipposideros* (Murciélago pequeño de herradura) (II, IV); *Ursus arctos* (II, IV).

**Anexo 5:** *Tablas resumen donde se incluyen las características y problemáticas principales de las 11 escombreras incluidas en el tramo minero del río Cúa.*

**Características físicas de las estructuras mineras en la cuenca de Fabero \***

Denominación	DF 1	DF 2	DF 3	DF 4	DF 5	DF 6	DF 7	DF 8	DF 9
FAB_FAB_05	692860,76	4737484,98	690	Suroeste	Escombrera	Ladera	9,99	SI	Encinar con brezo y pastizal. Algunas encinas y pinos en la
FAB_FAB_06	692761,53	4736830,16	722	Oeste	Bocamina y escombrera	Ladera	2,97	SI	Encinar con brezo
FAB_FAB_07	693223,43	4738243,75	700	Noroeste	Escombrera	Ladera	0,86	NO	Encinas, robles y brezo
FAB_FAB_08	692185,24	4737958,79	751	Sureste	Cielo abierto	Ladera	31,26	SI	Encinas y madroños
FAB_FAB_09	693754,91	4739018,31	685	Sur	Escombrera	Ladera	0,83	SI	Vegetación de ribera, castaños,
FAB_FAB_10	692808,53	4738642,05	740	Sureste	Escombrera	Vaguada	23,47	SI	Encinas, madroño y algún roble
FAB_FAB_14	693613,99	4738652,17	697	Suroeste	Escombrera	Ladera	1,15	SI	Encinas, robles, brezo y castaño
FAB_FAB_15	693480,69	4738495,50	706	Noroeste	Escombrera	Ladera	1,56	SI	Encinas, robles y brezo
FAB_BAR_03	693233,39	4739359,95	790	Sureste	Cielo abierto	Ladera	75,40	SI	Castaños, brezal, algún encino
FAB_FON_03	692722,36	4737640,59	665	Sureste	Escombrera de interior y cielo abierto	Ladera	11,38	SI	Encinar y madroños.
FAB_SAN_05	694775,85	4741367,11	720	Sur	Bocamina, escombrera e instalación	Ladera	1,41	SI	Vegetación de ribera, robles, brezal, sauces en la plataforma

*\* La relación de variables corresponde a: DF 1 = Coordenadas UTM X (Huso 29); DF 2 = Coordenadas UTM Y (Huso 29); DF 3 = Altitud; DF 4 = Orientación de la ladera; DF 5 = Tipo de estructura minera; DF 6 = Morfología del relieve; DF 7 = Extensión ocupada (en ha); DF 8 = Proximidad a cauces fluviales; DF 9 = Vegetación circundante*

**Situación legal y administrativa de las estructuras mineras de la cuenca de Fabero. Valor cultural y paisajístico de su entorno \***

Denominación	Municipio	Pedanía	SLA 1	SLA 2	SLA 3	SLA 4	SLA 5	SLA 6	SLA 7	SLA 8	SLA 9	SLA 10
FAB_FAB_05	Fabero	Fabero	570	SI	NO	Activa	Activa	SI	SI	NO	SI	SI
FAB_FAB_06	Fabero	Fabero	563	NO	NO	Activa	Inactiva	SI	SI	SI	NO	SI
FAB_FAB_07	Fabero	Fabero	441	SI	NO	Caducada	Inactiva	SI	SI	NO	NO	NO
FAB_FAB_08	Fabero	Fabero	637	SI	NO	Parte activa	Inactiva	SI	SI	SI	NO	NO
FAB_FAB_09	Fabero	Fabero	683	NO	NO	Activa	Inactiva	SI	SI	NO	NO	NO
FAB_FAB_10	Fabero	Fabero	504	SI	NO	Parte activa	Inactiva	SI	SI	SI	NO	SI
FAB_FAB_14	Fabero	Fabero	474	NO	NO	Activa	Inactiva	SI	SI	NO	NO	NO
FAB_FAB_15	Fabero	Fabero	381	NO	NO	Activa	Inactiva	SI	SI	NO	NO	NO
FAB_BAR_03	Fabero	Bárcena de la Abadía	12	SI	NO	Activa	Inactiva	SI	SI	SI	NO	NO
FAB_FON_03	Fabero	Fontoria	386	SI	NO	Parte activa	Inactiva	SI	SI	SI	SI	SI
FAB_SAN_05	Fabero	San Pedro de Paradela	1078	SI	NO	Caducada	Inactiva	SI	SI	NO	NO	NO

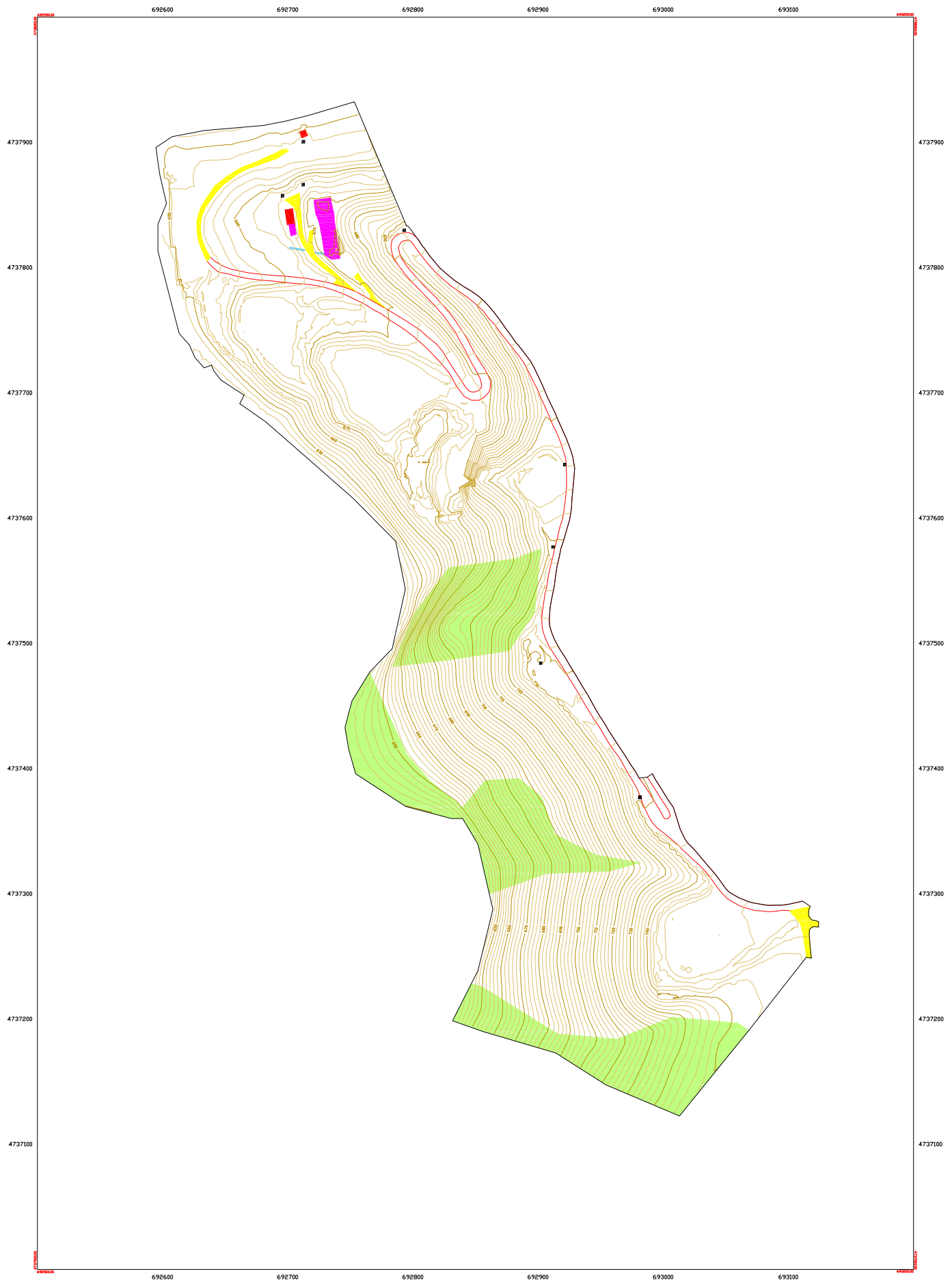
*\* La relación de variables corresponde a: SLA 1 = Distancia al núcleo de población más próximo (metros); SLA 2 = Proximidad a vías interurbanas u otras infraestructuras frecuentadas por la población; SLA 3 = Proximidad a instalaciones industriales o de otros usos activos; SLA 4 = Estado de la concesión minera; SLA 5 = Actividad extractiva; SLA 6 = Proximidad a zonas protegidas o de interés natural (LIC, ZEPA, etc.); SLA 7 = Proximidad a lugares con valores estéticos, culturales o arquitectónicos; SLA 8 = Ejecución de tareas de restauración; SLA 9 = Uso potencial del terreno después de su rehabilitación; SLA 10 = Valores científicos o educativos potenciales*

