

INVESTIGACIÓN GEOAMBIENTAL EN ÁREAS ALTERADAS
POR ACTIVIDADES MINERAS.

RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE
TERRENOS ALTERADOS POR MINERÍA A CIELO ABIERTO



Junio de 2003

INVESTIGACIÓN GEOAMBIENTAL EN ÁREAS ALTERADAS
POR ACTIVIDADES MINERAS.
RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE
TERRENOS ALTERADOS POR MINERÍA A CIELO ABIERTO



Junio de 2003

**INVESTIGACIÓN GEOAMBIENTAL EN ÁREAS ALTERADAS
POR ACTIVIDADES MINERAS. RECONOCIMIENTO Y
EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE TERRENOS
ALTERADOS POR MINERÍA A CIELO ABIERTO.**

Este proyecto se realiza dentro de la Línea de Acción GEOAMBIENTE Y RESTAURACIÓN, perteneciente al Programa RECURSOS MINERALES, RIESGOS GEOLÓGICOS Y GEOAMBIENTE. En su ejecución han participado:

IGME. Área de Evaluación e Infraestructura Geoambiental.

Director del Proyecto:

Julio César ARRANZ GONZÁLEZ

Supervisor:

Daniel BARETTINO FRAILE (Director de Recursos Minerales y Geoambiente)

Equipo de trabajo:

Bruno MARTÍNEZ PLÉDEL

Colaboración en trabajos de campo:

Inés IRIBARREN CAMPAÑA

Helena PALACIOS FERNÁNDEZ

Carolina TORRES VIVAS

Margarita LACAL GUZMÁN

Como colaboradores externos al IGME:

**Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica de la Universidad
Autónoma de Madrid**

Victoria CALA RIVERO

ÍNDICE

	<u>Pag.</u>
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>OBJETIVOS</u>	4
3. <u>ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LOS TERRENOS ALTERADOS POR MINERÍA EN ESPAÑA</u>	7
3.1. EXPLOTACIONES DE LIGNITOS EN AS PONTES Y MEIRAMA	7
3.2. MINERÍA DE CARBÓN EN EL NORTE DE ESPAÑA	13
3.3. MINERÍA DE CARBÓN EN EL BERGADÁ	13
3.4. MINERÍA DE CARBÓN EN LA PROVINCIA DE TERUEL	16
3.5. MINA ENMA EN PUERTOLLANO	20
3.6. OTROS TIPOS DE MINERÍA	28
4. <u>SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO</u>	34
5. <u>DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL EN EL ENTORNO DE LAS ZONAS DE TRABAJO.</u>	38
5.1. <u>ÁREA DE VALDESAMARIO</u>	39
5.1.1. <u>Geología</u>	39
5.1.1.1. Litoestratigrafía	39
5.1.1.2. Tectónica	43
5.1.1.3. Geomorfología	44
5.1.2. <u>Clima</u>	44
5.1.3. <u>Cobertura vegetal</u>	49
5.1.4. <u>Suelos</u>	51
5.2. <u>ÁREA DE VILLABLINO</u>	55
5.2.1. <u>Geología</u>	55
5.2.1.1. Litoestratigrafía	55
5.2.1.2. Tectónica	60
5.2.1.3. Geomorfología	61
5.2.2. <u>Clima</u>	62

5.2.3.	<u>Cobertura vegetal</u>	67
5.2.4	<u>Suelos</u>	69
5.3.	ÁREA DE UTRILLAS	72
5.3.1.	<u>Geología</u>	72
5.3.1.1.	Litoestratigrafía	72
5.3.1.2.	Tectónica	78
5.3.1.3.	Geomorfología	79
5.3.2.	<u>Clima</u>	80
5.3.3.	<u>Cobertura vegetal</u>	87
5.3.4	<u>Suelos</u>	89
6.	<u>DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE TRABAJO</u>	90
6.1.	ÁREA DE VALDESAMARIO	90
6.2.	ÁREA DE VILLABLINO	93
6.3.	ÁREA DE UTRILLAS	97
7.	<u>METODOLOGÍA DE ESTUDIO EN CAMPO Y EN LABORATORIO</u>	100
7.1.	PLANTEAMIENTOS BÁSICOS DEL ESTUDIO DE CAMPO	101
7.1.1.	<u>Estudio de acopios temporales de estériles</u>	101
7.1.2.	<u>Estudio de escombreras</u>	106
7.1.3.	<u>Superficies en proceso de restauración</u>	107
7.1.4.	<u>Suelos nativos</u>	115
7.2.	ANÁLISIS DE LABORATORIO	116
7.2.1.	<u>Propiedades físicas</u>	118
7.2.1.1.	Porcentaje de elementos gruesos	118
7.2.1.2.	Porcentaje de humedad	119
7.2.1.3.	Densidad aparente	119
7.2.1.4.	Textura	122

7.2.1.5	Puntos característicos del agua en el suelo	123
7.2.2.	<u>Propiedades químicas</u>	124
7.2.2.1.	pH y Contabilidad Ácido-Base	124
7.2.2.2.	Contenido en materia orgánica	130
7.2.2.3.	Conductividad eléctrica	132
7.2.2.4.	Complejo de cambio	134
7.2.2.5.	Nitrógeno, fósforo y potasio	135
7.3.	ETIQUETADO DE LAS MUESTRAS	139
8.	<u>RESULTADOS OBTENIDOS Y PROBLEMAS ENCONTRADOS</u>	141
8.1.	ESTUDIO DE ACOPIOS TEMPORALES	141
8.2.	ESTUDIO DE ESCOMBRERAS	143
8.3.	ESTUDIO DE SUPERFICIES EN PROCESO DE RESTAURACIÓN	150
9.	<u>CONCLUSIONES</u>	172
10.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	183

1. INTRODUCCIÓN

Una de las funciones establecidas en el Estatuto del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) es la realización de estudios sobre la caracterización de terrenos alterados y contaminados, siendo objetivos de la sublínea de trabajo denominada Geoambiente Minero:

- El desarrollo de metodologías de caracterización y evaluación ambiental en áreas afectadas por la actividad minera activa y abandonada.
- El desarrollo de modelos de recuperación ambiental de terrenos afectados por la actividad minera.

Son numerosos ya los trabajos del IGME en los que se realiza la caracterización y el análisis de la problemática de terrenos alterados por minería en diversas zonas, y se proporcionan recomendaciones para la recuperación ambiental de los mismos. En la mayoría de los casos, las recomendaciones que se aportan en dichos trabajos parten del análisis más o menos exhaustivo de los elementos del medio natural que tienen importancia para planificar labores de restauración (vegetación potencial y actual, clima, litología, posición fisiográfica, suelos). Sin embargo, sólo excepcionalmente han sido estudiados los parámetros físico-químicos de los substratos que teóricamente serán objeto de revegetación y recubren plazas de corta, taludes, escombreras, etc., aunque también es cierto que, paulatinamente, se ha ido haciendo cada vez más habitual la solicitud a nuestros laboratorios de algunos ensayos de carácter edafológico sobre muestras procedentes de tales superficies.

Como es sabido, en España, la minería a cielo abierto se encuentra regulada en el aspecto ambiental por la siguiente legislación de ámbito nacional: el Real Decreto 2994/82 sobre **restauración del espacio natural afectado por actividades mineras**; el Real Decreto 1116/84 sobre **restauración del espacio natural afectado por las explotaciones de carbón a cielo abierto y el aprovechamiento**

racional de estos recursos energéticos; el Real Decreto Legislativo 1302/86 sobre Evaluación de Impacto Ambiental, el Real Decreto 1131/88, que desarrolla el anterior y la Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto legislativo 1302/86.

Los dos primeros, uno de carácter general y otro con carácter específico para el carbón, se refieren a las medidas preventivas y correctoras necesarias para minimizar el impacto potencial de la minería a cielo abierto y de los trabajos de exterior e instalaciones asociadas a la minería de interior que puedan afectar el medio ambiente. Los restantes son consecuencia de la aplicación en España de la Directiva 85/337/CEE. Las dos leyes de carácter minero arriba mencionadas (R. D. 2994/82 y R. D. 1116/84) hacen referencia a la **restauración** del espacio natural al que afectan o afectarán los proyectos de explotación sometidos a dichas leyes.

Conceptualmente, el término restauración (ing. *restoration*) se refiere a la realización de trabajos encaminados a devolver los terrenos alterados a su estado original -lo que normalmente es reconocido como imposible-. Si el resultado final es tal que el lugar es habitable para organismos vivos originalmente presentes u otros semejantes, que cubren los mismos nichos ecológicos, con aproximadamente la misma composición que la original, entonces se habla de reformación, (ing. *reclamation*). Por último, se dice rehabilitación (ing. *rehabilitation*) si se pretende que los terrenos adquieran un aspecto y productividad establecidos de acuerdo con un plan previo, sean ecológicamente estables, de manera que no contribuyan sustancialmente al deterioro ambiental, y se integren en el paisaje circundante (NAS, 1974).

Según Mc Kenzie (1980), es corriente no hacer distinción entre *reclamation* y *rehabilitation*, empleándose comúnmente el primero. Hasta los años 70 se entendía como una remodelación del terreno y el establecimiento de una vegetación adecuada. Posteriormente, el término *reclamation* ha ido adquiriendo un sentido cada vez más amplio, hasta el punto de que, en ocasiones, todos los elementos

relacionados con el suelo y el agua son controlados antes, durante y después del desarrollo de las labores mineras (Wiram & Ralston, 1980) o, dicho de otro modo: asumiendo que no es posible la rehabilitación de los terrenos mineros sin una comprensión de los procesos geológicos, hidrológicos, biológicos y edáficos que operan en los paisajes alterados y no alterados (Moran *et al*, 1978)

En España se suele emplear indistintamente restauración y rehabilitación con el sentido que se asigna a los conceptos *reclamation* y *rehabilitation*. Las propias leyes españolas (R. D. 2994/82 y R. D. 1116/84) hacen un uso del término restauración que no puede considerarse estricto. Desde un punto de vista práctico, esta equiparación de términos conceptualmente distintos no es grave, si de lo que se trata es de hacer referencia al proceso mediante el cual se articulan un conjunto de labores para modificar el estado de alteración de un terreno, reconstruyendo el suelo con el objeto de que sea capaz de soportar un uso predeterminado, independientemente de si era el original antes de que se produjera la actividad alteradora y del nivel alcanzado en la sucesión ecológica (Arranz, 1995).

Por otro lado, y a pesar de que ya ha transcurrido bastante tiempo desde la promulgación de las leyes sobre restauración de terrenos mineros a cielo abierto, en nuestro país existen numerosas explotaciones en las que no se ha practicado ninguna medida restauradora después del abandono. Unas veces se trata de explotaciones iniciadas antes de la entrada en vigor de las mencionadas leyes y, por tanto, exentas de tales obligaciones. Otras veces, sin embargo, se trata de explotaciones que se realizaron al margen de la legalidad.

También existen numerosas explotaciones sobre las que se han realizado trabajos de rehabilitación con muy variada intensidad. La calidad de la colonización vegetal del medio en todos los casos es muy variada, y tal variedad no puede siempre explicarse atendiendo sólo al tiempo transcurrido, o a la mayor o menor benignidad climática. A pesar de las numerosas posibilidades que ofrece a la investigación la extensa casuística existente, no ha existido, sin embargo, un

trabajo de investigación edafológica dedicado a estudiar sistemáticamente una variada gama de situaciones del que se hubiera obtenido un conocimiento muy valioso. Sí es cierto que se ha trabajado preferentemente en la caracterización edafológica de estériles y terrenos restaurados en las grandes explotaciones de carbón, pero casi siempre se ha limitado a la capa más superficial del nuevo suelo creado artificialmente –como se verá más adelante-. El propósito de llenar en la medida de lo posible el vacío de información existente ha sido la principal motivación del proyecto al que se refiere este informe final.

2. OBJETIVOS

Inicialmente, la gran mayoría de los estudios realizados sobre los substratos que cubren las áreas alteradas por minería fueron encaminados a establecer soluciones concretas para problemas edáficos que suelen ponerse de manifiesto de forma rápida, o que son fácilmente previsibles dadas las experiencias anteriores, con el objetivo de enmendar en lo necesario para que se pudiese establecer vegetación lo más rápidamente posible. Ciertamente, es incuestionable el interés de proteger el terreno contra la erosión mediante una cubierta vegetal de implantación rápida, pudiéndose considerar este objetivo como la meta a corto plazo (Lyle Jr., 1987). Se admite generalmente que la restauración depende en gran medida de este primer paso pero, sin embargo, muchas veces lo que se ha buscado con ello es sólo un maquillaje para tranquilizar a la opinión pública. El verdadero futuro de los terrenos restaurados depende de la estabilidad a largo plazo del sistema suelo-vegetación (Schafer *et al.*, 1979).

El proceso de restauración o rehabilitación de un medio gravemente alterado ha de partir de la consideración del suelo, o como se quiera llamar al substrato sobre el cual las plantas deben establecerse y enraizar. Sus propiedades y situación determinan de modo crucial el grado en que un ecosistema puede desarrollarse naturalmente en ese lugar, cómo ese desarrollo puede progresar, y qué tratamientos pueden ser necesarios para asistir a este desarrollo (Bradshaw, 1985).

Las diferentes operaciones llevadas a cabo durante la explotación minera y las características del yacimiento determinan la presencia de elementos más o menos discernibles en el espacio alterado, como pueden ser: escombreras, huecos o frentes abandonados. Algunos de estos elementos sólo presentan en superficie pequeñas acumulaciones o bolsas de materiales terrosos (frentes o antiguos bancos de explotación). Sin embargo, en una gran parte de los casos predominan en extensión superficial materiales sueltos que incluyen finos y que, a pesar de que mayoritariamente puedan predominar los elementos gruesos, pueden ser considerados materiales tipo suelo.

Se tendrá, en cualquier caso, unos "**suelos**" de origen **artificial**, que en la literatura anglosajona han venido en llamarse *minesoils*, cuyos perfiles mostrarán, sin duda, unos caracteres altamente dependientes de los materiales geológicos movilizados durante el beneficio del recurso minero, de las prácticas mineras empleadas y de las labores de rehabilitación que hayan sido emprendidas, ya sea de una forma más o menos improvisada o de acuerdo con una rigurosa planificación. La consideración de estos materiales dispuestos en la superficie del terreno como suelos mineros, refleja una creencia consciente en un cierto potencial productivo sobre algunas de las áreas alteradas (Plass, 1978; Opeka & Morse, 1979).

Sin duda, el concepto de suelo minero se ajusta más a las situaciones en las que se han realizado operaciones de restauración culminadas con la implantación de algún tipo de cubierta vegetal y desarrolladas siguiendo un plan. Cuanto más carga de planificación tiene el proceso de restauración, más sentido tiene hablar de suelo minero y de potencial productivo del mismo, sin olvidar otros aspectos como la hidrología y el paisaje. Cuanta menos planificación, más sentido tiene considerar el proceso de restauración como una simple reparación del impacto sobre el paisaje (lo que no impide que la dificultad de llevarla a cabo sea grande y a elevado coste). Si se acepta el término suelo minero, tal y como anteriormente ya ha sido aceptado y empleado en otros trabajos (Smith & Sobek, 1978; Ammons, 1979; Opeka & Morse, 1979), en el fondo se está admitiendo una moderna definición de suelo: el

colectivo de cuerpos naturales de la superficie terrestre, en lugares modificados o, incluso, **creados** por el hombre a partir de materiales terrosos, que contienen materia viva, y soportan o son capaces de soportar plantas en su superficie (USDA-SCS, 1975). Este punto de vista puede aplicarse tanto a los suelos altamente alterados e incluso hasta los fabricados artificialmente, como a los suelos naturales afectados por cualquier grado menor de alteración (Smith & Sobek, 1978).

Los materiales de partida que, de un modo general, intervienen en la composición de estos suelos pueden ser (Arranz, 1993):

- Materiales que, estrictamente, no han sufrido procesos edafogénicos, es decir, todos aquellos que anteriormente estaban confinados en el subsuelo: estériles de mina o toda clase de productos de excavación por debajo de los perfiles de suelo originales, y a veces también los subproductos de los tratamientos de elaboración, clasificación, limpieza, etc. Las características de estos materiales pueden ser más o menos favorables y, en muchos casos, una planificación adecuada y conjunta de las labores de explotación y restauración puede permitir la selección y/o combinación de los más idóneos para el establecimiento de la vegetación.
- Materiales superficiales que han sufrido procesos edafogénicos, los cuales, a su vez, pueden haber sido sometidos a la mezcla de horizontes al ser retirados, y que, en cualquier caso, han visto alteradas sus propiedades durante el manejo y el casi siempre inevitable almacenamiento temporal.

En resumen, la variedad de situaciones posibles abarca desde el simple abandono de huecos y escombreras de estériles hasta la realización de operaciones encaminadas a la construcción de un suelo artificial, restituyendo en la superficie capas de suelo, materiales geológicos no consolidados, o ambos, en una secuencia vertical de mayor o menor calidad y espesor.

Partiendo de esta variabilidad de situaciones, el objetivo general del Proyecto es la investigación edafológica de terrenos mineros completamente abandonados, o sometidos a diferentes practicas de remodelación y restauración, para incrementar el nivel de conocimientos sobre aspectos relacionados con la edafogénesis, la asignación de usos del suelo o que puedan traducirse en recomendaciones prácticas en relación con la recuperación de los terrenos alterados.

Los objetivos a alcanzar son los siguientes:

1. Mejorar el conocimiento edafológico sobre los terrenos alterados por minería a cielo abierto en algunas de las zonas donde se han realizado anteriores estudios por parte del equipo de trabajo encargado de la línea Restauración Ambiental del territorio, así como en alguna otra nueva zona.
2. Elaboración de un completo manual de procedimientos de estudio en campo y de ensayos de laboratorio para los suelos presentes en las áreas alteradas por minería a cielo abierto.

3. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LOS TERRENOS ALTERADOS POR MINERÍA EN ESPAÑA.

La revisión que sigue no pretende ser exhaustiva, pero sí lo suficientemente ilustrativa de cómo, en términos generales, los conocimientos existentes sobre las propiedades de los materiales sacados a la superficie o de los nuevos suelos artificiales que la minería genera, con o sin labores de restauración, son bastante limitados en nuestro país.

3.1. EXPLOTACIONES DE LIGNITOS EN AS PONTES Y MEIRAMA

Leiros de la Peña *et al.* (1989) estudiaron materiales estériles situados en las plataformas definitivas de escombreras y a la espera de su recuperación en la Mina de As Pontes (pizarras troceadas y arcillas con restos de lignitos) y en Meirama (jabre de granito y mezclas de arcillas con granito y esquistos alterados). En todos los casos se muestrearon los 10 cm superiores, siendo cada muestra individual la unión de cinco submuestras tomadas al azar dentro de un cuadrado de 4x4 m. Se analizaron parámetros edáficos corrientes como pH, materia orgánica oxidable, nitrógeno total y textura, además de óxidos totales, complejo de cambio y estudio mineralógico de las fracciones tierra fina y arcilla.

A partir de los resultados se dedujo que los estériles de Meirama, generalmente con nulo contenido en pirita, no debían ofrecer problemas graves de cara a la recuperación. Sin embargo, en los materiales de As Pontes destacó el alto nivel de acidez total, recomendándose que en adelante dichos materiales no fueran empleados para construir la capa superior del futuro suelo.

Urrutia *et al.* (1992) analizaron un total de 76 muestras de estériles en As Pontes. 67 de ellas procedían de la mezcla de estériles: (arcillas, lignitos de mala calidad, arenas, materiales margosos, cenizas volantes y fragmentos de filitas). El resto correspondían a lignitos y filitas. Según se deduce de la referencia citada, todas fueron tomadas previamente al vertido sobre las escombreras. La intención de los autores fue caracterizar el máximo potencial de generación de acidez de las muestras para evaluar la idoneidad de los materiales de cara a su depósito en la superficie de las escombreras.

Macias *et al.* (1992) tomaron 35 muestras que estimaron como representativas de plataformas y taludes de las escombreras de As Pontes (que ocupaban 210 ha por entonces). El objeto era medir contenidos totales de metales pesados y algunos otros parámetros edáficos a dos profundidades: 0-10 y 10-30 cm para intentar inferir el riesgo de fitotoxicidad. Del estudio se concluyó que las técnicas de corrección que se venían realizando (encalado, aporte de cenizas y recubrimiento

con sedimentos y suelos) eran capaces de mejorar las condiciones iniciales en las escombreras de estériles pizarrosos y arcillosos, disminuyendo la movilidad de los metales pesados.

Monterroso *et al* (1993) estudiaron los niveles de macronutrientes y elementos de traza en la superficie de la escombrera de As Pontes. El estudio se centró en tres parcelas con vegetación pratense (llamadas P.205, T.H.04 y A.25) delimitadas sobre la superficie en proceso de restauración ambiental. Las labores de restauración se iniciaron en 1987 en la parcela P.205 y en 1989 en las otras dos. Los materiales originales en las parcelas P.205 y T.H.04 fueron pizarras del zócalo de la cuenca de explotación, consideradas inicialmente de buena calidad (baja acidez y escaso contenido en sulfuros); la parcela A.25 se construyó sobre una mezcla de materiales seleccionados, formada por sedimentos terciarios procedentes de la cuenca, pizarras de su borde y cenizas derivadas de la combustión de lignito, de reacción generalmente alcalina.

Se tomaron muestras superficiales de suelos (0-15 cm) y de vegetación herbácea antes de su floración en 8 puntos, en dos transectos paralelos marcados a lo largo de las parcelas de estudio, con una separación entre 25 y 35 m según la longitud de la parcela.

Se evaluó el estado nutritivo de algunas especies herbáceas (*Trifolium repens*, *Dactylis glomerata*, *Festuca arrundinacea* y *Lolium perenne*) establecidas en las parcelas, relacionándolo con las características de los suelos mediante el análisis de contenidos metálicos teóricamente biodisponibles (Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Pb y Cd extraídos en DTPA), así como la composición mineral de las plantas. Se encontraron diferencias según la especie vegetal considerada y contenidos de Mg y N en planta ligeramente bajos, aunque sin alcanzar valores limitantes para el desarrollo vegetal. El resto de los macronutrientes (Ca, K y P) y elementos traza estaban dentro del rango de concentración considerado como normal.

Las principales conclusiones obtenidas de los diferentes estudios realizados con objeto de llevar a cabo la recuperación de las escombreras de Meirama (La Coruña) se recopilan en una edición conjunta de la Universidad de Santiago de Compostela y LIMEISA. En la mencionada edición se procede, en primer lugar, a describir los distintos tipos de estériles desde el punto de vista de las propiedades edáficas. Se cuenta cómo los estériles de la mina se fueron depositando en la escombrera mezclados en diferentes proporciones, lo que dio lugar a una cierta variabilidad. Aún así, cabe hablar de unos rangos predominantes en lo que se refiere a las propiedades físicas (Seoane *et al.*, 1995):

- Contenido en elementos gruesos entre el 30 y 40%.
- Texturas Francas o Franco-arenosas.
- Densidades aparentes muy elevadas y porosidad total muy baja, sin macroporos.
- Conductividad hidráulica muy lenta o lenta.
- Ausencia de estructura edáfica.
- Baja capacidad de retención de agua.

En cuanto a las propiedades químicas, también se observó gran variabilidad, destacando en este sentido el valor de pH para un total de 131 muestras. Se puede recalcar, sin embargo, el predominio de valores siempre bajos de C oxidable y de N, así como los de la capacidad de intercambio catiónico y los niveles de elementos asimilables.

Por su interés, es necesario subrayar que también se efectuaron análisis de la actividad microbiana de muestras de estériles mineros, de modo que pudieron compararse los valores de actividades enzimáticas obtenidos con los conocidos para suelos naturales de Galicia. Todas las determinaciones realizadas pusieron de manifiesto una actividad enzimática muy baja (Seoane *et al.* 1995).

Además de que se señala la posibilidad de que surjan problemas puntuales derivados de la oxidación de sulfuros, en el análisis de la problemática de los estériles se hace una apreciación enormemente interesante. Se afirma que “el riesgo de contaminación por transferencia de iones al medio puede parecer poco importante dada la escasez del estéril en elementos solubles o cambiables; sin embargo, estas pérdidas pueden llegar a ser importantes cuando se añadan fertilizantes al estéril, operación imprescindible para su revegetación. Los elementos en forma iónica son retenidos en los suelos en posiciones de cambio, pero si éstas se encuentran ausentes, los elementos añadidos quedan en la solución del suelo, con lo que se posibilita su pérdida por lavado” (Seoane *et al.*, 1995).

De este modo, se llama la atención sobre un problema que se suele olvidar o dejar de lado, pero que se produce normalmente cuando se pretende instalar la primera cubierta vegetal sobre este tipo de terrenos mediante el empleo de fuertes dosis de siembra, acompañadas de grandes cantidades de fertilizantes.

Si bien es cierto que todas las anteriores aportaciones son de gran valor, tal vez lo más destacable es el capítulo dedicado a analizar la evolución de los suelos en incipiente grado de formación sobre las superficies ya revegetadas.

Leiros *et al.* (1995) describen como la capa superficial de los perfiles de los suelos de las escombreras han ido mostrando distintos rasgos indicativos de la acción de procesos edafogénicos. Estos rasgos son: el enraizamiento, en ocasiones muy denso, la formación de estructura del suelo, generalmente de tipo migajoso, o bien la presencia de coloraciones más oscuras en la superficie del perfil, debido al enriquecimiento de dicha capa en materia orgánica humificada. La presencia e importancia de estos rasgos responde a la edad del suelo. Así, en perfiles de suelos de 1 y 2 años de edad no existe apenas diferenciación morfológica entre la parte superior y el resto del perfil. El único rasgo de

edafogénesis es la presencia de un fuerte enraizamiento, consecuencia del vigoroso crecimiento de las gramíneas y leguminosas comerciales.

En los suelos de 3 años fue posible observar una pequeña capa -de 2 cm- con una ligera estructura, en unos casos migajosa y en otros poliédrica; sin embargo, el rasgo morfológico que permitía separar más claramente esta capa de la inferior es la densidad de enraizamiento, muy escasa en esta última capa.

En los perfiles de 4 años la separación entre horizontes fue más clara que en los de 3 años. Generalmente se observó un límite neto entre la capa superficial y las siguientes. En todos los casos, el horizonte superficial presentó fuerte enraizamiento, estructura migajosa y menor abigarramiento que las capas subyacentes. El espesor de la capa superficial llegó a alcanzar los 15 cm pero, en general, sólo incluye los primeros 5 cm. En los suelos de 5 años, se advirtió ya un horizonte superior granular de hasta 28 cm, con límite neto sobre una capa de estructura poliédrica.

Todos los perfiles descritos fueron siempre de tipo AC, y se calculó la velocidad media de formación del horizonte superior de unos 2,4 cm/año. En cinco años el horizonte superficial alcanzó una porosidad total de 60%, que es similar a la de los suelos naturales gallegos. El descenso de la densidad aparente fue notorio en los primeros 15 cm.

A pesar de esta evolución tan rápida, al comparar el horizonte superior de los suelos de las escombreras con los de los suelos naturales de Galicia se dedujo que todavía existían grandes diferencias. La porosidad total en los suelos naturales se reparte de tal forma que el mayor porcentaje corresponde a los macroporos (más del 50%) y el menor a la porosidad higroscópica (en general, en los suelos procedentes de los estériles de la mina de Meirama, el reparto de la porosidad total fue opuesto: los macroporos no alcanzaron el 20% y los microporos representaban más del 50%).

En las capas superficiales se observaron también mejoras en cuanto a la conductividad hidráulica, la capacidad de retención de humedad, la capacidad de amortiguación, la capacidad de intercambio catiónico y un aumento de la actividad microbiana, aunque esta última característica todavía de valor muy bajo en un suelo de 7 años.

3.2. MINERÍA DE CARBÓN EN EL NORTE DE ESPAÑA

Las explotaciones Braña del Río y La Matona de HUNOSA (Cuenca Central Asturiana) fueron restauradas mediante remodelado, restitución de los suelos originales e hidrosiembra, complementando esta última con plantación de especies arbóreas en algunos puntos. Posteriormente, se planteo la introducción de cultivos de manzana de sidra y arándanos en algunas de las superficies ya restauradas con condiciones adecuadas de pendiente, orientación, accesos y agua (González Blanco *et al.*, 1994). Estos terrenos podrían considerarse claramente suelos mineros en fase temprana de desarrollo. Sobre ellos fueron tomadas muestras superficiales para la caracterización edáfica, pero no se tiene noticia de que se hayan descrito y analizado perfiles completos de suelos.

En al cuenca de El Bierzo existe muy poca información relativa a estériles y suelos mineros. Como ejemplo puede citarse el trabajo por Escribano Bombín *et al.* (1994) para la realización de tareas de restauración en la zona de Fabero. En este estudio se analizaron muestras de estériles tomados en escombrera y de cobertera (*sic.*). El análisis de la muestra de escombrera proporcionó datos sobre el elevado contenido en elementos gruesos, la escasez de materia orgánica, la baja fertilidad y el pH ligeramente ácido.

3.3 MINERÍA DE CARBÓN EN EL BERGADÁ

Poch *et al.* (1989) estudian una escombrera situada en las inmediaciones de San Corneli (El Bergadá, provincia de Barcelona). En este trabajo se realiza una descripción original de los suelos misceláneos que resultaron de las operaciones llevadas a cabo durante la construcción de las escombreras. Los materiales empleados en la construcción de la escombrera consistieron fundamentalmente en una mezcla de calcilutitas ricas en carbón y calizas de distintos tamaños (de gravas a grandes bloques), apareciendo a veces cristales de yeso de tamaño macroscópico. El conjunto mostró gran heterogeneidad tanto en granulometría y composición, como en el grado de compactación. Los suelos fueron descritos según el código SINEDARES del siguiente modo:

- Régimen de humedad del suelo (USDA Soil Taxonomy): údico.
- Régimen de temperatura del suelo (USDA Soil Taxonomy): méxico.
- Clase de drenaje: imperfectamente drenado.
- Clase permeabilidad: (método Porchet): permeabilidad baja.
- Velocidad de infiltración: insuficiente.
- Dinámica de la forma: erosión laminar, erosión por arroyaderos, cárcavas y barrancos. Muy activa.
- Pedregosidad superficial: muy pedregoso, calizas.
- Afloramientos rocosos: sin afloramientos rocosos.
- Vegetación: natural eliminada (bosque de *Pinus sylvestris*).
- Factor limitante principal: erosión y condiciones hídricas.
- Tipos de perfil: A C; A AC C; C
- Elementos gruesos: muy frecuentes, heterométricos, de grava a bloques muy grandes sin orientación definida, distribución regular, calizas.
- Clases texturales: Franco-limosa, Franco-arcillo-limosa, Franco-arcillosa
- Estructura: la del material originario.
- Compacidad: compacto.
- Cementaciones: no cementado.
- Materia orgánica: muy poca.

Algunas de las principales características analíticas de estos suelos se incluyen en la **Tabla 3.1**. Según los autores, los suelos misceláneos estudiados pueden clasificarse como Udorthents típicos de manera mayoritaria, existiendo ocasionalmente áreas de Torriorthents, al presentar una conductividad eléctrica superior a 2 dS/m a 25° C, en extracto de pasta saturada, debido a la presencia de yeso formado a partir de la oxidación de las piritas presentes en los materiales o que ya se hallaba en ellos.

Tabla 3.1. Algunas características analíticas de los suelos misceláneos de la escombrera estudiada por Poch *et al.* (1989).

Ref.	Prof cm	pH 1:2,5 en H ₂ O	M:O (%)	CaCO ₃ equiv. (%)	Granulometria USDA				Textura USDA	Contenido de agua		CE dS/m 25° c	
					Arena Gr (%)	Arena Fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)		1/3 atm. (%)	15 atm. (%)	1/5	Exrac .
53	0-15	7,8	-	33,8	5,0	15,0	45,0	35,0	Fa	-	-	1,59	-
54	0-15	7,9	-	25,3	2,0	9,0	73,0	16,0	Fl	-	-	0,96	-
55	0-15	8,2	-	31,7	6,0	17,0	37,0	40,0	Fa	-	-	0,51	-
57	0-15	7,8	-	30,4	3,0	13,0	67,0	17,0	Fl	-	-	2,06	-
58	0-15	8,6	-	21,1	2,0	10,0	53,0	35,0	FaL	-	-	0,21	-
59	0-15	7,8	-	25,0	11,0	16,0	40,0	33,0	Fa	-	-	1,82	2,83
60	1-15	8,7	-	23,7	2,0	30,0	36,0	32,0	Fa	-	-	0,19	0,87
62	0-15	7,9	-	19,0	3,0	10,0	47,0	40,0	Fal	-	-	1,67	-
63	0-15	7,8	-	34,0	4,0	15,0	67,0	14,0	Fl	-	-	1,82	-
64	0-15	7,7	-	24,0	4,0	17,0	65,0	14,0	Fl	-	-	2,20	2,79
65	0-15	8,7	-	37,2	1,0	5,0	56,0	38,0	Fal	-	-	0,20	-
66	0-15	7,3	-	31,7	-	-	-	-	-	-	-	0,26	-
67	0-15	8,1	-	29,0	2,0	16,0	62,0	20,0	Fl	-	-	0,53	-
2077	Sup.	8,2	0,9	39,5	-	-	-	-	-	19,8	9,0	0,24	-
2078	Sup.	8,1	6,7	33,9	-	-	-	-	-	24,0	12,9	0,75	-
2079	Sup.	8,8	1,2	35,9	-	-	-	-	-	21,2	9,7	0,31	-
2080	Sup.	8,9	-	25,6	-	-	-	-	-	-	-	0,25	-
2081	Sup.	8,8	-	95,6	-	-	-	-	-	27,7	14,6	0,13	-

Otro punto original en el trabajo que venimos comentando es la asignación de los suelos estudiados a una clase de capacidad agrológica, tratándose, según los autores, de suelos de clase VIII, que pasarían a clase VII si se aplicasen unas medidas adecuadas de conservación y se fomentase la implantación de una cubierta vegetal.

3.4. MINERÍA DE CARBÓN EN LA PROVINCIA DE TERUEL

La empresa Minas y Ferrocarriles de Utrillas ha realizado trabajos de rehabilitación en una superficie de unas 480 ha. Algo después de las primeras actuaciones y hasta las últimas llevadas a cabo, el modelo de restauración en Utrillas evolucionó rápidamente, buscando la creación de pendientes y formas más suaves y estables ecológicamente, y trabajando con unidades funcionales definidas por la hidrología y el control de la escorrentía superficial. Este modelo fue aplicándose y perfeccionándose de forma empírica, hasta que en 1992 se iniciaron los primeros trabajos de investigación sobre la zona (Nicolau, 1992). Posteriormente, en 1996, se inició un proyecto para aplicar modelos hidrológicos y de erosión que facilitasen el dimensionado de estructuras de recepción y transporte de agua y de control de la erosión (MFUSA, 1998).

Para poder aplicar los modelos era necesario dar valores a los parámetros, lo que implicó la toma de medidas y el estudio de algunos caracteres de los suelos que tienen importancia sobre su comportamiento hidrológico. Por esta razón, se midieron los parámetros textura, pedregosidad superficial y contenido en materia orgánica de la capa más superficial del suelo en los diferentes substratos empleados como recubrimiento final:

- Gravas con matriz de finos, más abundante en arenas que en arcillas, procedentes de la Formación Utrillas. Estos materiales reciben la denominación local de “glacis” o “glacis arenoso”.
- Gravas con matriz de finos, más abundante en arcillas que en arenas, procedentes de la Formación Utrillas. Estos materiales reciben la denominación local de “glacis” o “glacis arcilloso”.
- Arcillas de las Formaciones Utrillas o Escucha.
- Limos arenosos (limos y arenas muy finas de la formación Escucha).
- Suelos agrícolas procedentes de bancales abandonados, originados a partir de materiales de la Formación Escucha.

Además se realizaron medidas de infiltración y erodibilidad con simulador de lluvia en pistas y se estudiaron los procesos erosivos en parcelas experimentales.

Es posible citar algún otro trabajo reciente sobre caracterización de estériles y suelos mineros en la provincia de Teruel. En el XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia, celebrado en Zaragoza en junio de 2002, se presentó una comunicación de la que se pueden extraer algunos datos interesantes sobre caracterización de suelos mineros, presentes en el entorno del humedal proyectado como solución para el hueco final de la Corta Alloza. El objetivo del proyecto al que se refiere dicho trabajo es alcanzar la restauración del hueco final en condiciones extremas, optándose por la creación de un pantanal, con implantación de flora autóctona y fauna, que forme parte del conjunto de áreas palustres endorréicas naturales ya existentes en la zona, ante la insuficiencia de tierra vegetal para llevar a cabo el proceso de restauración estándar de acuerdo con los usos tradicionales del suelo en la comarca (Blasco Galve *et al.*, 2002). La descripción que sigue está tomada de dicho trabajo.

En el momento de fin de actividad para la explotación Corta Alloza, en marzo de 1993, se habían restaurado un total de 125'23 ha, 89'71 de plataformas y 35'52 de taludes, siguiendo las pautas del "proceso tradicional", con aporte de tierras sobre los estériles mineros para aprovechamiento agrícola y forestal. Permanecía descubierto, sin embargo, un hueco final de grandes dimensiones, destinado al depósito de los estériles mineros arcillosos de una explotación vecina y de los residuos piríticos procedentes del lavadero de carbones de la central térmica "Teruel".

Después de la ejecución de infraestructuras para aporte de agua hacia el humedal, la construcción de caminos y cunetas y la revegetación de los taludes que enlazaban la zona de escombrera interior con la zona del proyecto, se realizaron estudios para caracterizar la superficie destinada a zona húmeda y sus márgenes.

En función de la topografía y del grado potencial de inundación estimado en el estudio hidroclimático, se delimitaron un conjunto de zonas y se analizó la vegetación genérica que las podría colonizar. Intervino igualmente un factor decisivo en la diferenciación, como es la existencia de un desagüe a cota 565 que, en un caso hipotético, llevaría el excedente de agua de las balsas hacia la red hídrica natural:

- *Zonas terrestres por encima de la cota 565 m.*
 - Subzonas elevadas con tierra vegetal: dominio de plantas terrestres.
 - Subzonas: elevadas sin presencia de tierra vegetal: dominio de plantas terrestres si se favorece el enriquecimiento orgánico o de tierra vegetal.
 - Subzonas deprimidas sin presencia de tierra vegetal: pueden colonizar especies higrófilas.
- *Zonas por debajo de la cota 565 m.*
 - Subzonas entre 564 m y 565 m: colonizarán especies vegetales adaptadas a cierto grado de hidrofilia y que toleren un suelo saturado de agua esporádicamente.
 - Subzonas por debajo de 564 m: estas zonas serán colonizadas por especies vegetales bien adaptadas a la inundación.
- *Balsas de agua.*
 - Subzona litoral de las balsas: dominadas por especies emergentes propias de zonas húmedas.
 - Cuerpo central de las balsas: dominadas por plantas acuáticas sumergidas y flotantes.

Llegados a este punto, interesa destacar la información edáfica obtenida sobre la superficie afectada por el proyecto. Continuando con la descripción de Blasco Galve *et al* (2002), se tomaron muestras en una red de puntos distribuidos por el humedal para su análisis en laboratorio.

Los autores destacan que el perfil de los suelos no muestra heterogeneidad o estratificación de sus características físicas. Es descrito como un sustrato mineral en estado muy primario, sin procesos evidentes de formación de suelo. Solamente en las zonas en las que llegan aportes de tierra vegetal del exterior y donde ha comenzado a crecer la vegetación, cerca o lejos de las balsas, se observó una acumulación de materiales terrígenos en superficie, indicativos de actividad microbiana y de ligera acumulación de materia orgánica en un horizonte superior muy fino, de muy pocos centímetros.

En general, el pH de los suelos de Corta Alloza es ácido, y muestra una relación inversa con la conductividad del suelo, que es bastante salino. Se deduce que el aumento de salinidad de las muestras implica una presencia de iones de tipo metálico en disolución mucho mayor que en las muestras con una conductividad relativamente baja. El porcentaje de materia orgánica en el suelo es bajo (1-12%) en comparación con los suelos de los humedales. Además, la fertilidad de los suelos, el fósforo y potasio asimilable, resultó muy baja.

Ante los resultados de la analítica de suelos realizada, se planteó la posibilidad de utilizar enmiendas de distinta naturaleza para mejorar sus características. En experimentos controlados de laboratorio se testó la viabilidad de aplicar diferentes tipos de enmienda a los suelos de humedal de Corta Alloza. Tras las pruebas realizadas, se seleccionaron positivamente las leonarditas procedentes de la explotación minera de carbón Corta Barrabasa, propiedad de ENDESA, porque no causaron problemas de turbidez en el agua, no provocaban eutrofización y porque se conseguía una liberación lenta de nutrientes al agua.

En otro experimento similar se testó la dosis adecuada de adición de enmienda a dos zonas con suelo diferente a simple vista por su coloración, gris o negro. Los resultados indicaron que la enmienda del subproducto minero actúa positivamente sobre el suelo y el agua: la enmienda actúa como un fertilizante gradual de nitrógeno en forma de nitratos, reduce la conductividad del agua y

aumenta su pH efectivamente, estabilizándolo. Aunque menos claramente, en el suelo más ácido se observaron además otra serie de efectos positivos, como son la reducción de la conductividad en los tratamientos a medida que se aumentaba la adición de enmienda, así como una disminución del color en el agua libre presente en estos mismos tratamientos

3.5. MINA ENMA EN PUERTOLLANO

Tal vez los trabajos de restauración realizados por ENCASUR en Puertollano, junto con los llevados a cabo por MFUSA en Utrillas, sean los mejores ejemplos existentes en España de rehabilitación de terrenos alterados por la minería de carbón en ambientes mediterráneos semiáridos y secos.

Por el volumen y la calidad de la información, es obligado revisar la Tesis de Lorenzo Agudo (1991) sobre la solución de los problemas ambientales generados en la descubierta de ENCASUR (Mina Enma) buscando todo lo que pueda interesar en relación con la caracterización de estériles y suelos mineros.

En dicho trabajo se explica cómo, durante los años 1983 y 1984, fueron estudiados los suelos naturales en el entorno y en las áreas de futura explotación, así como los suelos que se estaban desarrollando sobre las escombreras de estériles externas al hueco de explotación y los que se construirían en el vertedero interior.

Los primeros estudios que se comentan se refieren a la realización de ensayos con los distintos tipos de materiales estériles de la explotación que son descritos como:

- “Tierra vegetal”: Esta denominación es adoptada por su simplicidad, por su intuitivo significado, y por la frecuencia de su uso en el campo de restauración de terrenos en minería. Se describe como “tierra vegetal” el conjunto de los 30-

70 cm más superficiales del perfil del suelo, que incluyen la capa arable y el basamento de ésta, y forman una unidad que se diferencia de los niveles subyacentes por su tono más oscuro, presencia de restos vegetales y aspecto más suelto.

- “Material raño-arcilloso”: Es el material extraído en el primer banco de la explotación, inmediatamente bajo la tierra vegetal y hasta los 8-10 m de profundidad. Se trata de una mezcla de materiales detríticos cuaternarios de tipo rañizo (gravas, cantos e incluso bloques de cuarcitas o areniscas), con materiales arcillosos procedentes de la alteración sub-superficial del Carbonífero (arcillas y arcillas limo-arenosas fundamentalmente). Forma un paquete de colores ocres que se sitúa entre el nivel pardo-rojizo de la tierra vegetal y los materiales pizarrosos del Carbonífero de color grisáceo.
- “Material pizarroso”: Es el material carbonífero estéril que aparece entre los niveles carbonosos. Está formado fundamentalmente por lutitas y limolitas, y areniscas con diferente contenido en elementos tobáceos. Su estructura y grado de compacidad es variable, y su color tiene siempre un componente grisáceo más o menos fuerte.

De los resultados de los primeros estudios realizados se concluyó que la tierra vegetal resultaba ser el mejor de todos y se emplearía con preferencia sobre los taludes del vertedero exterior, por la mayor dificultad de recuperación de estas superficies.

A lo largo de los años 1981 y 1982 se estudiaron los suelos reconstruidos sobre las superficies del vertedero exterior, aportando materiales raño-arcilloso sobre la plataforma superior y las bermas, y tierra vegetal sobre los taludes, recubriendo siempre a materiales pizarrosos. Los espesores aportados variaron entre medio metro y varios metros. Se analizaron muestras compuestas superficiales (25 cm) de las áreas cubiertas con materiales raño-arcillosos, encontrando cierta

homogeneidad de resultados, a pesar de la gran variabilidad presente en los materiales de origen. Las características medias encontradas fueron: textura arcillosa gruesa, abundantes elementos gruesos, pH ligeramente alcalino, bajo nivel de elementos nutritivos y capacidad de cambio aceptable. A partir de los resultados se diseñaron medidas encaminadas a la mejora de las propiedades, tales como abonado en verde, fertilización mineral, descompactado y eliminación de grandes bloques.

También se analizaron muestras de capa arable de los primeros suelos reconstruidos con “tierra vegetal” en el vertedero de interior después del primer año de cultivo. Las características medias encontradas fueron: textura arcillo-arenosa, contenido muy elevado en elementos gruesos, muy bajo contenido en materia orgánica, pH ácido, muy baja fertilidad y capacidad de cambio aceptable. En ellos se decidió tomar las medidas siguientes: enmienda orgánica o abonado en verde, enmienda caliza y fertilización.

Después de los primeros estudios, se disponía de los siguientes tipos de información:

- La obtenida de los estudios de las características de los suelos naturales iniciales y de los primeros suelos artificiales reconstruidos tanto en el vertedero exterior como en el interior.
- La obtenida a partir de los resultados de los cultivos e implantaciones vegetales realizadas en estos suelos artificiales reconstruidos.

No obstante, pareció conveniente realizar diversos ensayos de reconstrucción que permitieran apreciar diferencias de comportamientos de distintos tipos de suelos, en condiciones más controladas y uniformes que las que se tenían en los terrenos restaurados generales. También se buscaba definir algunos criterios y parámetros de reconstrucción de suelos, para mejorar las técnicas de restauración y acelerar el proceso de mejora de la calidad de los mismos.

Los ensayos de reconstrucción de suelos realizados fueron de los siguientes tipos:

- Ensayos de mejora de calidad de los suelos: “Ensayos de fertilización-enmiendas en los suelos restaurados”.
- Ensayos de reconstrucción a escala natural: “Ensayos de reconstrucción del suelos en los terrenos restaurados (horizontes-compactación)”.
- Ensayos de reconstrucción a escala reducida: “Ensayo de capacidad de los estériles de la explotación para sustentar vegetación herbácea, arbustiva y arbórea”.

De todos estos ensayos, merece la pena destacar los que se refieren al análisis de alternativas de reconstrucción de suelos y al análisis de la respuesta a labores de descompactado.

Por un lado, se evaluó el comportamiento como sustrato para cultivo de cereales, de varias combinaciones de “suelo” y “subsuelo”, realizadas con los tres grandes grupos de materiales existentes en la descubierta: tierra vegetal, material raño-arcilloso y material pizarroso.

Por otro lado, se intentó cuantificar el efecto que tiene sobre la productividad del cereal el estado de compactación del subsuelo, pues el proceso de construcción hace que resulten compactados el subsuelo y el suelo. Este último debe obligatoriamente descompactarse para poder cultivar, no siendo tan clara la necesidad del descompactado del subsuelo.

Los términos “suelo” y “subsuelo” se utilizan aquí de una manera específica y refiriéndose fundamentalmente al proceso mecánico de reconstrucción del suelo. Así, el subsuelo se refiere a la capa inferior, generalmente de una calidad peor, que se construye en primer lugar y para servir de asiento al suelo, y que puede recibir la parte más profunda de las raíces (de 1’00 a 1’50 m).

El “suelo” es la capa superior, que se construye sobre la anterior con los mejores materiales disponibles, y es donde se van a desarrollar la mayor parte de las raíces de los cultivos herbáceos (0’25- 0’70 m).

Se ensayó la producción de cereal por ser un buen indicador en relación al entorno de estos terrenos. El ensayo consistió en la construcción y posterior puesta en cultivo de 6 parcelas de 100 m x 14 m, con una superficie total de 8.400 m², en el vertedero interior.

En cuanto a resultados puede decirse que casi todas las combinaciones constructivas ensayadas dieron lugar a una productividad similar o superior a la que se obtiene normalmente en los terrenos vírgenes. Los resultados más destacables son los siguientes:

- Los tipos de suelo con mayor productividad media a lo largo del ensayo, fueron los reconstruidos con:
 - 70 cm de tierra vegetal sobre 100 cm de material raño-arcilloso.
 - 70 cm de material raño-arcilloso sobre 100 cm de material pizarroso.
- Los tipos de suelo con mayor productividad durante las campañas 84/85 y 86/87 fueron los reconstruidos con:
 - 70 cm de material raño-arcilloso sobre 100 cm de material pizarroso.
 - 70 cm de material raño-arcilloso sobre 100 cm de material raño-arcilloso
- El tipo de suelo con menor productividad media a lo largo del ensayo fue el reconstruido con 25 cm de tierra vegetal sobre 100 cm de material pizarroso.

En definitiva, se constató que, a pesar de que en los primeros análisis resultaba peor, el material raño-arcilloso se mostró como un buen sustituto de la tierra vegetal para la reconstrucción del suelo. Es más, con idéntico subsuelo, las productividades obtenidas con suelo construido con material raño-arcilloso fueron casi siempre superiores a las obtenidas con suelos formados de tierra

vegetal. Solamente en un año agrícola de pluviometría superior a la normal pasó lo contrario, es decir, efectivamente la tierra vegetal parece ser superior si no fuera porque en las condiciones ambientales de la zona toma mayor peso la disponibilidad hídrica proporcionada por el material a emplear.

También este material raño-arcilloso se mostró adecuado para la reconstrucción del subsuelo, y cuando el subsuelo es de material pizarroso parece más adecuado construir sobre el mismo un suelo de 70 cm de material raño-arcilloso, que un suelo de escaso espesor de tierra vegetal.