**Problemática asociada a cada una de las escombreras\*.**

Denominación	Mov_t /erosión	Estabilidad	Autocombustión	Cont_agua	Cont_suelo	Observaciones
FAB_FAB_05	Regueros, Erosión laminar, desprendimientos, deslizamientos y grietas	NO	SI (no actualmente)	SI	SI	Islam de lavadero. Precipitados Al.
FAB_FAB_06	Grietas de cabecera, regueros, erosión laminar y gran deslizamiento (socavón)	NO	SI (no actualmente)	SI	SI	Plataforma restaurada (extendido de tierra veg, plantación abedules) .Bocamina inundada. Generador de DAM. Precipitados de Fe
FAB_FAB_07	Erosión laminar	SI		NO		Nada reseñable
FAB_FAB_08	Regueros y erosión laminar	SI (con excepción)	NO	SI	SI	Remodelación relieve (presencia de erosión). Hueco de mina relleno materiales desconocidos. Taponar arroyo . Generador DAM. Precipitados Fe y Al
FAB_FAB_09		SI				Nada reseñable
FAB_FAB_10	Grietas, regueros y erosión laminar	SI	SI	SI	SI	Valle relleno de material desconocido. Taponar arroyo pH 3,3.DAM. Continúa la combustión
FAB_FAB_14		SI				Nada reseñable
FAB_FAB_15	Erosión laminar	SI				Nada reseñable
FAB_BAR_03	Algún reguero, Erosión laminar	SI				Restaurada por los propietarios.
FAB_FON_03	Deslizamientos, grietas	NO		SI	SI	Varias explotaciones, taponar arroyo no canalizado. Precipitados de Fe y Al, pH 6,5.Bocamina enterrada. Modelado parte del talud e hidrosiembra.
FAB_SAN_05	Erosión laminar	SI		SI	SI	Presencia de bocamina asociada, inundada, precipitados de Fe

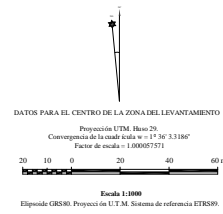
**\* La relación de variables corresponde a: Mov\_t /erosión: Problemas de movimientos de tierras y/o erosión.**