También se realizaron pruebas de descompactado sin resultados. Sin embargo, se concluyó que el descompactado es necesario en los terrenos restaurados por las siguientes razones:

- Permite alcanzar en el suelo una suficiente capacidad de almacenamiento de agua. Dadas las características climáticas de la zona, esto es fundamental para que los terrenos restaurados puedan sustentar vegetación y, con mayor razón, para que pueda hacerse con facilidad la primera implantación de la misma.
- Disminuye el riesgo de erosión al reducir la escorrentía superficial, lo que es muy importante en los sensibles terrenos restaurados, especialmente en sus primeros años.
- Hace posible y facilita la acción de los procesos edáficos, de manera que los procesos erosivos puedan ser compensados por los procesos formadores. Con un subsuelo compactado, podría llegar a perderse completamente el horizonte superior antes de que se hubiese generado una mínima fracción de nuevo suelo.
- Disminuye las restricciones al desarrollo radicular, haciendo posible cualquier implantación futura de especies herbáceas, arbustivas o incluso arbóreas.
- Hace posible la penetración del agua en profundidad al permitir la infiltración.

En relación con el desarrollo radicular, sí pudo contrastarse en los ensayos una mayor proliferación de raíces en los materiales descompactados que en los compactados.

También se realizaron ensayos con el objetivo de evaluar, a pequeña escala, la capacidad de los estériles existentes en la explotación para sustentar vegetación herbácea, arbustiva y arbórea.

La motivación de este tipo de ensayos se inició con la preocupación latente por conocer que ocurriría cuando las raíces de las plantas, sembradas o plantadas sobre el delgado nivel de tierra vegetal (unos 20 cm) que cubría los taludes del vertedero exterior, penetrasen en los horizontes inferiores, generalmente compuestos por materiales pizarrosos o raño-arcillosos.

Existía el temor de que las raíces no penetrasen adecuadamente en esos horizontes, o bien que, aunque penetrasen, pudiesen absorber elementos tóxicos o perjudiciales que hiciesen peligrar su desarrollo futuro. Especial preocupación producía la evolución de las especies autóctonas y en particular de las quercíneas, de lento crecimiento y difícil implantación.

Se hicieron crecer varias plantas herbáceas arbustivas y arbóreas en 36 recipientes, en los que se habían preparado distintas combinaciones de suelo y subsuelo con los diferentes materiales de la descubierta.

En cuanto a resultados, puede decirse que las plantas vegetaron en todas la combinaciones de suelo y subsuelo, aunque con variaciones en su desarrollo. A la vista de los resultados obtenidos, se pudo establecer que:

- Ninguno de los materiales ensayados en los diferentes sustratos, resultó apreciablemente perjudicial para el desarrollo de las raíces o de la planta en general.
- La tierra vegetal **no resulta ser imprescindible**, especialmente si se dispone de material raño-arcilloso, que parece ser un buen sustituto de la misma.

Como conclusión global del ensayo, el sustrato que funcionó significativamente mejor es el de material raño-arcilloso sobre material pizarroso, y el que funcionó significativamente peor es el de doble horizonte de material pizarroso. El resto de sustratos dio lugar producciones próximas entre sí, e intermedias entre las dos destacadas anteriormente.

Por último la caracterización de los suelos en la zona de avance de la explotación -todos alfisoles- sirvió para evaluar la potencialidad de dichos suelos como materiales de restauración (“tierra vegetal”). En la capa arable fueron medidos los parámetros: porcentaje de elementos gruesos, textura, porcentaje de material orgánica, pH en agua capacidad de intercambio catiónico, bases extraíbles y fósforo por el método de Olsen.

También fueron estudiados y evaluados los valores medios de los espesores, los elementos gruesos, la textura, la materia orgánica y el complejo de cambio de los tres primeros horizontes de esos suelos.

La evaluación de las características del todo uno resultante del arranque de los primeros 80 cm y sus variaciones laterales, especialmente de los contenidos acumulados de arcilla de dichos horizontes, sirvió para definir las áreas de diferente profundidad de recuperación de suelos de manera que no se alcanzara un contenido acumulado de arcilla superior al 35%.

Como comentario final, puede recalcar que la suma de todos estos trabajos, que aúnan el estudio de propiedades de suelos y estériles junto con ensayos de

respuesta de la vegetación, entre otros muchos aspectos también abordados, es posiblemente el trabajo más profundo, sistemático y costoso realizado en España sobre restauración de terrenos alterados por minería de carbón, partiendo del empleo de los suelos nativos y los estériles de la mina como materias primas para la creación de nuevos suelos artificiales.

3.6. OTROS TIPOS DE MINERÍA

Existen pocos datos de estériles y suelos mineros asociados a estudios llevados a cabo sobre terrenos alterados por otros tipos de minería, distintos de la minería de carbón. Algunos de ellos se comentan a continuación.

Quintas y Macías (1992) caracterizaron muestras superficiales de escombreras de 12 explotaciones mineras en la provincia de La Coruña. En la **Tabla 3.2.** se muestra una descripción somera de los lugares de muestreo.

Se analizaron el contenido en elementos gruesos y la textura como parámetros físicos. La caracterización química partió de los valores de pH en agua y KCl, el pH de abrasión, los porcentajes de C y N y la capacidad de intercambio catiónico efectiva según Peech *et al.* (1947).

A pesar de que, nuevamente, se trata de una caracterización superficial, sin que se detalle el método de obtención de la muestra y la profundidad de muestreo, es posible obtener algunas conclusiones interesantes. En primer lugar, es de destacar el elevado contenido en elementos gruesos, que van desde el 38% en escombreras de granitos caolinizados a más del 72% en explotaciones de dunitas. La mayoría de las texturas resultaron ser Francas a Franco-arenosas. Los contenidos en materia orgánica resultantes fueron bajos, y bajos a muy bajos los de N y P. También la capacidad de intercambio catiónico efectiva resultó, en general, muy baja, lo que junto con todo lo anterior indica que la fertilidad es escasa.

Tabla 3.2. Descripción de lugares de muestreo en Galicia (Quintas y Macías, 1992)

MUNICIPIO	MATERIAL GEOLÓGICO	CARACTERÍSTICAS DE LA EXPLOTACIÓN
Ortigueira	Dunita	Cantera y áridos activa. Taludes de roca. Escombreras de roca y tierra. Balsa de decantación de finos.
Sobrado	Serpentinita	Cantera de áridos activa.
Carballo	Granito	Antigua mina de wolframio reutilizada para la extracción de áridos. Escombreras con vegetación espontánea (<i>Ulex</i> sp; <i>Pinus pinaster</i> , ericáceas).
Ordenes	Esquisto	Cantera de áridos activa.
Santiago	Esquisto	Cantera de áridos activa
Carballo	Quarzoeskisto	Cantera de áridos activa. Escombrera con materiales finos y abundantes gravas. 2 balsas de decantación. Escombrera más antigua recuperada con <i>Acacia</i> sp. y gramíneas.
Laxe	Granito	Antigua mina de caolín abandonada. Escombrera de finos cubierta por vegetación espontánea (<i>Cytisus scoparius</i>). Escombrera recuperada con <i>Eucaliptus globulus</i>
Vimianzo	Granito	Mina de caolín activa.
Coristanco	Granito	Antiguas minas de caolín abandonadas.
Santiago	Anfibolita (rica en sulfuros)	Antigua mina de cobre abandonada. Material de taludes y escombreras fuertemente alterados debido a la acidificación provocada por la oxidación de sulfuros. Aguas ácidas (pH = 3.3).
Arteixo	Gabro	Cantera de áridos activa.

Tal vez lo más interesante del trabajo, por lo novedoso, es la realización de ensayos de pH de abrasión (Grant, 1969; Ferrari, 1983) como elemento de juicio para evaluar la fertilidad potencial o reserva de nutrientes. En los suelos estudiados la diferencia entre los pH_s de abrasión y los pH_s en agua obtenidos es insignificante, lo que viene a decir que de los procesos de alteración no cabe

esperar una liberación importante de cationes que eleve los niveles de fertilidad, por lo que será necesario hacer grandes aportaciones externas de nutrientes si se quiere mejorar la capacidad de medio para sostener vegetación.

En un trabajo posterior, descrito en Arranz *et al.* (1994) e ITGE (1995), se hace referencia al estudio de las características edafológicas de materiales de escombrera procedentes de la explotación de pizarras ornamentales en La Cabrera (León). Las escombreras originadas por este tipo de explotaciones se caracterizan en términos generales por su granulometría extendida, con granoselección derivada del vertido libre en pendiente, lo que provoca la acumulación de grandes piedras y bloques en las zonas bajas de los taludes. Lo corriente es que predominen los fragmentos de pizarra sobre otro tipo de litologías. En algún caso, los materiales de recubrimiento (suelos nativos, pizarras alteradas o coluviones) son vertidos con posterioridad a los estériles de cantera.

En el estudio se caracterizaron un total de doce muestras superficiales representativas de diversas situaciones típicas, tomadas en puntos donde era posible el muestreo por su facilidad de acceso y de transitabilidad. Aunque la gama de situaciones cubierta dista mucho de la que se da realmente en la zona, se pensó que los resultados podían ilustrar sobre algunos aspectos importantes de cara al diseño de medidas correctoras de revegetación. A pesar de las diferentes situaciones de muestreo, se observó una uniformidad de resultados muy grande: gran cantidad de elementos gruesos, texturas gruesas, escasez de materia orgánica, pobreza del complejo de cambio y pH_s favorables. Es interesante destacar que en este trabajo se describió y muestreó sistemáticamente un perfil de medio metro en una antigua escombrera correspondiente a la cantera de Truchillas. Se escogió esta escombrera por su antigüedad, con objeto de dar mayores oportunidades a la diferenciación de propiedades en profundidad, sin que resultaran significativas diferencias. Todo el perfil visualizado carecía de estructura, salvo por la existencia de pequeños grumos esporádicos, friables y muy débiles. En superficie se apreció un descenso de la proporción de limo, explicable por la evidente erosión laminar.

Otra fuente de datos edafológicos de estériles mineros que puede citarse es el Proyecto de Restauración Ambiental y Paisajística del Depósito de Residuos en Gloria Este (Arranz, 1996). El objetivo de dicho proyecto fue diseñar las medidas de restauración del vertedero que se tenía proyectado construir para confinar los residuos de la Bahía de Portmán. Con objeto de crear un substrato aceptable que sirviera como recubrimiento final, se analizaron muestras de suelos, muestras superficiales de escombreras de diverso origen y de balsas mineras.

Atendiendo a los aspectos: pedregosidad, textura, erodibilidad capacidad de almacenamiento de agua, pH, metales pesados extraíbles y capacidad de intercambio catiónico, se concluyó que los materiales estériles procedentes de las escombreras de filitas grises -muy abundantes en la zona- eran adecuados como base para la construcción del suelo.

El estudio de las propiedades de los estériles mineros de las escombreras y balsas del entorno de la Bahía de Portmán, con objeto de seleccionar aquellos que mejor se podían prestar a la construcción de un suelo artificial, invita a pensar que, tal vez, si se hubiera planeado estudiar dichas propiedades antes o durante la apertura de los huecos de explotación, los estériles más idóneos podrían haber servido para recubrir toda cuanta superficie hubiera sido posible de la que ha quedado expuesta en escombreras y balsas. Evidentemente, decir esto ahora puede parecer una quimera, sobre todo para quien haya tenido la oportunidad de conocer aquel entorno. Sin embargo, los procedimientos de estudio de los materiales edáficos y geológicos de recubrimiento, antes de ni siquiera iniciar las labores de desbroce de una superficie que será explotada –como se hizo en Mina Enma (Puertollano)-, están bien documentados en la bibliografía norteamericana: Smith *et al.* (1974), Sobek *et al.* (1978), Wiram & Ralston (1980), U. S. Congress (1986), entre otros.

Lo que normalmente se recomienda es la realización de análisis físicos y químicos sobre muestras obtenidas por molienda de testigos de sondeos, distribuidos en los nodos de una malla adecuada sobre el área a explotar.

En España, uno de estos métodos de predicción (el denominado *Acid-Base Account* del que se hablará en detalle más adelante) se empleó para evaluar las posibilidades de confinar los estériles más peligrosos durante la construcción de lo que hubiera sido la nueva gran escombrera asociada a la finalización de la explotación en la Corta Los Frailes (Aznalcóllar). Aunque el éxito en la predicción de la calidad de las aguas en áreas alteradas no es absoluto, en términos generales es un buen procedimiento para evaluar los recubrimientos como materiales de calidad para la formación de suelos y para predecir la calidad de las aguas de drenaje en la zona después de la explotación.

La descripción que sigue está tomada del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de incremento del depósito de estériles y agua en la Corta Aznalcóllar y de ampliación de la escombrera Los Frailes (López Vilchez y Al-Dahir, 1999).

La continuación de la explotación en la corta Los Frailes hubiera generado unos 287 millones de metros cúbicos de estéril de roca entre noviembre de 1999 y el año 2009. Debido a la rotura de la antigua balsa de estériles procedentes del concentrador, la Corta Aznalcóllar pasaba de ser la zona de vertido de los estériles de roca procedentes de la Corta Los Frailes al lugar de vertido de los estériles procedentes del concentrador y fangos de la depuradora. Esto obligaba a crear una gran escombrera para el depósito de los estériles de roca extraídos de la corta Los Frailes.

Es necesario indicar que las operaciones mineras en Aznalcóllar se sucedieron desde 1976 sin haber adoptado inicialmente ningún tipo de precaución sobre la formación de aguas ácidas. Esto dio lugar a que se construyeran escombreras relativamente grandes, en las que se vertieron estériles mineros generadores de

aguas ácidas junto a los estériles menos problemáticos. La continuidad de la explotación después de la rotura de la balsa dependía, en cierto modo, de la presentación de un proyecto minero y de recuperación ambiental mucho más exigente que todo lo anteriormente realizado. Por ello, en la fase final se contempló el análisis previo de los estériles para minimizar los efectos medioambientales

La información sobre el material que debía ser llevado a escombreras se obtuvo de los sondeos y el plano elaborado de la corta Los Frailes. A la vista de los resultados, se podía afirmar que la parte más abundante del estéril minero serían pizarras negras (27%) y riolitas masivas (37%). El 22% de los futuros estériles serían dacitas y riolitas porfíricas, y el 10%, sulfuros masivos y material de muro con alto contenido en sulfuros.

Se determinó directamente que los materiales de muro eran capaces de producir aguas ácidas, debido al alto contenido en azufre que presentaron las muestras analizadas (alrededor del 10% de azufre como media, y hasta un 25% en el conjunto de las muestras).

De acuerdo con el procedimiento elegido, se tomaron un total de 45 muestras de testigos recuperados del techo. Las muestras se tomaron en intervalos de 10 metros con 3-4 fragmentos de testigo por intervalo. De las pizarras negras se tomaron un total de 15 muestras entre los tres sondeos, de las riolitas masivas fueron 15 y de las dacitas y riolitas porfíricas otras 15.

Las muestras fueron machacadas y homogeneizadas. Después se extrajo una mezcla de 100 ml (aproximadamente 200 gr) de cada una de ellas y se introdujo en botellas de plástico para muestreos. Las muestras se sometieron al denominado "Contabilidad Acido-Base Modificado" (Lawrence & Sheske, 1997).

Para predecir el comportamiento de una muestra de roca, normalmente se afirma que si la relación Potencial de Neutralización (NP) / Potencial de Producción de Acidez (PA) es mayor de 3, entonces la muestra no generará aguas ácidas ($PN/PA > 3$). Si la proporción $PN/PA < 1$, probablemente la muestra producirá aguas ácidas ($PN < PA$). Si $3 > PN/PA > 1$, normalmente no se puede decir con seguridad si la mezcla producirá o no lixiviados ácidos, empleando tan sólo el ensayo citado. Normalmente será necesario efectuar ensayos cinéticos para determinar el comportamiento real de esa muestra.

Todos los resultados de los análisis llevados a cabo indicaron que las pizarras negras y la riolita masiva no son generadoras de aguas ácidas. La recuperación de las escombreras, por tanto, sería menos complicada si estos materiales, que constituían el 66% de los futuros estériles mineros, se depositasen por separado, o recubriendo a los materiales susceptibles de generar aguas ácidas. Entre las nuevas zonas que hubieran sido cubiertas debido a la ampliación de las escombreras, las áreas sensibles se hubieran destinado solamente a lugar de vertido de la pizarra negra y la riolita masiva.

La riolita y dacita porfíricas, o al menos aquellas procedentes de la zona este de la mina, resultaron propensas a producir aguas ácidas, lo mismo que el estéril minero del muro y los sulfuros masivos más cercanos al cuerpo de la mineralización. La idea fundamental que se dedujo de este estudio es que era perfectamente posible gestionar por separado este material, y depositarlo separadamente sobre terreno impermeabilizado o en celdas, con lo que se hubiera podido reducir al mínimo el impacto ambiental producido por la ampliación de las escombreras.

4. SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.

La selección de zonas y puntos para la descripción de perfiles ha condicionado por completo el desarrollo del proyecto. La selección partió de la revisión de

inventarios realizados anteriormente en diferentes zonas (como La Cabrera, Fabero, Bierzo Sur, Tremor-Valdesamario, Villablino, etc.).

Inicialmente, se consideró que, como mínimo, habían de investigarse situaciones que reflejaran diferentes ambientes, diferentes prácticas de restauración, diferente cobertura vegetal y diferente tipo de minería. A partir de la revisión de dichos inventarios se realizó una primera selección de áreas:

- Valle de Valdesamario, que incluye explotaciones inventariadas en el "Estudio de Recuperación Ambiental de la Zona Minera Tremor-Valdesamario, Bierzo Oriental (León)" (ITGE, 1997).
- Cuenca de Villablino (provincia de León) en su parte más oriental, cerca de Piedrafita de Babia, que incluye las explotaciones del Grupo Carrasconte (El Salguero) y diversos huecos y escombreras situadas en las inmediaciones del denominado Campo de la Mora, entre Miranda y Minas de la Mora, algunas de ellas estudiadas en el proyecto CECA 98 (IGME, 2002).

Aprovechando la asistencia a la mesa redonda para el debate del Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación, que se celebró en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid en marzo de 2001, se consiguió establecer una vía de contacto con la empresa Minas y Ferrocarriles de Utrillas. La posibilidad de trabajar en los terrenos explotados y restaurados por dicha empresa en la provincia de Teruel se consideró de gran interés, por la existencia de una gran superficie explotada sobre un yacimiento de lignitos, y restaurada siguiendo criterios que habían evolucionado con el paso de los años, en un medió mediterráneo semiárido y de fuerte continentalidad. Una vez en campo, se buscó además alguna mina a cielo abierto no restaurada, siendo localizada la Corta Santa Lucía en las proximidades de Cuevas de Portalrrubio (entre los términos municipales de Pancrudo y Martín del Río).

Al tiempo que se realizaron las primeras salidas de campo, se meditó sobre la oportunidad de incluir otros espacios alterados, o en proceso de restauración, situados en nuevas localizaciones. Se llegó a la conclusión de que la gran variabilidad encontrada ofrecía tal cantidad de posibilidades de estudio que, de aprovecharlas, se hubieran superado los requerimientos de medios y tiempo asignados al proyecto, debido, sobre todo, a que se pretendía en todo momento realizar una caracterización edafológica lo más completa posible. Por ello, a pesar de quedar limitado a un único tipo de recurso (carbón), se decidió situar definitivamente el proyecto en las tres áreas o territorios mineros ya elegidos, las cuales, sin embargo, poseen características biogeográficas distintas que pueden permitir el análisis de la influencia del medio. En ellas se definieron y localizaron después las **zonas de trabajo** para el estudio de suelos mineros y escombreras de estériles.

Las áreas designadas en este estudio como Valdesamario, Villablino y Utrillas tienen una correspondencia, en lo que respecta a las características geológico-mineras, con las denominadas Subzona Bierzo oriental "Valdesamario", Subzona Villablino y Subzona occidental de Teruel, tal y como se definen en la Actualización del Inventario de Recursos Nacionales de Carbón (IGME, 1985), que se citará en adelante AIRNC. De todos modos, no se pretende que estas áreas tengan una delimitación exacta, atendiendo a ningún elemento del medio en concreto. Por los objetivos del proyecto, estas áreas no son nada más que un esquema de situación territorial de aquellos lugares en los que se han encontrado circunstancias favorables para el desarrollo de los trabajos de campo, lo que se han denominado **zonas de trabajo**.

En las figuras **Fig. I** y **Fig. II** se muestra la situación de las zonas de trabajo.

Figura I. Situación de las zonas de trabajo pertenecientes a la provincia de León a escala aproximada 1:200.000.

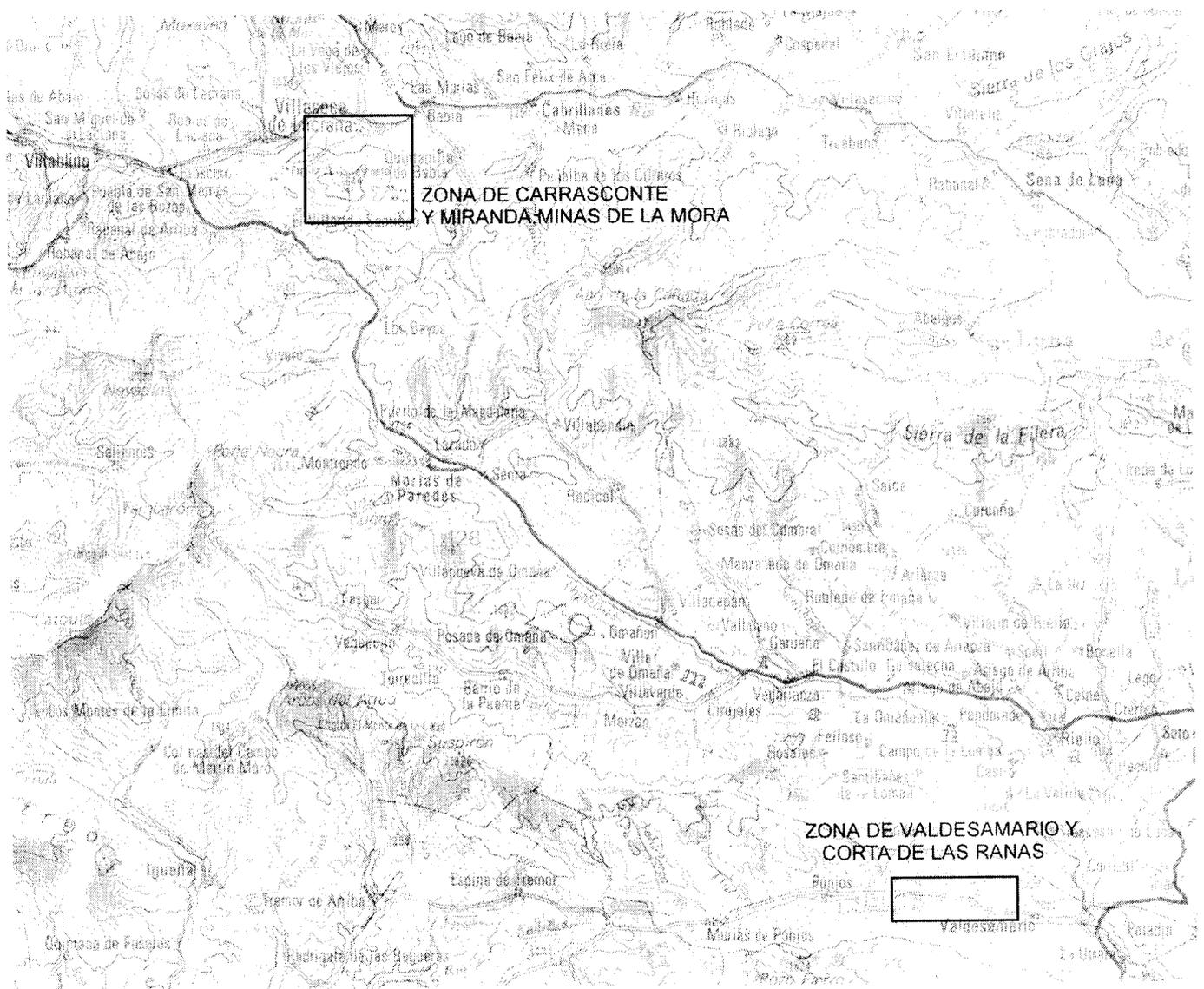
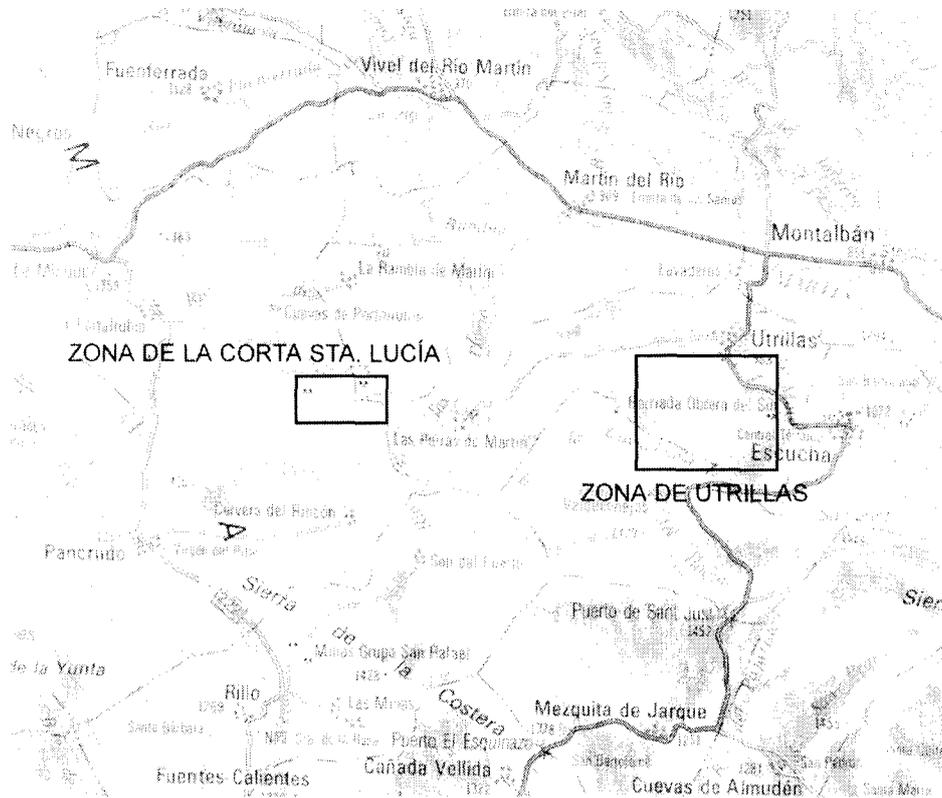


Figura II. Situación de las zonas correspondientes al área de Utrillas (Teruel), a escala 1:200.000.



5. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL EN EL ENTORNO DE LAS ZONAS DE TRABAJO.

La descripción del medio que se expone más abajo se fija fundamentalmente en los elementos del medio que, al margen del tiempo de formación de los suelos, tienen más peso en la caracterización y propiedades de los mismos, ya sean suelos naturales o suelos en desarrollo sobre las superficies alteradas por la minería de carbón a cielo abierto. Estos elementos del medio son (Jenny, 1941): el material parental (geológico-litológico), el clima, los organismos vivos (especialmente la vegetación) y el relieve.

La información recopilada ha sido tomada de diversos trabajos anteriores cuya consulta puede permitir ampliarla si fuera de interés. Estos trabajos son, por un lado, los ya mencionados: “Ampliación del Inventario de Recursos Nacionales de Carbón” (IGME), “Estudio de Recuperación Ambiental de la Zona Minera Tremor-Valdesamario, Bierzo Oriental (León)” (ITGE, 1997) y “*Development of environmental mining models for small open pit coal exploitations*” (Proyecto CECA 98; IGME, 2002). También se ha extraído información de interés de las hojas MAGNA 101 (Villablino), 128 (Riello), 517 (Argente) y 518 (Montalbán), así como de los trabajos: “Utrillas-Escucha: Propuesta para un territorio en transformación” (Alloza *et al.*, 1991) y “Diseño de la Morfología y Red de Drenaje en las Restauraciones Mineras” (MFUSA, 1998).

5.1. ÁREA DE VALDESAMARIO

Las zonas de trabajo a las que genéricamente se hará referencia como pertenecientes al área de Valdesamario se incluyen en la denominada Subzona Bierzo oriental “Valdesamario” (área de Valdesamario) según el AIRNC (IGME, 1985).

5.1.1. Geología

5.1.1.1. Litoestratigrafía

Los materiales estefanienses de la cuenca carbonífera de El Bierzo, así como en el área de Valdesamario, yacen discordantes sobre materiales que abarcan desde el Precámbrico hasta el Silúrico y están cubiertos en algunos lugares por depósitos terciarios y cretácicos, estos últimos poco extensos y limitados al extremo más oriental.

- ***Materiales Pre-estefanienses***

El Precámbrico está constituido por una monótona serie pizarrosa que debe formar parte de la serie de techo del Precámbrico del antiforne de Narcea. Se localiza en la parte más oriental de la cuenca de El Bierzo.

El Cámbrico aparece discordante sobre el núcleo precámbrico del antiforne de Narcea, se distribuye en tres formaciones bien diferenciadas.

a) Areniscas de Candana-Herrería (Cámbrico inferior):

Se trata de una serie detrítica que suele comenzar por un conglomerado de base de poca potencia y cuyos cantos raramente superan los 5 cm. El resto de la sucesión está constituida esencialmente por cuarcitas y areniscas entre las que se intercalan pizarras verdosas y pequeños niveles dolomíticos en la mitad inferior de la formación. Se localizan en el extremo más oriental de la zona de El Bierzo.

b) Caliza de Vegadeo (Cámbrico inferior-medio):

Se trata de una formación constituida por calizas y dolomías en general masivas que en esta zona aparecen muy tectonizadas y con afloramientos reducidos. Se localizan en las mismas zonas que la formación anterior: extremo oriental de El Bierzo.

c) Serie de Los Cabos (Cámbrico superior-Ordovícico inferior)

Se trata de una formación muy potente que puede llegar a superar los 5.000 m de espesor. Está constituida por una sucesión de pizarras, areniscas y cuarcitas; estas últimas son el componente esencial de la parte superior de la serie. Esta serie se localiza en la zona oriental de la cuenca de El Bierzo.

El Ordovícico está integrado por cuatro formaciones:

a) Serie de Los Cabos (Cámbrico superior-Ordovícico inferior):

Ya descrita en el apartado anterior.

b) Pizarras de Luarca (Ordovícico medio):

Se trata de una potente serie masiva de pizarras negras que alcanzan los 800 m de espesor. En la zona septentrional de la cuenca de El Bierzo alcanza su mayor potencia. Hacia el Este, cuando la formación entra en contacto con el Estefaniense, experimenta un progresivo adelgazamiento, que no corresponde a un adelgazamiento real de la serie sino que cada vez está cubierta en mayor medida por el carbonífero.

c) Formación Agüeira (Ordovícico superior):

Está constituida esencialmente por grauvacas y pelitas en facies turbidíticas, no siendo rara la presencia de areniscas y cuarcitas. Generalmente la parte alta presenta características más finas, pizarrosas.

Se localizan junto a la cuenca de El Bierzo, con una gran extensión alrededor de la misma.

d) Cuarcita de Vega (Ordovícico superior):

Está formado por un banco cuarcítico cuyo espesor no llega a superar en algún caso los 60 m.

Por último, el Silúrico en la zona de El Bierzo aparece constituido por una potente serie de ampelitas y cuarcitas, dominando claramente las primeras en esta zona. La edad es Llandovery inferior-medio.

- ***Carbonífero***

En discordancia con los materiales más bajos está una potente serie de a veces hasta 4.000 m de espesor, datada como Estefaniense B-C, fundamentalmente continental con algunos niveles lacustres. Está constituida por brechas y pudingas que corresponden a depósitos torrenciales de borde de cuenca y areniscas, lutitas y capas de carbón de centro de cuenca. Fundamentalmente interesa el que ha sido denominado Carbonífero al este del río Boeza y especialmente el llamado Bloque de Tremor de arriba, en el que se distinguen los siguientes tramos:

- *Tramo basal.* Constituido por conglomerados con potencias de hasta 300 m. En este tramo no existe datos de existencia de carbón.
- *Tramo La Espina.* Con potencias superiores a los 400 m, en algunos puntos, pero que hacia el occidente disminuye a unas pocas docenas. En este tramo se localizan varias capas con potencias variables, desde 0,20 a 0,80 m, denominadas 22, 23, 24 y 25.
- *Tramo Tremor.* Su potencia es del orden de 350 m, fundamentalmente fluvial escasas intercalaciones lacustres. En este tramo existen varias capas de carbón, con potencias de hasta 0,90 m aunque por lo general son de orden de 0,20-0,50 m de potencia.
- *Tramo de Las Regueras.* En un potente tramo con potencias entre 800-900 m. Las facies lacustres adquieren gran importancia, llegando a representar casi el 50 por 100, y son muy marcados los cambios laterales. En este tramo llegan a aparecer hasta cinco capas con potencias hasta 1,80 m, siendo la media de 0,50 a 0,80 m.
- *Tramo de Rodrigatos.* Tiene un espesor de 450 m. Al igual que en el anterior, en este tramo los niveles lacustres son muy importantes. El número de capas es de tres, con potencias medias de 0,30 a 0,50 m.
- *Tramo del Boeza.* Este tramo ocupa el núcleo del sinclinal de Las Regueras, con potencias sobre los 300-500 m. Este tramo es fundamentalmente fluvial, a excepción de un pequeño nivel lacustre, que se localiza a techo de la capa Ancha de Boeza.

- *Tramo de Ancha*. También como el anterior, se sitúa en el núcleo del sinclinal de Las Regueras. Es lacustre y en él se han reconocido hasta tres capas con potencias entre 0,40 y 0,60 m.

- ***Materiales Post-estefanienses***

El Cretácico aparece únicamente en el extremo oriental de la cuenca de El Bierzo, y está constituido por arenas y gravas de la denominada facies Utrillas.

El Terciario se localiza recubriendo parcialmente al carbonífero y a los materiales que constituyen el zócalo sobre el que se apoya. Está constituido por sedimentos de origen continental arenosos y arcillosos entre los que pueden intercalarse gravas.

En el Cuaternario destacan los derrubios de ladera, los depósitos aluviales y los rellenos antrópicos, siendo de mayor extensión los dos últimos.

Los depósitos aluviales se localizan en los valles de los ríos y están constituidos fundamentalmente por arenas y gravas. Los rellenos antrópicos corresponden en su mayor parte a las escombreras generadas en las zonas de explotación de carbón.

5.1.1.2 Tectónica

Los materiales precarboníferos se pliegan en la orogenía Hercínica por esfuerzos en primera fase, que dan plegamientos de orientación E-O; la segunda fase de pliegues en “Z”.

La fracturación se puede agrupar en tres sistemas: uno longitudinal a las estructuras y dos transversales. Como ya se ha comentado, el Carbonífero (Estefaniense) se sitúa discordante sobre los materiales anteriores. En la Subárea al este del río Boeza se pueden diferenciar dos bloques:

- a) Bloque de Tremor de Arriba. Constituido por un sinclinal apretado, limitado al norte y sur por fallas que han funcionado hundiendo el Carbonífero. Hacia el O esta estructura se suaviza. Todas estas estructuras principales tienen direcciones E-O.
- b) Bloque de Almagarinos: se encuentra separado del anterior bloque por una fractura de importancia, la de Candín-Valdesamario. Las estructuras son de dirección E-O con inmersión al O con pendientes fuertes en el E que hacia el O se suavizan. El límite S está delimitado por la falla de Folgoso.

5.1.1.3. Geomorfología

El relieve en el área de Valdesamario es de tipo apalachiano o pseudoapalachiano y el rasgo fundamental es la presencia de superficies de arrasamiento a distintas alturas, con alteraciones ocasionales sobre materiales precámbricos y paleozoicos.

Destaca la existencia de pequeños conos de deyección, moderadamente abundantes, en los puntos de salida de arroyos y riachuelos y un nivel de terrazas situado por encima, pero conectado con la terraza baja y cauce actual del Río Valdesamario. Las únicas muestras de glaciario se observan en la Sierra de Jistredo y Pico Suspirón, muy alejadas de las zonas de trabajo.

5.1.2 Clima

El Área de Valdesamario está situada al noreste de la depresión de El Bierzo, y se enclava en la Región Mediterránea. Si desde el punto de vista minero se incluye en la zona denominada Bierzo oriental, geográficamente puede independizarse de la denominada Comarca de El Bierzo. Es un valle, el del río Valdesamario, relativamente abierto y cuyas aguas vierten a la cuenca del Duero.

Existen dos estaciones próximas que son Villameca y San Martín de la Falamosa, ambas situadas aproximadamente a mil metros de altitud.

Las explotaciones seleccionadas en este área se sitúan a unos 1100 m de altitud, por lo que el clima que las caracteriza no ha de ser muy distinto del de las estaciones próximas. En otras situaciones posibles, a mayor altura o en umbría más marcada, es previsible mayor humedad y mayor incidencia de las bajas temperaturas.

En la **Tabla 5.1.** y **5.2.** se muestran los datos de temperaturas correspondientes a las citadas estaciones.

Tabla 5.1. Temperaturas en la estación de Villameca.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
T'a	13'4	15'1	18'9	23'1	27'9	32'5	34'7	34'1	31'2	25'3	18'5	14'3	35'6
T	7'3	8'6	12'0	15'0	18'7	24'3	28'4	27'9	24'1	18'0	11'4	8'0	17'0
tm	2'8	3'8	6'3	8'5	11'9	16'5	19'6	19'1	15'9	11'5	6'1	3'3	10'4
t	-1'6	-1'0	0'5	2'0	5'1	8'7	10'8	10'3	7'8	5'0	0'9	-1'5	3'9
t'a	-8'1	-7'4	-4'7	-3'1	-1'0	3'0	5'0	5'1	2'5	-0'5	-4'6	-7'6	10'1

Donde :
 T'a = Temperatura media de máximas absolutas
 T = Temperatura media de máximas
 tm = Temperatura media
 t = Temperatura media de mínimas
 t'a = Temperatura media de mínimas absolutas

Tabla 5.2. Temperaturas en la estación de San Martín de la Falamosa.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
tm	2'8	3'8	6'3	8'5	11'9	16'5	19'6	19'1	15'9	11'5	6'1	3'3	10'4

En las dos estaciones seleccionadas son posibles las heladas entre finales de septiembre y finales de mayo con un periodo frío de ocho meses. El clima es **continental** según los criterios de Kerner.

La precipitación anual oscilará previsiblemente entre los 700 y los 1000 mm en el área de Valdesamario. La estación más húmeda es el invierno seguida de la primavera y el otoño que se reparten aproximadamente la misma cantidad de agua.

La ETP anual puede alcanzar los 650 mm anuales y el balance hídrico arroja un exceso invernal y una falta anual que puede alcanzar los 178 mm en Villameca, pudiéndose considerar meses relativamente secos julio y septiembre en todo el área y seco el mes de agosto, dando lugar a un periodo seco moderado, propio del clima Mediterráneo húmedo. En la **Tabla 5.3.** y en la **5.4.** se exponen los datos y resultados de los balances hídricos en ambas estaciones estudiadas. En este área la precipitación mensual supera siempre a la ETP salvo en los meses de junio a septiembre

Si se considera como período seco aquel en el que $P_i + R_{i-1} - ETP_i < 0$, distinguiendo a su vez los meses "relativamente secos", en los que la falta no alcanza los 50 mm, y los "secos" en los que la falta iguala o supera los 50 mm, se ve que Villameca es la estación con un período de falta de agua más intensa. El período seco se extiende desde julio a septiembre en general para este área, pudiendo considerarse corto y poco intenso, seguramente incapaz de anular la reserva de agua en el suelo en gran parte del Valle de Valdesamario (zonas más elevadas y umbrosas), generándose un exceso de agua relativamente importante en invierno y primavera, ya que en otoño, como es normal, se produce la recuperación de la reserva.

Según los criterios de De Martonne es zona **Húmeda** y, según los criterios de Rivas Martínez, los valores de los índices de mediterraneidad de las dos estaciones hacen que sean incluidas en la **Región Mediterránea**, lo que es válido para las zonas de trabajo.

Tabla 5.3. Balance hidrico (método directo) con ETP según Thornthwaite de la estación Villameca

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	73'3	98'0	112'7	116'5	95'2	92'5	60'6	67'8	50'2	23'9	18'4	43'5	852'6
ETP	49'3	20'5	9'4	8'5	11'9	26'3	41'1	68'0	100'5	123'5	111'5	78'6	649'1
P-ETP	24'0	77'5	103'3	108'0	83'3	66'2	19'5	-0'2	-50'3	-99'6	-93'1	-35'1	203'6
PPA								0'2	50'5	150'1	243'2	278'3	
R	24'0	100	100	100	100	100	100	99'8	49'5	0	0	0	
VR	24'0	76'0	0	0	0	0	0	-0'2	-50'3	-49'5	0	0	
ETA	49'3	20'5	9'4	8'5	11'9	26'3	41'1	68'0	100'5	73'4	18'4	43'5	470'8
F										50'1	93'1	35'1	178'3
Ex	0	1'5	103'3	108'0	86'3	66'2	19'5	0	0	0	0	0	382'1
D		0'8	52'1	80'1	81'9	74'1	46'8						

Tabla 5.4. Balance hidrico (método directo) con ETP según Thornthwaite en la estación de Murias de Paredes

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	93'9	114'7	120'6	100'1	88'6	94'2	67'4	82'6	69'3	30'7	34'5	59'4	956'0
ETP	46'5	20'2	7'7	3'9	7'8	25'4	39'1	64'3	91'3	109'0	99'0	72'1	586'6
P-ETP	47'4	94'5	112'9	96'2	80'8	68'8	28'0	18'3	-22'0	-78'3	-64'5	-12'7	369'3
PPA									22'0	100'3	164'8	177'5	
R	47'4	100	100	100	100	100	100	100	78'0	0	0	0	
VR	47'4	52'6	0	0	0	0	0	0	-22'0	-78'0	0	0	
ETA	46'5	20'2	7'7	3'9	7'8	25'4	39'4	64'3	91'3	108'7	34'5	59'4	509'1
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'3	64'5	12'7	77'5
Ex	0	41'9	112'9	96'2	80'8	68'8	28'0	18'3	0	0	0	0	446'9
D		21'0	66'9	81'6	81'2	75'0	51'5	34'9					

5.1.3. Cobertura vegetal

Desde el punto de vista biogeográfico, el área de Valdesamario se sitúa en la Región Mediterránea, predominantemente en el piso Supramediterráneo, y posee un ombroclima subhúmedo y húmedo, con inviernos rigurosos, lo que impide la existencia de auténticas series de vegetación exclusivamente mesomediterráneas. Ocupa territorios pertenecientes a las series de vegetación:

- Serie supra-mesomediterránea salmantina y orensano-sanabriense subhúmedo-húmeda silicícola del melojo (*Quercus pyrenaica*).
- Serie supra-mesomediterránea carpetana occidental y orensano-sanabriense húmeda-hiperhúmeda silicícola del melojo (*Quercus pyrenaica*).
- Serie meso-supramediterránea luso-extremaduriense y carpetano-ibérico-leonesa edafófila del aliso (*Alnus glutinosa*).
- Serie supramediterránea mediterráneo-iberoatlántica y castellano duriense septentrional edafófila y silicícola del sauce salvifolio (*Salix salvifolia*).

La primera de las series enumeradas, por su carácter climatófilo, es la que está mayoritariamente representada en las laderas orientadas al sur, mientras que la segunda domina en umbrías y cotas superiores. Todos los huecos actualmente presentes y buena parte de las escombreras que flanquean el río Valdesamario ocupan terrenos pertenecientes a las dos series del melojar. Es cierto que buena parte de las escombreras aledañas a la carretera y la práctica totalidad de las situadas en la margen derecha del río, están apoyadas sobre materiales aluviales. Sin embargo, el dominio del melojar en todas las inmediaciones de las escombreras de la margen derecha, denota la pertenencia a una de las dos series que se vienen comentando. No obstante, en una franja de varios metros, limitada a los terrenos estrictamente ribereños, las escombreras cercanas al río tocan y sepultan ejemplares de alisos y sauces, y posiblemente a otros elementos propios de asociaciones pertenecientes a las series edafohigrófilas del aliso y el sauce salvifolio.

En cuanto a la vegetación natural, las modificaciones sufridas históricamente determinan que no siempre las asociaciones representativas de la climax estén presentes en el entorno y, previsiblemente, las explotaciones mineras afectaron a las fases de sustitución antes que a las formaciones climácicas. Al margen de pequeños agrupamientos dispersos, únicamente en la ladera de la margen derecha dominan importantes manchas de melojar (*Quercus pyrenaica*) con porte arbóreo y arbustivo y algunos prados de fondo de valle, como se desprende de la visión de fotogramas aéreos antiguos. Dichos prados son trebolares con *Festuca ampla*, *Trifolium repens*, *Phleum pratense* y *Lolium perenne*, orlados, en los regatos y canales, por especies como *Quercus pyrenaica*, *Salix salvifolia*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa* o *Fraxinus angustifolia* y, puntualmente, setos con *Rosa sp.* y *Rubus ulmifolius*. Los márgenes del arroyo están cubiertos de una arboleda dominada por *Alnus glutinosa* con presencia, entre otros, de *Populus nigra* y *Fraxinus angustifolia*.

Las labores mineras de la margen izquierda afectaron a manchas de melojar en las pequeñas vaguadas y, sobre todo, a brezales, que actualmente siguen dominando en las laderas donde se abrieron los huecos, junto con grandes extensiones repobladas con pinos. En dichos brezales destacan *Erica cinerea*, *Erica aragonensis*, *Erica umbellata* y *Genistella tridentata*, con intercalaciones de *Genista polygaliphylla*, que se hacen más abundantes en las proximidades de las manchas de melojo de las vaguadas.

Al igual que otras zonas fronterizas entre el mundo mediterráneo y eurosiberiano, tan extendidas en los alrededores de El Bierzo, el Valle del Río Valdesamario se enmarca en esa media montaña, de carácter supramediterráneo, húmeda, pero con estío más o menos prolongado. Estas zonas, cuyo dominio climácico corresponde siempre a bosques sobre suelos pobres y ácidos, sólo han podido sostener economías de tipo primario mixto con baja especialización, en las que la ganadería y un policultivo de subsistencia adquieren cierta importancia.

Las transformaciones del medio más importantes vienen ligadas secularmente al uso del fuego. Por un lado, la desesperada búsqueda de terrenos para pastorear durante las épocas de mayor presión demográfica comenzó a eliminar el bosque. Las repeticiones del proceso fuego-pastoreo determinaron que gran parte de la vegetación y los suelos se degradaran hasta dar lugar a una landa de brezo, que domina en gran parte del territorio, y cuya composición en especies cambia en función del tiempo desde la última roza o quema, si bien desde que se iniciaron las grandes repoblaciones de los años noventa parece haber desaparecido como práctica habitual.

Otra de las transformaciones importantes ha sido la conversión de la vegetación de ribera, normalmente, en un "*bocage*" de prados naturales, cultivos y setos, los cuales van dando paso a huertas en la proximidad de los pueblos. Estos fondos de valle han albergado, también secularmente, las principales labores agrícolas tradicionales, especialmente donde el valle se abre (vega de Valdesamario y Barrio de La Parte).

5.1.4. Suelos

Según los datos, el régimen térmico en las estaciones climatológicas estudiadas es **Mésico**, por estar t_s comprendida entre 8 y 15°C y ser la diferencia de temperaturas medias verano-invierno mayor de 5 °C. Sin embargo, es previsible que por encima de los 1600 m el régimen ya sea **Cryíco**, lo que puede darse en las zonas más elevadas circundantes al valle de Valdesamario, alejadas ya de las zonas de trabajo.

En las estaciones estudiadas se cumplen las condiciones siguientes con respecto a la sección de control:

- Está total o parcialmente húmeda, por lo menos 90 días consecutivos cuando la temperatura interna del suelo es superior a 8°.

- Está total o parcialmente seca, por lo menos 90 o más días acumulados.
- Está totalmente húmeda, por lo menos durante 45 ó más días consecutivos en los cuatro meses siguientes al solsticio de invierno.

En consecuencia, el edafoclima en los observatorios y buena parte del valle debe clasificarse como **Ustico**, si se considera válido el método empleado. Sin embargo, es conveniente comentar una serie de aspectos relativos a la aplicación de esta denominación a nuestro país y, en concreto, a las zonas norte y noroeste de León.

La presencia en áreas de la zona templada de este régimen ha de tomarse como la expresión de un defecto en la definición de los límites establecidos en la *Soil Taxonomy*, y que sería bueno que se corrigiera. El hecho es que el régimen **Ústico** fue concebido para caracterizar ciertos suelos de clima monzónico, y que la aparición de este régimen en nuestra geografía suele interpretarse como una transición entre los regímenes **Xérico** y **Údico**.

Si consideramos que la caracterización del régimen de humedad refleja una transición, podemos pensar que, en función de la posición y espesor, pueden aparecer perfiles con régimen **Údico** (aquellos con cierta profundidad) o incluso **Xérico** (en suelos delgados, pedregosos y erosionados). Además, existirán suelos de régimen **Áquico** cuando existan impedimentos para el drenaje en profundidad. Como se sabe, el régimen de humedad que se considere tiene incidencia sobre la clasificación de los suelos, si se opta por la USDA *Soil Taxonomy*.

Las pronunciadas pendientes de la zona, la baja alterabilidad de los materiales en las zonas de cresta y los procesos de deposición en los fondos de valle, son suficientes para limitar la existencia de horizontes de acumulación de arcilla. Por otro lado, las zonas altas y la presencia de importantes superficies en umbría, en las que la temperatura media anual del suelo puede ser menor de 8° C, condiciona también la evolución edáfica. Por todo ello, los horizontes arcillosos de acumulación, si están presentes, han de ser excepcionales. No obstante, el drenaje

en la zona es suficientemente importante como para favorecer el lavado completo de bases y la desaturación de los suelos.

Los suelos que aparecen en la zona son consecuencia del grado en que los diversos factores formadores y la influencia antrópica han incidido en las distintas superficies donde se asientan.

En una primera distinción se reconocen los suelos asociados a las vegas, que reciben continuamente aportes de material de las laderas vecinas y de aguas arriba en las arroyadas. Por esta razón son suelos jóvenes, en formación, sin presencia de endopediones de diagnóstico, dominando Typic Udifluent y Aquic Udifluent asociados a Typic Fluvaquent o Aeric Fluvaquent. Estos suelos se han visto enriquecidos en bases por aportes desde las laderas. Sus pH_s pueden ser algo superiores a los del entorno y, debido a su grado de pendiente, son los suelos donde se asientan los principales cultivos y la producción de hierba. Aparentemente son ricos en materia orgánica, de texturas medias a gruesas y con estructura migajosa en superficie.

Fuera de las vegas, y si exceptuamos las áreas de mayor altitud, los suelos clímax son aquellos clásicamente asociados a bosques de cupulíferas marcescentes: las tierras pardas subhúmedas. Dichos suelos se caracterizan como modelo de máxima evolución por la presencia de un horizonte B_w estructural, asimilable, aunque con matices, al horizonte Cámbico de la clasificación americana.

Los suelos más comunes en la zona serán, según la Soil Taxonomy, los Orthent y los Ochrepts, dominando los grupos Usthorthent y Haplumbrept. A partir de la variación de los procesos y factores edafológicos dominantes, es posible establecer los principales tipos de suelos que intuitivamente pueden estar presentes.

Cuando el suelo se adelgaza en las zonas donde los procesos de erosión van siendo progresivamente más importantes, podrá aparecer una gradación que pasa por

Lithic Dystrochrept (con contacto lítico entre los 25 y 50 cm) hasta Lithic Ustorthent y roca desnuda aflorante. Estos suelos, producto muchas veces de la erosión acelerada, ocupan importantes superficies en la zona.

El ascenso sobre las laderas llevará a alcanzar zonas en las que la temperatura media anual del suelo rondará los 9° C y será común encontrar Typic y Lithic Haplumbrept. Aparecerán también suelos del tipo Umbric Dystrochrept, subgrupo que según nos ha parecido apreciar es muy común en todas las áreas de brezal. Todos estos suelos presentan un horizonte superficial más o menos potente, de color muy negro, rico en materia orgánica poco descompuesta, ácido y pobre en bases. En esta catena altitudinal, sólo en las zonas más altas, pueden estar presentes Typic y Lithic Cryumbrept.

Todos ellos son en esencia suelos de eminente vocación forestal o para la conservación de la vegetación natural. En buena parte de la superficie de este área tienen lugar actuaciones humanas que inciden sobre la calidad del suelo a largo plazo. Tras las corrientes quemadas, a pesar del incremento de la fertilidad, se produce sin duda una degradación por erosión y arrastre de nutrientes. La sustitución de la vegetación original por brezal genera un tipo de hojarasca acidificante y de difícil descomposición, que puede haber tenido una influencia sobre la superficie ocupada por los tipos de suelos con horizonte Úmbrico, cuando los procesos erosivos no han decapitado el suelo.

Actualmente, aunque todavía no es posible saber en qué medida puede estar ocurriendo, las roturaciones forestales realizadas siguiendo la línea de máxima pendiente pueden tener consecuencias muy graves, afectando a la originalmente pobre y después mermada calidad de los suelos de la zona.

5.2. ÁREA DE VILLABLINO

Las zonas de trabajo a las que genéricamente se referirá como correspondientes a Villablino se sitúan en la denominada Subzona de Villablino (AIRNC, IGME, 1985). En ella se incluyen las áreas de Paulina, María-Bolsada, Calderón-Villablino, Lumajo y Carrasconte. Su límite norte es una discordancia que pone en contacto los materiales estefanienses con depósitos precámbricos y paleozoicos. El límite sur corresponde a una falla de gran recorrido que secciona la cuenca.

5.2.1. Geología

5.2.1.1. Litoestratigrafía

El límite de la cuenca de Villablino por el norte es una discordancia que pone en contacto los materiales carboníferos (estefanienses) con depósitos precámbricos y paleozoicos. El límite sur corresponde a una gran falla de gran recorrido que secciona la cuenca.

- ***Materiales Pre-estefanienses***

El Precámbrico está constituido por una monótona serie pizarrosa que se corresponde con parte de la serie de techo del Precámbrico del antiforne de Narcea. Limita la mayor parte de la cuenca de Villablino.

El Cámbrico aparece discordante sobre el núcleo precámbrico del antiforne de Narcea, se distribuye en tres formaciones bien diferenciadas.

- a) **Areniscas de Candana-Herrería (Cámbrico inferior):**

Se trata de una serie detrítica que suele comenzar por un conglomerado de base de poca potencia y cuyos cantos raramente superan los 5 cm. El resto de la sucesión está constituida esencialmente por cuarcitas y areniscas entre las que se

intercalan pizarras verdosas y pequeños niveles dolomíticos en la mitad inferior de la formación. Aparecen junto al área centro-occidental de la cuenca de Villablino.

b) Caliza de Vegadeo (Cámbrico inferior-medio):

Se trata de una formación constituida por calizas y dolomías en general masivas que en esta zona aparecen muy tectonizadas y con afloramientos reducidos. Se localizan en las mismas zonas que la formación anterior.

c) Serie de Los Cabos (Cámbrico superior-Ordovícico inferior):

Se trata de una formación muy potente que puede llegar a superar los 5.000 m de espesor. Está constituida por una sucesión de pizarras, areniscas y cuarcitas; estas últimas son el componente esencial de la parte superior de la serie. Esta serie se localiza en la zona occidental de la cuenca de Villablino.

Entre el Ordovícico inferior y Silúrico existe una importante laguna estratigráfica como es común en muchas áreas de la Cantábrica. En la Zona Asturoccidental-Leonesa, dentro de la hoja de Villablino, destaca la existencia de Pizarras de Luarca de edad Ordovícico medio.

El Silúrico en la zona de Villablino se compone de dos unidades litostratigráficas, la primera constituida por pizarras y la segunda por areniscas ferruginosas. Estas formaciones se conocen en la Zona Cantábrica con los nombres de Pizarras de Formigoso y Areniscas de San Pedro. Afloran únicamente en el flanco oeste del denominado sinclinal de Vega de los Viejos, siendo parcialmente recubiertas por los derrubios del pico Muxavén. La edad es Llandovery medio a Wenlockiense. La parte inferior del Llandovery está incluida en la laguna estratigráfica antes mencionada.

El Devónico es el sistema mejor representado y conocido en la Zona Cantábrica. Aflora sólo en la esquina nororiental de la hoja de Villablino y su interés para este estudio es bajo, aunque es de resaltar el enorme carácter que imprime sobre el paisaje visible y circundante por el norte y noreste a las zonas de trabajo. Incluye las formaciones: Areniscas de la Ermita, Areniscas de Nocedo, Calizas de Portilla, Pizarras de Huergas, Caliza de Sta. Lucía y Complejo de La Vid.

Como parte superior de una serie más o menos continua desde el Cámbrico inferior hasta el Westfaliense afloran materiales que constituyen el núcleo del sinclinal de Vega de los Viejos y comprende las formaciones Alba, Caliza de Montaña y San Emiliano.

- ***Carbonífero Estefaniense***

El Estefaniense aparece discordante sobre el resto de materiales más antiguos, tanto de la Zona Cantábrica como de la Astur Occidental Leonesa.

En la subzona de Villablino (AIRNC) se da una gran complicación estratigráfica y estructural y, a pesar de ser muchos los datos existentes sobre la misma, desde un punto de vista minero, la infraestructura geológica es muy escasa, lo cual, teniendo en cuenta que se trata de series continentales muy monótonas, sin que se hayan localizado “niveles guía”, ocasiona que no sea posible establecer una cartografía detallada por paquetes explotables.

La sedimentación se inicia con unos conglomerados, que afloran de manera discontinua, adquiriendo mayor desarrollo en la parte occidental, sobre todo en las áreas de María-Bolsada y Calderón-Villablino. Por lo general son de aspecto brechoide, siendo probable que se hayan depositado en un medio fluvio-torrencial, o que tengan un significado similar a los rellenos de fondo de valle.

A continuación, se deposita lo que se podría denominar tramo inferior, formado por una secuencia ciclotemática en la que aparecen niveles delgados de conglomerados (no siempre), areniscas grises, areniscas arcillosas, pizarras arenosas verdosas, pizarras negras y capas de carbón. Es de destacar la existencia de pórfidos, generalmente interestratificados, que han producido un metamorfismo térmico en los materiales supra e infrayacentes, transformando el carbón en antracita e incluso en coque natural.

Encima se sitúa un nivel conglomerático que puede llegar a alcanzar hasta 150 m de espesor. Adquiere mayor desarrollo en la parte occidental de la cuenca y puede seguirse sin dificultad hasta el área de Lumajo, mientras que más al este sólo se ha localizado en pequeños afloramientos difícilmente relacionables. Litológicamente, esta “pudinga intermedia” está formada por clastos casi exclusivamente de cuarzo, bien redondeados y, en algunos casos de arenisca, lutita y pizarra, en proporciones reducidas.

A continuación se deposita el tramo superior, constituido por una secuencia ciclotemática, con desarrollo de abundantes capas de carbón y globalmente similar al tramo inferior, aunque se observa un mayor predominio de términos de tamaño más grueso.

Respecto a la edad de estos materiales, la flora existente es muy abundante, tanto en las capas de carbón como en los materiales detríticos, y ha permitido definir una edad Estefaniense B alto-Estefaniense C para el conjunto.

La potencia total de la serie estefaniense es difícil de calcular con precisión, ya que varía de un sitio a otro y no existe correlación detallada, pero se barajan valores que oscilan entre 2.500 a 3.000 m.

A pesar de los problemas indicados con anterioridad, parece que puede aceptarse que las capas más bajas del área de Paulina se corresponden con las más altas de

las áreas orientales (Calderón-Villablino, Lumajo y Carrasconte), es decir, que existe un rejuvenecimiento de la cuenca hacia el oeste.

- ***Materiales Post-estefanienses***

Cerca de las zonas de trabajo sólo aflora un retazo de materiales terciarios sobre el Estefaniense, al norte de Robles de Laciana. Está constituido por unas areniscas micáceas de grano grueso de color rojizo-anaranjado y margas arenosas blanquecinas. Por analogía con el Terciario de la cuenca del Riello le asigna una edad Mioceno sin mayor precisión.

Pueden distinguirse fundamentalmente dos tipos genéticamente diferenciados, de depósitos cuaternarios son los de origen glaciar y los de origen fluvial.

Los primeros, derivados del glaciario pleistoceno que afectó a esta parte de la Cordillera Cantábrica, son una serie de morrenas constituidas por bloques heterométricos en una matriz arenoso-arcillosa, situados en los alrededores de Piedrafita de Babia. Existen otros muchos depósitos distribuidos por todo el área, que aunque de origen glaciar han sido posteriormente removilizados y redepositados por corrientes de agua, pero conservan en gran parte su estructura primitiva, son los denominados fluvioglaciares.

Los aluviales son de poca extensión superficial, presentan cantos de tamaño relativamente elevado y en general están poco rodados y calibrados, en la mayoría de los casos son en realidad el último nivel de terraza, ya que el cauce del río suele estar más encajado y con afloramientos precámbricos o paleozoicos. Este encajamiento ha dado lugar a diferentes niveles de terrazas en Palacios del Sil, en Rioscuro y Villaseca de Laciana.

Otro tipo de depósito abundante en este área son los coluviones, derrubios de ladera y canchales de cuarcita. Se sitúan en las fuertes pendientes de los valles, recubriendo las paredes de los valles glaciares, y sobre los taludes de los circos,

tiene gran angulosidad y el calibrado es proporcional a la cota. Están constituidos por fragmentos de los materiales rocosos sobre los que se instalan, en este sentido hay que destacar los canchales exclusivamente cuarcíticos en la Serie de los Cabos.

En los valles de Salientes y del Sil, existen unos conos de deyección muy espectaculares, cuya formación se ve favorecida por los fuertes desniveles y por avenidas torrenciales; actualmente algunos se encuentran colgados (Salientes, Cuevas del Sil) por la fuerte acción erosiva que continua encajando al Río Sil y sus afluentes.

Por último, en valles muy planos de áreas topográficamente elevadas (Campo de la Mora, Campo de la Vega) se originan depósitos eluviales y turberas constituidas por arcillas negras y materia orgánica.

5.2.1.2. Tectónica

En base a la presencia de fósiles, tipos de estructuras sedimentarias, asociación de facies, etc., el medio de sedimentación es predominantemente continental, probablemente lacustre, desarrollado en un área tectónicamente activa, con la presencia de importantes sistemas de canales fluviales, llanuras de inundación, pantanos, etc.

El Estefaniense de la subzona de Villablino, forma un sinclinal de flancos asimétricos, con orientación aproximadamente E-O. El flanco norte presenta un buzamiento medio de 40-45°, mientras que en el flanco sur los estratos se encuentran verticalizados, llegando incluso a invertirse.

Esta estructura limita por el sur con una falla inversa que desliza el substrato sobre el Estefaniense, eliminando el flanco sur en gran parte de su recorrido, lo

cual origina que la charnela sólo sea identificable en algunos puntos (área de Paulina, María-Bolsada y Carrasconte).

El sistema de fracturación presenta fallas de dirección preferente SO-NE y otros sistemas que aparecen alcanzar menor desarrollo, con dirección NO-SE y N-S. La tectónica de fracturación hace que el trazado del eje del sinclinal sufra continuos desplazamientos y es particularmente intensa en las áreas orientales (Lumajo y Carrasconte), siendo difícil, por lo general, determinar el sentido de los desplazamientos, dada la monotonía de los materiales y escasez de niveles guía.

Superpuestos a la estructura general, existen algunos pliegues de menor entidad, a excepción del que se encuentra al NO de Villaseca de Laciana (área de Lumajo) y suele ser normal que aparezcan fallados a lo largo del plano axial, en especial los sinclinales.

5.2.1.3. Geomorfología

Todo el entorno de las zonas de trabajo destaca por su relieve acusado y por el encajamiento del Río Sil con respecto a la cabecera del Río Luna (cuenca del Duero), que diferencia en buena parte las comarcas de Laciana y Babia, junto con las litologías aflorantes y el paisaje vegetal. La relación entre las estructuras hercínicas y el relieve actual es determinante en ambas comarcas.

Destacan los abundantes ejemplos de formas glaciares, periglaciares y nivales, especialmente por encima de los 1500 m de altitud, y los depósitos fluvioglaciares, derrubios de ladera y conos de deyección. También son importantes depósitos eluviales en el área del Campo de la Mora y Ermita de Carrasconte.

5.2.2. Clima.

La cuenca minera de Villablino es la situada más al norte entre las elegidas en este estudio y se enclava en la Región Eurosiberiana.

El clima es continental, con un periodo frío que supera con seguridad los nueve meses y las heladas son posibles entre septiembre y junio. La mayoría de las zonas mineras reconocidas están entre los 1200 y 1400 m en las proximidades de Piedrafita de Babia (tm anual de 8'7 °C a 1200 m) y alrededor de los 1600 m en el paraje de Lumajo, por encima de Villaseca de Laciana (con tm anual de 7'2 °C a 1095 m), por lo que el frío y la duración de los periodos de helada se pueden convertir en importantes factores limitantes para la actividad vegetal en todo este territorio.

Este razonamiento incrementa su validez en el entorno de la población de Villablino, con 7'7 °C de temperatura media anual a 996 m de altura. Se aprecia, tal y como han destacado las opiniones vertidas tradicionalmente, una mayor benignidad climática en Babia comparativamente con Laciana. De ella se benefician los parajes mineros cercanos a Piedrafita de Babia (Carrasconte, Veguillena o Regalada). En las **Tablas 5.5., 5.6. y 5.7.** se muestran los datos de temperaturas de las estaciones próximas.

Tabla 5.5. Temperaturas en la estación de Barrios de Luna

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
T'a	12'1	15'1	18'5	20'6	24'2	30'9	33'4	31'9	29'1	23'6	18'5	15'1	30'3
T	6'2	7'6	11'7	13'6	17'3	22'8	26'4	25'3	22'3	16'9	11'8	8'4	15'9
tm	1'6	3'0	6'8	8'4	11'4	15'7	18'8	18'0	15'3	11'1	6'9	4'1	10'1
t	-3'0	-1'5	1'8	3'3	5'5	8'6	11'1	10'7	8'4	5'4	2'0	-0'1	4'4
t'a	-10'5	-8'3	-3'7	-1'6	-0'5	4'0	6'6	6'3	3'6	0'8	-3'1	-4'8	-7'4

Donde:

- T'a = Temperatura media de máximas absolutas
- T = Temperatura media de máximas
- tm = Temperatura media
- t = Temperatura media de mínimas
- t'a = Temperatura media de mínimas absolutas

Tabla 5.6. Temperaturas en la estación de Murias de Paredes.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
tm	0'9	1'8	4'8	6'8	9'9	13'9	16'5	16'1	13'5	9'5	4'8	1'9	8'4

Tabla 5.7. Temperaturas en la estación de Piedrafita de Babia.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
tm	1'2	2'1	5'2	7'2	10'2	14'3	17'0	16'5	13'8	9'8	5'1	2'1	8'7

En Barrios de Luna el periodo frío se extiende entre octubre y mayo siendo posibles las heladas durante todo ese periodo. En buena parte del área de Villablino la duración e intensidad del periodo frío será superior.

La mayoría de la superficie del área de Villablino se sitúa en el piso Montano superior (Altimontano), con índice de termicidad inferior a 114. Las cumbres en este entorno pertenecen al piso Subalpino. El clima es Continental según Kerner.

En cuanto a las precipitaciones, estas pueden variar entre los aproximadamente 1000 mm anuales de Cabrillanes hasta los 1600-1700 mm en las zonas más altas y occidentales.

Parece existir una disminución de la precipitación de Oeste a Este, alcanzándose los 1400 mm de precipitación anual en el entorno de Villablino y predominando los territorios situados en los pisos Húmedo superior e Hiperhúmedo, mientras que en el entorno de Piedrafita de Babia se alcanzan 1100 a 1200 mm con predominio en superficie de terrenos situados en los pisos Húmedo inferior y Húmedo medio y zona **Perhúmeda** según De Martonne.

En las **Tablas 5.8., 5.9. y 5.10.** se muestra la distribución de precipitaciones y el balance hídrico de las estaciones estudiadas.

Tabla 5.8. Balance hídrico (método directo) con ETP según Thornthwaite de la estación de Barrios de Luna

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	89'7	108'0	119'8	130'6	105'0	103'3	76'0	72'0	52'3	23'4	24'4	51'7	956'2
ETP	48'9	24'4	13'2	4'8	9'9	30'0	42'3	66'5	96'5	118'6	105'4	76'1	637'0
P-ETP	40'8	83'6	106'6	125'8	95'1	73'3	33'7	5'5	-44'2	-95'2	-81'0	-24'8	319'2
PPA									44'2	139'4	220'4	245'2	
R	40'8	100	100	100	100	100	100	100	55'8	0	0	0	
VR	40'8	59'2	0	0	0	0	0		-44'2	-55'8	0	0	
ETA	48'9	24'4	13'2	4'8	9'9	30'0	42'3	66'5	96'5	79'2	24'4	51'7	491'8
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39'4	81'0	24'8	145'2
Ex	0	24'4	106'6	125'8	95'1	73'3	33'7	5'5	0	0	0	0	464'4
D		12'2	23'8	74'8	85'0	79'1	56'4	31'4					

Tabla 5.9. Balance hídrico (método directo) con ETP según Thornthwaite de la estación de Murias de Paredes

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	93'9	114'7	120'6	100'1	88'6	94'2	67'4	82'6	69'3	30'7	34'5	59'4	956'0
ETP	46'5	20'2	7'7	3'9	7'8	25'4	39'1	64'3	91'3	109'0	99'0	72'1	586'6
P-ETP	47'4	94'5	112'9	96'2	80'8	68'8	28'0	18'3	-22'0	-78'3	-64'5	-12'7	369'3
PPA									22'0	100'3	164'8	177'5	
R	47'4	100	100	100	100	100	100	100	78'0	0	0	0	
VR	47'4	52'6	0	0	0	0	0	0	-22'0	-78'0	0	0	
ETA	46'5	20'2	7'7	3'9	7'8	25'4	39'4	64'3	91'3	108'7	34'5	59'4	509'1
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'3	64'5	12'7	77'5
Ex	0	41'9	112'9	96'2	80'8	68'8	28'0	18'3	0	0	0	0	446'9
D		21'0	66'9	81'6	81'2	75'0	51'5	34'9					

Tabla 5.10. Balance hídrico (método directo) con ETP según Thornthwaite de la estación de Piedrafita de Babia

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	103'6	140'4	150'9	140'4	117'6	103'4	74'5	86'8	64'8	32'5	33'5	55'1	1103'5
ETP	46'9	20'6	8'0	4'8	8'5	26'5	40'4	64'7	92'6	111'1	100'3	72'6	597'0
P-ETP	56'7	119'8	142'9	135'6	109'1	76'9	34'1	22'1	-27'8	-78'6	-66'8	-17'5	506'5
PPA									27'8	106'4	173'2	190'7	
R	56'7	100	100	100	100	100	100	100	72'2	0	0	0	
VR	56'7	43'3	0	0	0	0	0	0	-27'8	-72'2	0	0	
ETA	46'9	20'6	8'0	4'8	8'5	26'5	40'4	64'7	92'6	104'7	33'5	55'1	506'3
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6'4	66'8	17'5	90'7
Ex	0	76'5	142'9	135'6	109'1	76'9	34'1	22'1	0	0	0	0	597'2
D		38'3	90'6	113'1	111'1	94'0	64'1	43'1					

La estación más húmeda es el invierno, recibándose en otoño y primavera aproximadamente la misma cantidad de lluvia. El balance hídrico teórico arroja una falta de agua estival insignificante o nula, con exceso importante en invierno y primavera. Sólo en el extremo más oriental de este área (Piedrafita de Babia) se puede considerar seco el mes de agosto y relativamente secos julio y septiembre, siendo la falta anual pequeña.

5.2.3. Cobertura vegetal

Como ya se ha comentado, toda la cuenca minera de Villablino se incluye dentro de la Región biogeográfica Eurosiberiana y posee unas características climáticas y edáficas que determinan la preponderancia, en ocupación superficial, de terrenos correspondientes a las series de vegetación montana orocantábrica acidófila del roble albar o *Quercus petraea* y montana orocantábrica y galaico astur acidófila del roble melojo o *Quercus pyrenaica*.

Algunas explotaciones (Lumajo) se sitúan en una posición próxima a los territorios de la serie montana orocantábrica acidófila del abedul o *Betula celtiberica*.

Los robledales albares y los abedulares son bosques caducifolios en los que, respectivamente, dominan el roble albar (*Quercus petraea*) o el abedul (*Betula celtiberica*), pudiendo verse acompañados tanto en uno como en otro caso, mutuamente, así como el híbrido entre el roble albar y el carbayo (*Quercus x rosacea*), el acebo (*Ilex aquifolium*) y el avellano (*Corylus avellana*), entre otras especies arbóreas. En zonas umbrosas se enriquecen además con el haya (*Fagus sylvatica*).

Son frecuentes en su ambiente forestal los arbustos como la urz (*Erica arborea*) y el arándano (*Vaccinium myrtillus*), haciéndose comunes plantas herbáceas como

Saxifraga spathularis, *Anemone nemorosa*, *Oxalis acetosella* y *Luzula sylvatica* subsp. *henriquesii* en los abedulares, mientras que en los robledales albares son frecuentes *Omphalodes nitida*, *Physospermum cornubiense* o *Linaria trionithophora*.

Los fondos del valle ó áreas más bajas y próximas a cursos de agua entrarían a formar parte de terrenos pertenecientes a la geoserie montana de fresnedas de *Fraxinus excelsior* y saucedas arbustivas de *Salix cantabrica*.

Desde las Minas de Carrasconte y la zona de trabajo de El Salguero hasta las proximidades de la población de Villablino, existen importantes masas de robledal y melojar en las laderas vertientes al río Sil y orientadas al norte. El resto de este área se recubre de matorrales subseriales: brezales y piornales, mayoritariamente, junto a pinares de repoblación.

De igual modo, la vegetación original de bosques de ribera ha sido sustituida por prados, más o menos húmedos y setos, con presencia en los mismos de elementos del bosque original.

Los piornales situados en suelos que conservan todavía su carácter forestal están dominados por *Genista polygaliphylla* y *Cytisus cantabricus*. En suelos más secos y esqueléticos domina *Cytisus scoparius*.

En los brezales dominan *Erica aragonensis*, *Daboecia cantabrica*, *Genistella tridentata* y *Halymium umbellatum*, variando la especie dominante según la humedad y carácter del suelo.

Existen manchas de pastizales vivaces caracterizados por *Merendera pyrenaica*, *Cynosurus cristatus* y en los suelos más degradados por *Agrostis durieui* y *Sedum pyrenaicum*. Los prados más húmedos o de fondo de valle están caracterizados por *Bromus commutatus* y *Arrhenatherum elatior*.

Como se ha dicho, en las áreas situadas en las proximidades de Villablino, con menos incidencia del estío y grandes limitaciones por frío, la vegetación nativa eran bosques de frondosas caducifolias, aunque, en determinados puntos, las zonas explotadas se sitúan en la proximidad del dominio de los matorrales rastreros subalpinos

Como en todos los territorios montañosos que circundan El Bierzo, las transformaciones del medio más importantes vienen ligadas secularmente al uso del fuego. La búsqueda de terrenos para cultivar centeno y abrir prados y pastos durante las épocas de mayor presión demográfica comenzó a eliminar el bosque, lo que después dio paso a la landa de brezo al abandonarse tierras, junto a importantes superficies de praderíos y pastizales. Actualmente se observa cómo la eliminación de las horlas de matorral en la zona de Miranda y Minas de la Mora se realiza mediante desbroce con maquinaria pesada, lo que deja un colchón de restos vegetales protector del suelo. El paso siguiente puede ser una quema controlada superficial o el enterrado. Poco a poco la vegetación de prados asciende hasta las áreas clareadas. Tanto en Laciana como en Babia pasta abundante ganado vacuno y equino.

En aquellas franjas algo menos encajadas del Sil y sus afluentes, la conversión de la vegetación de ribera genera un fino mosaico de prados naturales, cultivos y setos, los cuales van dando paso a huertas en la proximidad de los pueblos. Estos fondos de valle han albergado, también secularmente, las principales labores agrícolas tradicionales.

5.2.4. Suelos

El régimen térmico de las estaciones climatológicas estudiadas es en general **Mésico**, por estar t_s comprendida entre 8 y 15°C, con diferencia de más de 5°C entre el verano y el invierno.

Próximos a las zonas de trabajo pueden alcanzarse terrenos en los que el régimen térmico será **Cryico**, con temperatura anual comprendida entre 0 y 8° C y una media estival inferior a 15° C.

En general el régimen de humedad ha de ser **Údico**. Además, existirán suelos de régimen **Áquico** cuando existan impedimentos para el drenaje en profundidad. Como se sabe, el régimen de humedad que se considere tiene incidencia sobre la clasificación de los suelos, si se opta por la USDA *Soil Taxonomy*.

Las pronunciadas pendientes de la zona, la baja alterabilidad de los materiales en las zonas de cresta y los procesos de deposición en los fondos de valle, son suficientes para limitar la existencia de horizontes de acumulación de arcilla. No obstante, el drenaje en la zona es suficientemente importante como para favorecer el lavado completo de bases y la desaturación de los suelos.

En una primera distinción se reconocen los suelos asociados a las vegas, que reciben continuamente aportes de material de las laderas vecinas y de aguas arriba en las arroyadas. Por esta razón son suelos jóvenes, en formación, sin presencia de endopediones de diagnóstico, dominando Typic Udifluent y Aquic Udifluent asociados a Typic Fluvaquent o Typic Fluvaquept en zonas como el Campo de la Mora, con un cierto impedimento para el drenaje.

Fuera de las vegas y navas, y si exceptuamos las áreas de mayor altitud, los suelos clímax son aquellos clásicamente asociados a bosques de cupulíferas caducifolias: las tierras pardas subhúmedas. Dichos suelos se caracterizan como modelo de máxima evolución por la presencia de un horizonte B_w estructural, asimilable, aunque con matices, al horizonte Cámbico de la clasificación americana.

Los suelos más comunes en la zona serán, según la *Soil Taxonomy*, los Orthent y los Ochrepts, dominando los grupos Usthorthent y Haplumbrept. A partir de la

variación de los procesos y factores edafológicos dominantes, es posible establecer los principales tipos de suelos que intuitivamente pueden estar presentes.

Cuando el suelo se adelgaza en las zonas donde los procesos de erosión van siendo progresivamente más importantes, podrá aparecer una gradación que pasa por Lithic Dystrachrept (con contacto lítico entre los 25 y 50 cm) hasta Lithic Ustorthent y roca desnuda aflorante. Estos suelos, producto muchas veces de la erosión acelerada, ocupan importantes superficies en la zona.

El ascenso sobre las laderas llevará a alcanzar será común encontrar Typic y Lithic Haplumbrept. Aparecerán también suelos del tipo Umbric Dystrachrept, subgrupo que según nos ha parecido apreciar es muy común en todas las áreas de brezal. Todos estos suelos presentan un horizonte superficial más o menos potente, de color muy negro, rico en materia orgánica poco descompuesta, ácido y pobre en bases. En esta catena altitudinal, sólo en las zonas más altas, pueden estar presentes Typic y Lithic Cryumbrept asociados a Typic Cryorthent y Cryochrept..

Todos ellos son en esencia suelos de eminente vocación forestal o para la conservación de la vegetación natural. En buena parte de la superficie de este área han tenido lugar actuaciones humanas que inciden sobre la calidad del suelo a largo plazo. Tras las quemadas, por ejemplo, a pesar del incremento de la fertilidad, se produce sin duda una degradación por erosión y arrastre de nutrientes. La sustitución de la vegetación original por brezal genera un tipo de hojarasca acidificante y de difícil descomposición, que puede haber tenido una influencia sobre la superficie ocupada por los tipos de suelos con horizonte Úmbrico, cuando los procesos erosivos no han decapitado el suelo.

5.3. ÁREA DE UTRILLAS

Las zonas de trabajo a las que genéricamente se referirá como correspondientes a Utrillas se sitúan en la denominada Subzona occidental de Teruel (AIRNC; IGME, 1985). Corresponde a las áreas de interés minero de Escucha-Castel de Cabra y Rillo-Aliaga.

5.3.1. Geología

5.3.1.1. Litoestratigrafía

- ***Triásico***

Los sedimentos de este período se encuentran diseminados en numerosas manchas por toda la Provincia de Teruel y casi todas ellas son de pequeña extensión. Su diferenciación con el Pérmico no está establecida en muchos lugares o bien resulta difícil efectuarla, por lo que se ha empleado normalmente la denominación de Permotriás para todo el conjunto.

Los materiales constitutivos se apoyan en discordancia sobre el Paleozoico y afloran en la típica facies germánica, en la que se diferencian tres tramos: Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper.

El primero está constituido por conglomerados en la base y areniscas de tonos rojos (rodeno), verdes y blancogrisáceas en el resto del conjunto. Suelen ser afloramientos muy vistosos, algunos de ellos realmente espectaculares por su colorido y morfología escarpada.

El Buntsandstein no aparece representado en el occidente de área de estudio (ni en toda la hoja de Argente) y aflora en el flanco norte del anticlinal de Montalbán y rodeando el pequeño ojal de Santillo.

En el Triásico inferior aparecen restos vegetales. El medio de sedimentación es fluvial para los conglomerados y areniscas y pasa paulatinamente a marino (ambiente mareal) hacia el techo del perfil, donde se intercalan limolitas (facies Röt).

El tramo intermedio, Muschelkalk (calizas con conchas), puede presentar una variabilidad de espesores considerables y está constituido por tres tramos, el inferior y superior dolomíticos y el intermedio formado por margas versicolores con sales. En algunas zonas sólo se reconoce el tramo dolomítico superior.

El Keuper constituye el tramo superior del Trías. Su potencia también es muy variable o difícil de precisar por su carácter plástico. Está formado por arcillas grises, verdes y amarillentas en la base y rojizas en el techo; entre ambas se reconocen niveles de areniscas fluviales. Los conjuntos arcillosos presentan una mineralogía acompañante muy variada; yeso, teruelita, cuarzo bipiramidado (jacinto de compostela), aragonito, sal gema y algunas piritas. El ambiente de sedimentación es propio de medios evaporíticos costeros. El Keuper actúa, al igual que el tramo intermedio de Muschelkalk, como nivel de despegue generalizado, en muchos puntos de la provincia de Teruel.

- ***Jurásico***

La característica más significativa es su gran riqueza en fauna, de aquí la abundancia de trabajos relacionados con aspectos paleontológicos y bioestratigráficos, así como las pequeñas dimensiones de los afloramientos y la escasa potencia de algunos tramos. La serie jurásica en este área abarca desde el Hettangiense hasta el Kimmeridgiense Superior. Los sedimentos de este período están formados fundamentalmente por rocas carbonatadas (calizas, dolomías y margas).

El tránsito del Triásico al Jurásico se realiza dentro de las formaciones de dolomías tableadas y de carniolas del Lías, pero la carencia de fauna impide la

señalización de un límite preciso, aunque la mayoría de los autores estima que tiene lugar dentro de la Formación de Carniolas.

- *Cretácico*

Los afloramientos de mayor superficie se encuentran al este de la provincia de Teruel (en las estructuras tabulares del Maestrazgo) y formando alineaciones sinclinales al norte y sur de la misma. La sedimentación del Neocomiense-Barremiense está íntimamente ligada a la evolución paleogeográfica que experimentó el sector del Bajo Aragón y Maestrazgo. La individualización en dos dominios hizo que en la parte occidental se depositaran formaciones terrígenas continentales, mientras que en la oriental la sedimentación fue marina.

Esta diferenciación no es neta, sobre todo en la zona, y explica la existencia de alguna intercalación marina en unos materiales predominantemente continentales.

En función de la escala, se han cartografiado conjuntamente esos episodios marinos con los continentales del Weald, a pesar de que su existencia cuantitativamente es insignificante con respecto a los materiales wealdicos característicos.

El Weald se presenta esta área con unas variaciones de espesor y facies importantes. Está formado por conglomerados, arcillas, margas y areniscas de colores vivos, preferentemente violáceos o verdosos con abundantes intercalaciones de calizas arenosas grises, ricas en charáceas. La potencia estimada es de 115 m como mínimo, ya que no aflora el muro.

En el Cretácico interesan principalmente los sistemas Aptiense y Albiense, pues los carbones se localizan en el techo del Aptiense y su tránsito hacia el Albiense. En cuanto a la delimitación geográfica de la subcuenca, el límite oeste viene dado por la alineación que forman los pueblos de Alpeñes con el umbral de

Montalbán, que marca un claro límite paleogeográfico. Por el este la formación se acuña, siendo prácticamente nula su potencia al alcanzar el meridiano de La Zoma, por lo que se puede tomar como límite oriental el cabalgamiento situado al este de Cabezo Pinaroto y los islotes jurásicos de Montoro de Mezquita y del noroeste de Cañada de Pinatanduz. El límite sur es el más problemático, pues las formaciones lignitíferas muestran en Aliaga potencias bastante reducidas, estimándose que su acuñamiento se produce al sur de Aliaga, sin poder precisar más.

El Bedouliense (Aptiense inferior) comienza en esta subzona con calizas beiges arenosas, bioclásticas, a veces lumaquélicas y pasadas margosas, con una abundante fauna de *Toucasias*, *Choffatella*, *Pseudocyclamina*, *Cyllindroporella*, *Pianella*, *Boueina*, *Parakoskinolina* y *Orbitolinopsis*. La potencia media de este tramo es de unos 30 m que disminuyen a unos 15 m en el oeste.

A techo se encuentra una serie de margas gris-verdosas, areniscas ocreas y calizas margosas, sin ningún nivel carbonoso y con una fauna de lamelibránquios, gasterópodos, orbitolinas y algunos ammonites. Se trata de un Bedouliense-Gargasiense marino con una potencia variable entre 20 m en Aliaga y 13 m en Utrillas. Termina la serie con un último banco de toucasias, por encima del cual se encuentra la formación “Escucha”, de edad Gargasiense superior-Albiense inferior.

Las capas de la Formación Escucha están representadas por una serie de secuencias negativas que comprenden los términos siguientes:

- Calizas margosas o arenosas beiges o ferruginosas con *Orbitolinas*, *Dasycladaceas*, *Lamelibránquios*...
- Margas arenosas, amarillentas, rojizas o verdosas con *Trigonias*, *Ostreas* y *Glaucónias*.
- Arcillas oscuras con lignitos y yesos. Presentan *Ostreas* y *Glaucónias*.

La potencia de la formación es muy variable, 10 m al sureste de Cañada de Velilla, 15 m al norte de Alpeñes, 110 m en Aliaga y más de 300 m entre Utrillas y Escucha (parte central de la cubeta y donde se presenta el máximo espesor). Concretamente en el área de Utrillas, al sur de dicha localidad, se realizó un corte detallado por Almela, García y Rey (1964) en el que en síntesis aparecen, por encima del último banco de toucasias, 126 m de areniscas ocre, margas gris-verdosas y calizas margosas sin niveles carbonosos. A continuación de este primer tramo estéril se considera un segundo tramo de 224 m, con alternancias de arcillas más o menos arenosas de colores abigarrados, frecuentes restos carbonosos y yesos; arenas de cuarzo de grano grueso a muy fino con colores predominantemente grises y ocre, y margas arenosas de color ocre. En este tramo aparecen las capas 4ª, 5ª y 6ª. El tercer tramo, o tramo superior, es una serie muy monótona en la que alternan con regularidad niveles duros y blandos, todos ellos muy detríticos y fosilíferos. Se sitúan aquí las capas 1ª, 2ª y 3ª. En líneas generales, esta alternancia está formada por bancos de areniscas bien estratificados con potencias de 0,5 m a 1 m (siendo de 5 m la del banco de la base, que se ha tomado como horizonte guía para separar las dos formaciones productivas), arcillas arenosas pardas, ocre y grises, carboneros, arenas arcillosas gris-negro, blancas, ocre y rojizas y arenas finas y blancas, terminando con un banco de 15 a 20 m de potencia y que sirve como guía para separar este tramo de la serie estéril superior de "Utrillas". En conjunto este tercer tramo presenta una potencia de 80 metros.

El ambiente de sedimentación varía de marino a transición o lacustre y a continental o fluvial. Desde el punto de vista minero, en la subzona occidental se encuentran hasta seis capas, denominadas, de techo a muro: 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª y 6ª, de las cuales se explotan cinco, ya que la 5ª, por su escasa potencia, su irregularidad y su proximidad a la capa 4ª, se considera inexplorable. La capa de carbón de mayor calidad es la 4ª. Los hastiales están constituidos en general por bancos de arcillas más o menos carbonosas y consistentes. Las capas 5ª y 6ª se

encuentran dentro del tramo marino o parálco mientras que las 1^a, 2^a, 3^a y 4^a se encuentran en el lacustre de transición.

Por encima de la formación “Escucha” se implanta el “Utrillas”, de carácter continental y transgresivo. Se trata de un complejo formado por areniscas, arenas y arcillas versicolores con tonos muy característicos: blanco-rojo-violeta-beige-amarillo. Mineralógicamente, los materiales clásicos se pueden clasificar como arcosas o subarcosas con turmalina, mica blanca, clorita, rutilo y opacos. El componente principal es el cuarzo; hay igualmente feldespato en porcentaje variable, a veces alterado, y localmente se eleva lo suficiente para formar arenas caoliníferas. A veces se encuentran fragmentos de lignitos. La granulometría de las arenas varía mucho, encontrándose todos los intermedios entre arena gruesa y fina. Las arenas muestran estructuras entrecruzadas con cementación irregular. El cemento más común es el carbonato, y es muy raro el silíceo. Las arcillas varían de color entre el gris pálido y el crema, a veces rojo, violeta y verde. Las estructuras sedimentarias, la ausencia de fósiles marinos, la presencia de algunos restos vegetales silicificados, la abundancia de caolinita y de hierro, etc., presumen un origen continental fluvial para esta formación. En cuanto a la edad de la formación “Utrillas”, se puede afirmar que no llega a la base del Albiense (que queda incluida en las capas de “Escucha”) ni tampoco engloba al Albiense superior.

Encima de los materiales de la Facies Utrillas aparecen capas calcáreo-margosas y arenosas con Orbitolínidos, seguidas de un conjunto esencialmente calizo de color beige en bancos decimétricos, que va pasando en su parte superior a dolomías, abarcando este tramo el periodo Vraconiense-Cenomaniense-Senonense inferior. Estas dolomías son de tonos generalmente grises, a veces violáceos o amarillentos y son en general masivas, presentando oquedades rellenas con gruesos cristales de calcita.

A continuación de las dolomías se presenta una sucesión formada esencialmente por calizas, al que sigue una alternancia de margas y calizas con Charáceas. A medida que se asciende en la serie se acentúa el carácter margoso hasta llegar a tramos margo-arcillosos y arenosos con yesos, a veces abigarrados. La parte inferior de esta formación correspondería a un Senonense alto, mientras que la parte superior pudiera llegar al Paleoceno.

- ***Terciario y Cuaternario***

La base del Terciario es un microconglomerado, con cantos de un suelo fósil de color rojo, lo que es indicativo de un importante hiato sedimentario entre el final del Cretácico y la sedimentación terciaria. La serie está formada principalmente por conglomerados, areniscas, arcillas y calizas.

Las formaciones continentales terciarias posteriores a la fase principal de la orogenia Alpina cubren en discordancia progresiva sintectónica a los tramos oligocenos. Son conglomerados, areniscas, arenas, arcillas, calizas margas y yesos. En las posiciones de centro de cuenca se observa concordancia con la serie anterior, en contraste con la clara discordancia angular de los bordes. En otros puntos pueden recubrir a cualquier material (incluso al Keuper).

El Cuaternario comprende a los aluviales, glaciares, derrubios de ladera y travertinos, como los localizados al norte de las Parras de Martín o en Palomar de Arroyos.

5.3.1.2. Tectónica

Toda la subzona occidental de Teruel ha sido afectada por la Tectorogénesis Hercínica, las epirogenésis del Secundario y principios del Terciario y la Tectorogénesis del Terciario. No se hablará aquí sobre la Tectorogénesis Hercínica pues no afecta para nada a los terrenos productivos que interesan. La sedimentación de éstos, sin embargo, ha venido influida por los movimientos

epirogénicos neokimericos, del final del Jurásico y Aptiense, que provocaron la subdivisión de la cuenca en cubetas, separadas unas de otras por los umbrales episódicamente emergidos de Ejulve, Montalbán, Montoro de Mezquita, y la deposición de sedimentos continentales en Facies Weald.

Al final del Aptiense se producen nuevas pulsaciones correspondientes a la fase Astúrica que dan lugar a una emersión generalizada de la región, con depósitos de tipo continental (Facies Utrillas). Tras la transgresión del Braconiense-Cenomaniense, se inician, en el Senonense superior, movimientos verticales que llevan a una emersión del dominio ibérico, acentuándose la epirogénesis durante los comienzos del Terciario.

A continuación sobreviene la tectorogénesis terciaria, responsable de las actuales estructuras de la cuenca. El estilo de esta subzona occidental es el característico de una cobertera que se despega a nivel del horizonte plástico infrayacente, que en este caso es el Trías (Muschelkalk medio y Keuper). El gradiente de gravedad causante del despegue tiene una componente norte de la parte central de la Cuenca (área de mayor desarrollo de la formación y, por tanto, de las capas de carbón). La edad de estos movimientos corresponde al Oligoceno inferior y medio. Con posterioridad a la orogenia alpina y hasta la actualidad, aparece una etapa de distensión que da lugar a fracturas, bien paralelas a los cabalgamientos, bien cortándolos más o menos perpendicularmente. Los territorios de mayor complejidad tectónica en el área son los septentrionales, disminuyendo ésta hacia el sur.

5.3.1.3. Geomorfología

Las formas más características de los relieves sobresalientes en esta área son las de tipo estructural, como la Muela de Montalbán, la Sierra de San Just, la Muela Carbonera, etc. Los principales relieves, en forma de mesetas, son defendidos por

materiales cretácicos resistentes en la parte alta o superior, frente a la intensa denudación producida sobre los materiales menos resistentes (Facies Utrillas).

Existen pocos ejemplos de formas de acumulación recientes, pudiendo citarse sólo los glaciares situados al pie de los resaltes de San Just y Muela Carbonera junto con algunos derrubios de ladera y pequeños restos de terrazas en el Río Las Parras y en el Río Mena.

5.3.2. Clima

El clima del área de Utrillas puede estudiarse a partir de los datos de las estaciones de Montalbán, Aliaga, Cuevas de Almudén, Palomar de Arroyos y Portalrrubio. Montalbán es la más cercana a los terrenos restaurados por MFUSA, pero está situada a unos doscientos metros menos de cota, y separada por un accidente geográfico bastante neto, formado por el encadenamiento de El Cabezudo y la Muela de Montalbán. Posiblemente, a la hora de tomar una referencia más clara para establecer las características climáticas de la zona de trabajo de Utrillas sea mejor elegir Palomar de Arroyos. Cuevas de Almudén y Aliaga pueden representar mejor el clima de las parameras situadas al sur, detrás de la Sierra de San Just, que será previsiblemente algo más frío y continental que en las minas de Utrillas. Portalrrubio, por su proximidad, puede servir para caracterizar la zona de trabajo de la Corta Santa Lucía.

El clima es **continental** en todas las estaciones según Gorczynski, aunque según los criterios de Kerner en Montalbán sería **semimarítimo**, lo que anuncia posiblemente una primera diferenciación ligada a la separación geográfica antes mencionada. En Montalbán el periodo frío es de seis meses, con heladas posibles entre octubre y abril, mientras que en Aliaga las heladas son posibles entre octubre y mayo, con un periodo frío de ocho meses.

En todas las estaciones no existe periodo cálido, a excepción de Montalbán en donde éste se extiende a julio y agosto.

En las Tablas 5.11., 5.12., 5.13., 5.14. y 5.15. se muestran los datos de temperaturas medias mensuales disponibles de dichas estaciones. De la simple observación de estos datos medios se deduce que Montalbán es bastante más cálido que el resto, especialmente en los meses de invierno.

Tabla 5.11. Temperaturas en la estación de Montalbán.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
tm	7'2	7'3	9'1	11'8	16'1	20'1	23'7	23'3	21'8	15'6	10'2	6'5	14'3

Tabla 5.12. Temperaturas en la estación de Aliaga.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
tm	1'2	2'1	4'0	6'2	11'5	15'5	17'5	19'0	17'4	10'2	4'9	1'9	9'3

Tabla 5.13. Temperaturas en la estación de Cuevas de Almodén.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
tm	1'1	1'7	5'0	7'0	11'5	15'6	19'3	19'1	15'9	9'6	4'5	1'6	9'3

Tabla 5.14. Temperaturas en la estación de Palomar de Arroyos.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
tm	1'5	2'2	5'5	7'5	12'0	16'0	19'7	19'5	16'3	10'1	5'0	2'1	9'8

Tabla 5.15. Temperaturas en la estación de Portalrrubio.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
tm	1'6	2'3	5'6	7'6	12'1	16'1	19'7	19'5	16'4	10'2	5'1	2'0	9'9

La precipitación anual en todo el área oscilará entre los 500 y 600 mm. La estación más seca es Montalbán (con 486 mm) y la más húmeda, Portalrrubio (592 mm.)

El clima en todo el área ha de ser predominantemente **Seco**, aunque en la estación de Portalrrubio sería ya **Subhúmedo**, por superarse los 550 mm de precipitación anual. Atendiendo a los criterios de De Martonne, gran parte del área debe considerarse **Subhúmeda**, pues lo son todas las estaciones a excepción de Montalbán que se sitúa en el límite con el tipo **Mediterráneo semiárido**.

La estación más húmeda es el otoño en todas las estaciones salvo en Portalrrubio, donde la estación más húmeda es la primavera, casi igualada con el otoño. La estación más seca en todos los observatorios es el invierno, aunque en Portalrrubio el valor de precipitación es sólo un poco superior al del verano. La distribución de la precipitación a lo largo del año es relativamente favorable, no existiendo ningún valor mensual inferior a 20 mm en ningún observatorio.

Los datos de precipitación mensual y anual, así como los valores de evapotranspiración potencial y los resultados de los balances hídricos se muestran en las **Tablas 5.16., 5.17., 5.18. y 5.19.**

La ETP anual alcanza los 870 mm en Montalbán, mientras que en el resto de observatorios ronda los 670 ó 680 mm.

De la observación de los balances hídricos se deduce que la falta de agua es muy superior en Montalbán que en el resto de estaciones, con un total de cuatro meses secos ($F > 50\text{mm}$) y un periodo seco que se extiende desde junio a octubre. En el resto, el periodo seco se extiende a tres meses estando más o menos centrado en agosto. La falta total anual se acerca a 200 mm en estas estaciones, mientras que en Montalbán llega a 385mm.