**Anexo 6:** *Levantamiento topográfico de FAB\_FAB\_05; FAB\_FAB 08 y FAB\_FAB\_10 respectivamente.*

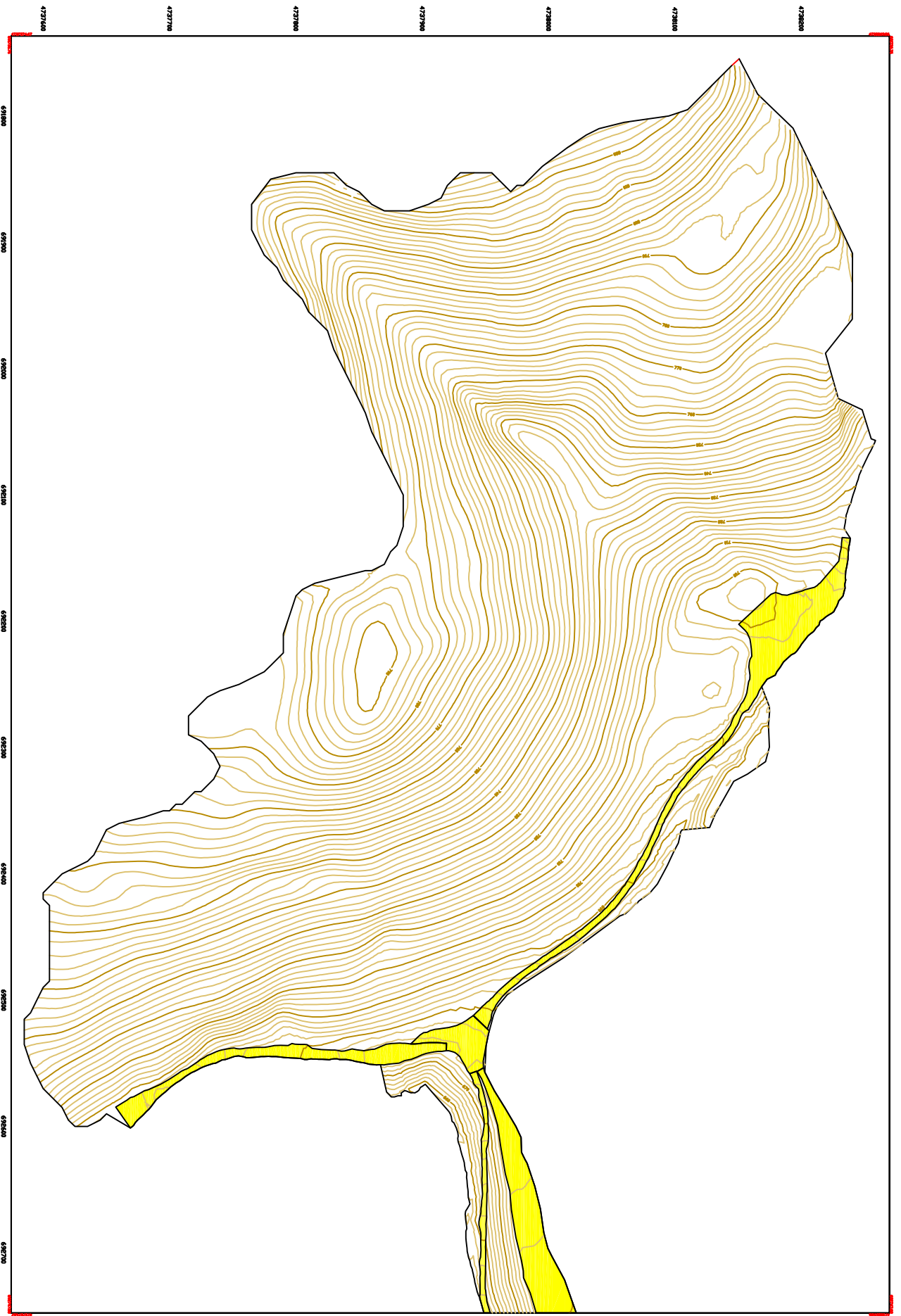


**LEYENDA**

	Escombrera		Edificación
	Monte bajo o arbolado		Escaleras
	Camino		Carretera
	Ruinas		Poste eléctrico
			Curva de nivel
			Curva de nivel maestra

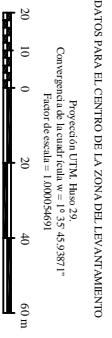




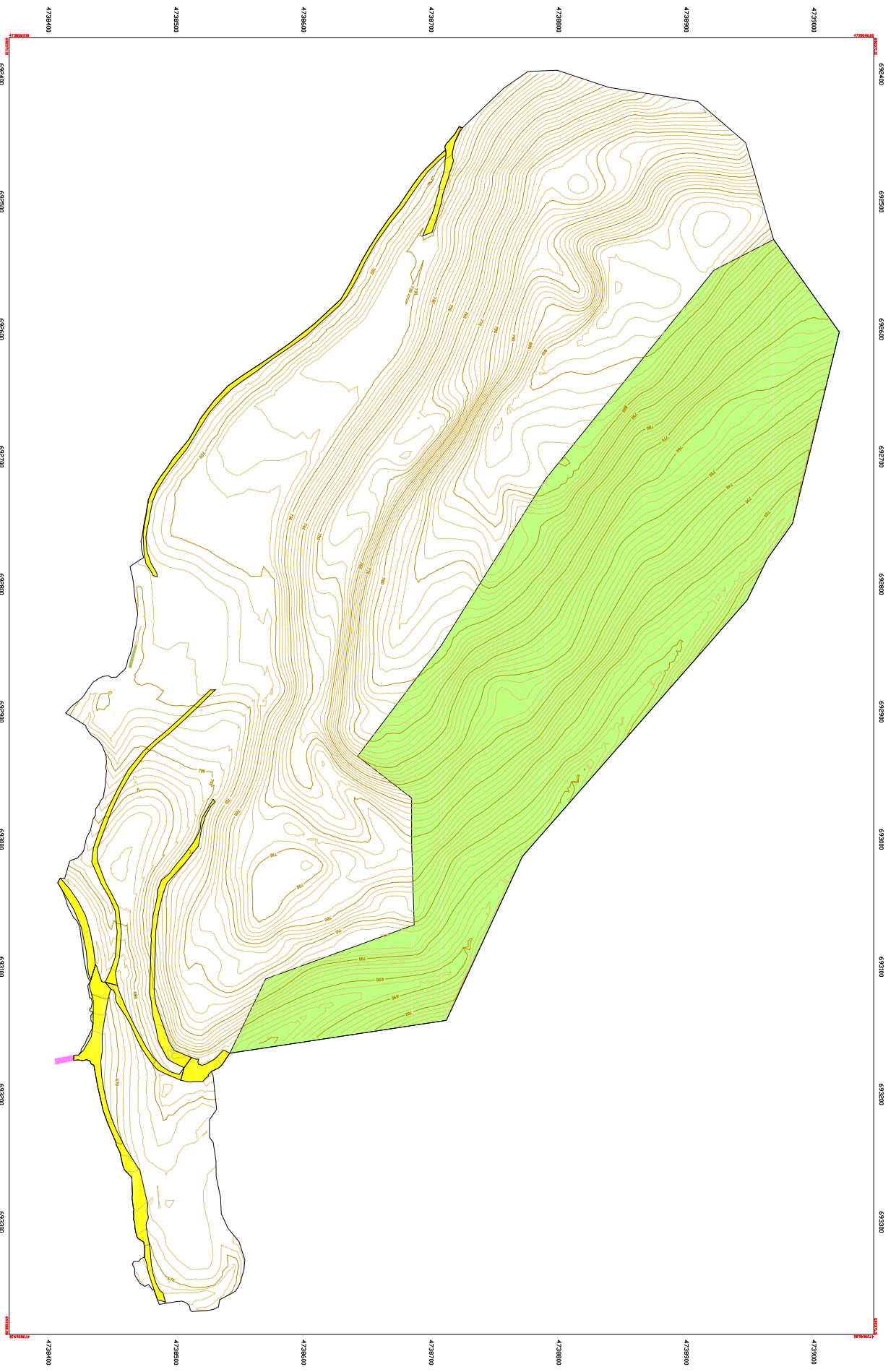


**LEYENDA**

	Escuquería
	Mojarre bajo o arbolado
	Camino
	Curva de nivel
	Curva de nivel muestra



Elipsoido: GRS80, Proyección: UTM, Sistema de referencia: ETRS89,  
 La altura es la altura normal en metros en Alicante.  
 Equidistancia de las curvas de nivel de 2 metros.



**LEYENDA**

	Escombros
	Monte bajo o arbolado
	Camino
	Curva de nivel
	Curva de nivel muestra

**DATOS PARA EL CENTRO DE LA ZONA DEL LEVANTAMIENTO**

Proyección UTM, Hemo 29  
 Convergencia: 2.5 m  
 Escala: 1:63996  
 Factor de escala: 0.0005771



Escala: 1:1000

Elipsoide GRS80, Boycción UTM, Sistema de referencia ETRS89.  
 Las alturas están referidas al nivel medio del Mar en Alicante.  
 Espesura de las curvas de nivel de 2 metros.



## **Anexo 7: El diseño con Natural Regrade**



Natural Regrade es un software de la compañía Carlson que permite diseñar formas del relieve estables en espacios afectados por movimientos de tierras, usando para ello principios de geomorfología fluvial. El software trabaja “sobre” AutoCAD y está basado en un método patentado, GeoFluv<sup>TM</sup>.

### **1. Información necesaria**

Para poder trabajar con el programa, es preciso encontrar un referente, y cierta información (*inputs*), divididos en: topografía de partida, parámetros de entrada y parámetros de control.