Tabla 5.16. Balance hídrico (método directo) con ETP según Thornthwaite de la estación de Montalbán

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	55,4	37,8	37,2	21,2	38,1	27,5	37,7	55,3	57,4	32,6	34,1	51,3	485,6
ETP	64,9	28,2	13,2	16,4	16,5	29,5	48,3	89,4	128,0	168,1	153,3	113,8	869,6
P-ETP	-9,5	9,6	24,0	4,8	21,6	-2,0	-10,6	-34,1	-70,6	-135,5	-119,2	-62,5	-384,0
PPA	442,0						10,6	44,7	115,3	250,8	370,0	432,5	
R	0	9,6	33,6	38,4	60,0	58,0	47,4	13,3	0	0	0	0	
VR	0	9,6	24,0	4,8	21,6	-2,0	-10,6	-34,1	-13,3	0	0	0	
ETA	55,4	28,2	13,2	16,4	16,5	29,5	48,3	89,4	70,7	32,6	34,1	51,3	485,6
F	9,5								57,3	135,5	119,2	62,5	384,0
Ex													
D													

Tabla 5.17. Balance hídrico (método directo) con ETP según Thornthwaite de la estación de Palomar de Arroyos

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	72,8	56,2	37,2	33,1	33,2	33,2	43,0	56,2	61,0	34,9	27,2	53,1	541,1
ETP	90,5	47,4	17,6	6,2	4,3	6,7	24,8	38,5	75,7	107,3	138,3	128,1	685,4
P-ETP	-17,7	8,8	19,6	26,9	28,9	26,5	18,2	17,7	-14,7	-72,4	-111,1	-75,0	-144,3
PPA	290,9								14,7	87,1	198,2	273,2	
R	0	8,8	28,4	55,3	84,2	100	100	100	85,3	12,9	0	0	
VR	0	8,8	19,6	26,9	28,9	15,8	0	0	-14,7	-72,4	-12,9	0	
ETA	72,8	47,4	17,6	6,2	4,3	6,7	24,8	38,5	75,7	107,3	40,1	53,1	494,5
F	17,7										98,2	75,0	190,9
Ex						10,7	18,2	17,7					46,6
D						5,35	11,8	14,7					

Tabla 5. 18. Balance hídrico (método directo) con ETP según Thornthwaite de la estación de Cuevas de Almadén.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	78,5	58,5	28,6	32,7	23,4	31,4	37,9	56,7	60,2	38,1	26,6	47,8	520,4
ETP	46,1	16,5	4,9	3,3	5,5	23,4	37,1	73,8	105,7	136,0	125,9	89,1	667,3
P-ETP	32,4	42,0	23,7	29,4	17,9	8,0	0,8	-17,1	-45,5	-97,9	-99,3	-41,3	-146,9
PPA								17,1	62,6	160,5	259,8	301,1	
R	32,4	74,4	98,1	100	100	100	100	82,9	37,4	0	0	0	
VR	32,4	42,0	23,7	1,9	0	0	0	-17,1	-45,5	-37,4	0	0	
ETA	46,1	16,5	4,9	3,3	5,5	23,4	37,1	73,8	105,7	75,5	26,6	47,8	466,2
F										60,5	99,3	41,3	201,1
Ex				27,5	17,9	8,0	0,8						54,2
D				13,8	15,8	11,9	6,4						

Tabla 5.19. Balance hídrico (método directo) con ETP según Thornthwaite de la estación de Portalrrubio.

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	52,2	43,1	54,6	44,1	40,1	45,6	44,0	68,9	59,2	47,4	34,2	58,4	591,8
ETP	47,7	17,9	6,1	4,6	7,0	25,1	38,9	76,1	107,8	138,2	127,9	91,0	688,3
P-ETP	4,5	25,2	48,5	39,5	33,1	20,5	5,1	-7,2	-48,6	-90,8	-93,7	-32,6	-96,5
PPA								7,2	55,8	146,6	240,3	272,9	
R	4,5	29,7	78,2	100	100	100	100	92,8	44,2	0	0	0	
VR	4,5	25,2	48,5	21,8	0	0	0	-7,2	-48,6	-44,2	0	0	
ETA	47,7	17,9	6,1	4,6	7,0	25,1	38,9	76,1	107,8	91,6	34,2	58,4	515,4
F										46,6	93,7	32,6	172,9
Ex				17,7	33,1	20,5	5,1						76,4
D				8,9	21,0	20,7	12,9						

Según las consideraciones de Thorthwaite, el clima de Montalbán es de tipo **DB₃da'**, es decir, Semiárido, Mesotérmico tercero, con exceso de agua invernal pequeño o nulo y baja concentración estival de la eficacia térmica. En el resto de estaciones, el clima puede clasificarse como **C₁B₁da'**, o sea: Seco subhúmedo, Mesotérmico primero, con exceso de agua invernal pequeño o nulo y baja concentración estival de la eficacia térmica. Posiblemente, esta calificación se ajuste bien a todas las zonas de trabajo.

5.3.3. Cobertura vegetal

Desde el punto de vista biogeográfico, al área de Utrillas se sitúa en la Región Mediterránea, predominantemente en el piso Supramediterráneo, y posee un ombroclima mayoritariamente Seco, aunque puede alcanzarse el ombroclima Subhúmedo en las cotas mayores. Ocupa territorios pertenecientes a las series de vegetación:

- Serie supra-mesomediterránea catalano-maestrazgo-aragonesa del quejigo (*Quercus faginea*).
- Serie supramediterránea castellano-maestrazgo-manchea basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*).
- Serie supramediterránea maestrazgo-ibérico-alcarreña de la sabina albar (*Juniperus thurifera*).

La serie de la encina ocupa buena parte de los terrenos de los municipios de Pancrudo, Utrillas y Escucha. La encina (*Quercus rotundifolia*) sería el árbol dominante, acompañada de la sabina albar (*Juniperus thurifera*) y, esporádicamente, *Crataegus monogyna*, *Rosa agrestis*, *Rosa micrantha*, *Genista scorpius*, etc. Esta serie se ve sustituida por la serie mesomediterránea de la encina en las partes bajas de la cara norte de la Muela de Montalbán. El mejor ejemplo de encinar en aceptable estado de conservación se observa en la ladera

sur vertiente al Barranco de Cocharro, cabecera del Río Mena, ocupando unas trescientas hectáreas.

Los quejigales, de los que se conservan algunos buenos ejemplos en zonas umbrosas y elevadas de la Sierra de San Just, incluyen a *Quercus faginea*, *Rosa agrestis*, *Berberis hispanica*, etc.

Los sabinares son ecosistemas relictos y resistentes, asociados a climas continentales de los que muchas veces han sido desplazados por los encinares supramediterráneos, quedando en las posiciones más rupestres y más frías de las altas parameras circundantes a las zonas de trabajo. Incluyen a *Juniperus thurifera*, *Juniperus hemisphaerica*, *Berberis hispanica*, *Rosa agrestis*, etc.

En todo el área, las transformaciones de la vegetación original han llevado a un actual predominio de los pastizales y lastonares (*Festuca hystrix*, *Dactylis hispanica*, *Koeleria vallesiana*) con inclusión de especies de tomillar (*Thimus vulgaris*, *Thimus leptophyllus*) y de matorral como la aliaga (*Genista scorpius*) o plantas propias de erizales como *Erinacea anthyllis* y *Genista pumila*. A partes iguales, también son importantes las superficies dedicadas a barbecho y cultivos herbáceos de secano junto con los terrenos forestales de secano.

Destacan también las grandes superficies degradadas por la Corta Santa Lucía, sus escombreras, balsas e instalaciones, situadas en Cuevas de Portalrrubio, la escombrera de Murciélago (Utrillas) y la escombrera del Valle de las Cenizas (Escucha), junto con las importantes superficies en proceso de recuperación de Minas y Ferrocarriles de Utrillas, que mayoritariamente se encuentran en estado de pastizal, barbecho o cultivo de cereal en secano.

5.3.4. Suelos

El régimen térmico de las estaciones climatológicas estudiadas es en general **Mésico**, por estar t_s comprendida entre 8 y 15°C, con diferencia de más de 5°C entre el verano y el invierno.

En función de la textura y espesor de los suelos, en este área es posible que concurren las circunstancias para que se den los edafoclimas **Arídico** y **Xérico**. El primero de ellos aparecerá cuando la franja más empleada por las raíces dentro del suelo esté seca totalmente más de la mitad del tiempo acumulado en el que la temperatura del suelo supere los 5° C, sin estar total o parcialmente húmeda noventa días o más cuando la temperatura del suelo supere 8° C. El segundo aparecerá cuando esa sección preferentemente explorada por las raíces permanezca totalmente húmeda por lo menos 45 días consecutivos durante los cuatro meses siguientes al solsticio de invierno.

Los tipos de aridisoles que intuitivamente pueden ser más comunes en el área de Utrillas serán Typic y Lithic Calciorthid, con presencia de horizonte cálcico, y Typic y Lithic Torriorthent, sin horizontes distintivos de ningún grado de evolución. La iluviación y acumulación profunda de carbonatos secundarios, a la que alude la denominación de los Calciorthid, puede puntualmente ser de tal naturaleza que se hayan formado costras calizas, en cuyo caso es posible encontrar Typic y Xerollic Paleorthids.

Los suelos de edafoclima xérico en este área podrán variar entre Typic y Lithic Xerorthent hasta Calcic Xerochrept.

También, puntualmente, muy ligados al tipo de material de origen se pueden encontrar Salorthids, con presencia de sales, y Torripsaments, asociados a las

arenas del Albense. Por último, ligados a los cauces de arroyos, pueden darse Typic Torrifluent y Typic Xerofluent.

6. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE TRABAJO.

6.1. ÁREA DE VALDESAMARIO

El Río Valdesamario, llamado Arroyo Valdesamario en el tramo situado aguas arriba de un pequeño embalse cercano a Murias de Ponjos, discurre sensiblemente de oeste a este. Tanto él como algunos de sus tributarios han sido gravemente afectados por diversas explotaciones mineras de carbón a cielo abierto y de interior. Hasta ocho cielos abiertos y sus escombreras se ubican mayoritariamente dentro de la cuenca vertiente del Río Valdesamario. Todos ellos fueron documentados en el “Estudio de Recuperación Ambiental de la Zona Minera Tremor-Valdesamario (León)” (ITGE; 1996).

Desde el año 1995 hasta el año 2001 se han realizado numerosas operaciones de remodelado, así como plantaciones de pinos silvestres y chopos, en la práctica totalidad de las áreas alteradas, con resultados variables pero siempre pobres. Producto de la revisión de la información existente, y después de la primera visita de campo, se decidió escoger las dos zonas de trabajo que se describen a continuación y de las que pueden verse fotografías en el **Anexo III**:

- ***ZONA DE VALDESAMARIO***

Situada íntegramente en el término municipal de Valdesamario, se trata de una serie de huecos mineros alineados de oeste a este. Se sitúa aproximadamente centrada sobre el punto de coordenadas X: 256.500 e Y: 4.734.800, abarcando cotas que varían entre los 1040 y 1140 m.

Se accede desde la carretera CV-128/21 procedente de Valdesamario en dirección a Tremor por una pista en buen estado que sale a unos dos kilómetros de la población. El extremo oriental del área alterada se encuentra a algo menos de un kilómetro en línea recta del centro de la población de Valdesamario.

En ITGE (1997) se describía como un conjunto caótico de huecos y escombreras, siendo la más occidental producto de labores de interior y a cielo abierto. Esta última quedaba separada del resto por el cauce del Arroyo de Valdecubiella, el cual estaba muy afectado por los vertidos. Parece ser que fueron explotadas las denominadas capas 3 y 4 del paquete Coberteras. Entre el año 1999 y 2000 se remodelaron las escombreras, intentando rellenar en lo posible los huecos, y se limpió y canalizó el arroyo. El resultado es un conjunto de escombreras unidas entre sí por líneas de formas suaves, salvo en las zonas vertientes hacia la carretera, y restos de los antiguos frentes que dejan ver cuarcitas ordovícicas con buzamiento de 50 a 70° al sur.

La superficie total alterada puede estimarse en unas 20 ha, incluyendo restos de los antiguos frentes de explotación, accesos, vertidos de escombros hacia la carretera y escombreras interiores.

La presencia de alguna planta herbácea y arbustiva es esporádica. El aspecto de los estériles es de color negruzco. La vegetación del entorno es mayoritariamente un brezal con presencia de bosquetes de robles. En los márgenes del Río Valdesamario, a su paso vertiente debajo, se dan sebes, con melojos y chopos no autóctonos, y un bosque de galería mixto.

- ***ZONA DE LA CORTA DE LAS RANAS***

Situada igualmente en el término municipal de Valdesamario, se trata de una pequeña corta minera situada en la base de la ladera de orientación norte que

desciende desde las elevaciones de Teso y Ozoso con unos 20 a 25° de pendiente. Se sitúa aproximadamente centrada sobre el punto de coordenadas X: 255.250 e Y: 4.734.800, abarcando cotas que varían entre los 1070 y 1110 m aproximadamente. La superficie total alterada puede estimarse en unas 7 ha.

Se accede desde la carretera CV-128/21 procedente de Valdesamario en dirección a Tremor, tomando una pista que cruza al río por un viejo puente, a unos tres kilómetros de la población.

En 1990 se iniciaban las labores de apertura del hueco. Parece ser que fueron explotadas las denominadas capas 3 y 4 del paquete Coberteras. En el año 1995 se describía como un hueco parcialmente relleno de estériles con restitución topográfica en la zona norte de la escombrera y vertidos de tierras es bastantes áreas de la escombrera. El fondo de corta presenta una pequeña laguna en la que abundan las ranas. Actualmente se encuentran remodelados todos los taludes de la escombrera. Durante el periodo 96-97 se realizó una cuneta perimetral sobre el frente, vertiendo abundante tierra sobre el mismo que, junto con los propios derrubios, ha tendido a acumularse en la base. El frente excava areniscas y cuarcitas ordovícicas que buzan 40-45° sur a contrapendiente. El frente tiene una inclinación de unos sesenta grados y unos treinta metros de altura. También se plantaron pinos y chopos que se han desarrollado muy poco.

Llama la atención la presencia de abundantes matorrales de leguminosas (*Cytisus multiflorus*, *Genista florida*, y *Genistella tridentata*) en todas aquellas zonas cubiertas con tierras o estériles parduscos, frente a la escasez de vegetación de las superficies donde quedan expuestos estériles negros. La vegetación del entorno es mayoritariamente un robledal bastante bien conservado. En los márgenes del Río Valdesamario, a su paso en las inmediaciones de la corta, predomina un bosque de galería mixto.

6.2 ÁREA DE VILLABLINO

En las proximidades de Piedrafita de Babia y de Villar de Santiago se encuentran las zonas de trabajo pertenecientes a la cuenca de Villablino que han sido seleccionadas. Buena parte de las explotaciones mineras de este área se encuentran situadas, a diversas cotas, en las laderas de un macizo montañoso que culmina en el denominado Cuerno de la Mora. Actualmente sólo existe actividad en las explotaciones del Grupo Carrasconte (Minero–Siderúrgica de Ponferrada), que se sitúan mayoritariamente en posiciones orientadas al norte en el mencionado macizo montañoso.

Algunas explotaciones están en proceso de restauración después de haber sido efectuadas labores tales como: relleno parcial de huecos con estériles de mina; aporte y extendido de tierras, obtenidas en desmontes realizados en frentes activos, y tratamientos de hidrosiembra para la diseminación de semillas de pratenses y abonos. Después de esto, los terrenos quedan normalmente cubiertos de prados más o menos densos y uniformes, durante dos, tres o cuatro años, hasta que comienza una penetración espontánea de matorral de leguminosas. Uno de estos huecos en proceso de recuperación (El Salguero) fue elegido como zona de trabajo para el estudio tanto de características superficiales de los suelos mineros como de perfiles.

Además, existen numerosas explotaciones a cielo abierto abandonadas situadas al sudeste, sur y sudoeste del mencionado Cuerno de La Mora. La mayoría se desarrollaron sin ninguna planificación y han quedado como huecos irregulares, parcialmente rellenos a veces de derrubios, materiales desprendidos de los frentes o estériles de explotación. Hay puntos que actualmente funcionan como vertederos incontrolados de basuras. Toda la ladera sur quedó salpicada de escombreras formadas por vertido libre, y alguna se instaló sobre el Campo de La Mora. Aquí se seleccionaron una serie de escombreras dispersas para el estudio

de las características superficiales, estando todas incluidas en una franja cuyos límites occidental y oriental son respectivamente las explotaciones de Miranda y Minas de La Mora. De las zonas de trabajo, que se describen a continuación, se muestran algunas fotografías en el **Anexo III**.

- ***ZONA DE MIRANDA-MINAS DE LA MORA***

La zona se puede acceder desde Villar de Santiago por un camino local tras recorrer algo más de 2 km. Sin embargo, normalmente resultará más cómodo si se parte de Villablino o de Piedrafita de Babia, tomando el desvío señalizando que lleva al Santuario de Nuestra Señora de Carrasconte y que comienza en la carretera LE-623, a unos novecientos m de Piedrafita de Babia. Después de dejar a un lado el santuario, el camino continúa como pista asfaltada primero, y de tierra después, rodeando todo el macizo de La Mora y permitiendo la visualización y el acercamiento a los numerosos huecos y escombreras existentes.

Se seleccionaron cinco escombreras formadas todas ellas por vertido libre de materiales heterométricos, negruzcos, procedentes de capas de lutitas y areniscas. Los taludes sólo presentan vegetación esporádica debido a las fuentes pendientes (alrededor de 37°). Las escombreras se centran aproximadamente sobre los puntos de coordenadas UTM:

- X: 726.100, Y: 4.756.250
- X: 727.800, Y: 4.755.940
- X: 727.980, Y: 4.755.750
- X: 727.990, Y: 4.755.990
- X: 727.850, Y: 4.756.250

Salvo la más occidental , que pertenece a Villablino, el resto se sitúan en término municipal de Cabrillanes. Se asientan a cotas que oscilan entre los 1410 y 1450 m.

La superficie ocupada por la mayor de ellas (la más occidental) es de unas cuatro hectáreas y el resto ocupan aproximadamente 0'9, 1'9, 2'9 y 0'65 ha en planta.

Las pendientes naturales del terreno de las laderas del macizo de La Mora oscilan normalmente entre los 7 y los 12°.

En el entorno cercano la vegetación de las laderas y cumbres varía entre el pastizal mixto leñoso y el matorral mixto de tipo xesteira. En el campo de La Mora dominan prados y pastizales higrófilos de fondo de valle.

Las superficies de escombrera más cubiertas de vegetación pueden incluir especies herbáceas como *Rumex acetosella*, *Lolium perenne*, *Festuca rubra*, *Poa bulbosa* o *Deschampsia flexuosa*; arbustos como *Genistella tridentata* y *Genista polygaliphylla*, y árboles como *Salix cantabrica* y *Betula celtiberica*. Estos últimos colonizan, a veces de forma espectacular, los montones de estériles situados en el límite de las plataformas de vertido que no llegaron a ser empujados hacia el talud, y que se comportan como un substrato no sometido a compactación.

- **ZONA DE MINAS DE CARRASCONTE (EL SALGUERO)**

La zona de Minas de Carrasconte (El Salguero) se sitúa a unos tres kilómetros de la población de Piedrafita de Babia, dentro del termino municipal de Cabrillanes. Se accede a ella desde la carretera LE-623, tomando el camino del Santuario de Nuestra Señora de Carrasconte. Recorridos unos dos kilómetros, se sale por la derecha para penetrar en terrenos de la empresa Minero-Siderúrgica de Ponferrada. Una pista interior lleva hasta la posición más occidental, donde se

está efectuando el relleno de un hueco explotado a finales de los años noventa. Desde dicha pista también se accede a la zona de estudio. La zona de trabajo está aproximadamente centrada sobre el punto de coordenadas X: 727.100, Y: 4.758.750.

Es un hueco de explotación no completamente relleno, que deja una zona deprimida, encharcadiza, descentrada hacia el norte. Según palabras de responsables de la empresa, la superficie del terreno se recubrió con tierras y se hidrosembró el año anterior al inicio del proyecto, y se esperaba que el matorral de leguminosas se fuera introduciendo espontáneamente durante el año 2002.

Sin embargo, durante la realización de los trabajos de campo, toda la zona de estudio estuvo más o menos cubierta por una pradera mixta dominada por gramíneas, con presencia de leguminosas herbáceas y, ocasionalmente de especies pertenecientes a otras familias.

El buzamiento de las capas de carbón explotadas era de 40 a 50° con rumbo E-W a contrapendiente de la ladera. La superficie total ocupada por esta zona de trabajo es de unas 25 ha.

Los límites enrasan con el terreno natural a cotas de 1200 y 1290 m. Originalmente la pendiente del terreno oscilaba entre 11 y 16 °, con caída hacia el cauce del Sil. El límite norte es próximo al inicio de un marcado cambio de pendiente natural debido al encajamiento del río Sil. La vegetación en esta parte es un robledal denso. Originalmente toda la zona afectada debió ser mayoritariamente un robledal. El extremo del hueco más occidental esta en contacto con el extraordinario robledal mixto de *Quercus pyrenaica* y *Q. petraea* que se extiende a lo largo de varios kilómetros por las laderas orientadas al noroeste y vertientes al río, situadas enfrente de Villaseca de Laciana.

6.3. ÁREA DE UTRILLAS

Al oeste y sur del eje formado por las poblaciones de Utrillas y Escucha se encuentran las explotaciones a cargo de la empresa Minas y Ferrocarriles de Utrillas S.A., todas ellas en proceso más o menos avanzado de rehabilitación. El conjunto de todas ellas (Murciélago, Sabina-Umbrión, Yermegada, Vinagre, Moral y Alemanes) es un escenario fabuloso para el estudio de procesos de restauración en medio mediterráneo seco y de fuerte continentalidad. En una de las mencionadas explotaciones se delimitó una superficie arbitraria para su estudio, denominándola zona de Utrillas. Entre los vecinos términos municipales de Pancrudo y Martín del Río se extienden los terrenos alterados asociados a la Corta de Sta. Lucia, donde se seleccionaron escombreras para el estudio de muestras superficiales. En el **Anexo III** pueden verse fotografías representativas de ambas zonas.

- ***ZONA DE LA CORTA SANTA LUCÍA***

La explotación denominada Corta de Santa Lucia se sitúa al pie de la denominada Sierra Carbonera, sobre lo que fueron antiguas explotaciones de interior como Mina Flor, Mina Carmencita y Mina Salomé. El conjunto de superficies alteradas por dicha explotación alcanza un total del orden de 100 ha, incluyendo hueco, escombreras exteriores, balsas, instalaciones y superficies afectadas por residuos de lavadero y deposición de polvo. Se ven afectados también los cauces intermitentes del Barranco de Pérez y del Barranco de Calderón.

El conjunto es francamente desolador. Aunque se observa una incipiente colonización vegetal en las escombreras de exterior y, esporádicamente, en puntos del hueco y pistas, tanto por las elevadas pendientes, como por la ruptura

de formas y la toxicidad de los estériles, su recuperación ambiental hasta un nivel mínimamente aceptable sería muy problemática. Las capas de carbón presentan aquí un buzamiento de entre 30 y 45° al sur.

La población más cercana es Cuevas de Portalrubio situada a unos tres kilómetros del complejo principal de instalaciones. Se accede a la corta por una pista minera en buen estado que comienza en las afueras de Portalrubio a partir de la carretera TE-222, la cual une Vivel del Río Martín y Perales de Alfambra. Desde Utrillas conviene ir por la N-410 hasta Montalbán y desde aquí por la N-211 hasta Vivel del Río Martín.

Se seleccionaron dos escombreras situadas en el interior del hueco centradas sobre los puntos de coordenadas:

- X: 672.000, Y: 4.519.250
- X: 672.200, Y: 4.519.250

También se trabajó sobre una escombrera de residuos negros de lavadero centrada aproximadamente sobre el punto de coordenadas X: 671.000, Y: 4.519.300. La superficie que ocupa esta última es de 1 ha y la de las otras dos es de aproximadamente 2 ha cada una.

En todo el entorno inmediato dominan pastizales y lastonares (*Festuca hystrix*, *Dactylis hispanica*, *Koeleria vallesiana*) con inclusión de especies de tomillar (*Thimus vulgaris*, *Thimus leptophyllus*) y de matorral, como la aliaga (*Genista scorpius*), o plantas propias de los erizales como *Erinacea anthyllis* y *Genista pumila*. También son importantes las superficies dedicadas a barbecho y cultivos herbáceos de secano.

- **ZONA DE UTRILLAS (MFUSA)**

La zona que aquí se denomina Utrillas es una pequeña porción de toda la superficie explotada y recuperada por MFUSA, limitada a la antigua explotación llamada Sabina-Umbrión.

La morfología de los relieves artificiales en las superficies restauradas por MFUSA experimentó una notable evolución desde la explotación Murciélago, situada al norte de la zona estudiada, hasta los últimos cielos abiertos explotados como Vinagre y Alemanes, situados al sudeste. Inicialmente se perseguía como único objetivo prioritario la estabilidad geotécnica de las escombreras, que fueron construidas en forma de pirámide truncada con pendientes de 30° (en la fotografía A.III.17. de los anexos pueden apreciarse algunos taludes de la escombrera de Murciélago). Las formas diseñadas contemplando exclusivamente la estabilidad geotécnica se mostraron incapaces de albergar ecosistemas funcionales, debido a su escasa capacidad de retención de agua y a la intensa erosión superficial (MFUSA, 1998).

Como excepción, los taludes vertientes al Río Mena, que son los orientados al norte en Sabina-Umbrión están muy profusamente cubiertos de vegetación espontánea que incluye mayoritariamente genistas. Sorprendentemente, como ocurre en muchas escombreras visitadas en El Bierzo oriental, también abundan los chopos, incluso en puntos, bastante alejados del cauce. Esta colonización, que se produce sobre taludes de pendientes muy fuertes, se considera asociada a la posición en umbría, aunque pudieran intervenir también factores edáficos.

Posteriormente a su creación, algunos antiguos taludes de la explotación Sabina-Umbrión pudieron ser retocados en parte, y se incorporó al diseño de las nuevas formas la unidad cuenca de drenaje como elemento funcional básico en ésta y en las sucesivas explotaciones a cielo abierto. Los esfuerzos de planificación

necesarios para llevar a cabo el control de las aguas superficiales llevaron asociados, a su vez, la creación de taludes mucho más suaves, con formas de transición entre plataformas, laderas y depresiones mucho más acordes con las naturales.

La superficie total del conjunto de explotaciones de MFUSA, en los municipios de Utrillas y Escucha, alcanza un total de unas 480 ha, incluyendo Murciélago. Esta explotación, sin embargo, no está conectada con el resto por situarse al otro lado de las orillas del Río Mena. La zona de trabajo surge de una delimitación arbitraria dentro de la explotación Sabina-Umbrión, intentando que se vieran incluidas una serie de situaciones representativas de una toposecuencia sensiblemente orientada de norte a sur. Su superficie es de unas 22 ha.

Las tareas de rehabilitación se iniciaron en 1989-90. En las posiciones llanas se aportaron entre 40 y 60 cm de recubrimientos sobre los estériles carbonosos y en los taludes se aportó hasta un metro. Se procuró que los taludes no excedieran de 18-21° de pendiente. Los recubrimientos empleados variaron entre los denominados: arcillas de las formaciones Utrillas y Escucha, y limos y arenas muy finas de la formación Escucha. Se procedió a realizar laboreos en sentido perpendicular a las líneas de máxima pendiente, se abonó y se sembró una mezcla de: *Agropirum intermedium*, *Lolium perenne*, *Bromus catarticus*, *Festuca arundinacea*, *Medicago sativa*, *Onobrichys sativa* y *Melilotus officinalis*. Las zonas llanas son cultivadas todos los años para producción de cereal.

Los resultados han sido bastante variables y, en buena medida, son consecuencia de las características de los nuevos suelos, además de la orientación de los taludes. En el mejor de los casos, está establecida y es estable una formación herbácea densa. En esta zona de estudio se realizaron muestreos superficiales y descripción y toma de muestras de perfiles de suelos mineros.

7. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EN CAMPO Y EN LABORATORIO

7.1. PLANTEAMIENTOS BÁSICOS DEL ESTUDIO DE CAMPO

Se eligieron diferentes tipos de materiales para la toma de muestras. Sin entrar en ninguna clase de evaluación *a priori* de la capacidad para sostener vegetación de los materiales buscados –concepto de suelo definido en el punto 2–, si puede afirmarse que la selección estuvo orientada por la posibilidad de que pudieran ser descritos, al menos, de acuerdo con un concepto más técnico de suelo: material mineral fragmentado, compuesto de partículas -de muy variados tamaños-, más o menos móviles, que encierran una cantidad variable de agua, aire, materia orgánica y otras sustancias (Spangler & Handy, 1982).

A su vez, durante la elección de los materiales descritos y muestreados se hizo distinción entre las siguientes situaciones:

- Acopios temporales formados por materiales estériles arrancados durante las labores mineras y procedentes de recubrimientos y capas presumiblemente intercaladas o cercanas a las de carbón.
- Escombreras mineras en sentido clásico, independientemente de su situación respecto a huecos mineros, es decir, de interior o de exterior.
- Superficies en proceso de restauración, en las que se realizaron tareas más allá de la simple restitución topográfica o remodelación tales como: recubrimiento con materiales seleccionados (estériles o suelos nativos), abonados, siembras, plantaciones, etc.
- Suelos nativos o naturales.

7.1.1. Estudio de acopios temporales de estériles

El objetivo del estudio de estériles mineros y materiales de recubrimiento muestreados directamente de acopios temporales es probar la capacidad de los

métodos de laboratorio tradicionalmente empleados por la Ciencia del Suelo para evaluar estériles mineros brutos como “materia prima” a emplear en la construcción de suelos mineros funcionales.

El planteamiento básico a la hora de muestrear fue hacer distinción entre los estériles procedentes de capas cercanas o intercaladas entre las de carbón (negros y grises oscuros) frente a aquellos procedentes de capas superficiales y suelos nativos, los cuales poseen colores indicativos de un mayor grado de oxidación a simple vista. Como más adelante se irá comentando y demostrando, este criterio puede ser de gran utilidad a pesar de su simpleza. La descripción de los lugares de muestreo se expone a continuación.

En el Área de Valdesamario fue imposible encontrar acopios recientes de estériles mineros debido a que la minería se abandonó hace unos años en todo el valle. Ante este inconveniente, se consideró que no tenía sentido la búsqueda de algún acopio que, aunque en su día estuviera destinado a ser provisional, hubiera quedado expuesto a la intemperie durante años en alguna explotación. De algún modo se pretende ver en que medida puede ser útil evaluar el potencial de diversos tipos de estériles **frescos** que hayan sido reservados para rellenos y recubrimiento de superficies explotadas, contando con que se conoce su diferente origen o que pueden considerarse distintos a primera vista.

En la zona de Carrasconte (El Salguero) se encontró que una superficie explanada, situada en un margen de la pista de acceso a la zona de estudio, era utilizada para el acopio de estériles con intención de usarlos como últimas capas en procesos de rehabilitación. A simple vista se distinguieron dos. Uno de ellos reunía materiales de color negro y el otro materiales terrosos pardo amarillentos con fragmentos rocosos y presencia de restos de raíces gruesas y tocones. Aparentemente el segundo consistía en suelos y capas superficiales rotas durante el arranque. Al acceder a la parte alta del acopio pardo se reconocieron algunas

diferencias y en ciertos puntos parecía que un talud de vertido se superponía a otro previo. Daba la sensación de que, aun estando unidos en uno, en realidad podían ser dos, procedentes de dos operaciones distintas de desmonte en lugares diferentes, aunque siempre cercanos a ese lugar. Por esta razón se marcó imaginariamente una línea de división y se consideró como si fueran dos.

En junio de 2001 todavía se estaba explotando en Alemanes, al sudeste de la zona seleccionada en la cuenca de Utrillas. Actualmente esa explotación está cerrada, y se ha procedido al relleno de huecos y a la mejora del substrato en taludes de frentes con aporte de tierras; se han establecido también los drenajes superficiales, y se han realizado abonados y siembras. Antes de que se realizaran estas operaciones se localizaron dos acopios en las inmediaciones del hueco de explotación que reunían respectivamente estériles grises oscuros y tierras con estériles pardos.

Si se tratara de evaluar la capacidad como medio que sirva de soporte para la vegetación de suelos o capas geológicas en su situación original, sería pertinente la toma de muestras por horizontes en calicatas abiertas o en frentes de explotación. Estas situaciones permiten un conocimiento mejor y una más segura toma de decisiones. Sin embargo, al tratarse en todos los casos de materiales arrancados siguiendo una dirección sobre un plano paralelo a la horizonación o estratificación, se ha producido mezcla de horizontes o capas. En un caso, se trata de horizontes edáficos empujados y revueltos en el empuje por una hoja de bulldozer clavada y que se mueve en una franja paralela a la superficie del suelo. En el otro, son capas limpiadas normalmente con retroexcavadora hasta dejar visible suficiente superficie de techo o muro de una capa de carbón después de haber explotado lo accesible de la anterior capa. En ambos casos, posteriormente se produce la carga, transporte y descarga en el acopio. El resultado es tal que lo máximo que se puede esperar conocer de los materiales acopiados son sus características medias.

Si se asume que el objetivo es obtener información sobre las características medias, el muestreo puede plantearse según el modelo de Hageman & Briggs (2000), el cual fue diseñado para la caracterización de escombreras abandonadas. Este modelo se basa en el propuesto por Smith *et al.* (2000), los cuales proponen la toma de muestras compuestas por treinta o más incrementos, obtenidas de los 15 primeros centímetros y con descarte de los elementos mayores de 2 mm por secado y cribado en campo.

De acuerdo con Roberts *et al.* (1988), se asume que la fracción menor de 2 mm gobierna la química de la solución del suelo, incluso si sólo representa un porcentaje de 21 a 35% del peso. Sin embargo, en este caso, la recogida de elementos gruesos y su observación puede aportar información sobre el origen de los acopios, por lo que se consideró interesante no separarlos. Además el secado al aire y cribado podía complicar y retardar el proceso de toma de muestras, especialmente con tiempo lluvioso. Conviene comentar que por la dureza de los trabajos de campo se hizo necesario huir de los meses más secos –y calurosos en nuestros climas–, contando con la seguridad de que durante los días lluviosos sí se podía adelantar con los muestreos más sencillos, como en este caso.

La idea de dirigir el muestro de los primeros 15 cm proviene originalmente de la expectativa de que esta capa superficial más alterada de las escombreras es la que tiene mayor influencia sobre la escorrentía superficial en terrenos mineros (Smith *et al.* 2000). Dada la mezcla anteriormente comentada y la provisionalidad de los acopios, se pensó que los primeros 15 cm podían ser tan representativos del conjunto de material como las muestras tomadas a cualquier otra profundidad. De hecho, se admite que los cambios más frecuentes en acopios de tierra vegetal se derivan de la modificación de las condiciones redox que ocurren a profundidades mayores, produciéndose cambios físicos evidentes como el cambio de color a gris oscuro y el olor característico de condiciones anaerobias. Los cambios físicos no aparentes incluyen reducción de la estabilidad de agregados y de la resistencia a la compactación, incremento de densidad aparente y cambios en la distribución de

tamaños de poro y micro estructura. Estos cambios se acompañan de cambios químicos, particularmente en las formas de N presentes y en el contenido de nutrientes disponibles, la reducción del contenido en materia orgánica y la subida del pH, asociada al aumento de NH_4 . La atmósfera del suelo tiende a contener niveles crecientes de CO_2 , metano, etano y etileno, hasta niveles altos. Además, es posible que se produzcan cambios sobre la biología del suelo, incluyendo reducción en el potencial de infección de los hongos micorrizales y disminución de la biomasa y de la población de lombrices de tierra (Abdul-Kareem & Mc Rae, 1984). Según Mc Rae (1986), los cambios producidos en el suelo así almacenado son fácilmente revertidos cuando es de nuevo extendido.

Todo lo anteriormente comentado, unido a que se creyó conveniente instrumentalizar el proceso, llevó a fijar la profundidad de muestreo de 15 cm. El procedimiento seguido puede describirse como sigue:

- Los puntos de muestreo son treinta estaciones realizadas a lo largo de un recorrido aleatorio por la superficie del acopio.
- Cada incremento es el resultado de extraer lo que sea capaz de recoger una pala pequeña de jardinería clavándola a 15 cm de la superficie en la pared de un pocillo. Normalmente los elementos gruesos mayores se escapan al realizar el movimiento de sacar hacia arriba la pala, pero siempre se verán incluidos algunos.
- Todos los incrementos se vierten en bolsas de polietileno resistentes de 40x70 cm y se mezclan. Normalmente, con este procedimiento se obtienen muestras compuestas de entre cinco y diez kg de peso.

7.1.2. Estudio de escombreras

Se buscaron escombreras de estériles negruzcos, sin aporte de “tierras” en superficie, es decir, procedentes de la simple fragmentación de las rocas pertenecientes a capas geológicas cercanas al carbón.

En la zona de Valdesamario se seleccionaron seis escombreras remodeladas, pensando que la simple remodelación topográfica no modifica en gran medida las características edáficas, salvo por un cierto rejuvenecimiento, la disminución del grado de algunas pendientes y una fuerte compactación superficial. También puede producirse una alteración mecánica derivada del empleo de maquinaria pesada.

En Villablino se seleccionaron otras cinco escombreras formadas todas por vertido libre y con diferentes grado de colonización vegetal.

En Teruel hubo que inspeccionar diversos lugares situados fuera de la cuenca de Utrillas para encontrar escombreras sin recubrir con tierras. Estas se localizaron en la Corta Santa Lucía. Como ya se ha dicho, dos de ellas se sitúan en el enorme hueco de la explotación y la tercera es una pequeña escombrera aparentemente formada por residuos de lavadero.

Para la caracterización de las escombreras se siguió el trabajo de Stewart & Daniels (1992), los cuales emplean un procedimiento muy semejante al método anteriormente descrito (punto 7.1.1.), basado en los trabajos de Hageman & Briggs (2000). Stewart & Daniels estudiaron 27 escombreras de carbón en los estados de Virginia y Virginia Occidental muestreando sobre los 10 cm superficiales. Cada escombrera proporcionó una muestra compuesta por un número de submuestras indeterminado, tomadas al azar sobre las superficies transitables de las mismas. Se huyó de áreas quemadas, cárcavas, regueros, zonas de deposición y otras situaciones consideradas como no representativas, y se

descartaron los elementos gruesos mayores de 15 cm en el momento de la toma de muestras.

Básicamente el sistema que se ha seguido es el mismo, pero sin eliminar los elementos gruesos. Se puede describir como sigue:

- Los puntos de muestreo son treinta estaciones realizadas a lo largo de un recorrido aleatorio por la superficie transitable de la escombrera. Se huyó de puntos que presentaban rasgos no característicos frente al aspecto predominante en la superficie de la escombrera.
- Cada incremento es el resultado de extraer lo que sea capaz de recoger una pala pequeña de jardinería, clavándola a 10 cm de la superficie en la pared de un pocillo. Se procuró incluir los elementos gruesos que desbordaban al realizar el movimiento de sacar la pala hacia arriba.
- Todos los incrementos se introducen en bolsas de polietileno resistentes de 40x70 cm y se mezclan, obteniendo muestras de peso cercano a los 10 kg.

Como puede apreciarse, se consideró que la estimación del contenido en elementos gruesos es importante. En este tipo de suelos el contenido de los mismos desciende con el tiempo (Roberts et al. 1988) y podría ser interesante constatarlo en el futuro sobre las zonas estudiadas.

7.1.3. Superficies en proceso de restauración.

Se consideraron superficies en proceso de restauración las zonas de Utrillas, Carrasconte (El Salguero) y la Corta de las Ranas. En ellas se decidió aplicar un triple enfoque con objeto de obtener el máximo de información posible sobre las características de los suelos mineros en formación.

El estudio de los tipos de suelos naturales y su distribución a escalas detalladas debe apoyarse en la delimitación de unidades morfogenéticas o fisiográficas, las cuales se deducen habitualmente a partir de la foto-interpretación y el reconocimiento de campo. Las unidades morfogenéticas ofrecen gran cantidad de información sobre los suelos desde el momento en que reflejan condiciones de desarrollo o diferenciación edáfica y de interferencia humana. En los terrenos mineros alterados y en proceso de restauración no es posible hacer uso del estudio fisiográfico para obtener información sobre los suelos. Las formas, incluso si se asemejan a las formas naturales del terreno antes de la explotación minera, no reflejan condiciones de diferenciación de los suelos tan claras.

Sin embargo, suele ocurrir que los tratamientos de rehabilitación empleados estén condicionados por las pendientes, y la influencia del agua de escorrentía puede ser muy elevada mientras las superficies no están bien protegidas por la vegetación, generando procesos de erosión y deposición. A pesar de todo esto, parece lógico pensar que la influencia de más peso, a la hora de configurar el conjunto de características de un suelo minero, es la disposición de los estériles o de los suelos nativos en las capas más superficiales de la nueva superficie creada y las enmiendas realizadas. Cuando no se han realizado aportes de tierras y no ha transcurrido suficiente tiempo sólo puede esperarse encontrar una masa de rocas rotas durante el proceso minero, y que también son disgregadas gradualmente de modo diferente al verse liberadas de la presión y ser expuestas a los procesos de alteración. Su grado de meteorización depende pues, en un primer momento, de los procedimientos a los que son sometidas y, simultánea o inmediatamente después, se ven afectadas por los procesos de alteración naturales, cuya velocidad depende ya, fundamentalmente, de la textura, de la composición mineralógica y del clima (Ashby *et al.*, 1984).

Evidentemente, el resultado conseguido tiene reflejo en el tipo, porte y densidad de la vegetación, o en su total ausencia. Este aspecto, junto con los demás aspectos mencionados fue la base para la delimitación de subunidades o sectores

dentro de cada una de las zonas de estudio: pendiente, orientación, apariencia externa (color, pedregosidad, presencia de precipitados), y tipo y grado de cobertura vegetal. Las subunidades o sectores diferenciados en las zonas de trabajo se describen en el anexo A.I. En cada sector se realizaron una serie de trabajos encaminados a obtener tres tipos distintos de información sobre los suelos mineros en desarrollo:

- Caracterización edafológica superficial.
- Descripción y muestreo por capas u horizontes de, al menos, un perfil completo.
- Estudio de procesos de evolución edáfica en las capas más superficiales de los suelos.

La caracterización edafológica de la superficie de los suelos en los distintos sectores diferenciados visualmente se realizó a partir de muestras compuestas de varios incrementos muestrales en cada uno, de forma semejante a como se realizó para las escombreras (procedimiento descrito en el punto 7.1.2.).

La obtención de muestras compuestas en la capa de labor o en el horizonte superficial, haciendo uso de procedimientos estandarizados de obtención de las submuestras con diversos tipos de palas, o mediante el empleo de sondas, son muy empleados para establecer el estado nutricional del suelo y el nivel de materia orgánica en terrenos agrícolas.

Las recomendaciones que tradicionalmente se dan, y que hacen públicas numerosas agencias de extensión agraria en todo el mundo, parten de una primera consideración, en la que existe gran unanimidad: cada muestra compuesta ha de representar una unidad de terreno de características uniformes y que la hacen diferente de las demás unidades que pueden distinguirse en una finca o explotación agraria. La distinción de unidades se realiza con criterios semejantes a los empleados en este proyecto para diferenciar lo que se han

denominado sectores: pendiente, aspecto superficial del suelo, prácticas de cultivo, drenaje, etc. Sólo si algunas unidades resultan muy extensas en comparación con el resto se recomienda dividir las, en general, hasta que el tamaño de las subunidades resulta del mismo orden que las definidas según las premisas iniciales, o siempre que se supere un valor recomendado. Se huye de lindes y puntos poco representativos, como cárcavas o depresiones, a menos que se tenga especial interés en ellos.

Normalmente, también se recomienda formar cada muestra representativa de cada una de las divisiones del terreno juntando entre 15 y 30 submuestras de tamaño aproximadamente igual, y tomadas a lo largo de un transecto aleatorio o en los nudos de un retículo regular.

Puede verse que, si se fija en treinta el número de incrementos muestrales tomados por muestra representativa, además de cumplirse las recomendaciones corrientes, adecuadas a terrenos agrícolas, se observa lo prescrito por Hageman & Briggs (2000) y Smith *et al.* (2000) para la caracterización de escombreras mineras. Esto es lo que se procuró hacer en todos los sectores de estudio delimitados dentro de las zonas de trabajo.

En referencia expresa a suelos mineros, Daniels & Zipper (1997) recomiendan tomar una muestra compuesta superficial por cada 4 ha de terreno minero con características homogéneas. Esto es lo mismo que recomendar la realización de una partición siguiendo criterios semejantes a los más arriba descritos, a la que se sumará otra subdivisión arbitraria para las subunidades mayores de 4 ha.

Sobre la profundidad adecuada de muestreo no parece haber gran acuerdo, ni en lo que se refiere a suelos agrícolas, ni en el caso de terrenos mineros. En el mejor de los casos, y mirando exclusivamente parámetros relativos a la fertilidad, se recomiendan:

- 20 cm en suelos forestales.
- 10 cm en céspedes.
- profundidad de la capa de labor en cultivos anuales.
- 10-15 cm en pastizales y terrenos no labrados.

En la hoja de divulgación de Colorado State University Cooperative Extension (Mortvedt *et al.*, 1996) se recomienda alcanzar los 30 cm superiores para suelos mineros o terrenos alterados, y componer una muestra de 15 a 20 incrementos por cada superficie uniforme diferenciada.

En un estudio sobre la dinámica y caracterización de la materia orgánica en suelos mineros (Bendfeldt, 1999), los datos empleados fueron obtenidos sobre muestras compuestas por cada una de las subparcelas del Proyecto de Río Powel en el estado de Virginia, tomando submuestras en los 10 cm más superficiales.

A la vista de los antecedentes, no puede obtenerse un criterio claro sobre la profundidad a muestrear, pero el intervalo entre 0 y 10 cm se consideró interesante, en parte, por la posibilidad de establecer relaciones entre los resultados que se obtendrían con los de otro de los modelos de muestreo que más adelante se explica. Así pues, la caracterización de las propiedades superficiales de suelos se hizo siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se subdivide imaginariamente cada zona de estudio en sectores uniformes en cuanto a pendiente, orientación, aspecto superficial del suelo y cobertura vegetal. Entre las unidades así resultantes, las de mayor extensión que el resto se subdividen de nuevo en dos mediante una línea imaginaria. Se toma una muestra compuesta en cada uno de los sectores y en cada subdivisión de aquellos de mayor superficie.
- Por cada sector se toma una muestra compuesta obtenida mediante la unión de unas 30 submuestras tomadas en estaciones realizadas a lo largo de un

recorrido aleatorio. Las submuestras se introducen en una bolsa fuerte de polietileno de 40 x 70 cm² y se mezclan.

- Las submuestras se toman clavando una pequeña pala de jardinero a una profundidad de 10 cm en la pared de un pocillo, extrayendo con un movimiento hacia arriba. Las piedras, salvo las muy grandes, no se separan.

Como se ha dicho, otro de los objetivos marcados fue visualizar y muestrear perfiles de suelos mineros, con la seguridad de que algunos fenómenos tales como el desarrollo radicular y los efectos de los procesos de alteración de los minerales pueden generar cambios y nuevas características en los suelos que los muestreos superficiales no pueden dar a conocer.

En la Corta de las Ranas se realizaron operaciones de movimiento de tierras con objeto de favorecer la integración en el paisaje de los terrenos alterados que, además de la remodelación de las escombreras, lograron recubrir en algunas zonas los estériles más grises y negros con otros más pardos. El resultado ha sido siempre una colonización vegetal mucho más intensa. Aparentemente, estas acciones han sido realizadas de forma intuitiva, si bien existen referencias bibliográficas que han tratado este aspecto (Daniels & Amos, 1985; Daniels & Zipper, 1997). En las otras dos zonas seleccionadas y mencionadas al comienzo de este epígrafe, el recubrimiento de los estériles de colores negros o grises oscuros fue la norma.

Puede pensarse que la mayor densidad y desarrollo de la vegetación, producidos como consecuencia del recubrimiento con estériles de mejores características o materiales edáficos, ha de ir asociado a un más profuso desarrollo radicular. Sin duda, puede ser interesante observar cómo éste se produce en profundidad, si alcanza a los estériles de peor calidad, y cómo se ve afectado el perfil del suelo artificial en desarrollo por la penetración y exploración efectuada por las raíces.

La caracterización de los suelos según las etapas de desarrollo, reconocidas mediante los procesos de diversificación del perfil, es la base de los sistemas modernos de reconocimiento de suelos, aunque la importancia de la observación del perfil fue ya establecida por algunos de los edafólogos más antiguos. Igualmente, la evaluación de suelos se sirve del análisis de las limitaciones o características favorables que se reconocen, tanto en superficie como en profundidad, mediante el estudio de los perfiles de suelos. Por estas razones, en algunos de los trabajos más interesantes sobre suelos mineros se reconoce la importancia de describir y muestrear perfiles de estos suelos, utilizando las formulas tradicionales de la Ciencia del Suelo (Ammons, 1979; Schafer *et al.* , 1979).

Como ya se ha mencionado, se intentó que, como mínimo, se obtuviera un perfil completo descrito y muestreado por cada sector diferenciado. Posiblemente, cuando se dispone de tiempo y medios limitados, no existe otro criterio mejor para intentar establecer relaciones entre las características que puedan ser visualizadas en los perfiles, los resultados analíticos y el aspecto externo del terreno. Es necesario recordar que para la descripción de cada perfil es recomendable excavar una calicata que alcance un metro de profundidad como mínimo, salvo cuando resulte impracticable. Con disponibilidades mayores, podría plantearse la descripción de perfiles en los nudos en una red que cubra toda la zona de estudio seleccionada, o cualquier otro tipo de distribución.

Las descripciones de los perfiles se realizaron de acuerdo con los modelos habitualmente empleados, de los que puede obtenerse una amplia visión en algunas guías universalmente conocidas, tales como: el manual de reconocimiento de suelos (Soil Survey Staff, 1993), y la guía para la descripción de perfiles de suelos (FAO, 1990). Todas las descripciones se encuentran recopiladas en el anexo **A.I.**

Las muestras tomadas en los perfiles son todas representativas de horizontes o capas que fue posible discernir sobre las caras de la correspondiente calicata. En general esta distinción fue sencilla, aunque a veces hubo que realizar apreciaciones muy sutiles para establecer un límite entre horizontes o capas. Todas las muestras se tomaron hasta llenar entre la mitad y tres cuartas partes del volumen de bolsas fuertes de polietileno de tamaño 25x40 cm².

Por otro lado, cualquier proceso edáfico, por incipiente que sea, puede dejar alguna impronta sobre el aspecto del perfil, como ya se viera en Meirama (Leiros *et al.*, 1995), y la mejor manera de hacerlo patente es visualizarlo, o a través del análisis de muestras tomadas sistemáticamente a diferentes profundidades, aunque habrán de ser próximas a la superficie del terreno con el objetivo de documentar algún proceso evolutivo en la parte más superficial de estos suelos juveniles. Roberts *et al.* (1988) lo realizaron sobre parcelas experimentales, en el sudoeste de Virginia, eligiendo las capas situadas en los rangos de profundidad 0-5 cm y 25-30 cm. Daniels & Amos (1981) han indicado que el desarrollo de horizontes A en materiales semejantes se limita a los primeros 5 ó 7 cm durante los primeros cinco años.

En suelos agrícolas se han utilizado este tipo de muestreos para conocer la influencia sobre los contenidos en materia orgánica y nitrógeno de diferentes sistemas de laboreo, tomando muestras en los intervalos 0-5, 5-10 y 10-20 (Wood *et al.*, 1991).

Normalmente, en suelos mineros, el proceso que puede ser más evidente, a parte de la visualización de la estructura, es la acumulación de materia orgánica. Braunersreuter & Burghardt (2002) analizan diversos parámetros en muestras tomadas a las profundidades 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm en escombreras de carbón de la cuenca del Ruhr, haciendo especial hincapié en la determinación del contenido en materia orgánica.

Partiendo de ideas semejantes, se planteó el muestreo sobre “microperfiles” a dos profundidades. A la vista de lo más arriba comentado, parece que el límite de 10 cm puede ser útil como referencia para marcar el espesor de la capa más superficial del suelo.

Aún siendo arbitrario, existen antecedentes que pueden permitir la comparación de resultados. También es el límite fijado para la caracterización edáfica superficial de los sectores de trabajo y, por esta razón, su adopción como límite de referencia en los microperfiles a realizar podía proporcionar valores analíticos comparables a los obtenidos siguiendo el procedimiento fijado para la caracterización de sectores homogéneos. Para marcar el límite siguiente se adoptó el valor de 20 cm que, según después de vio, coincide con el elegido por Brauersreuter & Burghardt (2002).

Para tener una cierta seguridad de que las diferencias que pudieran obtenerse en los valores de los parámetros analíticos entre las muestras superiores e inferiores de los microperfiles son consecuencia de un proceso edáfico, sólo se tomaron muestras en aquellos que ofrecían un aspecto homogéneo en todo el espesor de 20 cm o más.

Los microperfiles se situaron en número variable en puntos identificados mediante rumbos y distancias con respecto a las calicatas abiertas para la descripción y el muestreo de perfiles completos.

Las muestras se tomaron sobre una pared vertical de un pocillo de suficiente tamaño como para permitir el muestreo cómodo en los segmentos 0-10 y 10-20 cm, empleando una pala pequeña de jardinería. Las muestras se guardaron en bolsas fuertes de polietileno de tamaño 25x40 cm², alcanzando normalmente entre un cuarto y un medio de su volumen total.

7.1.4. Suelos nativos

El estudio de algunos perfiles de suelos nativos seleccionados tiene como objetivo obtener información analítica que permita la comparación con la obtenida de los suelos mineros. De este modo es posible evaluar de forma más fehaciente en qué medida las alteraciones generadas por la explotación minera y los procesos de restauración generan cambios en la calidad del terreno.

Mediante la descripción y análisis de los perfiles de suelos naturales también es posible obtener información útil sobre los procesos naturales de formación de suelos en cada una de las zonas de estudio.

Los perfiles seleccionados se han descrito siguiendo las fórmulas habituales (Soil Survey Staff, 1993 ; FAO, 1990).

7.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO

La batería de análisis convencionales, proyectada para su aplicación a todas las muestras, está basada en la que se propone en el Manual de Procedimientos para la Cartografía de Suelos del Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental (PNCTA, en adelante; ITGE, 1998). Además, fueron tenidas en cuenta las recomendaciones de Sandoval & Power (1977), que son de aplicación tanto para suelos mineros como para estériles mineros brutos y, especialmente, el trabajo de Sobek *et al* (1978). La batería general de ensayos del PNCTA quedó modificada al no considerar la determinación de la capacidad de agua en puntos característicos del suelo y el contenido en CO₃Ca como análisis convencionales, e introducir los cationes ácidos de cambio, la densidad aparente y el porcentaje de humedad después de secado en estufa como convencionales. Por otro lado, se consideró de gran interés realizar algunos ensayos encaminados a establecer la contabilidad ácido-base (*Acid-Base Accounting*), junto con los puntos de agua en

el suelo, como análisis de carácter especial. Para concretar, los análisis que se han realizado son:

-Análisis convencionales de carácter general:

- Porcentaje de elementos gruesos (>2mm).
- Análisis granulométrico de la fracción tierra fina (tamizado en seco y método de la pipeta de Robinson) para determinar las fracciones según criterio USDA-SCS.
- Porcentaje de humedad después de secado en estufa.
- Densidad aparente en agregados de suelo.
- Contenido en materia orgánica.
- pH en suspensión suelo/agua 1:2'5 y suelo/KCl 1:2'5
- Capacidad de intercambio catiónico
- Cationes ácidos de cambio (acidez cambiabile).
- Cationes básicos de cambio
- Prueba previa de salinidad (conductividad eléctrica en extracto suelo/agua 1/5).

-Análisis de carácter especial (no en todas las muestras):

- Contenido total en azufre piritico
- Capacidad de neutralización potencial
- Determinación de la capacidad de retención de agua disponible: capacidad de retención de humedad a 33 kPa (0'33 atm.) y 1500 kPa (15 atm.) en la fracción tierra fina.
- Fertilidad (contenidos en N, P y K asimilables).

En el anexo **A. II.** se incluye una memoria en la que se describen los métodos analíticos empleados, se muestran los resultados obtenidos y se comentan algunos problemas observados durante la realización de los ensayos.

7.2.2. Propiedades físicas

7.2.2.1. Porcentaje de elementos gruesos

Los materiales de tamaño superior a los 2 mm de diámetro, que se encuentran embebidos en la masa de suelo, son los tradicionalmente llamados elementos gruesos o, también, fragmentos rocosos. Los fragmentos rocosos reducen la disponibilidad de agua en el suelo en proporción directa a su volumen, a menos que dichos elementos gruesos sean porosos.

Los elementos gruesos tienen una influencia primordial en los suelos mineros (Ammons, 1979). Ciolkosz *et al.* (1985) señalan que los suelos mineros de Pennsylvania contienen más de un 70% de fragmentos rocosos en el subsuelo y un 50 % en los horizontes superficiales. Schafer *et al.* (1980) mencionan que en suelos mineros con cincuenta años de antigüedad la mayoría de los elementos gruesos superficiales ha desaparecido. Parece ser que por procesos de alteración se da una tendencia a que los fragmentos rocosos superficiales sean pequeños: entre 2 y 5 mm de diámetro.

El volumen de los elementos gruesos es estimado visualmente durante la descripción de perfiles de suelos y, en el laboratorio, es medido el porcentaje en peso de los mismos en las muestras de suelo. El volumen tiene efecto en la caracterización y clasificación de los suelos.

También es apropiado hacer una estimación de la pedregosidad superficial. Una pedregosidad superficial elevada es un factor limitante para el laboreo del suelo: con más de un 40 % se considera imposible el empleo de maquinaria agrícola.

El tipo de fragmentos rocosos informa sobre el origen del suelo y, por ello, se tuvo especial cuidado en hacer una descripción de los elementos que fueron separados y lavados en el laboratorio.

7.2.1.2. Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad se determina sobre muestras de tierra fina seca al aire, sometiéndolas a un secado en estufa (a 150° C durante 25 horas). Permite hacer correcciones para proporcionar valores de parámetros físicos sobre la base del suelo secado en estufa. Como todos los contenidos de agua en el suelo depende de la textura del mismo, y también de la mineralogía, al tratarse de una medida aproximada del agua higroscópica retenida en el suelo que no es aprovechada por las plantas.

7.2.1.3. Densidad aparente

Es corriente que, debido al trasiego de maquinaria pesada sobre las superficies desde donde se realiza el vertido de los estériles mineros, o por labores posteriores de remodelación topográfica, las superficies finales ofrezcan un elevado grado de compactación. Se sabe que la compactación perjudica al movimiento de agua y aire en el suelo. Si la aireación se ve impedida, puede producirse una inhibición del crecimiento radicular (Hillel, 1982), aunque, de por sí, el impedimento al desarrollo derivado de la compactación también puede hacerlo. Daniels & Amos (1981) encontraron que la compactación fue el principal factor limitante para el éxito de la revegetación a largo plazo en suelos mineros de cinco a veinte años de edad.

La densidad aparente es una medida ampliamente utilizada para estimar el grado de compactación del suelo. Según Ammons (1979), la densidad aparente de los finos es uno de los factores que controla el crecimiento radicular en suelos mineros.

Craul (1985) señala que con densidades aparentes de 1'7 gr/cm³ la penetración de las raíces se encuentra impedida. Según Lyle Jr. (1982, 1987), el crecimiento radicular se ve frenado con densidades aparentes de 1'4-1'5 g/cm³ en suelos de textura fina y de 1'6-1'7 g/cm³ en los suelos de textura gruesa.

Thompson *et al.* (1986) sugieren que la densidad aparente es un buen elemento de predicción del desarrollo radicular en capas profundas de suelos mineros y no tanto en las superficiales, en las que la desecación estacional del suelo abre grietas que favorecen la penetración de las raíces. Para dichos autores, es incluso mejor que la toma de medidas con penetrómetro, si bien éste último método permite la toma de muchas más medidas en menos tiempo.

Benfeldt (1999) encuentra valores de 1'27 a 1'51 gr/cm² en muestras tomadas con saca-testigos en suelos mineros, incluyendo elementos gruesos pequeños. Establece que la densidad aparente de la tierra fina fue de 1'09 a 1'38 gr/cm³, estando inversamente correlacionada con el nivel de materia orgánica.

Existen diversos métodos propuestos para medir la densidad aparente en suelos mineros. Sobek *et al.*, (1978) recomiendan cuatro métodos:

- Pesada del material extraído con un saca-testigos de pared fina y boca biselada sobre una superficie plana preparada en el suelo. El volumen es conocido y el material se pesa después de secado en estufa.
- Tratamiento de agregados del suelo limpios tomados en calicatas que son protegidos por inmersión en resina de Saran, para posterior medida del

volumen y peso de los mismos. El agregado se rompe *a posteriori* para separar elementos gruesos y corregir la medida.

- Tratamiento de agregados con Varsol, un líquido no polar de bajo coste. Conociendo la densidad del líquido, los agregados se sumergen en él hasta rebosar y se miden pesos y volúmenes. El agregado se rompe *a posteriori* para separar elementos gruesos y corregir la medida.
- Relleno con arena de características conocidas de un agujero hecho en el suelo. El planteamiento consiste en averiguar el volumen y después corregir en función del contenido en elementos gruesos del material extraído.

El primer método es prácticamente inaplicable a suelos sueltos con abundantes elementos gruesos, como así resultaron gran parte de los suelos estudiados. El último método resultaba tremendamente engorroso y hubiera ralentizado enormemente los trabajos. Las técnicas que se sirven de agregados de suelos se presentaban como lo más cómodo para proporcionar gran número de datos. En el trabajo de Pedersen *et al.* (1980) se demuestra que el método de la arena es el que más dispersión de resultados produjo, mientras que una técnica de trabajo con agregados de suelo generó el menor coeficiente de variación. Los resultados medios obtenidos con estas técnicas y las medidas proporcionadas por una sonda gamma fueron muy semejantes, según los mismos autores.

Finalmente se decidió adoptar el método propuesto por el Dpto. de Química Agrícola, Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma, que emplea baños a rebose de agregados en mercurio. Por su sencillez, y a pesar de no tratarse de un método normalizado, ofrecía la ventaja de poder aplicarse de forma cómoda a gran cantidad de muestras, tanto de suelos mineros como de suelos naturales, permitiendo la comparación (el procedimiento se explica en el anexo **A.II**).

7.2.1.4. Textura

La distribución de los tamaños de las partículas de los suelos, estériles o residuos del procesamiento de minerales tiene un profundo efecto sobre la viabilidad de la restauración de terrenos mineros o gravemente alterados (Sabey *et al.*, 1987). La textura o composición de partículas primarias, gobierna numerosos factores importantes para el crecimiento vegetal: capacidad de almacenar agua y nutrientes, infiltración, facilidad para el laboreo, etc.

Como el resto de características físicas de los suelos mineros tiene extrema importancia de cara al aprovechamiento del suelo a largo plazo, mientras que las propiedades químicas son de gran peso a corto plazo. Las propiedades químicas pueden ser más fácilmente modificadas que las físicas (Sobek *et al.*, 1978).

Una de las clasificaciones de la textura del suelo más ampliamente utilizada es la del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, que distingue doce clases texturales en función de los porcentajes en arena (0,05-2 mm), limo (0,002-0,05 mm) y arcilla (< 0,002 mm).

No existe un óptimo de textura para todos los propósitos y plantas, aunque suelen aceptarse gradaciones en la calidad del suelo según su textura. Por ejemplo, en las normas del PNCTA (ITGE, 1998) se establece la siguiente gradación de mayor a menor calidad:

- T1: Franco-Arcillosa
- T2: Franco-Arcillo-Limosa y Franco-Arcillo-Arenosa
- T3: Arcillo-Limosa y Arcillo-Arenosa
- T4: Arcillosa
- T5: Franco-Limosa
- T6: Franca
- T7: Franco-Arenosa y Arenoso-Franca
- T8: Limosa

- T9: Arenosa

La caracterización de la textura se realizó siguiendo la norma USDA. Se siguió el procedimiento de tamizado y sedimentación, empleando la pipeta de Robinson hasta obtener el porcentaje en peso de las tres fracciones clave, siempre después de dispersar las muestras de suelo con hexametáfosfato sódico. Éste es el método considerado más exacto (Sobek *et al*, 1978).

Sin embargo, para algunas muestras se tuvo que determinar la textura al tacto, al no producirse la dispersión adecuadamente. Esto es indicativo de un elevado contenido en sales solubles.

7.2.1.5. Puntos característicos del agua en el suelo

La capacidad de un suelo para absorber y retener agua determina la disponibilidad de la misma para las plantas. La baja capacidad para almacenar agua ha sido citada como uno de los factores limitantes para el crecimiento vegetal en suelos mineros (Barnhisel, 1977). El contenido de agua disponible se estima por la diferencia entre el agua retenida a capacidad de campo y la retenida en el denominado punto de marchitamiento. Normalmente, ambos son medidos ejerciendo una succión sobre la muestra de suelo, aceptándose que el agua que queda después de sometida la muestra a 1/3 de atmósfera representa la capacidad de campo y la que queda después de ejercer una succión de 15 atmósferas representa el punto de marchitamiento. La diferencia entre ambos valores es el agua disponible para las plantas.

En comparación con los suelos naturales, y debido a las diferencias de textura y a la deficiencia de materia orgánica, los suelos mineros poseen bajas capacidades de retención de agua. Si se considera el contenido en elementos gruesos, puede afirmarse que los suelos mineros retienen mucha menos agua que los suelos naturales (Pedersen *et al*, 1980).

A pesar de la importancia de conocer estos parámetros, debido al coste y laboriosidad del procedimiento analítico, sólo se empleó éste en algunas muestras seleccionadas, incluyendo algunas de suelos naturales para poder establecer comparaciones.

7.2.2. Propiedades químicas

7.2.2.1. pH y Contabilidad Acido-Base

En los suelos naturales, el pH está fuertemente controlado por la mineralogía, el clima y el grado de evolución del suelo. Sin embargo, en los terrenos alterados por minería de carbón, la presencia de sulfuros y la posibilidad de que se oxiden es determinante sobre las condiciones de acidez de los estériles o suelos mineros. En efecto, uno de los principales problemas encontrados para la restauración de terrenos mineros de carbón es la acidez generada por la oxidación de los sulfuros de hierro comúnmente asociados a las capas y estratos próximos a las mismas. Este problema también se presenta en otros tipos de minería, pues los yacimientos objeto de explotación minera o los recubrimientos que engloban sulfuros son extraordinariamente variados en origen y composición: anfibolitas, sulfuros complejos, pizarras, arcillas carbonosas, etc. Normalmente, la gran mayoría de los sulfuros asociados al carbón se dan en forma de pirita y marcasita, ambas con un 53,4% de S.

En algunos de los primeros trabajos destinados a la restauración de terrenos alterados por minería del carbón a cielo abierto se reconocía la importancia de la calidad de los materiales de recubrimiento que quedaban al final en la superficie del terreno, y se distinguían estos por tipos de rocas y grado de acidez (Tyner *et al.*, 1948). La acidez ha sido la base de todos los sistemas de clasificación y evaluación de suelos mineros desde 1948 (Lyle Jr., 1980), junto con otros caracteres como la pedregosidad, el color y la textura. Existen varios ejemplos del uso de los datos de pH como

principal discriminante en la calificación las aptitudes de terrenos alterados por minería de carbón (Tyner *et al.*, 1948; Smith *et al.*, 1964).

Knabe (1964) proporcionó uno de los primeros ejemplos de caracterización de suelos mineros mediante un sistema de letras y números como subíndice, que hacen referencia a la posibilidad de generación de acidez. Los números positivos expresan el porcentaje de CO_3Ca en el estéril y los negativos el porcentaje de sulfuros no neutralizados. Por ejemplo, un material etiquetado como A_{20} hace referencia a un estéril apto para la agricultura, con un contenido del 20% de carbonato cálcico no neutralizado. Un estéril denominado T_{10} es un material tóxico con hasta un 10% de sulfuros no neutralizados. Después, Knabe escribe sobre un método de balance ácido-base en el que se compara la suma de todas las bases presentes con los ácidos presentes, los minerales generadores de acidez (sulfuros) y la capacidad de cambio de cationes (Knabe, 1973), es decir: evalúa toda la posible capacidad teórica de formación de acidez o alcalinidad durante el proceso de alteración.

Aunque no hay duda de que puede tener gran utilidad el estudio y calificación de los suelos mineros o las escombreras, en determinado momento se consideró más importante la evaluación de los futuros estériles mineros antes de ser excavados, estudiando directamente los recubrimientos inalterados.

Investigadores de la Universidad de Virginia Occidental (West Virginia University; WVU en adelante) comenzaron a desarrollar un sistema para contabilizar la producción potencial de ácidos y bases de los recubrimientos mineros en diferentes lugares de aquel estado norteamericano, obteniendo perfiles del contenido en sulfuros y materiales neutralizantes asociados a numerosas columnas estratigráficas.

De este modo se fue desarrollando el método *Acid-Base Account* (Grube *et al.*, 1973) y el concepto de neutralización potencial (NP) (Smith *et al.*, 1974) para

designar el conjunto de materiales capaces de neutralizar la acidez que pudiera generarse por oxidación de los sulfuros.

Las posteriores investigaciones realizadas confirmaron la utilidad del método (Smith *et al.*, 1976), que finalmente se incluyó en un manual de procedimientos de estudio en campo y en laboratorio de estériles y suelos mineros (Sobek *et al.*, 1978).

Básicamente, según se describe en Grube *et al.* (1973), se procede a evaluar cada una de las capas, de suelo o roca, que recubren o se intercalan con el carbón. El estudio se realiza sobre frentes mineros abiertos o testigos de sondeo. En cada una de las capas se mide: color, dureza, aspereza, estructura de capas y efervescencia ante el ataque con HCl, y se analizan para pH, azufre pirítico o total y capacidad de neutralización potencial.

Los objetivos del método son (Skousen *et al.*, 1987):

- Identificar materiales potencialmente tóxicos o generadores de aguas ácidas.
- Identificar materiales calcáreos que puedan ser mezclados con los potencialmente generadores de acidez para su neutralización.
- Identificar materiales alternativos para recubrir superficies finales cuando los suelos naturales son delgados e infértiles o, en cualquier caso, se presentan en volúmenes insuficientes.

La Contabilidad Acido-Base realizada sobre recubrimientos mineros utiliza cinco componentes:

- pH de la pasta saturada a partir de muestra molida.
- Capacidad de generación potencial de acidez (AP).
- Capacidad de neutralización potencial (NP).
- Tipo de roca.
- Espesor de la capa.

La medida de la capacidad de generación de acidez es el aspecto más clave y el más discutido hasta hoy. Normalmente se asume que el elemento más importante a la hora de producir acidez es el S en forma de sulfuro (pirítico), pero también intervienen otras formas de azufre. La realización completa del proceso de oxidación permite evaluar la acidez generada como dos moles de acidez por cada mol de FeS_2 . Sin embargo, este proceso no es simple y depende de muchos factores: pH, concentración, O_2 , temperatura, contenido de humedad, equilibrio de iones ferroso y férrico y presencia de bacterias (*Acidithiobacillus ferrooxidans* y *A. thiooxidans*, principalmente). Asumir que todo el proceso completo de oxidación del azufre pirítico de una capa se va a producir implica aceptar que se está contando con la máxima capacidad de generación de acidez de la misma debida a los sulfuros.

Cierto es que muchos recubrimientos contienen abundante S orgánico, a veces más que S pirítico. Este azufre orgánico es muy poco reactivo y no existen bases teóricas en la literatura que permitan afirmar que el azufre orgánico puede generar problemas de acidez en condiciones naturales (Sobek *et al.*, 1987).

Por otro lado, la mayoría de iones ferrosos, hidrogeniones e iones sulfato liberados durante la oxidación de la pirita sufren posteriores reacciones. La mayoría del sulfato queda en solución y es lavado fuera del sistema, y el resto es absorbido o precipita como jarosita o yeso (en ambientes secos) (Van Breemen, 1982). Cualquier acidez generada por la alteración de la jarosita es pequeña en comparación con la producida por la oxidación de la pirita (Sobek *et al.*, 1987).

Por todo lo dicho, la cuantificación de la acidez potencial a partir del contenido total en azufre puede considerarse precisa si todo el azufre está presente formando parte de mineral pirítico. La presencia de sulfatos como yeso, jarosita, coquinita o basalenita, o la existencia de materia orgánica conteniendo azufre, daría lugar a que la estimación de la máxima capacidad de generación de acidez

a través de S total fuera excesivamente alta. En tales casos, la determinación del S pirítico puede ser más fiable para evaluar la acidez potencial (Sobek *et al.*, 1987).

Tal posibilidad se consideró a la hora de adoptar un método de determinación del azufre. La presencia de cristales de yeso visibles en las escombreras de La Corta Santa Lucía y de precipitados salinos en la Corta de Las Ranas, amén de que también se quería realizar una evaluación de horizontes de suelos mineros en desarrollo, llevó a tomar la decisión de medir azufre pirítico tal y como recomienda el grupo de trabajo de suelos del programa de seguimiento de restauración de terrenos mineros de Texas (TMRMPI, 1998). El procedimiento analítico adoptado es el propuesto por Sobek *et al.* (1978).

Teóricamente, el valor obtenido del % de azufre pirítico, multiplicado por el factor 31'25, permite obtener el número de toneladas de carbonato cálcico necesarias para neutralizar la acidez potencial que es susceptible de generarse en mil toneladas de material que contiene dicho azufre pirítico (partes por mil).

La evaluación del contenido de bases (cationes básicos de cambio y carbonatos) es el segundo aspecto fundamental de la Contabilidad Acido-Base: la determinación de la capacidad de neutralización potencial (NP). El cálculo de la capacidad de neutralización potencial de todos los materiales presentes, susceptibles de poseer poder neutralizante de la acidez generada, se evalúa siguiendo un método clásico, más menos modificado; (Jackson, 1958 y 1964). Aquí también pueden producirse errores derivados de la presencia de siderita. La siderita suele estar presente en los recubrimientos mineros de carbón y contribuye a incrementar el valor medido de NP, sin que en realidad proporcione poder de neutralización.

La capacidad de neutralización potencial se expresa como porcentaje equivalente de carbonato cálcico, o como toneladas de carbonato cálcico por cada mil

toneladas de material (multiplicando por diez el valor del %). El balance final se establece restando los valores de acidez y capacidad de neutralización potencial. Según WDEQ (1994), si dicha diferencia es menor de $-5 \text{ t CO}_3\text{Ca}/1000 \text{ t}$ de material, éste puede considerarse generador de acidez.

Al margen de la aplicación del *Acid-Base Account* a una serie de muestras seleccionadas, se midió el pH en todas las muestras tomadas, tanto en agua como en KCl. Por sí sola, la medida del pH es considerada fundamental en la caracterización de suelos y muestras de suelo debido a que el pH afecta a la disponibilidad de nutrientes y a la actividad microbiana. El rango más favorable de pH está entre 6 y 7, pues la mayoría de los nutrientes están disponibles. Entre 6'6 y 7'3 la actividad microbiana se maximiza, lo que contribuye a la disponibilidad de nitrógeno, azufre y fósforo. Las clases que suelen establecerse en función de los rangos de pH son (Soil Survey Staff, 1993):

- Ultra ácido: $<3'5$
- Extremadamente ácido: $3'5 - 4'4$
- Muy fuertemente ácido: $4'5 - 5'0$
- Fuertemente ácido: $5'1 - 5'5$
- Moderadamente ácido: $5'6 - 6'0$
- Ligeramente ácido: $6'1 - 6'5$
- Neutro: $6'6 - 7'3$
- Ligeramente alcalino: $7'4 - 7'8$
- Moderadamente alcalino: $7'9 - 8'4$
- Fuertemente alcalino: $8'5 - 9'0$
- Muy fuertemente alcalino: $>9'0$

Smith *et al.* (1974) proponen el pH dominante en los primeros 25 cm como criterio para subdividir las familias de suelos mineros dentro del sistema de clasificación WVU (1971):

- $\text{pH} < 4$: extremadamente ácidos.

- pH entre 4 y 5'5: ácidos.
- pH entre 5'5 y 8: neutros.

Daniels & Zipper (1997) señalan que el pH de un suelo minero puede cambiar rápidamente cuando los fragmentos rocosos se alteran y oxidan. En pocos meses puede pasarse de 8 a 3 en el mismo punto. También comentan que su valor puede variar mucho en decímetros de distancia recorridos sobre el terreno que se muestra. La comparación entre los datos de los análisis de muestras superficiales, obtenidas mediante los tres tipos de procedimientos descritos, tal vez pueda arrojar alguna luz sobre este aspecto.

7.2.2.2. Contenido en materia orgánica

No hay un nivel específico de materia orgánica que sea absolutamente necesario para una adecuada producción vegetal (Ammons, 1979). Las plantas pueden vivir sin materia orgánica, pero se reconoce que la presencia de la misma facilita mucho las cosas en procesos de restauración de terrenos mineros (Bradshaw & Chadwick, 1988). Lo cierto es que la materia orgánica es considerada uno de los indicadores más útiles para la evaluación de la calidad y estabilidad del suelo (Larson & Pierce, 1994). Es un componente esencial debido a que proporciona carbono y energía a los microorganismos del suelo, estabiliza y une a las partículas del suelo en agregados, mejora la capacidad del suelo para almacenar y permitir el flujo de agua y aire, proporciona nutrientes, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y disminuye la posibilidad de compactación. Bendfeldt (1999), expresamente, hace uso del contenido en materia orgánica junto al nitrógeno mineralizable y la estabilidad estructural como variables clave para determinar la calidad de suelos mineros.

La cuantificación de los contenidos en materia orgánica del suelo normalmente es realizada a partir de la pérdida de peso que supone su eliminación en la

muestra analizada, o por determinación de un componente principal como es el carbono orgánico.

Los principales métodos propuestos para la determinación de la materia orgánica a través del carbono orgánico del suelo son: por oxidación de la materia orgánica por vía seca (Young & Lindbeck, 1964); por vía húmeda con dicromato en medio ácido, destacando los métodos de Schollenberger (1927, 1945) y de Walkley & Black (1934); y por cromatografía (Dean, 1974). La materia orgánica puede determinarse también de forma directa por gravimetría con incineración en estufa (Ball, 1964; Jackson, 1964), y por termogravimetría (Wendlandt, 1986; Beltrán *et al.*, 1988).

Lo más usual, como se desprende de la revisión de abundante bibliografía, es la determinación, en laboratorio, del contenido de carbono orgánico (C) de muestras de suelo, puesto que la determinación cuantitativa directa de la materia orgánica del suelo presenta una alta variabilidad y es de cuestionable precisión (Nelson & Sommers, 1982). Los métodos de oxidación con dicromato en medio ácido sólo determinan el carbono fácilmente oxidable, pero, en comparación con otros que se sirven de la medida de CO₂ desprendido por combustión seca, son más económicos. Es corriente emplear la fórmula de conversión M.O. (g/Kg) = 1'724 x C, la cual considera que el contenido de carbono en la materia orgánica del suelo ronda normalmente el 58%. Sin embargo, a pesar de su extendida aplicación, este factor varía según determinadas características de los suelos. En diferentes estudios se deducen diferentes valores para el mencionado factor de conversión, desde 1'55 a 2'13 (Jackson, 1964). Broadbent (1953) encuentra valores de 1,9 para muestras superficiales de suelos y 2'5 para subsuelos. Este método genera errores en suelos con elevada presencia de cloruros, aunque el efecto se elimina añadiendo sulfato de plata durante la digestión. También la presencia de hierro ferroso da errores positivos, pues es capaz de oxidar al dicromato, lo que debe ser siempre considerado en suelos mineros. Los métodos basados en la oxidación con dicromato asumen que el carbono orgánico del suelo

posee un estado de oxidación de cero y un peso equivalente de 3. Cuando en el suelo existe carbonilla, hollín carbón o grafito la recuperación de estos materiales por el método de Walkley-Black es “relativamente baja” (entre 2 y 36%).

La determinación directa de la materia orgánica por pérdida de peso de la muestra después de ignición o incineración en estufa es también un método muy empleado por su bajo coste. El procedimiento está sujeto a errores causados por la volatilización de otros materiales no orgánicos o por la incompleta oxidación de la materia orgánica resistente. Con temperaturas muy elevadas los carbonatos pasan a cal. Este efecto se limita con temperatura de 400° C. También se producen errores positivos por deshidroxilación de arcillas en suelos arcillosos y pérdida de agua de los oxihidróxidos.

Conociendo que la determinación de la materia orgánica en estos suelos puede ser problemática, se decidió emplear los dos tipos de métodos comentados (oxidación con dicromato y pérdida de peso por ignición en estufa) para poder comparar resultados y analizar las implicaciones que puede conllevar la elección de uno u otro método. Los trabajos de Bendfeldt (1999) son un antecedente en el empleo conjunto de ambos tipos de métodos. Como se verá más adelante, el contenido en materia orgánica es uno de los parámetros más difíciles de interpretar en suelos mineros y el que ofrece unos resultados más sorprendentes.

7.2.3.3. Conductividad eléctrica

La elevada concentración de sales incrementa las dificultades de tomar agua para las raíces de las plantas por razones de tipo osmótico, al margen de que la excesiva concentración de algunos iones puede resultar tóxica. La presencia de elevadas concentraciones de sales en suelos mineros puede ser producto del empleo de recubrimientos ricos en sales (Sandoval & Power, 1978) o como consecuencia de la oxidación de los sulfuros de hierro presentes en los estériles (Daniels & Zipper, 1997). Torbert *et al.* (1989) señalan la elevada concentración

de sales como uno de los posibles factores limitantes para la productividad en suelos mineros. Las sales que suelen estar presentes en suelos mineros son sulfatos de Na, Ca, Mg y K (Daniels & Zipper, 1997).

Las lecturas de conductividad eléctrica en soluciones de suelo están altamente correlacionadas con la concentración total de sales y, por ello, con el potencial osmótico de los extractos acuosos (Sandoval & Power, 1978). La elección de un método para caracterizar la concentración de sales solubles depende del propósito y la precisión requerida. En general, cuanto mayor es la relación entre la cantidad de agua empleada en el ensayo y la cantidad de muestra de suelo más fácil es la medida, pero menor es su representatividad en relación con la solución del suelo en condiciones naturales. Teóricamente, lo ideal sería medir la concentración de sales en un extracto de suelo obtenido a capacidad de campo, pero la dificultad de obtener dicho extracto hace que el método sea prohibitivo. Lo más próximo y relativamente factible es la medida en el extracto de pasta saturada, aunque no deja de ser un procedimiento engorroso. La concentración de sales en el extracto de saturación viene a ser del orden de la mitad de la concentración a capacidad de campo. Sandoval & Power (1978) sugieren que el método de medida sobre el extracto de pasta saturada es aplicable a suelos y recubrimientos mineros.

Aún sabiendo que el mejor indicador posible del grado de salinidad o salinización de una muestra de suelo es la medida de la concentración de sales del extracto de saturación y/o la conductividad eléctrica de dicho extracto, se pensó que los casos de presencia de sales solubles podrían controlarse con la generalmente llamada prueba previa de salinidad, junto con las observaciones de campo. Se asumía también que el reconocimiento de la posibilidad de encontrar problemas derivados de la salinidad no obligaba a esta institución a dar la solución de los mismos, tareas para la que sí se puede requerir un conocimiento más exacto de la situación. Así pues, se adoptó como indicador del grado de salinización la medida de la conductividad eléctrica de la solución o extracto

acuoso en proporción 1:5 (suelo/agua), junto con los rasgos reconocibles que pudieran detectarse durante las descripciones de campo.

Otro posible problema que muchas veces aparece asociado a los elevados contenidos en sales es la elevada presencia de sodio en el complejo de cambio, lo que puede controlarse mediante la relación de adsorción de sodio en el complejo de cambio. Sandoval (1973) comenta que el elevado contenido en sodio de la mayoría de los recubrimientos en la cuenca de Williston produce la dispersión de las partículas de suelo y un sellado superficial que se convierte en un problema serio. Sin embargo, *a priori*, salvo por la posibilidad de la presencia de sodio en los recubrimientos empleados en Utrillas, no era de esperar que se dieran casos en las zonas de estudio seleccionadas.

7.2.2.4. Complejo de cambio.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de la habilidad del suelo para absorber y liberar cationes. Suele medirse en miliequivalentes por cada 100 gr (meg/100 gr) o en centimoles de carga por cada kg. (cmol(+)/kg.) de suelo. Los valores numéricos en ambas unidades son equivalentes. Normalmente, la CIC está correlacionada por la materia orgánica, la textura y los tipos de arcilla presentes en los suelos. Especialmente en suelos mineros jóvenes, la capacidad de intercambio catiónico está fuertemente influenciada por el contenido en materia orgánica, (Bendfeld, 1999).

Para la de terminación de la CIC se utilizó el método del acetato amónico a pH 7, que es el recomendado por Sandoval & Power (1978) para suelos y estériles mineros. Este método no es recomendable cuando existe un elevado contenido en carbonatos, lo que, *a priori*, no era previsible en este tipo de terrenos. Empleando dicho procedimiento puede considerarse que un suelo posee un nivel inadecuado con <10 meq/100 gr., siendo adecuado con 10 a 20 meq/100 gr y muy adecuado con >20 meq/100 gr.

También es posible hablar de **CIC efectiva**, obtenida como la suma de los cationes de cambio Ca, Mg, Na, K y Al (Peech *et al.*, 1947). Este método fue el empleado por Quintas y Macías (1992) para la caracterización de suelos mineros en Galicia, y ha sido ampliamente utilizado en numerosos estudios sobre suelos mineros.

Además de la CIC total, se establecieron los niveles de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ extraíbles con el método del acetato amónico a pH 7 y la acidez extraíble con KCl 1 M. Normalmente, la suma de la acidez cambiante y los cationes cambiantes mencionados viene a ser prácticamente el total de la CIC. Otros cationes pueden estar presentes en pequeña cantidad. Con estos datos es posible establecer valoraciones importantes sobre el porcentaje de saturación de bases del complejo de cambio.

Empleando los mismos procedimientos, Johnson & Skousen encuentran valores de 2 a 44 cmol (+)/kg de CIC total en muestras superficiales de suelos mineros de Virginia Occidental, con porcentajes de saturación de bases variando entre 3 y 100%.

7.2.2.5. Nitrógeno, fósforo y potasio.

Nitrógeno, fósforo y potasio son los nutrientes considerados mayores para las plantas, aunque no son los únicos importantes. Los niveles óptimos de niveles extraíbles en el suelo dependen del tipo de cultivo o de vegetación establecida en el mismo. Las recomendaciones de fertilización se hacen considerando las necesidades de los cultivos y los niveles obtenidos analíticamente.

Cuando los niveles de P y K son bajos o muy bajos la respuesta a la fertilización es casi segura. Con contenidos medios puede haber respuesta ante la fertilización o no haberla.

El N es frecuentemente el nutriente más limitante para la producción agrícola en suelos mineros (Roberts *et al.*, 1988). Li & Daniels encuentran que pueden existir importantes cantidades de N en los estériles frescos de carbón. Según dichos autores, se trata de nitrógeno en forma de ion amonio ligado a las micas y de nitrógeno orgánico no hidrolizable procedente del carbón. Ambos tipos son estables y no disponibles para las plantas. Con el tiempo, según se va desarrollando un horizonte A en superficie, se produce una acumulación de N que puede alcanzar los 23'4 kg por ha y año en los primeros cinco centímetros de suelo.

La práctica ausencia de N en los estériles mineros implica que la cantidad total de N requerida para sostener el desarrollo vegetal debe ser aportada mediante una fertilización inicial y, posteriormente, derivada de la fijación biológica, por lo que el papel de las leguminosas puede ser de gran importancia en las primeras fases (Daniels & Zipper, 1988).

La disponibilidad de fósforo ha sido también citada como uno de los factores limitantes de la productividad vegetal en suelos mineros (Bradshaw, 1983; Daniels & Zipper, 1988). Según Bradshaw (1983) el fósforo puede verse limitado debido a la alta capacidad de fijación del mismo en estériles con grandes contenidos en fragmentos gruesos procedentes de areniscas. Este potencial de adsorción y retención de P en suelos mineros ha sido demostrado por Roberts *et al.* (1988). Por ello, el mantenimiento del nivel de P asimilable en los suelos mineros es otro de los aspectos importantes desde el punto de vista de la fertilidad. Además, la alteración de los suelos mineros determina que se enriquezcan en óxidos de Fe que secuestran el P. Esta tendencia se incrementa

con el tiempo. Como el P ligado a la materia orgánica no está sujeto a esa fijación, puede ser crítico el establecimiento de una reserva orgánica de P durante el proceso de restauración. Grandes cantidades de fertilizante pueden asegurar que suficiente P pueda estar disponible durante los primeros años, hasta que se construye esa reserva orgánica de P (Daniels & Zipper, 1988).

Como es sabido, la mayoría del potasio presente en los suelos es un componente estructural de los minerales y no está disponible para las plantas. Sin embargo, no suelen presentarse problemas carenciales de K en suelos mineros.

Debe asumirse que los resultados obtenidos con los análisis de disponibilidad de nutrientes deberían correlacionarse con respuestas de la vegetación, y hacer seguimientos temporales. Por esta razón, se reservó este tipo de analítica a escombreras de estériles, con el único objetivo de obtener alguna somera idea de su comportamiento en cuanto a la liberación de nutrientes.

Por otra parte, en suelos mineros, se da una gran variabilidad de todos los parámetros punto por punto, y esto es todavía más cierto respecto a los nutrientes. Además, la mayoría de las medidas de nutrientes disponibles hechas habitualmente en suelos no han sido probadas en suelos mineros ni correlacionadas con medidas de extracción real por la vegetación. Por ello, la aproximación tradicional para dar recomendaciones sobre aplicación de fertilizantes puede no servir, y tal vez sea mejor que un ajuste afinado un aporte estandar.

Los métodos empleados han sido:

- El método Kjeldahl para el N.
- El método de Olsen para el P.
- El método del acetato amónico para el K.

Los métodos que se aplican para conocer el contenido de N en suelos, recubrimientos y estériles mineros son de tres tipos:

- Los que miden el contenido de N inorgánico. (NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^-).
- Los que evalúan el contenido de N orgánico a partir de los valores obtenidos de materia orgánica por Walkley-Black.
- Los que evalúan el N orgánico y una parte del inorgánico, como el método Kjeldahl.

La capacidad del suelo sé proporcionar N a la vegetación es difícilmente comprendida a través del N inorgánico, el cual fluctúa continuamente y es el resultado de numerosos factores interactuantes (Reeder & Savey, 1987).

El método Kjeldahl tampoco es un buen sistema de predicción del N disponible aunque los valores obtenidos con este método están correlacionados con los valores de disponibilidad. Por otro lado, ha sido el más empleado con suelos y estériles mineros, por lo que puede permitir la realización de comparaciones.

También suele reconocerse que la mejor medida del K asimilable es la suma del soluble y cambiante, los cuales pueden medirse con una extracción de acetato amónico. Por último, el método de Olsen por disolución con bicarbonato sódico ha sido bastante utilizado en suelos y estériles mineros.

En general, puede decirse que, para nuestros climas y suelos cultivados un suelo es pobre o muy pobre con un contenido de N de menos de 0'1 %, de tipo medio con 0'1 a 0'15% y fértil con >0'15%.

Según Mortvedt *et al.* (1996), en terrenos alterados puede calificarse el contenido en P y K del suelo como se muestra en la **Tabla 7.1**.

Tabla 7.1. Niveles de fertilidad en terrenos alterados (según Mortvedt *et al.* 1996).

Nivel relativo del contenido en el suelo	ppm P extraíbles con NaHCO³	ppm K extraíbles con acetato amónico
Bajo	0 – 6	0 – 60
Medio	7 – 14	60 – 120
Alto	>14	>120

7.3. ETIQUETADO DE LAS MUESTRAS

Todas las muestras tomadas se etiquetaron siguiendo unas normas preestablecidas. Las etiquetas e identificadores se componen de una serie de letras y cifras en números romanos o arábigos. Todas ellas incluyen, en primer lugar, un segmento de tres letras mayúsculas que hace referencia al área de estudio de donde proceden. Las etiquetas que comienzan con las letras VAL hacen referencia a muestras tomadas en el área de Valdesamario (Zona de Valdesamario y Corta de Las Ramas). Del mismo modo, VIL se refiere al área de Villablino (Zona de Carrasconte (El Salguero) y zona de Miranda–Minas de La Mora). UTR es la marca de origen de las muestras tomadas en los terrenos de Minas y Ferrocarriles de Utrillas y de las procedentes de La Corta Santa Lucía.

En las etiquetas de las muestras correspondientes a acopios temporales se añadió una segunda partícula de dos letras en referencia a su aspecto. Para acopios de estériles grisáceos se usó ES y para los comúnmente reconocidos como tierra vegetal se empleó TI. Además, se reservó un número de dos cifras para distinguir unos acopios de otros, aunque no hubieran sido necesarias dos cifras.

Así pues, una muestra etiquetada como UTR-TI-01 representa una muestra compuesta tomadas en un acopio temporal de tierra vegetal en el área de Utrillas. Una identificación tal como VIL-ES-01 representa a un acopio temporal de estériles en Villablino.

Las muestras compuestas superficiales tomadas sobre escombreras en las que no se han realizado labores de restauración, salvo una simple remodelación, como es el caso de Valdesamario, añaden al identificador de origen la partícula PIL y, después, un número romano. En las zonas de trabajo llamadas Valdesamario, Miranda-Minas de La Mora y Corta de Santa Lucía todas las muestras son de este tipo. De este modo, la etiqueta VIL-PIL-IV, por ejemplo, hace referencia a una muestra compuesta superficial tomada sobre la cuarta escombrera seleccionada en la zona de Miranda-Minas de La Mora (Villablino.).

Las etiquetas referentes a muestra superficiales compuestas, procedentes de superficies homogéneas distinguidas en las zonas en proceso de restauración, añaden al identificador de origen un número romano. Cuando dichas unidades se consideraron extensas se tomaron dos muestras, aunque lo normal fue tomar una. Esta circunstancia se señaló añadiendo un número. Una etiqueta que rece VAL-VIII-01 se refiere al octavo sector de trabajo diferenciado en la Corta de Las Ranas (Valdesamario).

Todas las muestras de perfiles de suelos añaden al identificador de origen un número que identifica el perfil y otro que identifica el horizonte muestreando, numerando de arriba abajo. Así, VTR-08-3 se refiere al tercer horizonte (endopedión) del perfil octavo del área de Utrillas. En el anexo **A.1.** se da información sobre la situación de cada uno de ellos.

Las muestras tomadas en microperfiles están referenciadas siempre respecto a perfiles completos. Cada uno se distingue con una letra (A, B, C,...) que se añade al identificador del perfil. Al final se añade un 1 ó un 2 para hacer referencia respectivamente a si es muestra superficial (0-10 cm) o subsuperficial (10-20 cm).

De esta forma, una etiqueta tal como VAL-6B-2 identifica la muestra subsuperficial de un microperfil próximo y relacionado con el perfil número seis del área de Valdesamario (Corta de las Ranas).

8. RESULTADOS OBTENIDOS Y PROBLEMAS ENCONTRADOS

8.1. ESTUDIO DE ACOPIOS TEMPORALES.

Los acopios temporales analizados corresponden a materiales preservados para realizar rellenos y recubrir terrenos ya explotados en las minas de Alemanes (Utrillas) y Carrasconte (Villablino). En la **Tabla 8.1.** se muestran algunas de las características más aparentes de dichos materiales.

Tabla 8.1. Algunas características de los acopios temporales estudiados.

PROCEDENCIA	MUESTRA	COLOR (MUNSELL)	E.G. (% peso)	OBSERVACIONES
Alemanes (MFUSA)	UTR-ES-01	Gris, 5Y 5/1	74'4	Presencia de restos de raíces
	UTR-TI-01	Pardo ligeramente verdoso, 2'5 Y 5/6	64'4	
Carrasconte (MSP)	VIL-ES-01	Negro N 2/0	68'9	Presencia de restos de raíces
	VIL-TI-01	Pardo amarillento, 10 YR 5/4	28'0	Presencia de restos de raíces
	VIL-TI-02	Pardo amarillento oscuro, 2'5 Y 5/4	52'4	Presencia de restos de raíces

En adelante, para hacer referencia a los materiales reconocidos por su color gris o negro, se hablará de estériles y se hará referencia a tierra vegetal cuando se comenten los resultados asociados a los materiales en general pardos.

En Utrillas, los datos analíticos revelan una evidente mayor capacidad de la denominada tierra vegetal para sostener vegetación por sus mejores características para el almacenamiento y aporte de agua en un medio seco próximo a semiárido. Aunque ésta posee un elevado contenido en fragmentos rocosos, los estériles superan su valor en diez puntos porcentuales, con más del

74% en peso. Sin embargo, este dato puede resultar engañoso pues una parte de dichos elementos gruesos (son mayoritariamente arcillas arenosas y arenas arcillosas grises) posiblemente se alteraría hasta desaparecer una vez fueran convertidos estos materiales en materia prima para la construcción de un nuevo suelo. Desde el punto de vista de la textura, no hay diferencias significativas, siendo en ambos casos Franco-arcillo-arenosa.

El valor de los contenidos en materia orgánica obtenidos es mayor por el método de ignición que por el de oxidación por dicromato. En el estéril, el contenido en materia orgánica es mayor que en la tierra vegetal (3'89 frente a 2'55%) lo cual hace sospechar en la posibilidad de un ataque a otros componentes del estéril o a la materia orgánica fósil.

El pH en ambos casos es aceptable, pero, sin embargo, la conductividad eléctrica es superior en el estéril, pudiendo considerarse ligeramente salino ($CE = 0'370$ dS/m a $25^{\circ}C$).

La suma de cationes de cambio supera a la medida de la capacidad de intercambio catiónico, lo que significa una interferencia debida a carbonatos. La medida de la CIC total en el estéril gris es muy baja ($5'58$ cmol(+)/kg), mientras que en la tierra vegetal es adecuada ($12'08$ cmol(+)/kg). Este dato permite dudar de la validez de la medida del contenido en materia orgánica o, cuando menos, permite dudar de que la materia orgánica medida se pueda considerar funcional desde el punto de vista edáfico y ecológico. Si se evalúa la CIC total como suma de cationes, el porcentaje de saturación de bases es en ambos casos casi del 100%.

En los acopios de tierras y estériles estudiados en Villablino, también se aprecia una mayor capacidad productiva de los que se suponen mezcla de suelos y capas superficiales (tierra vegetal). El contenido en elementos gruesos es bastante inferior en un caso y muy inferior en el otro ($52'4$ y $28'0\%$ frente a $68'9\%$ en los

estériles negros). En ambos casos son mayoritariamente fragmentos de areniscas y lutitas. La textura es Franco-arenosa en las muestras de tierra y Arenosa en la de estéril.

El pH es algo superior en el estéril y la conductividad eléctrica es baja en todos. De nuevo, los valores de materia orgánica medidos por ignición superan a los de oxidación por dicromato y se aprecian incongruencias entre los datos de materia orgánica y los de capacidad de intercambio catiónico. Salvo en la muestra VIL-TI-02 (con 11'98 cmol(+)/kg) la CIC total es inadecuada. En la muestra de estéril, la suma de cationes extraíbles es superior al valor obtenido de CIC total por una posible interferencia debida a la presencia de carbonatos. En los otros dos casos el ajuste es normal. El porcentaje de saturación de bases estimada sobre la suma de cationes extraíbles oscila entre el 96 y el 98%.

Además de todas las anteriores consideraciones, los estériles oscuros presentan, tanto en Utrillas como en Villablino, un porcentaje de azufre pirítico de 0'44%. La acidez máxima que dicho contenido en pirita puede generar alcanzaría un valor de $PA = 31'25 \times 0'44 = 13'75 \text{ t CO}_3 \text{ Ca eq/1000 t}$.

En el estéril de Utrillas, esta acidez podría verse compensada por la capacidad de neutralización potencial (21'5 t CO₃ Ca/1000 t). Sin embargo, en Villablino no sería así, siendo deficitario el balance en -2'45 t CO₃ Ca/1000 t de material. No obstante, este valor no asegura por completo que dicho material pueda considerarse generador de un medio ácido, si se sigue el criterio establecido por WDEQ (1994). Como se verá más adelante, en escombreras formadas con materiales teóricamente semejantes, la contabilidad acido-base resulta positiva.

8.2. ESTUDIO DE ESCOMBRERAS.

Como ya se ha comentado, se buscaron escombreras de estériles grises oscuros o negruzcos, procedentes de la simple fragmentación y remoción de rocas

pertenecientes a capas próximas al carbón. En la zona de Valdesamario se seleccionaron seis; en la zona de Miranda-Minas de la Mora (Villablino), otras cinco y, finalmente, en la Corta Santa Lucía, cercana a Utrillas, tres escombreras. En cada una se obtuvo una muestra compuesta superficial como se describe en el punto 7.1.2.

Las escombreras de Valdesamario y Villablino poseen algunas características parecidas derivadas de la semejanza estratigráfica del estefaniense en ambas cuencas. En ambos casos se describe como alternancias de areniscas (litarenitas de matriz muy escasa), lutitas (limolitas y argilitas de matriz pelítica muy poco recristalizada), las cuales suelen denominarse también pizarras si presentan cierta dureza; y carbón que suele acompañarse de suelos de vegetación a muro.

Salvo dos escombreras en Valdesamario, de carácter Franco-arcillo-arenoso, todas las demás son Franco-arenosas. En general, las escombreras de Villablino son algo más arenosas que las de Valdesamario.