#### **1.1. Referente**

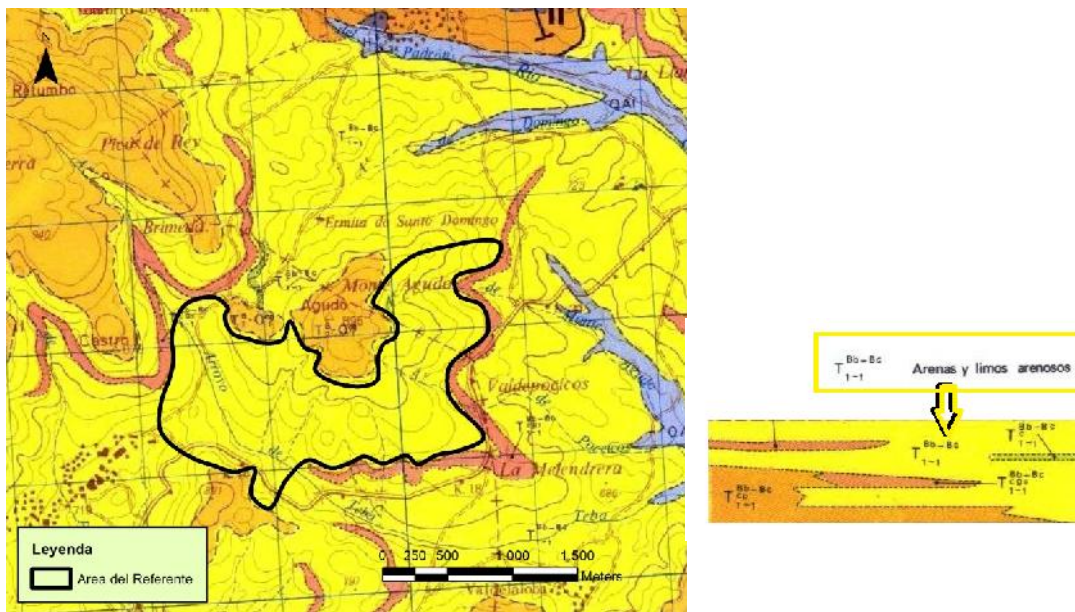
Un ecosistema de referencia sirve como un modelo para la planificación de un proyecto de restauración ecológica. Para este proyecto se ha utilizado un sistema geomorfológico de referencia, que es soporte de un ecosistema próximo a la explotación.

En primer lugar, cabe destacar que el acúmulo de materiales en la zona no es natural, por lo que se buscó en realidad un sistema geomorfológico de referencia atendiendo a las características similares de los materiales: “Arenas y limos arenosos” del terciario (Mioceno superior).

Para encontrar este ‘geo-sistema’ de referencia, se ha utilizado el mapa geológico del IGME, de 1989, de escala 1:50.000 (126, 10-08), correspondiente a Vega de la Espinadera. Las directrices para obtener dicho sistema de referencia han sido las siguientes:

- ✓ Características de los materiales, iguales o muy similares a los de la explotación.
- ✓ Características climáticas iguales o muy similares a las de la ubicación de la explotación.
- ✓ La presencia de canales fluviales, que puedan utilizarse como referencia.
- ✓ La mayor proximidad posible a la zona de actuación, y una buena accesibilidad.

En base a esto, se localizó un sistema geomorfológico de referencia útil para medir los parámetros que necesitan el modelo GeoFluv y el software Natural Regrade. Como se muestra en la Figura A1, se trata de “arenas y limos arenosos” que contienen una red de drenaje diferenciada en la que basarnos, sita en Fresnedo, T.M Cubillos del Sil, a unos 10 km de la zona a restaurar.



**Figura A 1. Localización del referente sobre el mapa geológico. IGME, de 1989, de escala 1:50.000 (126, 10-08), correspondiente a Vega de la Espinadera.**

### **1.2. Topografía de partida**

Constituye la información fundamental, dado que es la base sobre la que se realiza el diseño. La aplicación Natural Regrade precisa disponer de estos datos en formato de AutoCAD, es decir, en curvas de nivel o en puntos con sus coordenadas X, Y y Z.

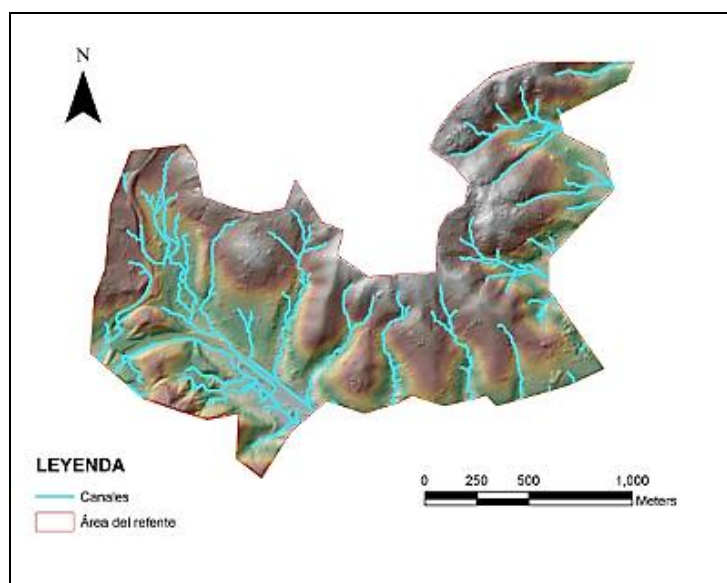
Se dispone del levantamiento topográfico en formato .dgn de la escombrera (ver Anexo 6).

### **1.3. Parámetros de entrada (Global settings)**

- **Densidad de drenaje, ángulo de intersección entre canales y máxima distancia entre las divisorias y el comienzo de los canales.**

#### **✓ Densidad de drenaje**

Para obtener el resto de parámetros en primer lugar hay que “delinear” o representar la red de drenaje. Con el programa ArcGIS y la herramienta de Hydrology de Spatial Analyst (Hydro Tools ) y en base al modelo digital de elevación MDE del que se dispone, se obtuvo la red de drenaje de la zona tomada como referente (Figura A2).



**Figura A 2. Red de drenaje del referente.**

Una vez obtenida la red de drenaje, y conociendo el área que ocupa el referente, se calculó el dato de densidad de drenaje.

*Dato: Longitud de los canales de la red de drenaje/ área del referente = 20577 m/264 ha= 78 m/ha.*

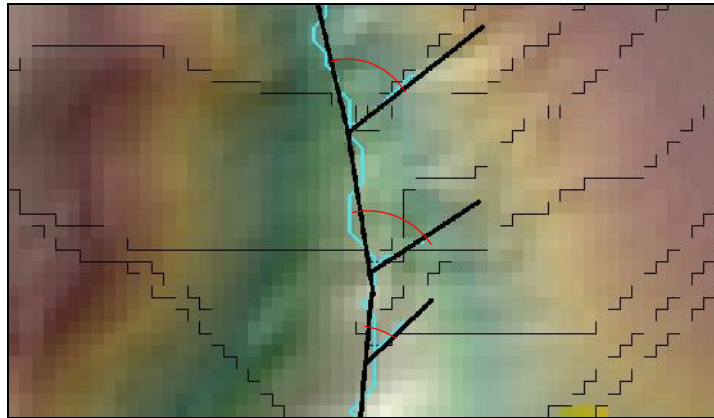
A partir del dibujo de los canales dentro de la red, se han obtenido además los parámetros: “ángulo de intersección entre los canales principales y los secundarios”; y “máxima distancia entre las divisorias y el comienzo de los canales.”