El contenido en elementos gruesos varía entre 68'10% (VAL-PIL-IV) y 85'90% (VIL-PIL-IV). La media en Villablino es 78% y en Valdesamario de 74%. De modo en general pueden considerarse suelos esqueléticos. La mayoría de los elementos gruesos presentes son fragmentos de arenisca (ver anexo A.I). Los colores son todos de matriz 5Y, variando del verde oliva al gris oscuro. En todas las escombreras es posible encontrar manchas en las caras de los elementos gruesos, que van desde el amarillo (10YR 7/6) y el amarillo pardusco (10 YR 6/8) al amarillo pálido (5Y 7/4).

En la **Tabla 8.2.** se muestran los datos de color, pH y la contabilidad ácido-base calculada según el modelo adaptado para suelos, con vistas a la realización de interpretaciones de tipo agronómico ($ABA = NP - AP - AC$), donde NP es la capacidad de neutralización potencial, AP es la máxima capacidad de generación de acidez debida al azufre pirítico, y AC es la acidez cambiante.

Tabla 8.2. Datos de las escombreras y Contabilidad Ácido-Base. Se ha considerado un factor de 1000 y una profundidad de 18 cm para la hectárea gleba en el paso de acidez de cambio en cmol(+)/kg a tCO₃Ca/1000t de material.

MUESTRA	COLOR Munsell	pH _{agua}	% S pirítico	AP (CO ₃ Ca t/1000t)	NP (CO ₃ Ca t/1000t)	Acidez de cambio (cmol(+)/kg)	Acidez de cambio (CO ₃ Ca t/1000t)	ABA(CO ₃ Ca t/1000t)
VAL-PIL-I	5Y 4/2	4'05	0,087	2'7	38'1	1'52	0'6	34'8
VAL-PIL-II	5Y 3/1	4'34	0,091	2'8	44'1	1'88	0'7	40'6
VAL-PIL-III	5Y 4/1	5'72	0,076	2'4	27'2	0'26	0'1	24'7
VAL-PIL-IV	5Y 4/4	5'09	0,370	11'6	32'2	1'60	0'7	20'0
VAL-PIL-V	5Y 3/1	4'49	0,290	9'1	40'0	0'20	0'1	30'8
VAL-PIL-VI	5Y 3/1	6'16	0,370	11'6	44'7	0'06	0'0	33'1
VIL-PIL-I	5Y 4/4	6'65	0,087	2'7	41'7	0'06	0'0	39'0
VIL-PIL-II	5Y 3/2	8'23	0,250	7'8	26'5	0'04	0'0	18'7
VIL-PIL-III	5Y 3/1	8'73	0,180	5'6	35'9	0'04	0'0	30'3
VIL-PIL-IV	5Y 4/2	5'78	0,160	5'0	49'5	0'06	0'0	44'5
VIL-PIL-V	N 3/0	6'10	0'170	5'3	37'2	0'14	0'1	31'8
UTR-PIL-I	2'5Y 4/2	3'87	0,930	29'1	135'4	16'3	7'4	98'9
UTR-PIL-II	2'5Y 3/2	3'18	1,090	34'1	-0'9	14'6	8'5	-43'5
UTR-PIL-III	N 2/0	2'18	4,540	141'9	-12'6	36'8	19'6	-174'1

Tabla 8.3. Valores representativos de algunos componentes de carbones de El Bierzo, Villablino y Utrillas (tomado de: Gómez Fernández *et al.*, 1994; Melgar Casillas, 2002, y Alloza *et al.*, 1991).

CARBÓN	%CENIZAS	%VOL.	%C	%N	%S TOTAL	%S PIRÍTICO
HVL-TU	45'97	11'97	46'02	1'21	1'76	1'38
HVL-LV	17'24	11'03	75'07	1'67	2'05	1'23
Lumajo	31'50	14'10	-	-	0'75	-
Carrasconte	38'70	12'90	-	-	0'75	-
Escucha (min.)	20'70	30'07	51'42	0'58	4'10	-
Escucha (max.)	22'95	33'35	57'02	0'64	4'51	-

Notas:

- Todos los valores en base seca.
- Las muestras HVL-TU Y HVL-LV se refieren a carbones de la Hullera Vasco-Leonesa en El Bierzo. La primera es carbón bruto (todo uno) y la segunda carbón lavado.
- Los valores correspondientes a Lumajo y Carrasconte se refieren a explotaciones sitas en las igualmente denominadas subzonas de la cuenca de Villablino.
- Los valores de Escucha (max.) y Escucha (min.) se exponen en la referencia original como representativos de los valores máximos y mínimos de los carbones que se queman en la central térmica de Escucha, y se consideran extrapolables a los explotados en la cuenca de Utrillas.

El contenido en azufre pirítico alcanza valores conformes con los contenidos en azufre de los carbones explotados (**Tabla 8.3.**).

No existe correspondencia clara entre unos y otros parámetros básicos, aunque si es posible dar una explicación racional del proceso que actúa en todos los casos. Los estériles tienen un contenido inicial en azufre pirítico bastante variable y una capacidad de neutralización potencial también variable. Los pH iniciales pueden llegar a ser bastante altos, como ocurre en VIL-PIL-II y VIL-PIL-III (8'23 Y 8'73 respectivamente). Estos pH_s están claramente en desequilibrio con el medio y, por otro lado, son los únicos que superan el valor de 7. Stewart & Daniels (1992) proporcionan datos muy parecidos obtenidos en el estudio de escombreras que inspiró al que aquí se esta comentando. Explican que los valores altos de pH_s expresan en esencia falta de alteración de los sulfuros. Según se va produciendo dicha alteración, el pH va descendiendo y se va consumiendo capacidad de generación del acidez y capacidad de neutralización. En dicho proceso, como ya se ha comentado, intervienen numerosos factores. Conviene no olvidar que el método asume que todo el material neutralizante presente puede reaccionar, lo que normalmente no ocurrirá nunca. A pesar de que los valores obtenidos de ABA son bastante favorables, algunas de las escombreras de Valdesamario tienen ya pH_s muy bajos, y una acidez de cambio elevada. En ausencia de la contabilidad acido-base, la cual proporciona valores bastante positivos, se hubiera planteado la necesidad de encalar.

Los valores de materia orgánica obtenidos por el método de ignición son en general mayores que por oxidación por dicromato menos en tres de las muestras (VIL-PIL-III, VAL-PIL-V y VAL-PIL-VI). El valor obtenido por ignición en VAL-PIL-VI parece erróneo. La medida de la materia orgánica en este tipo de materiales se presenta como algo difícil de interpretar. Suelos naturales como contenidos tales como 5% ó 7% suelen poseer características físicas y químicas excelentes, lo que no se puede decir de estos materiales. Puede decirse que, desde el momento en que se tenga la sospecha de la presencia de materia orgánica fósil

y sulfuros asociados, ha de restarse importancia a la medida de la materia orgánica.

Todos los valores de capacidad de intercambio catiónico totales concuerdan bien con la suma de cationes extraíbles con acetato amónico. La capacidad total es baja con una sola excepción (VIL-PIL-V) que muestra una CIC adecuada. El porcentaje de saturación de bases en todas las muestras de Villablino ronda el 99%. Sin embargo, en Valdesamario alcanzan o superan el 95% tres escombreras, y el resto –las de mayor valor de acidez cambiabile– no superan el 75%.

Mitchell *et al.* (1981) encuentran que los impedimentos de carácter químico más limitantes para el establecimiento de la vegetación en escombreras abandonadas, sitas en Jonesville (Alaska) se derivan de la falta de nitrógeno, fósforo y, en menor medida, de potasio. Encuentran valores de pH de 8'3, lo que puede explicar la baja disponibilidad de P y de otros micronutrientes. Esto podría ocurrir en VIL-PIL-II y VIL-PIL-III. El fósforo asimilable presenta grandes variaciones. El nivel es alto según Mortvedt *et al.*(1996) en VAL-PIL-I, VAL-PIL-III, VAL-PIL-VI, VIL-PIL-I y VIL-PIL-IV. En el resto es bajo.

En cuanto a los contenidos en nitrógeno, todas las muestras de Valdesamario y Villablino presentan niveles aceptables de nitrógeno, incluso altos. El nivel de K es medio o bajo en todas las muestras.

Lo más sorprendente de la revisión de todos los resultados es que es imposible explicar la razón por la cual las escombreras VIL-PIL-I y VIL-PIL-IV están abundantemente cubiertas de vegetación y el resto no, salvo por el nivel de P.

Posiblemente VIL-PIL-I sea más antigua que el resto. La única explicación que puede darse en el caso de VIL-PIL-IV es que es de muy pequeño tamaño y, cuando la superficie alterada es pequeña y se encuentra rodeada de un ecosistema

poco alterado, la recuperación es relativamente rápida sin intervención humana, siempre y cuando las condiciones edáficas alcancen un mínimo de calidad y las pendientes no sean excesivamente fuertes. En Valdesamario, conviene recordar, las escombreras se remodelaron en el año 2000, por lo que el tiempo transcurrido para producirse la colonización ha sido muy corto.

En cualquier caso si las dos mencionadas escombreras de Villablino pueden sostener vegetación, es posible admitir que una serie de actuaciones encaminadas a la mejora e implantación de vegetación daría lugar a que el resto también sea revegetado, dado que, a la vista de los parámetros analizados, no es posible calificarlas como inferiores, salvo por el nivel de P o el tiempo transcurrido desde su configuración definitiva.

Los valores del contenido en elementos gruesos en las escombreras de Utrillas son 41'5%, 57'6% y 64'4%, lo que supone limitaciones severas en todos los casos. El menor valor corresponde a la muestra UTR-PIL-III que presenta aspecto de masa de residuos de lavadero de color negro (2'5N 2/0). Los elementos gruesos de ésta, que en general son de pequeño tamaño, presentan a veces cantos areniscosos de colores abigarrados claros, dominados por el amarillo (10YR 7/6), y en algunos fragmentos de aspecto pizarroso aparecen caras teñidas de color amarillo pálido (5Y 7/4). Todo ello es ya indicativo de un elevado contenido en sulfuros originales en proceso de alteración.

La densidad aparente corregida es del 1'3 Mg/m³ en el caso de UTR-PIL-I. En las otras dos es muy baja: 1'01 y 1'07 Mg/m³ respectivamente. Esto puede ser consecuencia de un vertido fluido, en el caso de UTR-PIL-III, y de un vertido en retroceso, en el caso de UTR-PIL-II, sin circulación de maquinaria sobre las superficies finales.

Las texturas de las escombreras de Utrillas no pudieron medirse por el método de tamizado y sedimentación, debido a la imposibilidad de dispersión correcta de la

muestra. Esto es indicativo de altos contenidos en sales. La medida del contenido en humedad arroja valores muy altos, lo que puede suponer presencia de elevados contenidos en sustancias de alta higroscopicidad.

El pH de las tres escombreras de Utrillas es excesivamente ácido. Las muestras UTR-PIL-II y UTR-PIL-III pueden calificarse de ultra-ácidas con pH <3'5 (2'18 en la escombrera de residuos de lavadero).

La caracterización del porcentaje de materia orgánica, al igual que ocurría en las muestras de acopios, arroja valores mayores por el método de ignición. El valor obtenido en la muestra UTR-PIL-III es de 31% por ignición y 24'1% por oxidación con dicromato, lo que muestra claramente que ambos métodos atacan a la materia orgánica fósil o a compuestos asociados.

La caracterización del complejo de cambio en estas escombreras falla por la presencia de carbonatos o sales. Sin embargo, sí puede afirmarse que los valores obtenidos de la acidez de cambio son extraordinariamente elevados (16'3, 14'6 y 36'8 cmol/kg).

La conductividad eléctrica en las escombreras de Utrillas permite calificarlas de suelos altamente salinos. El valor de UTR-PIL-III, que alcanza 3'98 dS/m en solución 1:5, es extraordinariamente alto.

Los niveles de P y de K son bajos en las tres muestras de escombreras de Utrillas. Los valores de nitrógeno son medios o elevados. Vandeverder & Sencindiver (1982) encuentran contenidos de N Kjeldahl de 0'18 a 0'29% (exactamente igual que en UTR-PIL-III) en muestras superficiales de tres suelos mineros carbonosos, desnudos, muy ácidos y todos ellos con una historia de fracasos en la implantación de vegetación. En muestras profundas obtuvieron valores de 0'19 a 0'35% de N. La experiencia de estos autores, añadiendo fertilización nitrogenada y fosfórica, y encalando estos suelos, muestra que el N añadido no tuvo efecto,

mientras que el aporte de caliza y superfosfato triple si lo tuvo. De modo semejante, puede pensarse que existe nitrógeno disponible para las plantas en las escombreras estudiadas, aunque no se conoce cuanto de él aparece ligado a silicatos o a materia orgánica fósil.

También la Contabilidad Ácido-Base resulta muy negativa como puede observarse en la **Tabla 8.2**. En este caso, puede prácticamente asegurarse que los materiales correspondientes a UTR-PIL-II y, sobre todo, UTR-PIL-III son altamente generadores de acidez. El balance final podría ser aún más negativo si se hiciera siguiendo el modelo de Komnitsas *et al.* (2001). En los trabajos de Komnitsas *et al.* (2001) se reportan valores de la capacidad de neutralización potencial del orden de menos cuarenta toneladas de CO_3Ca por cada mil toneladas de estéril, en referencia a residuos de carbón procedentes de Tula (Rusia). Sin embargo, dichos autores no consideran este valor a la hora de establecer la neutralización potencial neta, cifrándola como el valor negativo de la máxima capacidad de generación potencial de acidez. La no consideración de la NP por parte de dichos autores podría deberse a un desconocimiento del procedimiento más o menos estandarizado seguido por los autores norteamericanos. Sin embargo, a la luz de las citas bibliográficas referidas en el trabajo de Komnitsas *et al.* (2001), cabe afirmar que no existe tal desconocimiento, por lo que puede tratarse de una forma de adopción de un factor de seguridad.

8.3 ESTUDIO DE SUPERFICIES EN PROCESO DE RESTAURACIÓN.

Como superficies en proceso de restauración se han considerado las zonas de trabajo de la Corta de las Ranas (Valdesamario), la zona de Carrasconte (Villablino) y una parte de la denominada Sabina-Umbrión (Utrillas).

Como ya se ha comentado, se realizaron tres tipos de muestreos en los sectores de trabajo. La caracterización edafológica media de la superficie de los suelos en los distintos sectores diferenciados visualmente se realizó a partir de muestras compuestas de varios incrementos muestrales en cada uno, de forma semejante a como se realizó para las escombreras, alcanzando la profundidad de 10 cm (procedimiento descrito en el punto 7.1.2.).

Se vio que las características físicas de las muestras superficiales de los suelos en la zona de la Corta de las Ranas son bastante limitantes. Los valores de densidad aparente, con una sola excepción, son elevados. La compactación superficial se hizo patente durante la toma de muestras. El contenido en elementos gruesos supera siempre el 60 % y llega a alcanzar en el Sector III el valor de 77,7 %. Dominan los fragmentos de areniscas y lutitas, a veces con carbón. Las texturas son Franco-arenosas en general y Franco-arcillo-arenosas en dos casos. Estas características físicas se traducen en una nula capacidad de estos suelos para permitir el laboreo agrícola (al margen de las fuertes pendientes de algunos sectores) y en una baja capacidad de retención de humedad.

El pH es muy fuertemente ácido en cinco de los doce sectores diferenciados y fuertemente ácido en cuatro sectores. En el resto varía de moderadamente ácido a ligeramente ácido. A mayor grado de acidez, existen mayores posibilidades de que se vea disminuida la disponibilidad de nutrientes, especialmente el calcio y el fósforo. En algunos casos la acidez de cambio es bastante elevada, lo que puede suponer problemas de toxicidad por aluminio. Los resultados de la medida de la capacidad de intercambio catiónico y de la suma de cationes extraíbles son coherentes. Los valores de CIC son muy bajos en general.

Los valores de materia orgánica medidos por el método de ignición dan valores superiores a los medidos mediante oxidación por dicromato. Los valores obtenidos por el método de Walkley-Black son mucho más lógicos, si se considera el tipo de material que se está analizando. Si se acepta la medida

obtenida como válida, puede decirse que los contenidos en materia orgánica son en general aceptables, salvo en dos sectores en los que el valor es menor de 1 %.

El Sector XII puede considerarse ligeramente salino, con una conductividad eléctrica de 0'246 dS/m a 25° en la solución 1/5.

Llama la atención que tres de los sectores con mayor densidad y diversidad en la cobertura vegetal introducida de forma natural (VAL-V, VAL-IX y VAL-X) no destacan precisamente por sus mejores características químicas. En los tres casos el pH es muy fuertemente ácido y la acidez cambiante supera el valor de 1 cmol(+)/kg, para capacidades totales de cambio de tan solo 5'17 a 6'91 cmol(+)/kg. En todos ellos se aportaron estratos pardos amarillentos, presumiblemente con una importante proporción de suelos arrancados en operaciones de desmonte. Como es lógico, la vegetación natural está bien adaptada a las condiciones de acidez de los suelos naturales, pero también es capaz de introducirse sobre los suelos en formación sobre estratos menos oxidados, como se ha podido constatar. La menor presencia y cobertura vegetal en estos últimos sólo puede explicarse porque el material que quedó en superficie no puede comportarse como un banco de semillas.

Las muestras superficiales de los suelos mineros de Villablino (Carrasconte) son algo más arcillosas que las de Valdesamario (Corta de las Ranas). Las texturas son Franco-arcillo-arenosas, menos en el Sector II, en el que la textura es Franco-arenosa. El contenido en elementos gruesos varía aproximadamente entre 60 y 80 %. Dominan los fragmentos de areniscas, cuarcitas y lutitas. Las cuarcitas pueden ser sub-redondeadas. La compactación es también elevada.

Los pH_s varían entre 4'97 y 7'80. En los de menor pH la acidez de cambio llega a ser importante. La materia orgánica medida por el método de ignición da valores superiores a la resultante de aplicar el método de oxidación por dicromato. Los

valores obtenidos por este último procedimiento son más razonables y, en general, aceptables o elevados (entre 2'82 y 5'69 %).

Como era de esperar por el tipo de recubrimientos empleados, no se aprecian contenidos elevados de sales. Las medidas de conductividad eléctrica varían entre 0'027 y 0'110 dS/m a 25° en la solución 1/5.

En la zona de estudio de Utrillas, definida como una fracción de las superficies en proceso de restauración pertenecientes a Sabina-Umbrión, las muestra superficiales representativas ofrecen un panorama muy distinto al de las otras dos zonas.

Las texturas no son muy distintas, estando todas incluidas en la calificación, Franco-arcillo-arenosa salvo una muestra que es Franco-arenosa, cercana a Franco-arcillo-arenosa. El contenido en elementos gruesos, como mucho, alcanza a ser del 55%, siendo en general bastante menor. Suelen aparentar ser fragmentos de calizas arenosas, margas arenosas o areniscas, irregulares, angulosos o algo redondeados a veces. Son relativamente ligeros y de baja dureza.

Los colores en seco de la tierra fina varían entre el pardo verdoso claro (2'5Y 5/4) y el amarillo (2'5Y 7/6).

Los pH_s se mueven entre 7'87 y 8'51, lo que quiere decir que están prácticamente todos comprendidos en la denominación moderadamente alcalino. Esto puede repercutir en la disponibilidad de N, P y K, así como en la de otros micronutrientes. Especialmente grave puede ser el descenso en la disponibilidad de potasio entre los pH_s de 7'6 y 8'4 y de N cuando se supera el valor de pH 8.

Como ha ocurrido con la mayoría de las muestras analizadas en este trabajo, el valor del porcentaje de materia orgánica medido mediante el procedimiento de Walkley-Black es inferior al obtenido por ignición en todas las muestras

compuestas superficiales de la zona de Utrillas. Los resultados que resultan del método de oxidación son aceptables, incluso altos, moviéndose en el rango comprendido entre 1'01 y 3'62%.

Los valores obtenidos de la capacidad de intercambio catiónico total son muy inferiores a la suma de cationes extraíbles con acetato amónico, debido a la interferencia clara de carbonato cálcico y sales. Los valores obtenidos de CIC total son muy bajos (2'34 a 4'86 cmol (+)/kg.).

La medida de la conductividad eléctrica puede variar bastante entre las subdivisiones de un sector. Esto ocurre en los sectores I, II, III y VI, que fueron divididos en dos. El Sector III puede considerarse de moderadamente salino a altamente salino. En los Sectores I, II y VI la salinidad puede considerarse ligera a moderada. Las muestras de los Sectores IV y V son muy salinas, lo que explica la presencia casi exclusiva de plantas muy tolerantes a la salinidad (*Atriplex halimus*). También los contenidos en sodio de cambio son muy elevados si se comparan con la CIC total, lo que en general, permite clasificar estas muestras superficiales como fuertemente o extremadamente alcalinas.

Así pues, en Valdesamario y Villablino, las muestras superficiales de los suelos mineros muestran que pueden existir importantes limitaciones para la retención de agua derivadas de las texturas gruesas y los muy elevados contenidos en elementos gruesos. Además es posible constatar una fuerte compactación y se pueden dar carencias nutritivas derivadas de los pH_s extremos que, por otro lado, pueden variar bastante de un punto a otro. Sin embargo, la elevada acidez no es un problema serio para la vegetación natural del entorno. Al margen de la disponibilidad de nutrientes, en Utrillas hay tres sectores de la zona que presentan problemas asociados a la salinidad bastante graves. También está generalizado el problema derivado de los grandes niveles de sodio de cambio, lo que se traduce en desintegración de la estructura, y conlleva a procesos graves de

erosión laminar, concentrada y fenómenos de subfusión. La CIC es bastante baja en todos estos suelos.

El estudio de lo que se ha venido denominando microperfiles, es decir, análisis de muestras tomadas a las profundidades fijas 0-10 cm y 10-20 cm, no ofrece resultados definitivos en cuanto a la observación de procesos evolutivos superficiales.

Ocho microperfiles se situaron sobre superficies en las que afloran estériles grises oscuros o negruzcos, todas ellas en la Corta de las Ranas. Las características físicas de estos no indican ningún grado de diferenciación vertical, como era de esperar. Todas las muestras son Franco-arenosas, próximas a Franco-arcillo-arenosas, o Franco-arcillo-arenosas. Unas veces el contenido en arcilla es superior en la capa más superficial y otras es inferior. En general la densidad aparente es elevada, pero la mayoría de las veces no pudo medirse por ausencia de agregados. En los pocillos que sirvieron para la toma de muestras se vieron todos estos microperfiles como un material sin estructura. Si parece, sin embargo, que el porcentaje de elementos gruesos es algo superior en la capa más profunda, lo que puede explicarse por la pulverización efectuada por la maquinaria pesada que se empleó en la remodelación final. Destaca la muestra VAL-6B-2 en la que se alcanza el 91'6 % de fragmentos rocosos. Dominan los fragmentos de areniscas y lutitas de tamaños 2-5 y 5-20 mm. Los colores en seco de todas las muestras correspondientes a estos microperfiles van del negro (N 2'5/0) al gris verdoso (5Y 4/2).

En lo que respecta a las características químicas, solamente el pH se comporta siempre de la misma forma, siendo algo superior en la capa más profunda que en la superficial. Aún así, se observa gran variabilidad espacial. Por ejemplo el pH de la capa superficial del microperfil VAL-10A es 4'17 mientras que el del perfil VAL-10B es 5'96. En general son pH_s ácidos, pero se da toda la gama, desde aquellos que pueden calificarse de extremadamente ácidos a los de carácter

neutro. Los de menor pH poseen una acidez de cambio elevada. En la muestra VAL-5A-1 se alcanza el valor de 4'16 cmol(+)/kg de acidez de cambio. Los resultados de la medida de la capacidad de intercambio catiónico y de la suma de cationes extraíbles son coherentes. Los valores de CIC son muy bajos en general.

De nuevo, salvo en una excepción, los valores de materia orgánica medidos por el método de ignición dan valores superiores a los medidos por oxidación con dicromato. Los valores obtenidos por el método de Walkley-Black son mucho más lógicos, si se considera el tipo de material que se está analizando. Mirando como se comporta dicha medida, las capas superiores pueden tener mayor contenido orgánico o menor, según el caso y sin norma fija. Ocurre lo mismo con la conductividad eléctrica. Sólo una muestra alcanza un valor que permite calificarla de ligeramente salina (0'155 dS/m a 25°C) y otra moderadamente salina (0'328 dS/m a 25° C). Dichas muestras están tomadas en los sectores XI y XII, en las que siempre aparecen precipitados blancos en los meses secos.

De la revisión de los datos analíticos de los microperfiles situados sobre terrenos recubiertos con estériles de colores más oxidados tampoco es posible deducir procesos de diferenciación. Solo se observa una cierta agregación ligada a las raicillas de las plantas herbáceas en los primeros centímetros. Los datos no permiten calificar estas muestras como netamente mejores a las anteriores: poseen texturas Franco-arenosas o Franco-arcillo-arenosas, porcentajes elevados de elementos gruesos (superiores al 60 %, mayoritariamente angulosos de arenisca y sub-redondeados de cuarcita), elevada densidad aparente, baja CIC, pH_s ligeramente alcalinos o moderadamente alcalinos y no presentan problemas por altos niveles de aluminio de cambio o salinidad. El color de la tierra fina varía entre el amarillo verdoso (2'5Y 6/6) y el pardo amarillento claro (2'5Y 6/4). Si se aceptan los valores obtenidos de materia orgánica por el método de Walkley-Black, puede decirse que los niveles son aceptables en general.

En la zona de estudio de Carrasconte (El Salguero), se tomaron muestras en siete microperfiles. Como en Valdesamario, del análisis de los parámetros físicos no es posible deducir ningún proceso generalizado de diferenciación vertical. En todo caso, parece darse un mayor contenido en elementos gruesos en las capas más profundas de los microperfiles, el cual puede derivarse del efecto causado por la maquinaria durante la construcción de los suelos. El contenido de elementos gruesos en estas muestras varía entre el 60 y el 90 %. Los elementos gruesos son predominantemente fragmentos de areniscas lutitas y cuarcitas, normalmente irregulares y angulosos, aunque las cuarcitas pueden estar subredondeadas. Los rangos de tamaños dominantes son 2-5 y 5-20 mm, aunque los hay mayores (hasta bloques). Los colores de la tierra fina van desde el pardo verdoso claro (2'5Y 5/4) al pardo grisáceo muy oscuro (2'5Y 3/2), sin que pueda hablarse de oscurecimiento superficial. Sin embargo, en todos los microperfiles de la zona de Carrasconte es posible apreciar una estructura entre migajosa y granular media, asociada a los sistemas radiculares en la proximidad del cuello de las macollas de las gramíneas.

En la mayoría de los casos el pH de la segunda capa es algo superior al de la primera. Los resultados van en general de lo ligeramente ácido a lo moderadamente alcalino, con la excepción del microperfil VIL-5A que es fuertemente ácido. En él, la acidez de cambio se hace apreciable.

La materia orgánica medida por el método de ignición da valores superiores a la resultante de aplicar el método de oxidación por dicromato. Los valores obtenidos por este último procedimiento son más razonables y, en general, pueden calificarse como aceptables o elevados. No se aprecian mayores contenidos en superficie en cinco de los siete casos. La conductividad eléctrica es baja y no expresa diferencias entre capas.

En Utrillas tampoco es posible deducir ninguna diferenciación vertical generalizada a partir de los datos. La textura predominante en todas las muestras

es la Franco-arcillo-arenosa, si bien hay algunas Arcillo-arenosas y Arcillosas. Puede observarse algún caso de variación importante en poco espacio. Por ejemplo, la textura de las muestras del microperfil UTR-13B es Franco-arcillo-arenosa con un 32 % de arcilla, mientras que las muestras del microperfil UTR-13C son arcillosas, con casi un 50 % de arcilla.

El contenido en elementos gruesos oscila entre el 28'9 % y el 57'8 %, mostrando también alta variabilidad superficial. Son calizas, margas o calizas arenosas. Los colores de la tierra fina van desde el gris verdoso claro (2'5Y 5/4) al amarillo (2'5Y 7/6) en seco.

Los pH_s oscilan entre los ligeramente alcalinos y los fuertemente alcalinos, lo que denota presencia de carbonatos o sodio. Debido a los elevados pH_s puede producirse una grave disminución de la disponibilidad de N, P y K, variable según el valor alcanzado.

Los valores de materia orgánica, siempre son menores los obtenidos por el método de oxidación con dicromato. Los valores más elevados se dan en el Sector II, que posee una cubierta herbácea permanente. En este sector es posible encontrar elementos de estructura granular ligados a las raíces de las gramíneas.

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico son muy inferiores a los obtenidos por suma de cationes extraíbles debido, al un elevado contenido en carbonato cálcico y sales. Los valores de sodio de cambio son elevados en comparación con la CIC total, lo que permite calificar a estos suelos como fuertemente alcalinos, o extremadamente alcalinos en algún caso (UTR-9B).

La conductividad eléctrica también puede variar enormemente en puntos relativamente próximos. Por ejemplo, la muestra UTR-13B-1 es ligeramente salina, mientras que UTR-13C-1 es altamente salina con una diferencia de más de 1000 dS/m a 25°C. Algo parecido ocurre entre UTR-2B-1 y UTR-2C-1 y entre

UTR-14A-1 y UTR-14B-1. Se puede afirmar que existe un problema generalizado de salinidad que, en este caso, se origina en los estériles y tierras empleados para recubrir a los estériles más carbonosos.

No cabe duda de que el análisis de la información obtenida de muestras superficiales, puntuales o compuestas, aporta bastante luz sobre algunos de los problemas que plantean los suelos elegidos para este trabajo. Sin embargo, como ya se ha resaltado, esto se consideró insuficiente, por lo que desde un principio se otorgó especial importancia a la descripción y muestreo de perfiles de los suelos mineros en las zonas de estudio. La apertura manual de las calicatas necesarias para la descripción de perfiles ha sido, con diferencia, la tarea más costosa en esfuerzo y tiempo de este proyecto. Es posible afirmar que una de las aportaciones más importantes de este estudio consiste en la descripción de un total de 40 perfiles de suelos mineros y suelos naturales en el entorno inmediato de las zonas de trabajo elegidas. Las descripciones de todos ellos se reúnen en el **anexo A. II.**

Los perfiles de suelos naturales descritos se corresponden normalmente con tipos de suelos poco evolucionados: Entisoles e Inceptisoles de la clasificación americana (Soil Survey Staff, 1995). Solamente uno de los suelos descritos muestra rasgos de mayor evolución (UTR-10), presentando lavado de carbonatos, acumulación y cementación en profundidad, junto con iluviación de arcilla. Este suelo ocupa una posición llana sobre un glacis y posiblemente es el único que fue cultivado. Algunos perfiles han sido claramente influidos por procesos de degradación y pérdida de suelo, derivados de la quema periódica y el sobrepastoreo. Dos perfiles (VAL-02 y VAL-03) son dos espléndidos ejemplos de suelos forestales bien conservados. VAL-02 ha servido para ilustrar la portada de esta memoria.

Los perfiles de suelos mineros son todos de tipo C, AC-C o A-C. En todos los que han formado a partir de materiales estériles de colores pardos ó pardo-

amarillentos, vertidos sobre estériles carbonosos, se aprecia perfectamente el contraste entre unos y otros. Este límite siempre ha sido empleado para la distinción de capas u horizontes. Entre algunas de las características visualizadas en los perfiles que son de destacar están:

- Como rasgo de evolución incipiente, ha podido constatarse la presencia de una capa superficial fina, con estructura granular ligada a los sistemas radiculares de las gramíneas, cuyo límite con la capa inferior es ondulado neto o brusco. Esta capa u horizonte sólo se presenta en los suelos cubiertos por pradera mixta de tipo césped (Umbrías de Utrillas, zona de Carrasconte y algunos horizontes superficiales en Valdesamario), en las que existe un denso enraizamiento muy superficial.
- Los elementos gruesos suelen presentarse desordenados. Sobre todo en las capas oscuras, son angulosos, de bordes afilados a veces, o planos de bordes astillados.
- En algunas ocasiones, es posible encontrar fragmentos rocosos que forman un puente entre otros dos, dejando por debajo de ellos un espacio vacío no relleno por tierra fina. Estos huecos podrían funcionar como reservorios de agua a baja tensión (Ammons, 1979), pero, en función de las conexiones hidráulicas en su entorno y por debajo de ellos, también pueden favorecer la percolación rápida fuera de la zona radicular.
- La mayoría de los horizontes descritos no presentan estructura edáfica o ésta es muy débil. En este contexto la elevada presencia de elementos gruesos puede no ser perjudicial. Muchas veces se observan fieltros de raíces finas y muy finas recubriendo fragmentos rocosos duros. Dichas superficies pueden funcionar como vías preferentes para el movimiento del agua interna del suelo.

- Es frecuente encontrar elementos gruesos lutíticos que pueden presentar colores abigarrados (negro, pardo grisáceo oscuro, amarillo verdoso, amarillo, etc.) o que son de tonos grises con manchas amarillentas en general. A pesar de conservar la forma original derivada de la simple fragmentación, son ligeramente adherentes y plásticos y las raíces los penetran, por lo que, desde el punto de vista de la disponibilidad de agua, pueden comportarse de forma semejante a agregados de suelo. Posiblemente, algunos agregados empleados en la determinación de la densidad aparente sean fragmentos de lutitas. Esto significaría que se está produciendo a gran velocidad un fenómeno inverso a la litificación.
- En ocasiones es posible encontrar elementos extraños en los perfiles, tales como la presencia de grandes bloques intercalados entre la masa de fragmentos rocosos y elementos finos que forma la masa fundamental de l suelo o restos vegetales poco descompuestos enterrados por el movimiento de tierra.
- Al margen de la presencia de manchas en las caras de los fragmentos rocosos, es muy corriente encontrar matrices de colores abigarrados, como, por ejemplo: N 3/0 (gris muy oscuro), 10 YR 6/8 (pardo amarillento) y 2'5 Y 7/8 (amarillo).

Todos los suelos mineros estudiados pueden clasificarse como Entisoles (Orthents) de la Clasificación Americana. Sin embargo, se ha considerado mejor adoptar la clasificación pensada para suelos mineros de *West Virginia University* (WVU) pues aporta mayor información sobre los mismos. Ha sido necesario proponer los correspondientes modificadores para los edafoclimas Árido y Xérico, junto con el Subgrupo **lítico**. En el anexo **A.I.**, en el que se describen los perfiles, se incluye la clasificación de los mismos.

Según Sencindiver & Aumons (2000), un suelo minero cumple al menos tres de las siguientes características:

- Fragmentos rocosos desordenados.
- Moteados de color no asociados a la horizonación o a condiciones redox.
- Bordes afilados o astillados en los elementos gruesos.
- Huecos bajo puentes de elementos gruesos.
- Un fino horizonte superficial generalmente con mayor cantidad de finos que ningún otro horizonte.
- Bolsas localizadas de materiales disímiles que no son partes de horizontes diagnóstico.
- Artefactos.
- Fragmentos rocosos carbolíticos (negros, con alto contenido en carbón).
- Distribución irregular del carbono oxidable con la profundidad.

Observados uno por uno, se han clasificado como suelos mineros (Spolents) los perfiles VAL-04, VAL-05, VAL-06, VAL-07, VAL-08, VAL-09, VAL-10, VAL-11, VAL-12, VAL-14, VAL-15, VIL-02, VIL-04, VIL-05, VIL-06, VIL-08, UTR-01, UTR-02, UTR-03, UTR-04, UTR-06, UTR-08, UTR-09, UTR-11, UTR-13, UTR-14 y UTR-15. Los subgrupos principales encontrados, según lo propuesto por Sencindiver & Ammons (2000):

- Carbolítico, de colores negruzcos, con alto contenido en carbón.
- Regolítico Plático, con abundantes areniscas y arenas pardas.
- Típico, mezcla de tipos de rocas.

Se ha añadido el subgrupo Lítico, por presencia de roca dura a menos de 50 cm de la superficie, para un suelo situado en el fondo de la Corta de las Ranas (VAL-09).

Las texturas de los horizontes superficiales de los suelos naturales estudiados suelen ser Franco-arenosas, con una excepción en Utrillas (Fr-Ac-Ar) y otra en Villablino (Ar-Fr).

En general, las texturas de horizontes subsuperficiales en Utrillas son Fr-Ac-Ar, al igual que la gran mayoría de las texturas encontradas en los suelos mineros de la zona de estudio de Utrillas. Entre Franco-arcillo-arenosas y Franco-arenosas puede calificarse todas las muestras de dicha zona.

En Valdesamario y Villablino ocurre algo semejante, dominando las texturas Franco-arenosas, tanto en suelos naturales como mineros, si bien son ligeramente más arenosas en Villablino.

Puede afirmarse, en definitiva, que no existe diferencias texturales marcadas entre unos y otros tipos de suelos en ninguna de las zonas.

La gran mayoría de las muestras de Valdesamario y Villablino, tanto las correspondientes a suelos naturales como mineros, superan el 50% de elementos gruesos, llegando en algún caso al 90%.

El contenido en elementos gruesos de las muestras de suelos mineros y naturales de Utrillas muestra una variabilidad algo superior (entre 35 y 90%), si bien la mayoría contiene entre un 50 y un 60% de fragmentos rocosos, no apreciándose diferencias significativas entre unos y otros tipos de suelos.

Los valores de la densidad aparente, cuando pudieron ser medidos, indican en general un elevado grado de compactación en todos los suelos mineros de Valdesamario y Villablino, siendo bastante superiores que los valores obtenidos en las muestras de suelos naturales. Al margen de los valores de densidad aparente, la dificultad de excavación durante la apertura de calicatas permite apreciar claramente el grado de compactación. En los perfiles naturales de Valdesamario el máximo valor alcanzado de densidad aparente de la tierra fina es $1'26 \text{ Mg/m}^3$ aunque solo se pudieron obtener dos valores. En Villablino el máximo valor de densidad aparente medido es $1'53 \text{ Mg/m}^3$. Las medidas de

densidad aparente de horizontes de suelos mineros en Valdesamario y Villablino superan o rondan casi siempre el valor de $1'7 \text{ Mg/m}^3$, alcanzándose valores tan altos como $2'07 \text{ Mg/m}^3$ en la muestra VIL-08-3.

En los suelos naturales de Utrillas solo se supera el valor de $1'7$ en horizontes profundos de tipo C. En los suelos mineros se realizaron labores de descompactado y laboreo agrícola en algunas superficies, salvo un par de excepciones. Los valores de densidad aparente son menores que en las otras zonas. En general se aprecia un aumento en profundidad, lo que también pudo apreciarse durante la apertura de calicatas. A la vista de los valores obtenidos en horizontes de suelos mineros, no se observan problemas generalizados de compactación.

La evaluación de los puntos característicos del agua en el suelo se realizó sólo en algunos de los perfiles. En Villablino, donde no existen problemas de abastecimiento hídrico, sólo se determinó el punto de marchitamiento (1500 kPa) y la capacidad de campo (33 kPa) en un perfil natural y en otro correspondiente a un suelo minero. Ambos pueden considerarse bastante representativos de los suelos existentes en la zona de trabajo de Carrasconte (El Salguero) y su entorno.

Con una excepción, el agua útil, deducida de la diferencia de los valores obtenidos de la capa de campo y del punto de marchitamiento, ronda el valor de 9, tanto en los horizontes naturales como en los artificiales, encontrándose todos los resultados entre $8'7$ y $10'1\%$. La excepción es una capa de carbón situada en la base del perfil VIL-03 en la que el porcentaje de agua útil es $15'10$. Sin embargo, por las características químicas y la profundidad a la que se encuentra, esta capa debe contribuir escasamente al abastecimiento hídrico, a pesar de que es explorada por algunas raíces. De todos modos, la totalidad de los valores obtenidos pueden calificarse de bajos, lo que era previsible debido a las texturas gruesas que poseen estos suelos.

La zona de la Corta de las Ranas (Valdesamario) presenta un clima Mediterráneo con características atlánticas y un edafoclima un tanto indefinido. Aquí los suelos bien conservados, profundos y en posiciones de Umbría, son posiblemente de carácter Údico, mientras que los suelos degradados y erosionados son seguramente xéricos. Los suelos mineros presentan, teóricamente potentes espesores hábiles para el desarrollo radicular, si no fuera por la elevada densidad aparente y las posibles carencias o propiedades químicas negativas. Como ya se ha comentado, las texturas y los contenidos en elementos gruesos son semejantes en suelos naturales y mineros. Sin embargo, en comparación con los valores obtenidos para el perfil VAL-03, que puede considerarse representativo de lo que hubo en la mayor parte de la superficie alterada, el porcentaje de agua útil es notoriamente inferior en los suelos mineros analizados. En estos últimos el valor medio obtenido es 9'85%, y el rango varía entre 6'9 y 12'3%, lo que permite calificarlos como bajos valores de capacidad de almacenamiento de agua útil. La elevada pedregosidad y las limitaciones para el desarrollo radicular permiten pensar que el edafoclima que más se ajusta a estos suelos es el Xérico. En este contexto, el papel jugado por los fragmentos lutíticos en proceso de alteración puede ser importante.

En Utrillas, los problemas de abastecimiento de agua para la vegetación son mucho más serios. A la falta de precipitaciones se suma la degradación de los suelos encontrados en el entorno inmediato de la zona de trabajo, lo que se traduce en una reducido espesor útil. Además, la capacidad de almacenamiento de agua útil es también baja: entre 7'74% y 8'35% en los perfiles UTR-05 y UTR-07; que corresponden a suelos naturales. Los valores obtenidos rondan el 9% de agua útil, variando entre 6'31 y 11'80% en los perfiles UTR-08, UTR-09, UTR-11, UTR-13 y UTR-14. En el perfil UTR-01 los valores obtenidos son algo superiores. En Utrillas, puede decirse que la ligeramente mayor capacidad hídrica de los perfiles mineros, junto a los mayores espesores teóricos, implicarían una sensible mejora de la capacidad productiva con respecto a los suelos naturales del

entorno inmediato, si no fuera por las limitaciones de carácter químico que se comentan más abajo.

Los suelos naturales de carácter forestal propios del entorno de la Corta de las Ranas (Valdesamario) son en general de carácter ácido (de fuertemente ácido a extremadamente ácido). Cuanto mayor es la proporción en la que intervienen los brezos en la mezcla de matorral y melojar más acidez se detecta en superficie, lo que se une al fuerte lavado. La acidez de cambio supera en los suelos naturales de ladera a la de los suelos mineros y suelos de terrazas bajas. En la muestra VAL-02-3 que proviene de una capa carbonosa situada en la base del perfil se alcanza los 6'84 cmol (+)/kg de acidez de cambio.

El pH medido en las muestras de horizontes de suelos mineros no muestra claras diferencias entre los distintos orígenes de los estériles con los que se formaron. La variabilidad es muy grande en todas las direcciones espaciales, como se deduce comprando los valores obtenidos en perfiles y microperfiles cercanos. Por ejemplo, la muestra VAL-04-1 tiene un pH de 4'87, mientras que en VAL-04-2 es de 6'08, y en VAL-4A-1 es 7'05. También VAL-05-1 tiene un pH de 6'35, mientras que en VAL-05-2 el pH es 7'53 y en VAL-5A-1 es 3'88. Todas ellas proceden aparentemente del mismo tipo de estériles. Lo mismo puede decirse del valor de la acidez de cambio y el porcentaje de saturación de bases. En VAL-04-1 el pH es 4'87, como hemos dicho, y la saturación de bases alcanza el 96%, mientras que en VAL-10-3, con pH 4'53, la saturación de bases es 67%.

Todo parece indicar que las concepciones tradicionales relativas al pH y el complejo de cambio no se ajustan a lo que ocurre en estos suelos, los cuales están muy lejos de alcanzar el equilibrio químico con el actual ambiente. En cualquier caso, en estos terrenos, la medida obtenida del pH por sí sola, explica muy pocas cosas (como ocurría en las muestras superficiales de escombreras), y no proporciona demasiados criterios para la mejora y el manejo. Las pH_s bajos en esta zona no suponen un impedimento para la vegetación natural del entorno, así

como tampoco la elevada acidez de cambio, incluso asumiendo los problemas que pudieran implicar relativos a la baja fertilidad y/o toxicidad.

En Villablino (Carrasconte), los pH_s de los suelos naturales son muy inferiores a los de las muestras tomadas en suelos mineros. La acidez de cambio también es muy superior en los suelos naturales, a excepción del perfil VIL-01, el cual, por su posición en fondo de valle, ha podido enriquecerse en bases procedentes de las laderas cercanas. Solo el perfil VIL-05 tiene un pH coherente con los de los suelos naturales del entorno siendo, en general, fuertemente ácido.

La mayoría de los valores obtenidos en los suelos mineros de Carrasconte puede calificarse como moderadamente alcalinos. En la mayoría de los perfiles (la excepción es VIL-06) se identifica que los suelos se formaron mediante el recubrimiento de estériles grisáceos, carbonosos, con otros de colores más pardos, estos no se diferencian por el pH, moviéndose este en rangos semejantes y pudiendo ser algo superiores o inferiores a los de los horizontes profundos. Tampoco guarda relación con los de los suelos del entorno, lo que evidencia que dichos materiales proceden de recubrimientos poco o nada lavados, o que no estaban muy cerca de la superficie del terreno original.

También en Villablino se muestreo un carbonero en la base de un perfil natural. Esta muestra posee un valor de pH de 4'65 y una acidez de cambio de 11'1 cmol(+)/kg para una CIC total de 17'7 cmol(+)/kg. A pesar de esto, y de la gran profundidad a la que se encuentra en el perfil, esta capa es explorada por alguna raíz.

La modificación que ha supuesto la explotación y posteriores medidas de restauración en la que respecta a la creación de unos nuevos suelos de pH_s muy distintos a los del entorno natural puede estar afectando al proceso de colonización espontánea de las especies de matorral propias de la zona.

Previsiblemente, la tendencia de evolución del pH en estos suelos ha de ser descendente tanto por el intenso lavado, como por la oxidación de la pirita contenida en los horizontes inferiores.

Puede verse en los resultados de la contabilidad acido-base (**Tabla 8.4.**) que en todas las muestras de Valdesamario es previsible una acidificación debida al resultado negativo de ABA. Por desgracia, se perdieron los valores de neutralización potencial de estas muestras, aunque se sabe que fueron negativos.

En las muestras de Villablino, parece evidenciarse que en aquel suelo en el que la pirita se ha oxidado, se alcanza un pH bajo, mientras que en la muestra VIL-04-2, en la que el ABA es negativo, es previsible un futuro descenso pH (actualmente es de 7'9).

La muestra VIL-03-3, que corresponde al carbonero antes mencionado, indica que, a pesar del bajo pH y la elevada acidez de cambio, todavía puede darse una acidificación mayor.

Los pH_s de los suelos naturales en Utrillas son alcalinos, variando entre 8'26 y 9'01, lo que denota la presencia de carbonatos y/o sales. En ellos, la saturación de bases en el complejo de cambio ha de ser prácticamente del 100%

En los suelos mineros de Utrillas es posible encontrar actualmente dos situaciones. Los horizontes superiores de los perfiles siempre presentan pH_s que van desde los ligeramente alcalinos a los fuertemente alcalinos. Sin embargo, en los horizontes profundos, procedentes de materiales más carbonosos, el contenido original en carbonatos o sustancias neutralizantes ha permitido en algunos casos la neutralización de la posible acidez generada por oxidación de los sulfuros e, incluso, un cierto grado de alcalinización. En otros casos, el contenido en sustancias neutralizantes ha sido insuficiente, y todavía lo es como se desprende de los resultados expuestos en la **Tabla 8.4.** , dando lugar a pH_s

extremadamente bajos en esas capas, así como a contrastes absolutamente extraños entre los valores de capas superiores e inferiores. Esto se interpreta como consecuencia del proceso de oxidación de los sulfuros, el cual reduce el pH y aumenta el contenido en sales solubles.

Tabla 8.4. Datos de muestras de horizontes y Contabilidad Ácido-Base. Se ha considerado un factor de 1000 y el espesor de cada capa (con un máximo de 30 cm) en el paso de acidez de cambio en cmol(+)/kg a tCO₃Ca/1000t de material.

MUESTRA	COLOR Munsell	pH _{agua}	% S pirítico	AP (CO ₃ Ca t/1000t)	NP (CO ₃ Ca t/1000t)	Acidez de cambio (cmol(+)/kg)	Acidez de cambio (CO ₃ Ca t/1000t)	ABA(CO ₃ Ca t/1000t)
VAL-04-1	5Y 4/2	4'87	0'134	4'19	Neg.	0'16	0'05	<-4'24
VAL-04-2	5Y 4/2	6'08	0'138	4'31	Neg.	0'14	0'09	<-4'40
VAL-05-2	5Y 3/1	7'53	0,156	4'87	Neg.	0'10	0'05	<-4'92
VAL-06-2	5Y 4/2	5'31	0'000	0'00	Neg.	0'14	0'08	<-0'14
VAL-07-1	N 2/0	7'02	0,151	4'72	Neg.	0'10	0'05	<-4'77
VAL-09-1	5Y 4/2	5'29	0,104	3'25	Neg.	0'12	0'03	<-3'28
VIL-03-3	N 2/0	4'65	0,270	8'44	7,2	11'10	8'37	-9'61
VIL-04-2	2'5 Y 4/2	7'90	0,250	7'81	-2'8	0'24	0'14	-10'75
VIL-05-2	2'5 Y 4/4	5'23	0,000	0'00	17,3	0'60	0'28	17'02
UTR-01-2	5Y 3/2	2'32	0'640	20'00	-19'0	37'40	18'07	-57'07
UTR-01-3	5Y 2'5/1	2'29	0,650	20'31	-24'5	47'00	28'39	-73'20
UTR-02-3	5 Y 4/4	3'61	1,750	54'69	1,95	5'54	4'18	-58'28
UTR-04-3	5Y 4/2	7'64	0,350	10'94	164,9	0'08	0'05	153'88
UTR-09-2	2'5Y 3/2	7'93	0,150	4'69	321,3	0'04	0'01	316'60
UTR-09-3	N 2/0	7'86	0,100	3'12	313,8	0'06	0'04	310'67

De nuevo, los valores de contenidos en materia orgánica obtenidos por el método de ignición son mayores, en general, tanto para perfiles de suelos naturales como mineros. Los datos de materia orgánica que arroja el método de Walkley-Black referentes a suelos naturales son perfectamente razonables.

Se da la circunstancia curiosa de que el contenido en materia orgánica de la muestra VAL-02-3 resulta ser 18'20% por el método de ignición, mientras que por el método de oxidación con dicromato no pudo determinarse, al no producirse viraje de color en el ensayo -¿es nulo?-. En la muestra VIL-03-3 ocurre exactamente lo mismo, salvo que, en este caso, el valor obtenido por ignición es 34'10%. La primera de las muestras mencionadas procede de una capa situada en la base del perfil, la cual puede describirse como lutitas muy carbonosas o lutitas con carbón, mientras que la segunda es un "carbonero". Estos valores, a lo mejor, pueden proporcionar alguna luz sobre las discrepancias encontradas entre los resultados proporcionados por ambos métodos a lo largo de este estudio.

La obtención de valores tan elevados de materia orgánica obtenidos por el método de ignición muestra claramente que la medida se acerca al contenido en materia orgánica total, que en estos horizontes o capas es fundamentalmente geogénica. La ausencia de datos por el método de Walkley-Black puede indicar que el carbono orgánico edafogénico, en su mayoría fácilmente oxidable, resulta insignificante, lo cual es razonable en capas tan profundas.

En Valdesarmario y Villablino se obtienen valores coherentes de capacidad de intercambio catiónico total y suma de cationes de cambio. La acidez de cambio en suelos mineros es inferior a la de los suelos naturales, como ya se ha comentado.

La CIC total de los suelos mineros y naturales es semejante, y siempre baja a excepción de aquellas muestras tomadas en horizontes ricos en materia orgánica, con la excepción del perfil VIL-06.

El método elegido para la determinación de la CIC (método del acetato amónico a pH 7) resultó inadecuado para las muestras obtenidas en Utrillas, debido a la elevada presencia de carbonatos y sales. La posible extracción de calcio y

magnesio procedentes de carbonatos ú otras sales elevó anormalmente los contenidos de estos metales durante la extracción de los cationes de cambio. Ello provocó que el balance entre cationes básicos y ácidos de cambio frente a la capacidad total de cambio no fuera equilibrada. Si se aceptan los valores de CIC total, puede decirse que son bajos en general, con algunas excepciones que suelen tener lugar en horizontes profundos.

La conductividad eléctrica de todos los suelos naturales estudiados en Valdesamario y Villablino es muy baja, como era de esperar. Destaca el dato del horizonte superior del perfil VAL-02 que permite calificarlo como ligeramente salino y resulta extraño.

En algunos horizontes internos de suelos mineros de Villablino se dan valores que los califican como ligeramente salinos coincidiendo con pH_s elevados. Sin embargo, en Valdesamario aparecen dos muestras muy salinas (VAL-09-1 y VAL-10-3) con pH_s bajos.

En Utrillas, determinados horizontes, producto de la alteración de la roca madre, pueden presentar problemas de sales, como ocurre con las calizas arenosas amarillentas. También determinados recubrimientos resultan dar muchos problemas como se aprecia en las solanas de Sabina-Umbrión en las que, además de los valores obtenidos de conductividad eléctrica, concurren altos contenidos en sodio de cambio, siendo patentes fenómenos como el *pipping*, la presencia de pseudomicelios y la colonización de especies halófitas.

Los valores de CE llegan, sin embargo, a ser terriblemente altos en estériles carbonosos, en los cuales, además de existir una inherente salinidad, ésta se ha incrementado debido a la oxidación de los sulfuros. De esta forma es posible obtener valores de: 3'830 dS/m a pH 2'29 en UTR-08-4, o 4'930 dS/m a pH 2'29 en UTR-01-3.

9. CONCLUSIONES

Las conclusiones que pueden extraerse de este trabajo son fundamentalmente de dos tipos. Unas atañen a la interpretación de las descripciones y resultados, buscando la comprensión de procesos y la interpretación de los datos en términos de evaluación y determinación de la calidad del suelo. El otro tipo de conclusiones dan cuenta de la capacidad de los métodos empleados por los profesionales de la Ciencia del Suelo para servir a los objetivos de conocimiento, interpretación, valoración y gestión de los suelos y estériles que la minería de carbón a cielo abierto ha generado en nuestro país.

Es normal que las capas de carbón muy delgadas no se exploten, por lo que son consideradas parte de los recubrimientos en el proceso de explotación minera. Siempre en las proximidades de las capas de carbón (desde el punto de vista estratigráfico), aparecen capas en las que se combinan materiales orgánicos y minerales. Por estas razones, los estériles procedentes de capas próximas al carbón suelen contener, en mayor o menor proporción, materiales carbonosos y minerales a ellos ligados, como los sulfuros de hierro. Estos materiales presentan colores grises oscuros, verdosos o negros, de matiz amarillo, debido al ambiente reductor en el que se originaron y al contenido en materia orgánica, lo que puede servir para reconocerlos y descartarlos como capas superficiales de un nuevo suelo. Este tipo de materiales, como ha podido comprobarse, se comporta mal como substrato para el desarrollo de la vegetación. De hecho, intuitivamente, se ha aprendido que es mejor recubrirlos con otro tipo de estériles. Ahora bien, como se explica más adelante, la elección exclusivamente basada en el color del tipo de estériles que han de utilizarse como capa de recubrimiento y medio para el desarrollo vegetal puede resultar errónea. Además de la caracterización visual, se puede adoptar como medida de seguridad la recomendación de descartar dichos materiales si se supera el 10 % de contenido en carbono orgánico por el método de Walkley-Black. Dicha recomendación deriva de la propuesta recogida en WDEQ (1994) de recubrir los

estériles carbonosos, identificados por su aspecto y el contenido orgánico, con al menos 1'2 metros de materiales adecuados.

Otra característica reconocible visualmente que puede resultar interesante es el tipo de rocas predominantes, pues se ha visto que las rocas blandas de la formación Escucha y las lutitas del Estefaniense se convierten en poco tiempo en “suelo” dentro de los perfiles estudiados. Por último, la presencia de restos vegetales y la semejanza de colores, o el conocimiento del origen como materiales de desmonte, permite hacer claras distinciones de acopios en los que se almacena “tierra vegetal”.

Se ha visto que la caracterización de la textura, tanto en acopios, como en escombreras y suelos mineros, es en todas las zonas muy concordante con la que presentan los suelos naturales, debido posiblemente al bajo nivel evolutivo de los suelos en las zonas de estudio. No se ha dado el caso, pero si se hubieran detectado texturas pesadas, posiblemente este hecho hubiera sido una razón poderosa para el descarte de materiales acopiados que han de sufrir los efectos de la maquinaria pesada en el proceso de construcción de los suelos finales.

De los métodos analíticos, es posible adelantar que el método propuesto para la determinación de los cationes de cambio ha fallado por la presencia de carbonatos o sales incluso donde era menos esperable. En general, para estudios en zonas mineras españolas puede ser recomendable usar siempre métodos más seguros, tales como la extracción con cloruro bórico-trietanolamina a pH 8'2.

Se vio en algunos suelos mineros de Utrillas que en la elección de materiales para la construcción de los suelos puede tener gran importancia la salinidad y alcalinidad. La detección temprana con la prueba previa de salinidad puede ayudar a tomar decisiones sobre este aspecto.

Sin embargo, de todas las pruebas analíticas, la que puede resultar más trascendente para evaluar acopios de materiales estériles es la medida del azufre pirítico y la capacidad de neutralización potencial. Sin duda, la realización de la Contabilidad Ácido-Base en acopios puede ser muy útil para la elección de los materiales que han de quedar más cerca de la superficie final.

Es posible pues establecer criterios para el manejo de pilas de materiales excavados durante el aprovechamiento minero, basados en la apariencia (color, pedregosidad, manchas en caras de fragmentos gruesos) y una batería de análisis convencionales edafológicos.

Si entre los materiales disponibles se han podido diferenciar suelos nativos, entre estos puede ser interesante hacer una evaluación clásica de calidad y una caracterización general siguiendo, por ejemplo, la batería que se ha empleado en este estudio. Convendrá sustituir el método del acetato amónico por otro más seguro en la caracterización del complejo de cambio y emplear solamente el de Walkley-Black para la medida del contenido en materia orgánica. Pueden añadirse las pruebas para evaluar el contenido en N y el P y K asimilables que se han utilizado en la caracterización de escombreras.

Para el resto de materiales, obtenidos a partir de capas geológicas removidas durante el aprovechamiento minero, una caracterización visual del color, junto con la medida de la materia orgánica y la Contabilidad Ácido-Base, pueden permitir el descarte de estos materiales como materias primas para la creación de un suelo. Si poseen colores oscuros de matiz N ó 5Y (Munsell) y superan el 10% de materia orgánica por Walkley-Black, o dan un valor menor de $-5 \text{ t CO}_3\text{Ca}/1000\text{t}$ de material puede ser recomendable confinarlos o recubrirlos con, al menos, 1'2 m de materiales adecuados.

Todas las escombreras estudiadas poseen un elevado contenido de elementos gruesos en superficie. La cobertura vegetal en todas ellas es escasa, lo que induce pensar que poseen carencias más o menos importantes.

La evaluación de los valores de Contabilidad Ácido-Base explica claramente los problemas gravísimos que presentan dos de las tres escombreras de Utrillas. Las tres, por ser pH ultra-ácido, no son un medio apto para la colonización de la vegetación calcícola de su entorno. La elevada CE se suma a lo anterior, y permite comprender el porque de la incapacidad de estas escombreras para sostener vegetación.

En Valdesamario y Villablino, las escombreras muestran capacidades de intercambio catiónico bajas, pero en los horizontes profundos de suelos naturales ocurre lo mismo.

Con respecto a la medida de los contenidos en materia orgánica en muestras superficiales de escombreras, no es posible afirmar gran cosa, salvo que, verdaderamente no es algo fácil de interpretar. Puede decirse –reincidiendo– que, desde el momento en el que se tenga la sospecha de la presencia de materia orgánica fósil en proporciones no insignificantes (y sulfuros), ha de restarse valor a la medida de la materia orgánica como elemento de juicio para evaluar la calidad del suelo.

En estas escombreras, la densidad aparente no identifica graves problemas de compactación. Por otro lado, a pesar de que los valores obtenidos de Contabilidad Ácido-Base son favorables, en algunas escombreras de la zona de Valdesamario el pH es muy bajo y la acidez de cambio elevada. Sin embargo, los suelos naturales en ambas zonas pueden ser todavía más ácidos y poseer mayores contenidos en acidez de cambio. A la vista de estos datos, sorprende que esté tan arraigada en el acervo minero-ambiental ligado a la minería de carbón en nuestro país esa obsesión por la acidez, y por el encalado como medio

imprescindible para la recuperación de terrenos mineros en ambientes húmedos. Sin duda, la aplicación de la Contabilidad Ácido-Base y la determinación de los umbrales que marcan la franja de acidez verdaderamente clave para la recuperación de terrenos y la generación de aguas ácidas es un objetivo prioritario, si se quiere comenzar de una vez a hacer las cosas bien -entre otras cosas.

De la revisión de todos los datos relativos a las escombreras de Valdesamario y Villablino no es posible establecer claras evidencias de problemas graves para la colonización vegetal, salvo, en algún caso, la deficiencia de P fácilmente asimilable. Tal vez este aspecto sea mucho más importante de lo que parece a primera vista y debería estudiarse con mayor profundidad, al margen de la posibilidad de que se dé alguna carencia nutricional menor.

Es más que posible, también, que buena parte de lo que les falta a estos materiales para ser un buen medio de crecimiento vegetal se deba a su esterilidad, aquí entendida como ausencia de vida, o de vida variada, y puede que sea necesaria una primera colonización de seres vivos invisibles antes de que se produzca la de los seres visibles.

El análisis de los resultados de muestras tomadas en lo que en este estudio se ha denominado microperfiles no ofrece resultados definitivos en lo que se refiere a la evolución superficial incipiente de estos suelos. En las zonas de trabajo de La Corta de las Ranas y de Carrasconte (El Salguero) el contenido en elementos gruesos de la capa situada entre 10 y 20 cm de profundidad es normalmente mayor que en la inmediatamente superior. Esto puede deberse a la alteración mecánica superficial que se produjo durante los movimientos de maquinaria pesada encargada de remodelar las superficies finales. Habitualmente, en estas superficies el pH es también algo superior en la capa más profunda.

En el sector más cubierto por vegetación herbácea en Utrillas, todas las muestras superficiales mostraron contenidos mayores en materia orgánica. A diferencia de lo que ocurre en los otros sectores, unos sometidos a labores agrícolas anuales y otros sometidos a procesos erosivos intensos, es el único que goza de una cierta estabilidad, y donde el proceso natural de incorporación superficial de materia orgánica se puede estar produciendo normalmente.

En términos generales, los datos no ofrecen evidencias claras de evolución edáfica. Es cierto que son suelos muy jóvenes, que a veces ocupan posiciones topográficas poco estables y están sometidos a un clima poco propenso a la evolución, caracterizado por el periodo frío prolongado y la continentalidad en todas las zonas, a lo que se suma un largo periodo seco en Utrillas. En algunos micoperfiles de la Corta de las Ranas, en Carrasconte y en el Sector II de Sabina-Umbrión es habitual encontrar en los primeros centímetros estructura edáfica. La morfología de la estructura presente en los primeros centímetros de lo que pueden denominarse horizontes A está controlada por el enraizamiento superficial antes que por una verdadera agregación derivada de la incorporación de materia orgánica. La estructura se expresa como gránulos finos y muy finos, fiabes, íntimamente asociados a las raíces, especialmente las de las gramíneas. En general el límite en esta primera capa es ondulado, muy controlado por la presencia de elementos gruesos, duros, y por el desarrollo radicular asociado a las macollas de las gramíneas.

Los perfiles de suelos naturales descritos se corresponden normalmente con tipos de suelos poco evolucionados: Entisoles e Inceptisoles de la clasificación americana. Los suelos mineros se ajustan perfectamente a la clasificación propuesta por los investigadores de *West Virginia University*.

Todos los perfiles descritos en las áreas alteradas investigadas deben considerarse suelos muy jóvenes, en proceso de desarrollo sobre una mezcla de rocas fragmentadas y tierra fina. Todos ellos son perfiles de tipo A-C, AC-C o C. Las

propiedades de estos suelos se han visto más influidas por la acción humana que por procesos naturales. En ninguno de los perfiles descritos correspondientes a suelos mineros se aprecian muestras de iluviación de arcillas. Las variaciones texturales dependen en alto grado del porcentaje de lutitas o rocas con alto contenido en fracciones finas en los estériles originales y su grado de alteración *in situ*, frente a la proporción de fragmentos de arenas, areniscas, litarenitas o cuarcitas.

El tiempo de formación que les falta a estos suelos puede verse en parte suplido por un intenso manejo, o por el empleo de materiales edáficos de recubrimiento. Un ejemplo del primer aserto puede obtenerse del trabajo de Gilewska *et al.* (2001). Estos autores cuentan cómo el cultivo de plantas agrícolas (cebada, trigo, colza), empleando altas dosis de fertilización (en especial, nitrogenada), junto con un intenso laboreo mecánico del suelo, se tradujo en la formación de un horizonte Ap bien desarrollado y de buenas características a los diez o quince años. Sin embargo, puede pensarse que durante ese tiempo las aguas superficiales han estado sometidas a un riesgo de contaminación derivado de pérdidas, que pueden llegar a ser importantes cuando se añaden altas dosis de fertilizantes a los estériles. Los elementos en forma iónica son retenidos en los suelos en posiciones de cambio, pero si éstas son escasas -como sucede en estos suelos- los elementos añadidos quedan en la solución del suelo, con lo que se posibilita su pérdida por lavado (Seoane *et al.*, 1995). Es razonable estar de acuerdo con Schafer *et al.* (1979): el aporte de suelos nativos o tierras aptas para el desarrollo de la vegetación puede equivaler a un adelanto del proceso evolutivo de los suelos de cientos o miles de años, especialmente en aquellos casos

Como ya se ha comentado, la existencia de fragmentos rocosos blandos distingue a los suelos mineros de los naturales. Estos elementos gruesos no se comportan como los que se encuentran en los suelos naturales, pudiendo proporcionar agua a las raíces de las plantas. Esto ha sido observado en muchos de los perfiles de

suelos mineros. Cuando se observa detenidamente el enraizamiento en capas profundas, es muy corriente constatar la penetración de las raíces finas y muy finas en bloques masivos, arcillosos y plásticos, derivados de la alteración de fragmentos de pizarras o lutitas que todavía son reconocibles. También se produce con mucha frecuencia una profusión de raíces finas y muy finas formando un retículo o fieltro sobre las caras de fragmentos de arenisca. En la superficie de contacto de dichas caras con la matriz se forma una vía preferente para el movimiento del agua y el aire.

La vegetación natural está bien adaptada a las condiciones de acidez de los suelos naturales, pero también es capaz de introducirse sobre los suelos en formación sobre estériles menos oxidados, como se ha podido constatar. Como ya se mencionó, a veces la menor presencia y cobertura vegetal en estos últimos sólo puede explicarse por la elevada compactación o porque el material que quedó en superficie no puede comportarse como un banco de semillas y es, desde el punto de vista biológico, bastante inerte.

En relación con la medida del contenido en materia orgánica, la determinación de carbono orgánico por ignición a baja temperatura (Jackson, 1964, recomendado en Sobek *et al.*, 1978) arroja valores excesivamente altos si se considera la naturaleza eminentemente mineral de estos suelos. Normalmente, este método suele fallar cuando existen abundantes minerales amorfos. Los resultados obtenidos, sin embargo, apuntan a que es la presencia de materia orgánica fósil la principal causa de interferencias. Esta última posibilidad es perfectamente lógica, puesto que el método da una medida cercana al carbono orgánico total. Se ha citado que este método proporciona valores algo superiores a los obtenidos por la medida del carbono presente fácilmente oxidable (Walkley-Black), si bien el factor de conversión que se obtiene como media de la comparación de valores obtenidos en horizontes de suelos naturales en este estudio es de 0'52, es decir, que el método de ignición proporciona valores que son, como media, el doble que los resultantes de aplicar el otro método. En general, de las medidas

obtenidas por el método de ignición a baja temperatura no es posible deducir que proporción de materia orgánica es ecológicamente activa y se puede afirmar que su utilidad para la caracterización de este tipo de suelos es muy limitada.

En estos suelos, el método tradicional de análisis de materia orgánica basado en la oxidación de la muestra con disolución de dicromato potásico en medio fuertemente sulfúrico (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986) tampoco debe considerarse totalmente correcto, ya que es probable una sobreestimación de los contenidos de materia orgánica debida a la oxidación de los sulfuros, frecuentemente presentes, con el reactivo oxidante utilizado. En los estériles y suelos de apariencia más carbonosa, los datos permiten dudar de la validez de la medida del contenido en materia orgánica o, cuando menos, permiten dudar de que la materia orgánica medida se pueda considerar funcional desde el punto de vista edáfico y ecológico. A pesar de ello, los valores de materia orgánica obtenidos en las muestras de suelos mineros más afectadas por residuos carbonosos fueron siempre bastante inferiores respecto a los obtenidos por el método anterior y, aparentemente, pueden considerarse menos erróneos. Las muestras de suelo menos afectadas por residuos mineros, así como las muestras de suelos naturales, mostraron unos contenidos en materia orgánica bastante razonables. Por todo ello, la evaluación del contenido en materia orgánica por el procedimiento de Walkley-Black en el estudio de estériles y suelos mineros puede ser de utilidad si se hace una buena descripción de los suelos y se complementa con comparaciones frente a los resultados obtenidos en suelos naturales. Puede decirse que, desde el momento en que se tenga la sospecha de la presencia de materia orgánica fósil y sulfuros asociados (colores oscuros de matiz amarillo), ha de restarse importancia a la medida de la materia orgánica como elemento de juicio para evaluar la calidad de los estériles o suelos mineros en el sentido tradicional, aunque sí puede servir como llamada de alarma sobre la posibilidad de problemas asociados a la presencia de carbón y sulfuros si se supera el 10 % de C orgánico (WDEQ, 1994).

Además de la medida del contenido orgánico empleando el método de oxidación por dicromato, podría ser muy interesante realizar otra medida paralela, empleando un procedimiento diferente. En particular, podría experimentarse algún tipo de separación física o técnica de fraccionamiento, como las que suelen usarse en la separación de las fracciones ligeras y pesadas de la materia orgánica del suelo, eligiendo un medio de peso específico adecuado, el cual permitiera la desunión de la materia orgánica fósil, junto con la materia orgánica más humificada y ligada a minerales, de aquella otra fracción más ligera y generalmente considerada de carácter menos recalcitrante.

Christensen (1992) sugiere que, en general, la fracción ligera de la materia orgánica del suelo es un indicador mejor y más rápido sobre las consecuencias del manejo del suelo. Bendfeldt (1999) examina la fracción ligera en suelos mineros, concluyendo que es más influyente sobre los indicadores de calidad del suelo que la materia orgánica total y que puede ser un buen indicador de calidad en sí mismo.

Sobre las mismas muestras, también podría resultar interesante aplicar el procedimiento propuesto por Burghardt (2002) para medir el contenido húmico mediante ataque con agua oxigenada al 6 % durante dos horas.

El estudio de los resultados obtenidos y la comparación de los datos resultantes de aplicar conjuntamente el método de Walkley-Black y los otros procedimientos sugeridos sobre muestras tomadas en estériles y suelos mineros podría ser objeto de futuros trabajos de investigación.

Los cationes básicos de cambio (Ca, Mg, Na y K) fueron determinados tras extracción con el método propuesto inicialmente, extracción en etapas sucesivas con disolución de acetato amónico 1N tamponada a pH 7 (Métodos Oficiales de Análisis, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1986). Este método, ampliamente utilizado, suele presentar problemas en suelos carbonatados ó ricos

en sales solubles. El reactivo utilizado puede disolver parcialmente los carbonatos presentes en el suelo, por lo que, tradicionalmente, en suelos carbonatados suele preferirse la utilización de otros reactivos menos agresivos, tales como la disolución de cloruro bórico-trietanolamina tamponada a pH 8'2 con objeto de impedir la disolución de carbonatos y, por tanto, que la extracción de calcio o magnesio integrantes de los carbonatos se sume a la extracción de calcio ó magnesio presentes en posiciones de cambio.

El método elegido para la determinación de la CIC (método del acetato amónico a pH 7) resultó inadecuado para las muestras obtenidas en perfiles de suelos de Utrillas, debido a la elevada presencia de carbonatos y sales. La posible extracción de calcio y magnesio procedentes de carbonatos ú otras sales elevó anormalmente los contenidos de estos metales durante la extracción de los cationes de cambio. Ello provocó que el balance entre cationes básicos y ácidos de cambio frente a la capacidad total de cambio no fuera equilibrada.

Dado que es inevitable la extracción conjunta de Ca y Mg presentes en posiciones de cambio junto a parte de los procedentes de la disolución de sales presentes en el suelo, creemos más conveniente que en estas muestras de suelo se denominen “cationes extraíbles con AcNH_4 a pH 7” en lugar de “cationes de cambio”. El resto de muestras de suelo analizadas y no afectadas por carbonatos no presentaron ninguna dificultad en la caracterización de los cationes de cambio y su capacidad total de cambio, por lo que para ellas la metodología propuesta sí parece adecuada. Sin embargo, como ya se ha comentado, para el estudio de suelos mineros será recomendable en el futuro emplear métodos más seguros.

10. BIBLIOGRAFÍA

ABDUL-KAREEM, A. W., AND S. G. Mc RAE. 1984. The effects on topsoil of long-term storage in stockpiles. *Plant and Soil* 76: 357-363.

ALMELA, A., J. GARCÍA Y R. REY. 1964. *Estudio geológico y cubicación de las concesiones mineras de Minas y Ferrocarriles de Utrillas, S. A.* IGME. Ministerio de Industria. Inédito.

ALLOZA, J. A., E. ARAMBURU, J. M. CASTRO, M. FERNÁNDES, N. HALEPLIOGLU, B. MENDOZA Y A. RABAL. 1991. *Utrillas-Escucha: propuesta para un territorio en transformación.* Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza. CSIC. Zaragoza. 290 p. Inédito.

AMMONS, J. T. 1979. *Minesoil Properties, Root Growth and Land Use Implications.* Ph. D. Dissertation. West Virginia University. Morgantown, WV. 222 pp.

ARRANZ GONZALEZ, J. C. 1993. Revegetación y reforestación de las áreas afectadas. En: GIMA (ed.) Libro de Ponencias del I Congreso Nacional de Restauración de Espacios Afectados por Actividades Extractivas. GIMA. Barcelona. pp. 103-125. Inédito.

ARRANZ GONZALEZ, J. C. 1995. La Restauración de Minas a Cielo Abierto. Actas de las Jornadas Sobre Restauración de Areas Degradadas. E.T.S.I.A. Palencia. Univ. de Valladolid. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla León. pp. 161-177. Inédito.

ARRANZ GONZALEZ, J. C. 1996. *Proyecto de Restauración Ambiental y Paisajística del Depósito de Residuos en Gloria Este.* M.O.P.M.A.-I.T.G.E. 271 p. Inédito.

ARRANZ GONZALEZ, J. C., B. MARTÍNEZ PLÉDEL Y R. DIÉGUEZ DE LA BARRERA. 1994. Criterios de restauración ambiental de los terrenos afectados por la explotación de pizarra en la Comarca de La Cabrera (León). Actas del IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, tomo 5, pp. 247-270.

ASHBY, W. C., W. G. VOGEL, C. A. KOLAR AND G. R. PHILO. 1984. Productivity of Stony Soils on Strip Mines. In: J. D. Nichols, P. L. Brown, W. J. Grant (eds.) *Erosion and Productivity of Soils Containing Rock Fragments.* SSSA Special Publication number 13. pp. 31-44. Madison, WI.

BALL, D.F. 1964. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non calcareous soils. *Journal of Soil Science* v. 15 pp 84-92.

BELTRÁN, V., A. BLASCO, A. ESCARDINO AND F.NEGRE. 1988. Formation of black core during firing of floor and wall tiles. *Interceran*, 37: 15-21.

BENDFELDT, E.S. 1999. *Dynamics and Characterization of Soil Organic Matter on Mine Soils 16 years after Amendment with Topsoil, Sawdust, and Sewage Sludge.* Thesis submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. 138 p.

BLASCO GALVE, J., M. A. ALBENIZ CAMPAS, F. CORTECERO Y F. COMÍN SEBASTIÁN. 2002. Recuperación del hueco final de la explotación a cielo abierto "Corta Alloza". Resúmenes del XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia, Zaragoza. p. 382.

BRADSHAW, A.D. 1983. The reconstruction of ecosystems. *J. Appl. Ecol.* 20: 1-17.

BRADSHAW, A. D. 1985. The Reclamation of Derelict Land and the Ecology of Ecosystems. In: W. R. Jordan III, M. E. Gilpin and J. D. Aber (eds.). *RESTORATION ECOLOGY: A Synthetic Approach to Ecological Research.* Cambridge University Press. Cambridge.

BRADSHAW, A. D. AND M. J. CHADWICK. 1988. *Restauració de Terres: Ecologia i recuperació de terres malmeses i degradades.* Diputació de Barcelona, servei de Medi Ambient. Versión en catalán de BRADSHAW, A. D. AND M. J. CHADWICK. 1980. *The Restoration of Land. The ecology and reclamation of derelict and degraded land.* Blackwell Scientific Publications, Oxford.

BRAUNERSREUTER, M & W. BURGHARDT. 2002. Organic matter accumulation in stony soils from hard coal mining spoil. In: Proceedings of 17th World Congress of Soil Science, 14-20 August 2002, Bangkok, Thailand. Symposium no.55, paper 1670, pp: 1-8.

BROADBENT, F.E. 1953. The soil organic fraction. *Advances in Agronomy* v.5 pp 153-183.

CIOLKOSZ, E. J., R. C. CRONCE, R. L. CUNNINGHAM AND G. W. PETERSEN. 1985. Characteristics, genesis and classification of Pennsylvania minesoils. *Soil Sci.* 139: 232-238.

CRAUL, P. J. 1985. A description of urban soils and their desired characteristics. *J. Arboric.* 11(11): 330-339.

CHRISTENSEN, B. T. 1992. Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20:2-90.

DANIELS, W. L. AND D. F. AMOS. 1981. Mapping, characterization and genesis of mine soils on a reclamation research area in Wise County, Virginia. In: D.H. Graves (ed.) Symposium on Surface Mining, Hydrology, Sedimentology and Reclamation, 7-11 Dec. 1981. Lexington, KY. University of Kentucky, Lexington, KY. pp. 261-265.

DANIELS, W.L. AND D.F. AMOS. 1985. Generating productive topsoil substitutes from hardrock overburden in the southern Appalachians. *Environ. Geochem. Health*, 7: 8-15.

DANIELS, W.L. AND C.E. ZIPPER. 1988. Improving coal surface mine reclamation in the Central Appalachian region. In: Cairns, J. Jr. (ed.) *Rehabilitating damaged ecosystems*. Vol I. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 139-162.

DANIELS, W.L. AND C.E. ZIPPER. 1997. Creation and Management of Productive Mine Soils. Reclamation Guidelines. Powell River Project. Virginia Cooperative Extension Publication 460-121. 12 p.

DEAN, W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology* v.44 pp. 242-248.

ESCRIBANO BOMBÍN, M^a. M., J. IZAGUIRRE, C. MACÍAS. 1993. Restauración de escombreras en la Cuenca de Fabero. Actas del IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, tomo 5, pp. 291-313.

FAO. 1990. *Guidelines for soil description, 3rd Edition.* Soil Resources, Management and Conservation Service. FAO-ISRIC. Rome. 70 p.

FERRARI, G. A., D. MAGALDI. 1983. Degree of soil weathering as determined by abrasion pH: applications in soil study and Paleopedology. *Pedology*, XXXIII: 93-104.

GILEWSKA, M. , J. BENDER AND S. DRZYMALA. 2001. Organic Matter Formation in Post Mining Soils in Central Poland. In: D. E. Stott, R. H. Mohtar and G. C. Steinhardt (eds.). *Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, may 1999 at Purdue University.* Purdue university and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. pp. 623-626.

GÓMEZ FERNÁNDEZ, E., A. ALLER URDIALES, O. MARTÍNEZ MORÁN Y A. MORÁN PALAO. 1994. Eliminación del azufre del carbón por lixiviación biológica. *Actas del IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia*, tomo 4, pp. 287-298.

GONZÁLEZ BLANCO, F., J. GONZÁLEZ CAÑIBANO Y R. MADERA FERNÁNDEZ. 1994. Restauración de espacios afectados por explotaciones a cielo abierto mediante la plantación de sidra y arándanos. *Actas del IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia*, tomo 5, pp. 271-289.

GRANT, W. H. 1969. Abrasion pH, index of chemical weathering. *Clays and Clay minerals*, 17: 151-155.

GRUBE, W. E., R. M. SMITH, R. N. SINGH AND A. A. SOBEK. 1973. Characterization of Coal Overburden Materials and Minesoils in Advance of Surface Mining. In: *Research and Applied Technology Symposium on Mined-Land Reclamation.* NCA/BCR. Pittsburgh, PA. pp. 134-151.

HAGEMAN, P L. AND P. H. BRIGGS. 2000. A Simple Field Leach Test for Rapid Screening and Qualitative Characterization of Mine Waste Dump Material on Abandoned Mine Lands. Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage, Denver, Colorado, May 21-24, 2000. Society for Mining Metallurgy and Exploration, Inc., V.II, pp. 1463-1475.

HILLEL, D. 1982. *Fundamentals of soil physics*. Academic Press. New York.

IGME. 1985. *Ampliación del Inventario de Recursos Nacionales de Carbón*. IGME. Ministerio de Industria. Madrid.

IGME. 2002. *Development of environmental mining models for small open pit coal exploitations*. Proyecto CECA 98. Inédito.

ITGE. 1997. *Estudio de Recuperación Ambiental de la Zona Minera Tremor-Valdesamario, Bierzo Oriental (León)*. Inédito.

ITGE. 1998. *Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental. Manual de Procedimientos: Cartografía de Suelos*. PNCTA-250. Inédito. 32p.

JACKSON, M.L. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall. Englewoods Cliffs, New Jersey.

JACKSON, M.L. 1964. *Análisis químico de suelos*. Omega. Barcelona.

JOHNSON, C. D. AND J. G. SKOUSEN.1995. Minesoil Properties of 15 Abandoned Mine Land Sites in West Virginia. *J. Environ. Qual.* 24: 635-643.

JENNY, H. 1941. *Factors of soil formation*. Mc Graw-Hill Book Co., New York.

KNABE, W. 1964. A Visiting Scientist's Observations and Recommendations Concerning Strip-Mine Reclamation in Ohio. *Ohio Journal of Science*, 64:132-157.

KNABE, W. 1973. Development and Application of the Domsdorf Ameliorative Treatment on toxic Spoil Banks of lignite Opencast Mines in Germany. In: R. J. Jutnik and G. Davis (eds.). *Ecology and reclamation of Devstated Land. Vol 2.* Gordon and Breach Scientific Publishers. New York. pp. 273-294.

KOMNITSAS, K., C. STOURAITI & I. PASPALIARIS. 2001. Sulfur removal from coal beneficiation wastes. Proceedings of 7th CEST Conference, Sep. 2001, Syros, Grece.

KOMNITSAS, K., I. PASPALIARIS, M. ZILBERCHMIDT & S. GROUDEV. 2001. Environmental impacts at coal waste disposal sites. Efficiency of desulfurization technologies. *Global nest: the Int. J.* , No 2, pp. 109-116.

LARSON, W.E. AND F.J. PIERCE. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management, In: Doran, J.W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart (ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment.* SSSA Special Publication, No.35. SSSA, Madison, WI. pp. 37-51.

LAWRENCE, R. W. & M. SHESKE. 1997. A method to calculate the neutralization potential of mining wastes. *Environmental Geology*, v. 32, pp. 100-106.

LEIROS DE LA PEÑA, M^a. C., F. GIL SOTRÉS, M. CARBALLAS FERNÁNDEZ, C. CODESIDO LÓPEZ, M^a. V. GONZÁLEZ SANGREGORIO, S. SEOANE LAVANDEIRA Y F. GUITIAN OJEA. 1989. Recuperación edáfica de las escombreras de minas de lignito en Galicia. 1) Caracterización de los materiales estériles. *An. Edafol. Agrobiol.* 48: 85-100.

LEIROS DE LA PEÑA, M^a. C., C. VARELA MARTÍNEZ, F. GIL SOTRÉS, M. C. TRASAR CEPEDA Y S. SEOANE LAVANDEIRA. 1995. Los suelos de la mina. En: F. Guitián Ojea (ed.). *Recuperación de las escombreras de la Mina de Lignitos de Meirama (A Coruña)*. Univ. Santiago de Compostela- Lignitos de Meirama. pp. 125-158.

LI, R. S. AND W. L. DANIELS. 1994. Nitrogen Accumulation and Form over Time in Young Mine Soils. *J. Environ. Qual.*23: 166-172.

LÓPEZ VILCHEZ, L. Y Z. AL-DAHIR. 1999. *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de incremento del depósito de estériles y agua en la corta Aznalcóllar y de ampliación de la escombrera Los Frailes*. Inédito.

LORENZO AGUDO, J. 1991. *Impacto ambiental de la descubierta de ENCASUR en Puertollano. Problemas y soluciones*. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Geológica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Inédito.

LYLE Jr., E. S. 1980. Minesoil classification. In: D. G. Simpson and W. T. Plass (eds.) *Proceedings of Seminar of the Role of Overburden Analysis in Surface Mining*. Wheeling W. Va. Bureau of Mines Information Circular 8863.

LYLE Jr., E. S. 1987. *Surface Mine Reclamation Manual*. Elsevier Science Publishing Co., Inc. New York. 268 pp.

MACÍAS, F., M. T. BARRAL, C. MONTERROSO Y R. M. CALVO. 1992. Metales pesados en las escombreras de la Mina Puentes (La Coruña): Influencia de las condiciones Eh-pH. *Suelo y Planta* vol. 2, nº 1. pp. 139-150.

MELGAR CASILLAS, I. 2002. *Estudio de recursos de metano en capa de carbón en las cuencas de Ciñera-Matallana, Sabero y Villablino.* Proyecto Fin de Carrera. Departamento de Ingeniería Geológica. E. T. S. I. Minas de Madrid. Inédito.

MERRIT, R. D. 1986. Characterization of Alaska Coal Overburden. Alaska Division of Geological and Geophysical Surveys. Public-data file 86-64. Fairbanks, Alaska. Unpublished.

MFUSA. 1998. *Diseño de la morfología y red de drenaje en las restauraciones mineras.* Informes de Difusión de Proyectos, nº 74. OCICARBÓN-CIEMAT, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid. 36p.

MITCHEL, G. A., W. W. MITCHEL AND J. D. KENDRICK. 1981. Soil characterization of Alaskan coal mine spoils. In: P. D. Rao and E. N. Wolff (eds.) Focus on Alaska's coal: Proceedings of Alaska Coal Conference, 2nd. Fairbanks. University of Alaska. Mineral Industry Research Laboratory Report 50, pp. 412-417.

MONTERROSO, C., E. ÁLVAREZ Y F. MACÍAS. 1993. Macronutrientes y elementos traza en suelos de mina y especies vegetales desarrolladas sobre ellos. En: R. Ortiz Silla (ed.). *Problemática Ambiental y Desarrollo.* Libro de Ponencias de la V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Sociedad española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. pp. 297-306.

MORAN, S. R., G. H. GROENWALD, & J. A. CHERRY. 1978. Geologic, hydrologic and geochemical concepts and techniques in overburden characterization for mined land reclamation. *N. Dak. Geol. Surv. Rep. Inv.* 63.

MORTVEDT, J.J., D.H. SMITH AND E.F. REDENTE. 1996. *Fertilizing Revegetated Disturbed Lands*. Crop Series. Soil, No. 0.536. Colorado State University Cooperative Extension.

Mc KENZIE, G. D. 1980. Resource potential of abandoned surface mines In: Proceedings of 1980' Symposium on Surface Mining, Hydrology, Sedimentology and Reclamation. Univ. Kentucky. Lexington, KY. pp. 311-313.

Mc RAE, S. G. 1982. Soil survey and its role in the sand and gravel industry. *Soil Survey and Land Evaluation 2*: 50-52.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1974. *Rehabilitation potential of western coal lands*. Ballinger Pool. CO, Cambridge, Mass. 184 p.

NELSON, D. W. & L. E. SOMMER. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: A. L. Page (ed.). *Methods of Soil Analysis, 2nd ed.* ASA Monogr. 9(2). Amer. Soc. Agron., Madison, WI. pp. 539-579.

NICOLAU, J. M. 1992. *Evolución geomorfológica de taludes de escombreras en ambiente mediterráneo continental (Teruel)*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. Inédito.

OLSEN, S. R., C. V. COLE, F. S. WATANABE AND L. A. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939.

OLSEN, S.R. AND L.E. SOMMERS. 1982. Phosphorus. In: Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd Ed.* Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 403-430.

OPEKA, T. & R. MORSE. 1979. *Use of Green Manure Amendments and Tillage to Improve Minesoil Productivity.* Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Blacksburg, VI. Industrial Environmental Research Laboratory. (EPA. 600/7-791-257). USEPA Cincinnati, OH. 84 pp.

PEECH, M., L. T. ALEXANDER, L. DEAN AND J. F. REED. 1947. *Methods of soil analysis for soil fertility investigations.* U. S. Dep. Agric. Circ. 939.

PEDERSEN, T. A., A. S. ROGOWSKI AND R. PENNOCK, Jr. 1980. Physical Characteristics of Some Minesoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 321-328.

PLASS, W. T. 1978. Reclamation of coal-mined land in Appalachia. *Journal of Soil and Water Conservation* 33(2): 56-61.

POCH, R. M., J. PORTA Y J. BOIXADERA. 1989. *Erosión hídrica y rehabilitación de áreas mineras: procesos, cuantificación e interés pedagógico.* D. M. C. S.-U.P.C. & S. E. C. S. XVI Reunión de la sociedad española de la ciencia del suelo, Lérida. 66 pp.

QUINTAS, Y, Y F. MACÍAS. 1992. Datos para la recuperación de suelos de minas de Galicia: capacidad natural y alternativas de mejora. *Cuaderno del Lab. Xeolóxico de Laxe*, vol. 17. pp. 97-106.

RAILROAD COMMISSION OF TEXAS, SURFACE MINING AND RECLAMATION DIVISION. 1988. Technical Release SA-1: Acid-forming materials. Austin, TX. Reproduced in: **SOIL WORKING GROUP. 1998.** *Texas Mineland Reclamation Monitoring Program Issues.* Texas Mining and Reclamation association and Railroad Commission of Texas. pp. 21-23.

RAILROAD COMMISSION OF TEXAS, SURFACE MINING AND RECLAMATION DIVISION. 1988. Technical Release SA-2: Materials Suitable for Placement in the Top Four Feet of Leveled Minespoils, Including Topsoil Substitutes. Austin, TX. Reproduced in: **SOIL WORKING GROUP. 1998.** *Texas Mineland Reclamation Monitoring Program Issues.* Texas Mining and Reclamation association and Railroad Commission of Texas. pp. 24-32.

REEDER, J. D. AND B. SAVEY. 1987. Nitrogen. In: R. Dean Williams and G. E. Schuman (eds.). *Reclaiming mine soils and overburden in the western United states: Analytic parameters and procedures.* Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa. pp. 1559-184.

RHOADES, J.D. 1982. Soluble salts. In: Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd Ed.* Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 167-179.

ROBERTS, J. A., W. L. DANIELS, J. C. BELL AND J. A. BURGER. 1988. Early Stages of Mine Soil Genesis in a Southwest Virginia Spoil Lithosequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 716-723.

SANDOVAL, F.M., J.J. BOND, J.F. POWER AND W.O. WILLIS. 1973. Lignite mine spoils in the Northern Great Plains: Characteristics and potential form reclamation. Proc. Res. and Appl. Technol. Symp. On Mined-Land Reclamation, Pittsburgh, PA. pp. 117-133.

SANDOVAL, F. M. & J. F. POWER. 1977. *Laboratory methods recommended for chemical analysis of mined-land spoils and overburden in Western United States.* U.S.D.A. Agriculture Handbook No. 525. 31p.

SAVEY, B., J. HERRON, D. G. SCHOLL AND J. BOKICH. 1987. Particle size distribution. In: R. Dean Williams and G. E. Schuman (eds.). *Reclaiming mine soils and overburden in the western United states: Analytic parameters and procedures.* Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa. pp. 59-73.

SCHAFFER, W. M., G. A. NIELSEN, D. T. DOLLHOPF AND K. L. TEMPLE. 1979. *Soil genesis, hydrological properties, root characteristics, and microbial activity of 1- to 50-year-old stripmine spoils.* Interagency energy/Environment R&D Report. EPA-600/7-79-100. U. S. Govt. Printing Office, Washington, DC.

SCHOLLENBERGER, C. J. 1927. A rapid approximate method for determining soil organic matter. *Soil Science*, v.24, pp. 65-68.

SCHOLLENBERGER, C.J. 1945 Determination of soil organic matter. *Soil Science*, v.59, pp. 53-56.

SENCINDIVER, J. C. AND J. T. AMMONS. 2000. Minesoil Genesis and Clasification. Ch. 23. In: *Reclamation of Drastically Disturbed Lands.* R. I. Barsnhisel, W. L. Daniels and R. G. Darmody (Eds.). Agronomy Series No. 41. American Soc. Agronomy. Madison, WI.

SEOANE LAVANDEIRA, S., E. BENITO RUEDA, M. C. LEIROS DE LA PEÑA, F. GIL SOTRÉS Y F. GUITIÁN OJEA. 1995. los materiales estériles de la mina. En: F. Guitián Ojea (ed.). *Recuperación de las escombreras de la Mina de Lignitos de Meirama (A Coruña).* Univ. Santiago de Compostela- Lignitos de Meirama. pp. 69-98.

SMITH, R. M., W. E. GRUBE JR., T. ARKLE AND A. SOBEK. 1974. Mine spoil potentials for soil and water quality. EPA-670/2-74-070. USEPA, Cincinnati, Ohio.

SMITH, R. M. & A. A. SOBEK. 1978. Physical and Chemical Properties of Overburdens, Spoils, Wastes, and New Soils. In: P. Sutton (ed.). *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 149-172.

SMITH, K. S., C. A. RAMSEY AND P. L. HAGEMAN. 2000. Sampling Strategy for the Rapid Screening of Mine-Waste Dumps on Abandoned Mine Lands. Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage, Denver, Colorado, May 21-24, 2000. Society for Mining Metallurgy and Exploration, Inc., V.II, pp. 1453-1461.

SKOUSEN, J. G., J. C. SENCINDIVER AND R. M. SMITH. 1987. *A Review of Procedures for surface Mining and Reclamation in Areas with Acid-Producing Materials*. WV Surface Mine Drainage Task Force, WVU Energy and Water Research Center and WV Mining and Reclamation Association. 39 p.

SOBEK, A. A., W. A. SCHULLER, J. R. FREEMAN AND R. M. SMITH. 1978. *Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils*. USEPA Rep. 600/2-78-054. U. S. Government Printing Office, Washington, DC.

SOBEK, A. A. , L. R. HOSSNER, D. L. SORENSEN, P. J. SULLIVAN AND D. F. FRANSWAY. 1987. Acid-base potential and sulfur forms. In: R. Dean Williams and G. E. Schuman (eds.). *Reclaiming mine soils and overburden in the western United states: Analytic parameters and procedures*. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa. pp.233-258.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. *Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Agriculture Handbook 436. SCS, USDA. U. S. Government Printing Office. Washington, DC.

SOIL SURVEY STAFF. 1993. *Soil Survey Manual*. Agricultural Handbook No. 18. Soil Conservation Service, Washington, DC.

SOIL SURVEY STAFF. 1995. *Claves para la Taxonomía de Suelos, versión de 1994*. Traducción de : C. A. Ortiz Solorio, M^a del Carmen Gutiérrez Castorena y J. L. García Rodríguez. Primera Edición en Español. 1995. Publicación Espacial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México. 306 p.

SPANGLER, HANDY .1982. *Soil engineering*. Harper and Row Publishers, New York.

STEWART, B.R. AND W. L. DANIELS. 1992. Physical and Chemical Properties of Coal Refuse from Southwest Virginia, *J. Environ. Qual.* 21: 635-642.

THOMPSON, P. J., I. J. JANSEN AND C. L. HOOKS. 1986. Penetrometer Resistance and Bulk Density for Predicting Root System Performance in Mine Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1288-1293.

TORBERT, J.L., A.R. TULADHAR, J.A. BURGER AND J.C. BELL. 1988. Minesoil property effects on the height of ten-year-old white pine. *J. Environ. Qual.* 17: 189-192.

TORBERT, J.L., J.A. BURGER AND W.L. DANIELS. 1989. Pine growth variation associated with overburden rock type on a reclaimed surface mine in Virginia. *J. Environ. Qual.* 19: 88-92.

TYNER, E. H., R. M. SMITH AND S. L. GALPIN. 1948. Reclamation of strip-mined lands in West Virginia. *J. American Society of Agronomy.* 40: 313-323.

U. S. CONGRESS, OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. 1986. *Western Surface Mine Permitting and Reclamation*, OTA-E-279. 296 pp.

URRUTIA, M. M., E. GARCÍA RODEJA & F. MACÍAS. 1992. Sulfide Oxidation in Coal-Mine Dumps: Laboratory Measurement of Acidifying potential with H₂O₂ and Its Application to Characterize Spoil Materials. *Environmental Management*, Vol. 16, No. 1, pp. 81-89.

VAL CABALLERO, C., A. GIL BUENO, J. M. CABAL GARCÍA, F. ARECHAGA RODRÍGUEZ, J. P. MONTE DÍAZ DE GUEREÚN, J. PÉREZ SARMENTERO, J. FERNÁNDEZ GONZÁLEZ. 1991. The neutralizing capacity of fly ash from the thermoelectric power plant at Puentes de García Rodríguez (La Coruña, Spain), to be used for the acid spoils dump reclamation. In: Proceedings of 3rd International Symposium on Continuous Surface Mining, Prague. pp. 381-388.

VAN BREENEN, N. 1982. Genesis, morphology and classification of acid sulfate soils in coastal plains. In: *Acid Sulfate Weathering*. Soil Science Society of America. Madison, WI. Pp. 95-108.

VANDEVENDER, J. C. AND J. C. SENCINDIVER. 1982. The Effects of Three Forms of Nitrogen Fertilizer, Phosphorus and Hidrated Lime on Abandoned Mine Land. Reclamation. In: Proceedings of 1982' Symposium on Surface Mining Hydrology, Sedimentology and Reclamation. Univ. Kentucky, Lexington, KY. pp. 497-502.

WALKLEY, A. & I. A. BLACK. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v.37, pp. 29-38.

WEHNER, R. R. & G. B. COLTHARP. 1985. Effects of Sample Collection, Preparation and Lab Testing Procedures on Spoil Analyses. In: Proceedings of 1985' Symposium on Surface Mining, Hydrology, Sedimentology and Reclamation. Univ. Kentucky. Lexington, KY. pp. 269-272.

WENDLANDT, W.W.M. 1986. *Thermal Analysis*. John Wiley, New York pp. 137-460.

WDEQ. 1994. Guideline No. 1: Topsoil and Overburden. Wyoming Department of Environmental Quality. Land Quality Division. Unpublished Document. 43 p.

WIRAM, V. P. & D. S. RALSTON. 1980. Use of soil-overburden data in mine planning and development. In: Simpson, D.G. and W.T. Plass (eds.). Proceedings of Seminar on the Role of Overburden Analysis in Surface Mining. Wheeling, W. Va. May 1980. Bureau of Mines Information Circular 8863/1982. U.S.D.I. pp 21-37.

WOOD, C. W., J. H. EDWARDS AND C. G. CUMMINGS. 1991. Tillage and Rotation Effects on Soil Organic Matter. Southern Conservation Tillage Conference. Arkansas Experiment Station Special Report 148, pp. 104-106.

YOUNG, J.L. AND M. R. LINDBECK. 1964. Carbon determination in soils and organic materials with high frequency furnace. *Soil Sci. Soc. Am. Proceedings* v.28 pp. 377-381.