✓ ***Ángulo de intersección entre canales principales y secundarios***

Se ha obtenido midiendo el ángulo que forman estos canales, y calculando un valor medio. La medida se realizó como se muestra en la Figura A3.

El dato que posteriormente hace falta como “input” para Natural Regrade es 1- =90-

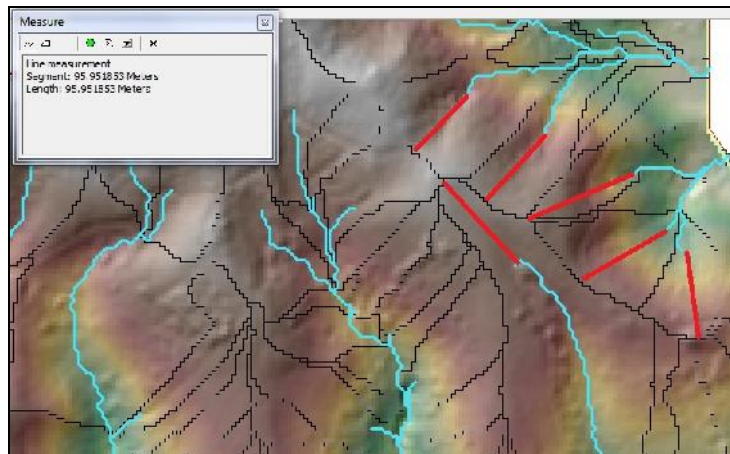
*Dato: 90- = 30°*



**Figura A 3. Ejemplo de la medida del ángulo de intersección entre canales principales y secundarios**

✓ **Máxima distancia entre las divisorias y el comienzo de los canales**

En base a las sub-cuencas de drenaje obtenidas, se ha medido la distancia existente desde la divisoria superior hasta el comienzo de los canales. (Figura A4)



**Figura A 4. Ejemplo de la medida de la “Máxima distancia entre las divisorias y el comienzo de los canales”**

El dato obtenido ( en la figura) es de un orden de valores entre 80 y 110 m.

*Dato= 95 m*

➤ **Pendiente del nivel de base local**

Este parámetro corresponde a la pendiente del canal “natural” situado inmediatamente aguas abajo de la zona a restaurar, es decir, con el que se conectará el canal principal del diseño de restauración. El dato fue medido con detalle en AutoCAD.

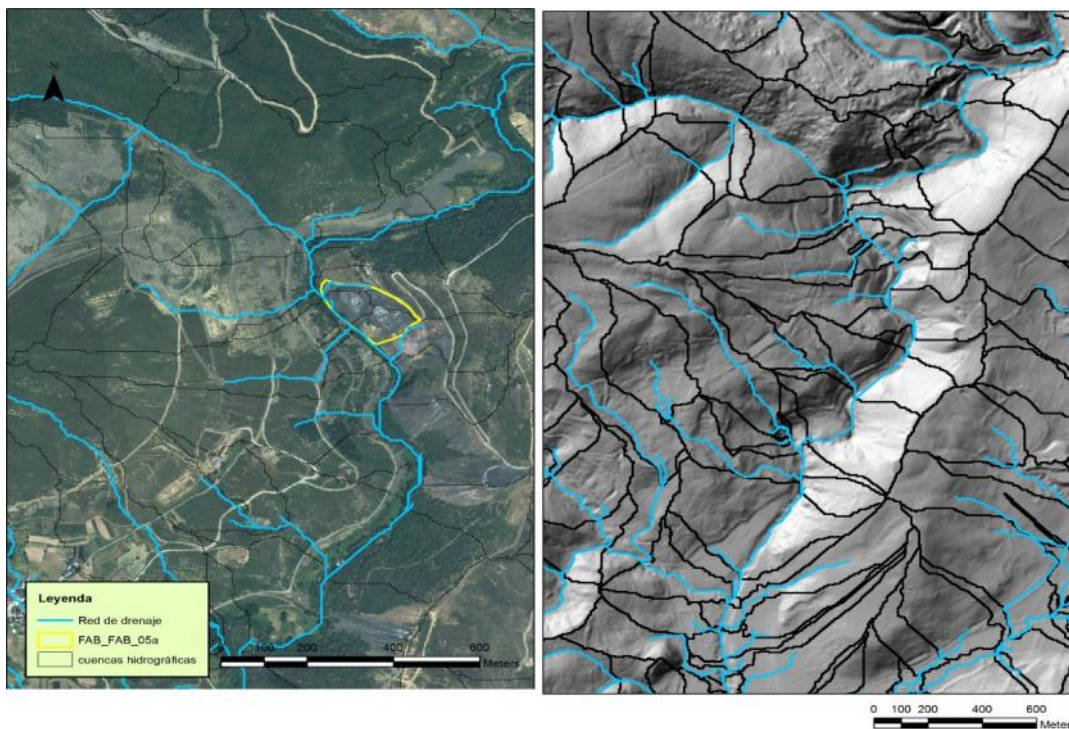
*Dato: 6%*

➤ ***Coefficiente de escorrentía***

El coeficiente de escorrentía representa el porcentaje de escorrentía (en tanto por 1) que se genera con respecto al agua que precipite sobre la superficie restaurada. El programa tiene en cuenta este parámetro para dimensionar los canales tanto principales como tributarios. Es decir, se debe introducir para cada uno de los canales diseñados. El valor de este parámetro se ha obtenido mediante tablas específicas, que tiene en cuenta distintos tipos de suelo y vegetación. Siendo para sustratos arenosos en torno a 0,30 (Fifield, 1996).

➤ ***Área que vierte al interior de la cuenca restaurada, para cada canal***

La importancia de calcular este dato radica en que el programa lo utiliza para dimensionar los canales adecuadamente, al igual que sucedía con el coeficiente de escorrentía.



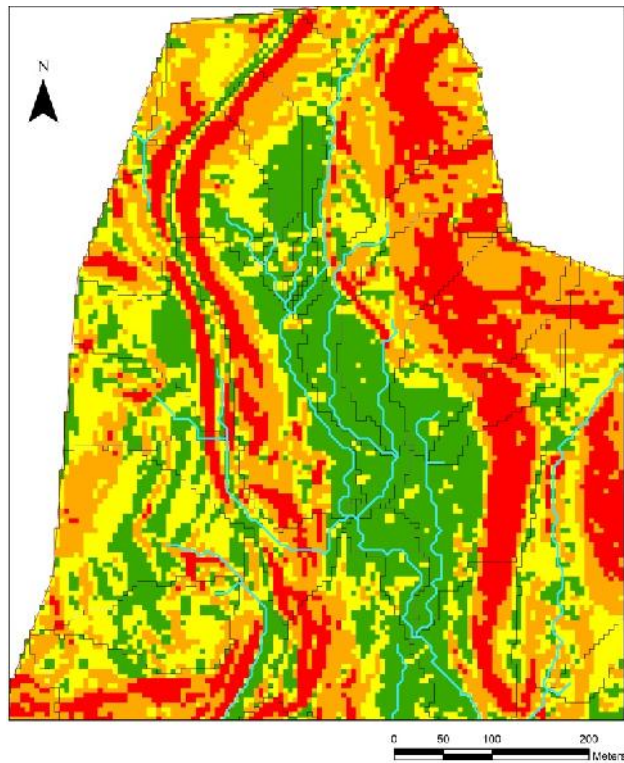
***Figura A 5. Cuencas hidrográficas y red de drenaje de la zona a restaurar. A la izquierda con base PNOA y escombrera FAB\_FAb\_05a. A la derecha base del MDE.***

En concreto, el área que vierte al canal principal de la superficie restaurada es de 0 hectáreas provenientes del exterior y de 3,67 hectáreas de la zona interna que vierte en el propio diseño.

Para esta superficie también hay que introducir un valor de coeficiente de escorrentía. Debido a que el área que vierte es de 0 ha, este valor corresponde a 0.

➤ **Longitud del canal A**

La longitud de los tramos de los canales en la red de drenaje del sistema geomorfológico de referencia se ha estimado realizando la medida con SIG. El valor medio que corresponde a la longitud de un tramo en “zig-zag” de los canales de más de 4% de pendiente es del orden de 20-30 metros.



**Figura A 6. Detalle del mapa de pendientes en la zona del referente donde: 0-4 % (verde), 4-15% (amarillo), 15-30 (naranja) y >30 (rojo).**

Para ello, se ha realizado un mapa de pendientes. Aunque las clases obtenidas no tienen un fin predeterminado, se ha estimado que pendientes de más de 30% no son relevantes en este estudio ya que la zona restaurada no tomará pendientes por encima de este valor.



➤ ***Parámetros de precipitación.***

Los valores de máxima precipitación que puede haber durante una hora, para un periodo de retorno de dos años (2-yr, 1hr) y la correspondiente a seis horas de duración, para un periodo de retorno de 50 años (50-yr, 6hr) se calculan mediante curvas IDF (Intensidad, Duración, Frecuencia) que son la representación gráfica de la relación existente entre dichos parámetros.

Estos valores están disponibles en la web del Departamento de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Politécnica de Madrid. ([http://138.100.95.131/hidraulica/MAXIN\\_v2/MAXIN/APLICACION/principal.html](http://138.100.95.131/hidraulica/MAXIN_v2/MAXIN/APLICACION/principal.html)).

Debido a la falta de datos de la zona exacta en la que se va a trabajar, se tomaron los datos disponibles de Villablino, municipio situado a 30 km de Fabero.

*Dato de 2-yr, 1hr:2.14cm*

*Dato de 50-yr, 6hr:8.92cm*

➤ ***Variación de la densidad de drenaje que se desea permitir***

Se ha establecido en un 20 % la desviación permitida con respecto al valor de la red de drenaje obtenida.

Con todos los datos obtenidos se ha realizado una tabla resumen de los parámetros que requiere Natural Regrade como inputs:

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
Máxima distancia entre las divisorias y el comienzo de los canales	m	95
Nivel de base local	%	6
Longitud del canal "A"	m	25
2-yr,1-hr	cm	2.14
50-yr,6-hr	cm	8.92
Densidad de drenaje	m/ha	78
Variación de la densidad de drenaje	%	20
Coefficiente de escorrentía	Tanto uno	0.3

**Figura A 7. Resumen de los parámetros de entrada (ordenados según requerimientos de Natural Regrade)**

#### ***1.4 Parámetros de control***

Los parámetros de control no constituyen elementos de entrada al sistema, sino que sirven para la comprobación de su ajuste. Son, por tanto, una especie de validación del método.

Dentro del sistema geomorfológico de referencia se deben de medir una serie de valores referentes a los canales como son la longitud y a la profundidad del denominado (canal de aguas llenas, o *bankfull*), así como de la llanura inundable (*flood prone area*), que en algunos casos son más de una, con diferentes periodos de retorno.

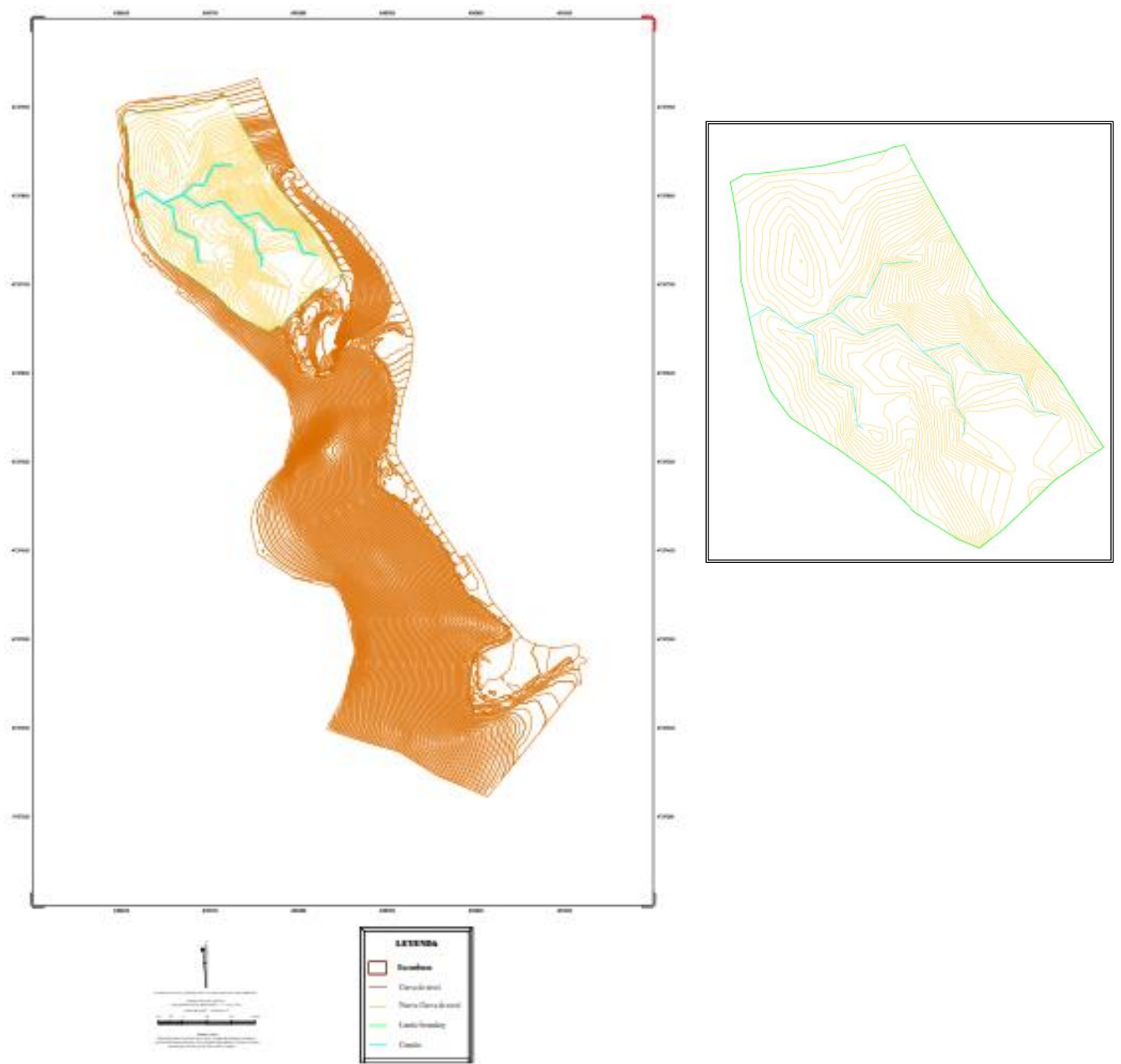
Estos valores deben ser medidos *in situ*, es decir, en campo. Como se incluye en las observaciones, no ha sido posible realizar trabajo de campo en la zona del referente, por lo que únicamente se incluye el valor de sinuosidad, que ha podido ser estimado mediante SIG.

*Dato sinuosidad: 1.13*

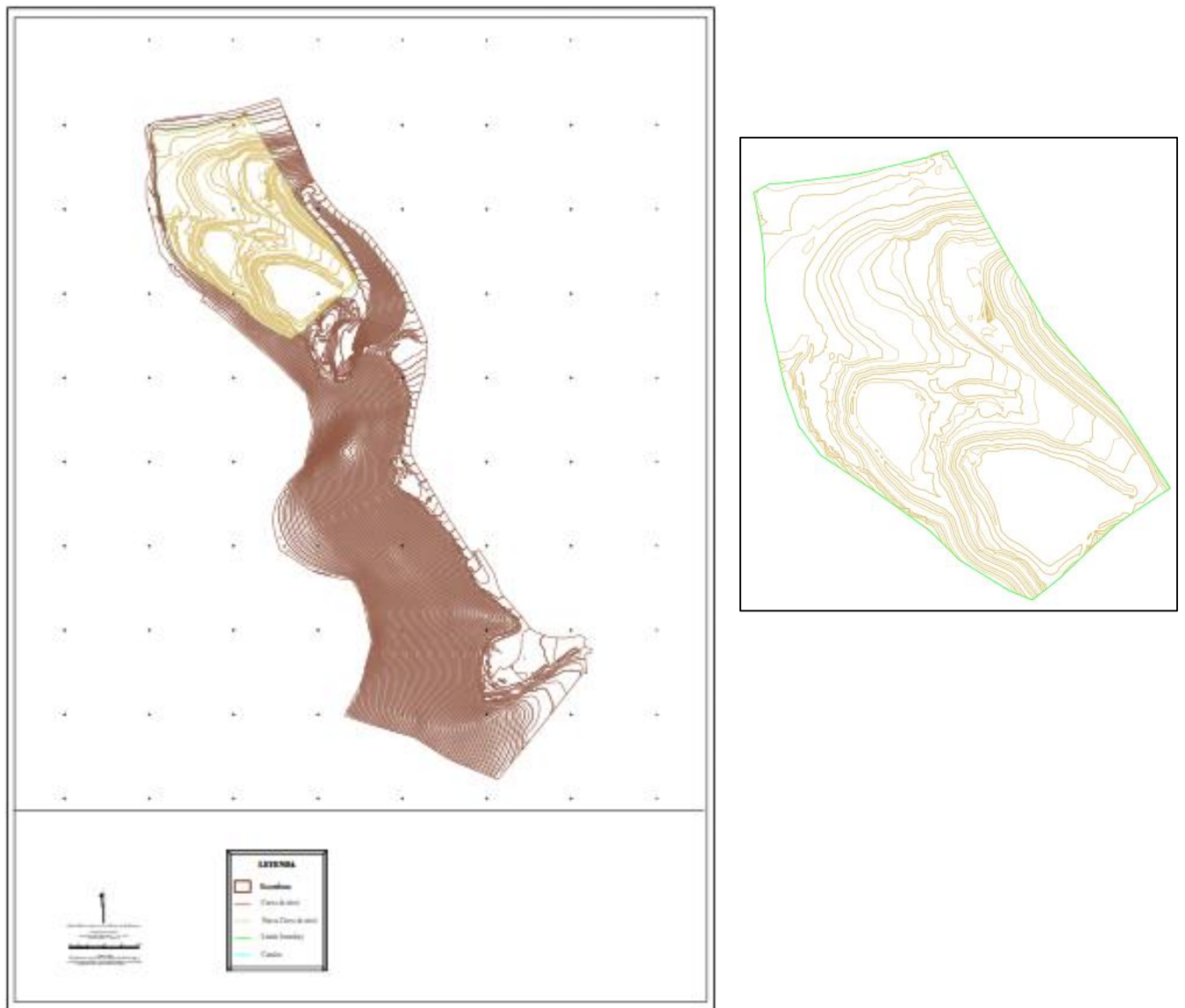
## **2. Diseño**

A continuación se muestra un ejemplo del tipo de resultados que se obtendrían si se realizara un diseño geomorfológico siguiendo el método GeoFluv, y ejecutado con el software Natural Regrade (Figura A8 y Anexo 8), donde los canales trazados muestran una red de drenaje estable. Es importante tener en cuenta que este diseño se presenta, en este trabajo, como una propuesta de solución, y no como un diseño definitivo, el cual requeriría la realización de un proyecto específico. En definitiva, sería una idea, propuesta, o diseño conceptual, de restauración.

Si se compara el diseño geomorfológico propuesto con la topografía actual (Figura A9), se observa como el cambio de las curvas de nivel conforman un relieve integrado en el entorno, a diferencia de la configuración topográfica actual.



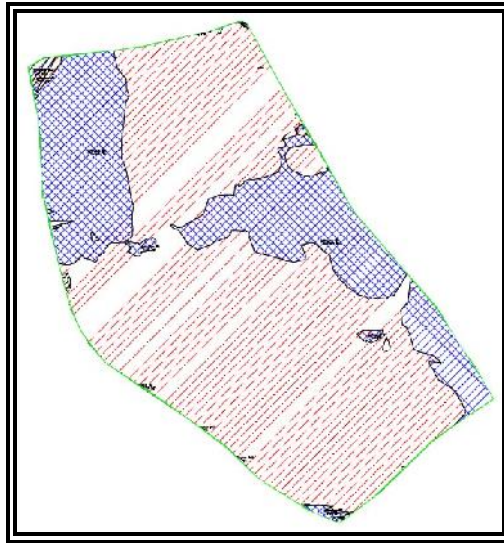
**Figura A 8. Propuesta de tipo de diseño, a realizar con el método GeoFluv y Natural Regrade, como solución de restauración para esta escombrera (Anexo 8) y (derecha) detalle de la zona FAB\_FAB\_05a .**



**Figura A 9. Situación actual: configuración topográfica de la escombrera FAB\_FAB\_05 ( Anexo6) y (derecha) detalle de FAB\_FAB\_05 a.**

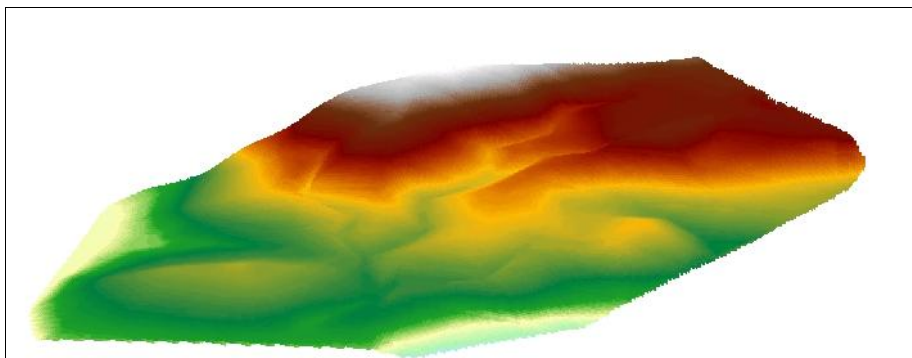
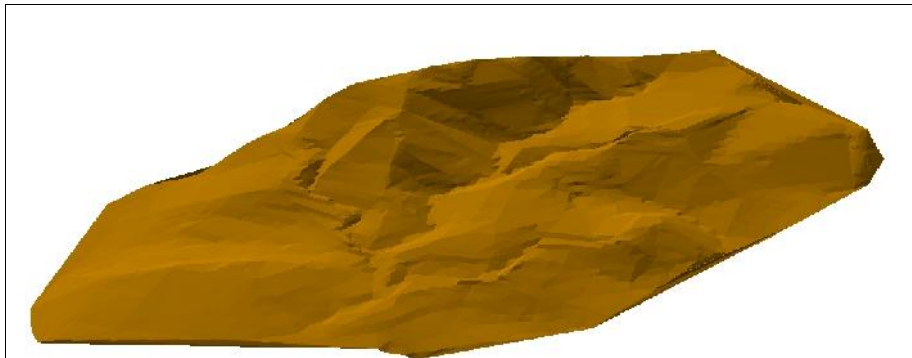
Adicionalmente, una vez que se realizara un diseño real, tal como se expone en el apartado de observaciones, habría que llevar a cabo una meticulosa labor de reajustes y edición.

Una de las ventajas de este tipo de método de diseño y restauración es que es posible realizar un balance entre las zonas que deben de ser excavadas y las que necesitan material para su relleno (cut/fill), tal y como se muestra en la Figura A10.



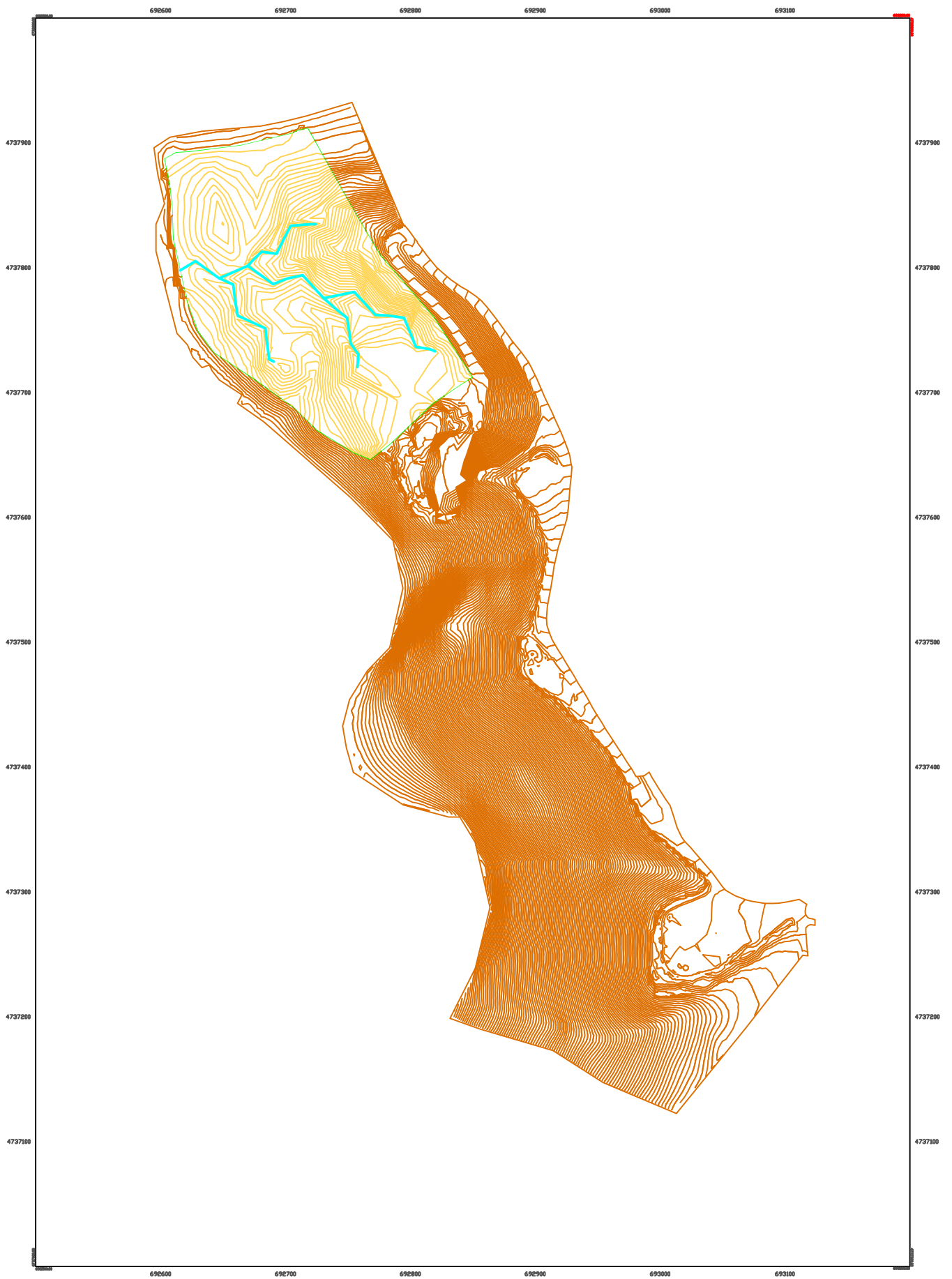
**Figura A 10. Balance Fill/cut (azul/rojo)**


En la Figura A11 se muestran las representaciones en 3D de la reconstrucción geomorfológica de la escombrera FAB\_FAB\_05 a.



**Figura A 11. Representaciones 3D de la reconstrucción geomorfológica de la Escombrera FAB\_FAB\_05 a.**

**Anexo 8:** *Propuesta de tipo de diseño, a realizar con el método GeoFluv y Natural Regrade.*



  
 DATOS PARA EL CENTRO DE LA ZONA DEL LEVANTAMIENTO  
 Proyección UTM, Huso 20  
 Convergencia de la cuadrícula = 1° 36' 3.1180"  
 Factor de escala = 1.000057571  
 Escala 1:8000  
 Elipsoide GRS80, Proyección de U.T.M., Sistema de referencia ETRS89.  
 Las alturas están referidas al nivel medio del Mar, salvo en lo contrario.  
 Equidistancia de las curvas de nivel de 2 metros.

**LEYENDA**

- Escombrera
- Curva de nivel
- Nueva Curva de nivel
- Limite boundary
- Canales