ANEXOS

A. I. DESCRIPCIÓN DE LAS ESCOMBRERAS Y SECTORES MUESTREADOS. DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS.

En las páginas sucesivas se ofrece una descripción de los lugares de origen de todas las muestras superficiales. Como se explica en la memoria, se tomaron muestras compuestas superficiales en escombreras en las que no se han realizado labores de restauración más allá de la simple remodelación topográfica. También se tomaron muestras superficiales en lo que se ha denominado sectores. Estos son subdivisiones de las zonas de trabajo en las que se realizaron operaciones de cara a la restauración con diferente éxito. La subdivisión de las zonas se realizó atendiendo a criterios como: pendiente, aspecto de la superficie del terreno, orientación, presencia de precipitados, cobertura vegetal, etc. En estos sectores también se realizaron calicatas para la descripción y muestreo de perfiles y pocillos para el muestreo de “microperfiles”.

A. I. 1. ESCOMBRERAS DE ESTÉRILES

Zona de trabajo de Valdesamario

- Escombrera I: Representada por la muestra VAL-PIL-I. Escombrera remodelada, transitable en toda su extensión, con pendientes entre 0 y 25°. Es la más oriental de la zona de estudio. Superficie bastante compactada. Limpia de vegetación salvo por la presencia testimonial de algunas plantas herbáceas y un sauce capruno. Presenta abundantes elementos gruesos, que rondan el 60 % en superficie (70'4 % en peso). Son angulosos, irregulares o planos, mayoritariamente comprendidos entre 20-75 mm y 75-250 mm, dominados por areniscas y lutitas. En peso suponen algo más del 70 %. Matriz Franco-arenosa de color gris verdoso (5Y 4/2) en seco.
- Escombrera II: Muestra VAL-PIL-II. Es una escombrera remodelada que se apoya al norte contra un resto de frente limpio, el cual permite ver un extracto subvertical de cuarcita. Es transitable en toda su extensión. La pendiente es variable alcanzando un máximo de 25°. La superficie está fuertemente compactada. Sólo está colonizada por alguna hierba esporádica. En superficie se aprecia un contenido de aproximadamente un 60 % de elementos gruesos (70'5 % en peso). Son irregulares, angulosos, dominados por areniscas y lutitas, y comprendidos mayoritariamente en

los rangos 2-5 y 5-20 mm. La matriz es Franco-arenosa de color gris muy oscuro (5Y 3/1) en seco.

- Escombrera III: Muestra VAL-PIL-III. Escombrera remodelada que se apoya en un antiguo frente excavado en cuarcita. Transitado, con pendientes variables de hasta 25°. La superficie presenta elevada compactación. Se observa una colonización herbácea muy dispersa y esporádica. La pedregosidad superficial aparentemente supera el 60 %. La muestra tomada alcanza un contenido de 71'7 % en peso de elementos gruesos. Dominan fragmentos de areniscas y lutitas, angulosos, predominando los rangos 2-5 y 5-20 mm. La matriz es Franco-arcillo-arenosa de color gris oscuro (5Y 4/1) en seco.
- Escombrera IV: Muestra VAL-PIL-IV. Presenta en los bordes vegetación de elevado porte (chopos, sauces). Aparentemente, esta escombrera no ha sido remodelada. La pedregosidad superficial es algo inferior al 60% (68'1 % en peso). Los fragmentos rocosos son mayoritariamente de arenisca y lutita, angulosos de tamaño 2-5 mm y 5-20 mm, con algunos en el rango 75-20 mm. Matriz Franco-arcillo-arenosa de color gris muy oscuro (5Y 3/1) en seco.
- Escombrera V: Representada por la muestra VAL-PIL-V. Transitado con dificultades, con pendiente bastante uniforme de unos 30°. La superficie presenta elevada compactación. Se observa una colonización herbácea muy dispersa y esporádica. La pedregosidad superficial está ligeramente por encima del 70 %. El porcentaje en peso de elementos gruesos alcanza el 82'8 %. Dominan fragmentos de areniscas angulosos, predominando los rangos 2-5 y 5-20 mm. Matriz Franco-arenosa de color verde oliva (5Y 4/4) en seco.
- Escombrera VI: Representada por la muestra VAL-PIL-VI. Es la situada más al oeste de toda la zona. Presenta alta compactación. Aparentemente combina estériles procedentes de minería de interior y de exterior, con restos carbonosos visibles. Presencia esporádica de plantas herbáceas. Ha sido remodelada, pero conserva taludes de hasta 30° de pendiente. Es transitado con dificultades. La pedregosidad superficial supera el 70 %. La muestra contiene más del 80 % en peso de elementos gruesos, angulosos e irregulares de tamaño 2-5 mm y 5-20 mm, con algunos en el

rango 75-20 mm. Proceden de areniscas, lutitas y carbón. La matriz es Franco-arenosa de color gris muy oscuro (5Y 3/1) en seco.

Zona de trabajo de Miranda-Minas de La Mora

- Escombrera I: Representada por la muestra VIL-PIL-I. Presenta una plataforma superior accesible por pista desde el norte. Dicha superficie superior presenta una pendiente de unos 5°. Los taludes están mayoritariamente descubiertos de vegetación debido a la elevada pendiente, aunque existen ciertas zonas en las que se da vegetación arbustiva. La superficie superior está cubierta completamente de vegetación herbácea (*Lolium perenne*, *Poa bulbosa*, etc.), con ejemplares dispersos de *Genista polygaliphylla* y *Salix cantábrica* entre otras especies leñosas. Los fragmentos rocosos son mayoritariamente de arenisca, irregulares, angulosos y planos, de tamaño 2-5 mm y 5-20 mm, con algunos en el rango 75-250 mm. La pedregosidad superficial puede alcanzar el 65 %, siendo el porcentaje de elementos gruesos de la muestra en peso del 77,7 %. La matriz es Franco-arenosa de color verde oliva en seco (5Y 4/4).
- Escombrera II: Muestra VIL-PIL-II. Es accesible por pista la plataforma superior. Los taludes son de 37 °. Presenta escasa vegetación muy dispersa (*Deschampsia flexuosa* y *Genistella tridentata*). En algunos montones dejados al borde del talud, sin verter, aparecen *Betula celtiberica*, *Salix cantabrica*, *Genista polygaliphylla*, *Cytisus scoparius*, entre otras. La pedregosidad superficial ronda el 65 %. El porcentaje de elementos gruesos es 77,5 %. Los fragmentos rocosos son mayoritariamente de arenisca, irregulares, angulosos y planos, de tamaño 2-5 mm y 5-20 mm. La matriz es Arenoso-franca de color verde grisáceo oscuro (5Y 3/2).
- Escombrera III: Representada por la muestra VIL-PIL-III. Los taludes son de 37 °. Vegetación ocasional dispersa. En algunos montones dejados al borde del talud sin verter aparecen *Betula celtiberica*, *Salix cantabrica*, *genista polygaliphylla*, *Cytisus scoparius*, entre otras. La pedregosidad superficial ronda el 60 %. El porcentaje de elementos gruesos es 73,5 %. Los fragmentos rocosos son mayoritariamente de arenisca y lutita, irregulares, angulosos, de tamaño 2-5 mm y 5-20 mm, con algunos

en el rango 75-250 mm. La matriz es Franco-arenosa de color gris muy oscuro (5Y 3/1).

- Escombrera IV: Muestra VIL-PIL-IV. Escombrera muy pequeña. Está muy colonizada por vegetación arbustiva y herbácea en la plataforma superior, pero no en los taludes. La pedregosidad superficial ronda el 70 %. El porcentaje de elementos gruesos es 85'9 %. Los fragmentos rocosos son mayoritariamente de arenisca y lutita, irregulares, angulosos, de tamaño 2-5 mm y 5-20 mm, con algunos en el rango 75-250 mm. La matriz es Franco-arenosa de color gris verdoso (5Y 4/2).
- Escombrera V: Muestra VIL-PIL-V. Sin vegetación. La pedregosidad superficial ronda el 65 %. El porcentaje de elementos gruesos es 74'5 %. Los fragmentos rocosos son mayoritariamente de arenisca y lutita, con algo de carbón; en general irregulares, angulosos, de tamaño 2-5 mm y 5-20 mm, con algunos en el rango 75-250 mm. Matriz Franco-arenosa de color N 3/0.

Zona de trabajo de la Corta Santa Lucía

- Escombrera I: Representada por la muestra UTR-PIL-I. Accesible a pie. Presenta una plataforma superior casi llana y muy plana. Sin vegetación. Regueros de erosión. Presencia de manchas blancas en superficie. Los fragmentos rocosos son mayoritariamente de arenas arcillosas y arcillas arenosas consolidadas y restos de carbón, irregulares, angulosos y planos, de tamaño 2-5 mm y 5-20 mm, con algunos en el rango 75-20 mm. La pedregosidad superficial puede alcanzar el 45 %, siendo el porcentaje de elementos gruesos de la muestra en peso del 64'4 %. La matriz es Franco-arcillosa de color pardo grisáceo oscuro en seco (2'5Y 4/2).
- Escombrera II: Muestra UTR-PIL-II. Accesible a pie. Presenta una plataforma superior casi llana y muy plana. Sin vegetación. Regueros de erosión. Presencia de manchas blancas en superficie. Los fragmentos rocosos son mayoritariamente de arenas arcillosas y arcillas arenosas consolidadas y restos de carbón, irregulares, angulosos y planos, de tamaño 2-5 mm y 5-20 mm; ocasionalmente alguno en el rango 75-20 mm. La pedregosidad superficial puede alcanzar el 40 %, siendo el

porcentaje de elementos gruesos de la muestra en peso del 57'6 %. La matriz es Arcillo-arenosa de color gris muy oscuro en seco (2'5Y 3/2).

- Escombrera III: Representada por la muestra UTR-PIL-III. Accesible a pie. Es de forma alomada. Tiene apariencia de residuos de lavadero vertidos de modo fluido. Sin vegetación. Los fragmentos rocosos son mayoritariamente de arenas arcillosas y arcillas arenosas consolidadas y restos de carbón, irregulares, angulosos y planos, de tamaño 2-5 mm y, ocasionalmente, 5-20 mm. La pedregosidad superficial puede alcanzar el 30 %, siendo el porcentaje de elementos gruesos de la muestra en peso del 41'5 %. La matriz es Arenoso-franca de color negro en seco (N 3/2).

En todas las escombreras es posible encontrar manchas en las caras de los elementos gruesos, que van desde el amarillo (10YR 7/6) y el amarillo pardusco (10 YR 6/8) al amarillo pálido (5Y 7/4 y 5Y 7/3) y que evidencian diferentes grados de oxidación de los sulfuros de hierro presentes.

A. I. 2. SECTORES EN LAS ZONAS DE TRABAJO RECONOCIDAS COMO EN PROCESO DE RESTAURACIÓN.

Zona de la Corta de las Ranas

- Sector I: Situado en el extremo sudoccidental tocando a la laguna de la corta. Es un acumulo alomado de estériles carbonosos sin recubrir. En general es de pendiente suave, salvo en la parte que vierte a la laguna. Representado por dos muestras VAL-I-01 (la más representativa) y VAL-I-02 (de la parte más inclinada que vierte a la laguna). Solo presenta vegetación herbácea colonizadora muy dispersa y un ejemplar de *Cytisus multiflorus*. Además se plantaron algunos pinos con escaso resultado: muchas marras, escaso porte y amarilleamiento de acículas en los que sobreviven. La pedregosidad superficial puede oscilar entre el 50 y 70%. El porcentaje de elementos en las muestras compuestas es de alrededor de 70% en peso. Los fragmentos rocosos extraídos en los hoyos de plantación se tiñen de amarillo pálido (5Y 7/3). También se observan manchas de color amarillo pardusco (10YR 6/8) en caras de cantos superficiales. Dominan los fragmentos de areniscas y lutitas, angulosos y planos, irregulares. Los tamaños más corrientes son 5-20 mm y 20-75 mm, aunque hay algunos pocos fragmentos mayores. En hoyos de plantación

con marras se pueden observar mayor alteración y agregación ligada a raíces finas de hierbas. Esta muy compactado salvo en la parte vertiente a la laguna, y presenta rasgos de erosión laminar. El color de la tierra fina es gris muy oscuro (5Y 3/1), en seco. La matriz es Franco-arenosa. En este sector se sitúa el perfil VAL-04 y los microperfiles VAL-4A y VAL-4B.

- Sector II: Representado por la muestra VAL-II-1. Es una franja estrecha transitable en el pie del frente. Ha recibido derrubios y sedimentos primero, y después ha recibido tierras excavadas en la cuneta perimetral del frente. Presenta escasa vegetación herbácea y arbustiva y, puntualmente, ejemplares de *Quercus pyrenaica*. Estos han llegado a este lugar de forma muy curiosa. Antes de realizarse la cuneta perimetral los endopediones del suelo natural en la zona superior se fueron socavando hasta dejar en alero el horizonte superior, muy orgánico y trabado por raíces. De vez en cuando una masa entera de horizonte se desprendía, resbalando y sirviendo de peana a algún roble pequeño. Algunos de ellos, después, se anclaron en el substrato subyacente. La pedregosidad superficial ronda el 45%. El contenido en elementos gruesos es de 63,6% en peso. Dominan fragmentos de areniscas angulosos y sub-redondeados de cuarcita. La mayoría están en los rangos 2-5 y 5-20 mm, con algunas mayores. La matriz es Franco-arenosa de color pardo amarillento claro (10YR 6/4). En este sector no se situó ningún perfil. Se supone que un perfil representativo en este sector sería como el perfil VAL-09, recubierto de derrubios y sedimentos (enterrado).
- Sector III: Representado por la muestra VAL-III-01. Es la zona más occidental del talud de la escombrera exterior. La base de dicho talud alcanza una pista que discurre paralela al Río Valdesamario. Todo el talud ha sido retocado para suavizar la pendiente y redondear las formas. En algunas zonas se han podido recubrir los estériles carbonosos originales de la escombrera con tierras o estériles de colores que denotan mayor oxidación, lo que junto con la orientación ha permitido diferenciar diversos sectores. Este sector tiene una orientación noroeste y una pendiente de unos 25°. Presenta una buena y variada cobertura vegetal en la que destaca *Cytisus multiflorus*. La pedregosidad superficial ronda el 70%. El contenido en elementos gruesos alcanza el 77% en la muestra superficial. Predominan cantos y bloques sub-redondeados de arenisca y cuarcita de todos los tamaños, abundando

los rangos 20-75 y 75-250 mm. La matriz es Franco-arenosa. El color de la tierra fina es pardo verdoso (2'5Y 4/4) en seco. En este sector se sitúa el perfil VAL-11.

- Sector IV: Representado por la muestra VAL-IV-01. Presenta una orientación nortenoeste y pendiente de unos 25°. En superficie tiene apariencia de pavimento pedregoso, con una pedregosidad superficial superior al 60%. En peso, los fragmentos rocosos suponen alrededor del 75%. Muchas caras teñidas. Dominan areniscas y lutitas, son angulosos irregulares y planos, mayoritariamente de tamaños 2-5 y 5-20 mm, con presencia de alguno mayor. La matriz es Franco-arenosa. El color de la tierra fina es gris muy oscuro en seco (5Y 3/1). Solo se observa alguna planta herbácea ocasional entre las colonizadoras. Se plantaron pinos, pero sobreviven pocos con muy escaso porte. Se aprecian regueros de erosión poco marcados y erosión laminar. En este sector se situaron el perfil VAL-5 y los microperfiles VAL-5A Y VAL-5B.
- Sector V: Representado por la muestra VAL-V-01. Presenta una orientación norte. Es la superficie más cubierta de todo el talud, a pesar de que es la zona donde la escombrera alcanza mayor altura y de que la pendiente puede llegar a ser de 30°. Junto a algunos pinos plantados, abundan *Cytisus multiflorus*, *Genista florida* y *Salix atrocinerea*, y está presente *Quercus pyrenaica*. La pedregosidad superficial se encuentra entre el 55 y el 60%. El contenido en elementos gruesos es de 65 a 70 % en peso. Los elementos gruesos dominantes son fragmentos de areniscas y cuarcitas. Las cuarcitas aparecen sub-redondeadas. Se dan en toda la gama de tamaños, abundando los del intervalo 75-250 mm. La matriz es Franco-arenosa y amarillo verdosa (2'5 Y 6/6). En este sector se sitúa el perfil VAL-08 y los microperfiles VAL-8A y VAL-8B.
- Sector VI: Representado por la muestra VAL-VI-01. Es muy semejante al Sector IV. Presenta una orientación norte y pendiente de unos 25° a 30°. En superficie tiene apariencia de pavimento pedregoso, con una pedregosidad superficial superior al 60%. En peso, los fragmentos rocosos suponen alrededor del 68 al 70 %. Muchas caras teñidas. Los fragmentos rocosos son predominantemente areniscosos, de tamaño 2-20 y 20-75 mm, con algunos de mayor tamaño. La matriz es Franco-arenosa de color gris oscuro 5Y 4/1 en seco. Solo se observa alguna planta herbácea

ocasional entre las colonizadoras. Se plantaron pinos, pero sobreviven pocos con muy escaso porte. Se aprecian regueros de erosión poco marcados y erosión laminar. En los regueros se aprecia una mayor proporción de caras de piedras teñidas de amarillo. En este sector se situó el perfil VAL-14.

- Sector VII: Muestra VAL-VII-01. Talud de la escombrera vertiente hacia el este. Rodea un resto de terraza donde se describió el perfil VAL-01. Llega a alcanzar los 32° de pendiente. Presenta una prácticamente total ausencia de vegetación colonizadora. Se plantaron pinos con escaso éxito. Se aprecian regueros de erosión y erosión laminar. En los regueros es más patente como las caras de cantos se tiñen de amarillo pálido (5Y 7/3) y de amarillo pardusco (10YR 6/8). La pedregosidad superficial alcanza un 50%. El contenido en elementos gruesos alcanza el 63'1% en peso. Predominan areniscas y lutitas de tamaños comprendidos en el rango 2-5 y 5-20 mm. La tierra fina es Franco-arcillo-arenosa. La matriz de tierra fina se muestra como un abigarrado de negro, gris y amarillo que en seco da un color verde oliva (5Y 4/3).
- Sector VIII: Representado por la muestra VAL-VIII-01. Corresponde a la zona superior occidental de la escombrera, separada de la parte oriental por un resto de pista con escarpe. Se muestra como una superficie ondulada que alterna zonas muy compactas bien encespedadas, bosquetes impenetrables de escobas y brezos, y áreas poco cubiertas en las que afloran materiales grises oscuros. Parece ser que se intentó recubrir la superficie con estériles pardos, pero no se consiguió hacerlo en su totalidad. La pedregosidad superficial alcanza un 65 %. El contenido en elementos gruesos supera el 70 % en peso. Predominan areniscas y cuarcitas, angulosos y sub-redondeados de todos los tamaños, pero estando la mayoría en los intervalos 2-5 mm y 5-20mm. La matriz es Franco-arenosa. Los colores varían entre el pardo verdoso claro (2'5 Y 5/4) y el gris verdoso (5 Y 4/2). En este sector se sitúa el perfil VAL-12.
- Sector IX: Corresponde a la zona superior oriental de la escombrera. Se muestra como una superficie ondulada que alterna zonas muy compactas bien encespedadas, bosquetes impenetrables de escobas y brezos, y áreas poco cubiertas en las que afloran de materiales grises oscuros. Como en el anterior caso, parece ser que se

intentó recubrir la superficie con estériles pardos, pero no se consiguió hacerlo en su totalidad. La pedregosidad superficial alcanza un 60 ó 65 %. El contenido en elementos gruesos supera se mueve entre el 65 y el 70 % en peso. Predominan areniscas y cuarcitas, angulosos y sub-redondeados de todos los tamaños, pero estando la mayoría en los intervalos 2-5, 5-20 y 20-75 mm. La matriz es Franco-arenosa. Los colores varían entre el pardo verdoso claro (2'5 Y 5/4) y el gris verdoso (5 Y 4/2). En este sector se sitúan el perfil VAL-06 y los microperfiles VAL-6A y VAL-6B.

- Sector X: Representado por la muestra VAL-X-01. Es una talud de unos 20 a 25 ° de pendiente que vierte hacia el fondo de la corta. Aparentemente está todo recubierto de tierras y presenta una elevada cobertura de *Cytisus multiflorus*. La pedregosidad superficial alcanza un 50 ó 60 %. El contenido en elementos gruesos es algo superior al 60 % en peso. Predominan areniscas y cuarcitas, angulosos y sub-redondeados de todos los tamaños, pero estando la mayoría en los intervalos 2-5, 5-20 y 20-75 mm. La matriz es Franco-arcillo-arenosa. La tierra fina es de color pardo amarillento claro (10 YR 6/4). En este sector se encuentra el perfil VAL-15. En el contacto con el frente se sitúa el perfil VAL-07, que no se considera representativo.
- Sector XI: Representado por la muestra VAL-XI-01. Corresponde al fondo de la corta, en las inmediaciones de la laguna permanente, los márgenes de lo que fueron escombreras exteriores y la base del frente. Es una superficie sensiblemente llana con apariencia de pavimento pedregoso formado por restos de estériles sobre la base de roca intacta. Aparentemente, la pedregosidad superficial ronda el 50 %. En peso, los elementos gruesos oscilan entre 40 y 65 %. Se plantaron algunos ejemplares de *Pinus sylvestris* que muestran escaso desarrollo y amarillean en las puntas de las acículas. Los fragmentos rocosos extraídos de los hoyos de plantación se tiñen de amarillo pálido (5Y 7/3). En el resto de la superficie también se ven manchas que varían del amarillo pálido al amarillo pardusco sobre las caras de los elementos gruesos. En verano, en los puntos más deprimidos se observan acumulaciones de precipitados blancos. Los elementos gruesos son angulosos, mayoritariamente comprendidos en los intervalos 5-20 mm y 20-75mm. Dominan las areniscas con

carbón. La matriz es Franco-arenosa. El color de la matriz es gris verdoso (5Y 4/2). En este sector se situó el perfil VAL-09 y dos microperfiles (VAL-9A y VAL-9B).

- Sector XII: Muestra VAL-XII-01. Corresponde la superficie más nororiental de la escombrera exterior. Es una superficie sensiblemente llana pedregosa y polvorienta en la que en tiempo seco se aprecian llamativas manchas de sales (ver fotografía **A.III.15** en **Anexo III**). Aparentemente, la pedregosidad superficial ronda el 50 %. En peso, los elementos gruesos 65 al 70 %. Se plantaron algunos ejemplares de *Pinus sylvestris* y *Populus sp.*, los cuales muestran escaso desarrollo. Los elementos gruesos son angulosos, mayoritariamente comprendidos en los intervalos 5-20 mm y 20-75mm. Dominan las areniscas con carbón. La matriz es Franco-arenosa. El color de la matriz es gris oscuro (5Y 4/1). En este sector se situó el perfil VAL-10 y dos microperfiles (VAL-10A y VAL-10B).

Zona de Carrasconte (El Salguero)

- Sector I: Representado por la muestra VIL-I-01. Talud recubierto de pradera mixta con *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Trifolium repens* etc. Posee una inclinación de hasta 30° y orientación N-NE. La pedregosidad superficial supera el 55 %. En peso, los elementos gruesos suponen algo más del 60 %. Dominan las fracciones 2-5 y 5-20 mm, aunque hay tamaños mayores. Son fundamentalmente procedentes de areniscas y lutitas irregulares, angulosos, a veces planos y, ocasionalmente, alguno sub-redondeado de cuarcita. La matriz es Franco-arcillo-arenosa. La tierra fina presenta un color pardo verdoso (2'5 Y 4/4). En él se sitúa el perfil VIL-04 y los microperfiles VIL-4A y VIL- 4B.
- Sector II: Representado por la muestra VIL-II-01. Talud recubierto de pradera mixta. Posee una inclinación de hasta 30° y orientación N-NE, con un cierto alabeo en los extremos. La pedregosidad superficial supera el 60 %. En peso, los elementos gruesos suponen algo más del 65 %. Dominan las fracciones 20-75 y 75-250 mm.. Son fundamentalmente procedentes de areniscas y lutitas irregulares, angulosos, a veces planos y, ocasionalmente, alguno sub-redondeado de cuarcita. La matriz es Franco-arenosa La tierra fina presenta un color pardo verdoso (2'5 Y 4/4). En él se sitúa el perfil VIL-08 y los microperfiles VIL-8A y VIL- 8B.

- Sector III: Muestra VIL-III-01. Talud recubierto de pradera mixta. Posee una inclinación de hasta 30° y orientación N-NE, con un cierto alabeo en los extremos. La pedregosidad superficial supera el 65 %. En peso, los elementos gruesos suponen algo más del 79 %. Predominan las fracciones 20-75 y 75-250 mm.. Son fundamentalmente procedentes de areniscas y lutitas irregulares, angulosos, a veces planos y, ocasionalmente, alguno sub-redondeado de cuarcita. La matriz es Franco-arcillo-arenosa. La tierra fina presenta un color pardo grisáceo oscuro (2'5 Y 4/2) a pardo grisáceo muy oscuro (2'5 Y 3/2). En él se sitúa el perfil VIL-05 y los microperfiles VIL-5A y VIL- 5B.
- Sector IV: Representado por la muestra VIL-IV-01. Talud recubierto de pradera mixta. Posee una inclinación de hasta 25° y orientación S-SO, con un cierto alabeo en los extremos. La pedregosidad superficial supera el 65 %. En peso, los elementos gruesos suponen algo más del 70 %. Dominan las fracciones 5-20, 20-75 y 75-250 mm.. Son fundamentalmente procedentes de areniscas y lutitas irregulares, angulosos, a veces planos y, ocasionalmente, alguno sub-redondeado de cuarcita. La matriz es Franco-arcillo-arenosa. La tierra fina presenta un color pardo verdoso (2'5 Y 4/4) a pardo grisáceo oscuro (2'5 Y 4/2). En él se sitúa el perfil VIL-06 y los microperfiles VIL-6A y VIL- 6B.

Zona de Utrillas (Sabina-Umbrión)

- Sector I: Representado por las muestras compuestas superficiales UTR-I-01 y UTR-I-02 (la más oriental). Área llana en plataforma superior de escombrera de estériles carbonosos recubiertos con arenas y limos de la Formación Escucha. Presenta una ligera inclinación hacia el este, donde está situada una balsa de decantación. La altitud media es 1095m. Se cultiva cereal de secano. La pedregosidad superficial varía entre el 35 y el 40 %. Los contenidos en elementos gruesos varían entre el 51 y el 57 % en peso. Dominan fragmentos de calizas arenosas amarillentas de tamaño 2-5 mm, aunque existen algunos de hasta 75 mm. La matriz es Franco-arcillo-arenosa. La matriz varía de pardo ligeramente amarillento (2'5 6/4) al amarillo pálido (2'5Y 7/4) y el amarillo verdoso (2'5Y 6/8), en seco. En este sector se sitúan los perfiles UTR-13, UTR-15 y los microperfiles UTR-13A, UTR-13B y UTR-13C.

- Sector II: Representado por las muestras compuestas superficiales UTR-II-01 y UTR-II-02 (la más oriental). Talud de escombrera orientado al norte. La inclinación media es de unos 20° aunque, puntualmente, puede alcanzar valores de 8° ó de 30°. Se compone de arenas arcillosas y arcillas arenosas grises recubiertas con arenas y limos de la Formación Escucha. El talud se sembró con una mezcla de semillas de gramíneas y leguminosas. Presenta una cobertura casi completa en toda la superficie con especies como *Lolium perenne*, *Onobrychis sativa*, *Festuca aundinacea* y *Melilotus officinalis*. La pedregosidad superficial varía entre el 30 y el 35 %. El contenido en elementos gruesos es de 43 a 48 % en peso. Predominantemente son calizas arenosas, angulosas y sub-redondeadas, de tamaños 2-5 y 5-20 mm predominantemente. La matriz es Franco-arenosa. El color de la tierra fina varía entre pardo grisáceo (2'5Y 5/2), pardo verdoso claro (2'5Y 5/6) y pardo amarillento claro (2'5Y 6/4), en seco. En este sector se sitúan los perfiles UTR-04, UTR-06 UTR-09 y UTR-11, y los microperfiles UTR-9A y UTR-9B.
- Sector III: Muestras superficiales UTR-III-01 y UTR-III-02 (la más oriental). Es un talud orientado al sur de unos 20° de pendiente media, aunque puede ser mayor o menor puntualmente. Muchos regueros de erosión, fenómenos de subfusión y carcavas. También se observa una microtopografía escalonada, herencia de un laboreo profundo siguiendo curvas de nivel. Está formado con arcillas de la Formación Escucha sobre estériles carbonosos. La pedregosidad superficial varía entre el 25 y el 30 %. Los elementos gruesos pueden suponer un 30 a un 40 % en peso. La mayoría son calizas arenosas blanquecinas, irregulares, angulosas y sub-redondeadas. Dominan los tamaños 2-5 y 5-20 mm, aunque los hay mayores. Presencia esporádica de *Medicago sativa* y *Atriplex halimus*. Presencia de pseudomicelios de sales. La matriz es Franco-arcillo-arenosa. El color en seco varía entre pardo verdoso (2'5Y 4/4) y el pardo amarillento claro (2'5Y 5/4). En él se sitúan los perfiles UTR-03 y UTR-14, y los microperfiles UTR-14A y UTR-14B.
- Sector IV: Representado por la muestra UTR-IV-01. Talud orientado al sur con pendiente media de 20°, aunque va creciendo desde 10° hasta 30° de oeste a este, Regueros de erosión y fenómenos de subfusión. Presenta una microtopografía escalonada debida a una labor horizontal de descompactado. Esta formado por

arcillas de Formación Escucha sobre estériles carbonosos. La pedregosidad superficial alcanza 25 %. Los elementos gruesos pueden suponer un 34 % en peso. La mayoría son calizas arenosas blanquecinas, irregulares, angulosas y sub-redondeadas. Dominan los tamaños 2-5 y 5-20 mm, aunque los hay mayores. Presencia esporádica de *Medicago sativa* y *Atriplex halimus*. Se observan pseudomicelios de sales. La matriz es Franco-arcillo-arenosa. El color en seco varía entre pardo grisáceo oscuro (2'5Y 4/2) y pardo grisáceo (2'5Y 5/2). En este sector se ubica el perfil UTR-01.

- Sector V: Muestra compuesta superficial UTR-V-01. Talud orientado al sur con pendiente de 20 a 25°. Se ven regueros de erosión y fenómenos de subfusión. Presenta huellas de laboreo horizontal profundo para descompactar. Formado con arcillas de la Formación Escucha recubriendo a estériles carbonosos. La pedregosidad superficial se estima en un 40 %. Los elementos gruesos suponen un 45 a 50 % en peso. Predominan los tamaños 2-5 y 5-20 mm, aunque los hay mayores. Presencia esporádica de *Medicago sativa* y *Atriplex halimus*. Se observan pseudomicelios de sales. La matriz es Franco-arcillo-arenosa de color pardo verdoso claro (2'5Y 5/6) a pardo grisáceo claro (2'5Y 4/2), en seco. En este sector se sitúa el perfil UTR-02 y los micropfiles UTR-2A, UTR-2B y UTR-2C.
- Sector VI: Muestra UTR-VI-01 y UTR-VI-02. Plataforma llana cultivada y en parte labrada con arado de vertedera. Se sitúa a una altitud media de 1100 m. Formada con arcillas y arenas de la Formación Escucha sobre estériles carbonosos. La pedregosidad superficial varía entre el 35 y el 40 %. Los elementos gruesos alcanzan un porcentaje de 47 a 55 % en peso. Mayoritariamente son fragmentos de calizas arenosas blanquecinas, irregulares, angulosas y sub-redondeadas. Dominan los tamaños 2-5 y 5-20 y 20-75 mm, aunque los hay mayores. La matriz es Franco-arcillo-arenosa. El color de la tierra fina en seco varía entre amarillo verdoso (2'5Y 6/6) y el pardo verdoso claro (2'5Y 5/4). En este sector se ubica el perfil UTR-08.

A. I. 3. DESCRIPCIÓN DE PERFILES

PERFIL VAL-01

Clasificación (USDA): Xerorthent típico.

Fecha de la observación: 26-02-02

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario

Situación: Talud oriental de la escombrera de la Corta de las Ranas.

Coordenadas U.T.M.: 255.400, 4.734.700

Altitud: 1080 m.

Posición fisiográfica: Terraza fluvial, rota por movimiento de tierras.

Forma del terreno: Originalmente casi plano.

Pendiente: Llano.

Vegetación o uso del suelo: Melojar.

Material de origen: Depósitos aluviales (arenas, gravas y cantos rodados de cuarcita.

Drenaje: Bueno

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: No

Estado hídrico: Húmedo.

Muestras: VAL-01-1 (A) y VAL-01-2 (C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-22	10 YR 3/3 (pardo oscuro en húmedo) y 10 YR 3/4 (pardo amarillento oscuro en seco); franco-arenosa; granular, fina a media débil; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); muy abundantes gravas, redondeadas o sub-redondeadas de cuarcita; muchos poros, muy finos, intersticiales; muy abundantes raíces finas y muy finas, alguna gruesa; moderadamente ácido; límite difuso y plano.
C	22-100+	10 YR 3/3 (pardo oscuro en húmedo) y 10 YR 4/4 (pardo amarillento oscuro en seco); franco-arenosa; sin estructura; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); gravas predominantes, redondeadas o sub-redondeadas de cuarcita; muchos poros, muy finos, intersticiales; abundantes raíces finas muy finas, medias y gruesas; moderadamente ácido.

PERFIL VAL-02

Clasificación (USDA): Dystrochrept típico.
Fecha de la observación: 23-04-02
Autor: Julio C. Arranz
Localidad más próxima: Valdesamario
Situación: Punto más elevado del frente de la Corta de las Ranas
Coordenadas U.T.M.: 255.300, 4.734.630
Altitud: 1150 m.
Posición fisiográfica: Ladera.
Forma del terreno: Colinado
Pendiente: Inclinado.
Vegetación o uso del suelo: Melojar con brezos.
Material de origen: Areniscas, cuarcitas, lutitas y carbón
Drenaje: Bueno
Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.
Afloramientos: No
Erosión: No.
Estado hídrico: Húmedo.
Muestras: VAL-02-1 (A), VAL-02-2 (BC) y VAL-02-3 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Oe	2-0	Capa de hojarasca medianamente descompuesta
A	0-10	10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en seco); franco-arenosa; migajosa; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); abundantes fragmentos de cuarcita y lutita; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; abundantes raíces finas, muy finas, medias y gruesas; ligeramente ácido; límite inferior gradual plano.
Bw	10-32	10 YR 4/3 (pardo oscuro en húmedo) y 10 YR 6/6 (amarillo pardusco); franco-arcillo-arenosa; granular fina a media, débil; no adherente, no plástico; friable (húmedo); fragmentos de lutitas y cuarcitas muy abundantes; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; abundantes raíces finas, muy finas, medias y gruesas; fuertemente ácido; límite inferior gradual plano.

VAL-02 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
BC	32-56	10 YR 5/8 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco); franco-arcillo-arenosa; granular fina a media, débil; no adherente, no plástico; friable (húmedo); fragmentos de lutitas muy abundantes y alguno de cuarcita; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; abundantes raíces finas, muy finas, medias y gruesas; fuertemente ácido; límite inferior gradual plano.
C	56-72/80	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/2 (pardo grisáceo en seco); franco-arcillo-arenosa; masa de lutitas algo carbonosas alteradas; sin estructura edáfica; ligeramente duro en seco; no adherente, no plástico; frecuentes poros intersticiales; pocas raíces medias y gruesas; muy fuertemente ácido; límite neto e inclinado.
2C	72/80-100+	N 2/0 (negro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arenosa; es una capa de carbón alterada formando un pliegue; sin estructura edáfica; ligeramente duro en seco; no adherente, no plástico; frecuentes poros intersticiales; alguna raíz media y gruesa; muy fuertemente ácido.

PERFIL VAL-03

Clasificación (USDA): Eutrochrept dístico.

Fecha de la observación: 23-04-02

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Acceso occidental a la cuneta perimetral del frente de la Corta de las Ranas.

Coordenadas U.T.M.: 255.250, 4.734.650.

Altitud: 1100 m.

Posición fisiográfica: Ladera.

Forma del terreno: Colinado

Pendiente: Inclinado.

Vegetación o uso del suelo: Melojar con brezos.

Material de origen: Areniscas, cuarcitas y lutitas.

Drenaje: Bueno

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: No.

Estado hídrico: Húmedo.

Muestras: VAL-03-1 (A1), VAL-03-2 (A2), VAL-03-3 (Bw) y VAL-03-4 (BC).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A1	0-5	10YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 10 YR 6/4 (pardo amarillento claro en seco); franco-arenosa; migajosa; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); abundantes fragmentos de cuarcita y lutita; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; fieltro de raíces finas y muy finas, abundantes raíces medias y gruesas; extremadamente ácido; límite inferior gradual plano.
A2	5-19	10YR 4/6 (pardo amarillento oscuro en húmedo) y 10 YR 5/4 (pardo amarillento en seco); franco-arenosa; granular fina media; ligeramente adherente, ligeramente plástico; muy friable (húmedo); abundantes fragmentos de cuarcita y lutita; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muy abundantes raíces finas, muy finas, medias y gruesas; muy fuertemente ácido; límite inferior gradual plano.

VAL-03 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Bw	19-38	10 YR 5/8 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 6/6 (amarillo pardusco en seco); franco-arenosa; de subangular a granular fina a media, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico; friable (húmedo); fragmentos de lutitas y cuarcitas muy abundantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; abundantes raíces finas y muy finas, frecuentes medias y gruesas; muy fuertemente ácido; límite inferior gradual plano.
BC	38-63	10 YR 6/6 (amarillo pardusco en húmedo) y 10 YR 7/8 (amarillo en seco); franco-arenosa; subangular fina a media, débil; ligeramente adherente, ligeramente plástico; friable (húmedo); fragmentos de lutitas y cuarcitas muy abundantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; frecuentes raíces finas y muy finas, pocas medias y gruesas; muy fuertemente ácido; límite inferior difuso plano.
C	63-140	10 YR 7/6 (amarillo en húmedo) y 10 YR 7/8 (amarillo en seco); franco-arenosa; sin estructura edáfica; no adherente, no plástico; friable (húmedo); fragmentos de lutitas y cuarcitas muy abundantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas raíces finas y medias; muy fuertemente ácido.

PERFIL VAL-04

Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent carbolítico.

Fecha de la observación: 23-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Parte sur-occidental de la Corta de las Ranas.

Posición fisiográfica: Talud suave de mónico de estériles.

Forma del terreno: Ondulado.

Pendiente: Suavemente inclinado.

Vegetación o uso del suelo: Herbácea muy dispersa. Pinos plantados, muertos o poco crecidos.

Material de origen: Areniscas, lutitas y carbón.

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5.

Afloramientos: No.

Erosión: Laminar.

Estado hídrico: Seco.

Muestras: VAL-04-1 (C1) y VAL-04-2 (C2).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C1	0-15	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arenosa; sin estructura, pero con presencia algunos elementos de estructura granulares, medios, débiles, en contacto con raíces; duro, no adherente, no plástico; fragmentos de areniscas y lutitas predominantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas manchas de color 5 Y 7/6 (amarillo en húmedo) en planos de exfoliación de lutitas y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo) en caras de areniscas; muy pocas raíces finas y muy finas; muy fuertemente ácido; límite gradual plano.
C2	15-85	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura; duro, no adherente, no plástico; fragmentos de areniscas y lutitas predominantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas manchas de color 5 Y 7/6 (amarillo en húmedo) en planos de exfoliación de lutitas y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo) en caras de areniscas; ninguna raíz; ligeramente ácido.

PERFIL VAL-05

Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent carbolítico

Fecha de la observación: 24-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Talud orientado al norte en escombrera exterior de la Corta de las Ranas.

Posición fisiográfica: Talud de escombrera.

Forma del terreno: Fuertemente socavado.

Pendiente : Escarpado.

Vegetación o uso del suelo: Dispersa: escobas y pinos de plantación

Material de origen: Lutitas, areniscas y carbón.

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5.

Afloramientos: No.

Erosión: Laminar y en regueros poco grabados.

Estado hídrico: Seco que pasa a húmedo en profundidad.

Muestras: VAL-05-1 (C1) y VAL-05-2 (C2).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C1	0-38	5 Y 2 ⁵ /1 (negro en húmedo) y 5 Y 3/2 (gris verdoso oscuro en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura; ligeramente duro, no adherente, no plástico; fragmentos de areniscas y lutitas predominantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas manchas de color 5 Y 7/6 (amarillo en húmedo) en planos de exfoliación de lutitas y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo) en caras de areniscas; ligeramente ácido; límite neto plano.
C2	38-100+	5 Y 2 ⁵ /1 (negro en húmedo) y 5 Y 3/2 (gris verdoso oscuro en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura edáfica; duro; fragmentos de areniscas y lutitas muy abundantes; frecuentes elementos gruesos lutíticos abigarrados de 5 Y 2 ⁵ /1 (negro en húmedo), 2 ⁵ Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo), 2 ⁵ Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo) y 2 ⁵ Y 8/8 (amarillo en húmedo), ligeramente adherentes y plásticos; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; ninguna raíz; ligeramente alcalino.

PERFIL VAL-06

Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent típico.

Fecha de la observación: 24-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario

Situación: Parte superior de la escombrera exterior de la Corta de las Ranas.

Posición fisiográfica: Plataforma superior de escombrera.

Forma del terreno: Ondulado.

Pendiente: Llano.

Vegetación o uso del suelo: Matorral mixto de leguminosas sobre césped de gramíneas.

Material de origen: Arenas, lutitas areniscas y carbón.

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No.

Erosión: No.

Estado hídrico: Húmedo.

Muestras: VAL-06-1 (A) y VAL-06-2 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Oi	1/2-0	Entramado de restos vegetales poco descompuestos, predominantemente hojarasca.
A	0-13/19	2 ⁵ Y 5/4 (verde oliva en húmedo) y 2 ⁵ Y 6/8 (amarillo verdoso en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura; ligeramente adherente y ligeramente plástico en húmedo, duro en seco; abundantes elementos gruesos, dominan areniscas irregulares o algo sub-redondeados; frecuentes poros finos, intersticiales; abundantes raíces medias, gruesas y finas; muy fuertemente ácido; límite inclinado brusco.
2C	13/19-43	5 Y 3/1 (gris muy oscuro en húmedo) y 5Y 4/4 (verde oliva en seco); franco-arenosa; sin estructura; no adherente y no plástico en húmedo, extremadamente duro en seco; elementos gruesos predominantes, lutitas areniscas y carbón; manchas de color 7 ⁵ YR 6/8 (amarillo rojizo en húmedo) sobre caras de areniscas; algunos poros finos, intersticiales; abundantes raíces muy finas, finas y medias; fuertemente ácido; límite inferior irregular brusco con gran bloque de arenisca.

PERFIL VAL-07

Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent típico.
Fecha de la observación: 25-04-02.
Autor: Julio C. Arranz
Localidad más próxima: Valdesamario
Situación: Parte de la escombrera exterior vertiente al fondo de la Corta de las Ranas. En el borde de una cárcava.
Posición fisiográfica: Talud de escombrera.
Forma del terreno: Colinado.
Pendiente: Moderadamente escarpado.
Vegetación o uso del suelo: Vegetación herbácea rala en el punto y matorral mixto de leguminosas en las inmediaciones.
Material de origen: Arenas, lutitas areniscas y carbón.
Drenaje: Moderado.
Pedregosidad superficial: Predominante. Clase 5.
Afloramientos: No.
Erosión: Laminar, regueros y cárcavas.
Estado hídrico: Seco.
Muestras: VAL-07-1 (C) y VAL-07-2 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C	0-0/60	5 Y 2 ⁵ /1 (negro en húmedo) y 5Y 3/2 (gris verdoso en seco); franco-arenosa; sin estructura; no adherente y no plástico en húmedo, blando en seco; elementos gruesos predominantes, lutitas areniscas y carbón; manchas de color 7 ⁵ YR 6/8 (amarillo rojizo en húmedo) sobre caras de areniscas; algunos poros finos, intersticiales; muy pocas raíces finas y muy finas; neutro; límite inferior plano inclinado.
2C	0/60-100+	10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 10 YR 5/3 (pardo en seco); franco-arenosa; sin estructura; no adherente, no plástico en húmedo, duro en seco; abundantes elementos gruesos, dominan areniscas irregulares o algo sub-redondeados; frecuentes poros finos, intersticiales; muy pocas raíces, medias; muy fuertemente ácido.

PERFIL VAL-08

Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent regolítico.

Fecha de la observación: 25-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Talud orientado al norte en escombrera exterior de la Corta de las Ranas.

Posición fisiográfica: Talud de escombrera.

Forma del terreno: Fuertemente socavado.

Pendiente : Escarpado.

Vegetación o uso del suelo: Dispersa: escobas y pinos de plantación. Robles de buen porte en inmediaciones, aparenta ser un resto de terraza fluvial roto y removilizado durante la creación o remodelado de la escombrera.

Material de origen: Arenas, cuarcitas.

Drenaje: Excesivo.

Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5.

Afloramientos: No.

Erosión: Lamina..

Estado hídrico: Húmedo.

Muestras: VAL-08-1 (A) y VAL-08-2 (AC).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-28	2'5Y 5/4 (verde oliva en húmedo) y 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en seco); franco-arenosa; estructura granular débil media a fina; ligeramente adherente y ligeramente plástico en húmedo, duro en seco; muy abundantes elementos gruesos, dominan cuarcitas, algo sub-redondeados, mayoritariamente de tamaño grava con presencia de bloques; frecuentes poros finos, intersticiales e intraagregados; muy abundantes raíces finas y muy finas; muy fuertemente ácido; límite difuso y plano.
AC	28-90	2'5Y 5/4 (verde oliva en húmedo) y 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en seco); franco-arenosa; masivo; ligeramente adherente y ligeramente plástico en húmedo, duro en seco; elementos gruesos dominantes, dominan areniscas irregulares o algo sub-redondeados, mayoritariamente de tamaño gravilla y garbancillo; frecuentes poros finos, intersticiales; frecuentes raíces, finas y muy finas; muy fuertemente ácido; límite difuso y plano.

VAL-08 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C	90-120+	2'5Y 5/4 (verde oliva en húmedo) y 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en seco); franco-arenosa; sin estructura; ligeramente adherente y ligeramente plástico en húmedo, duro en seco; elementos gruesos dominantes, dominan areniscas irregulares o algo sub-redondeados, mayoritariamente de tamaño gravilla y garbancillo; frecuentes poros finos, intersticiales; pocos poros finos, intersticiales; muy pocas raíces finas y muy finas; muy fuertemente ácido;

PERFIL VAL-09

Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent lítico.

Fecha de la observación: 25-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Área que bordea a la laguna de la Corta de las Ranas, al pie del frente.

Posición fisiográfica: Fondo de corta de carbón.

Forma del terreno: Plano con ligeras ondulaciones.

Pendiente: Llano.

Vegetación o uso del suelo: Pinos plantados de escaso porte o muertos, alguna hierba dispersa.

Material de origen: Lutitas, areniscas y carbón.

Drenaje: Impedido.

Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5.

Afloramientos: No.

Erosión: No.

Estado hídrico: Seco (presencia de precipitados salinos en depresiones).

Muestras: VAL-09-1 (C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C	0-13	5Y 3/1 (gris muy oscuro en húmedo) y 5Y 3/1 (gris muy oscuro en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura; no adherente, no plástico, muy duro en seco; elementos gruesos dominantes, lutitas areniscas y carbón; abundantes poros finos, intersticiales; ninguna raíz; fuertemente ácido; límite neto plano.
R	13-22+	Substrato rocoso en fondo de corta (areniscas, lutitas y carbón), extremadamente duro.

PERFIL VAL-10

Clasificación propuesta (WVU): Xerospolent carbolítico

Fecha de la observación: 16-07-02

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Parte superior nororiental de la escombrera exterior de la Corta de las Ranas

Posición fisiográfica: Plataforma de escombrera.

Forma del terreno: Plano con ligeras ondulaciones.

Pendiente: Llano.

Vegetación o uso del suelo: Pinos y chopos plantados de escaso porte, alguna hierba dispersa.

Material de origen: Lutitas, areniscas y carbón.

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No.

Erosión: No

Estado hídrico: Seco.

Muestras: VAL-10-1 (C1), VAL-10-2 (C2) y VAL-10-3 (C3).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C1	0-8	5Y 2 ⁵ /1 (negro en húmedo) y 5Y 3/1 (gris muy oscuro en seco); franco-arenosa; sin estructura; no adherente, no plástico, muy duro en seco; elementos gruesos muy abundantes, lutitas areniscas y carbón; manchas irregulares de color 7 ⁵ Y 6/8 (amarillo rojizo en húmedo) en caras de areniscas, y 5Y 7/4 (amarillo pálido en húmedo) en caras de lutitas; abundantes poros finos, intersticiales; algunas raíces muy finas; extremadamente ácido; límite ondulado neto.
C2	8-65/70	5Y 4/3 (verde oliva en húmedo) y 5Y 5/4 (verde oliva en seco); franco-arenosa; sin estructura; no adherente, no plástico, extremadamente duro en seco; elementos gruesos muy abundantes, lutitas areniscas y carbón; manchas irregulares de color 7 ⁵ Y 6/8 (amarillo rojizo en húmedo) en caras de areniscas, y 5Y 7/4 (amarillo pálido en húmedo) en caras de lutitas; algunos poros finos, intersticiales; ninguna raíz; extremadamente ácido; límite inclinado neto.

VAL-10 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C3	65/70-100+	N 2/0 (negro en húmedo), con brillo aceitoso, y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arenosa; sin estructura; no adherente, no plástico, extremadamente duro en seco; elementos gruesos muy abundantes, lutitas areniscas y carbón; algunos poros finos, intersticiales; ninguna raíz; ultra-ácido.

PERFIL VAL-11

Clasificación propuesta (WVU): Xerospolent carbolítico.

Fecha de la observación: 17-07-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Parte sur-occidental de la Corta de las Ranas.

Posición fisiográfica: Parte convexa superior de talud de escombrera .

Forma del terreno: Ondulado.

Pendiente: Suavemente inclinado.

Vegetación o uso del suelo: Herbácea muy dispersa.

Material de origen: Areniscas, lutitas y carbón.

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5.

Afloramientos: No.

Erosión: Laminar.

Estado hídrico: Seco.

Muestras: VAL-11-1 (C1) y VAL-11-2 (C2).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C1	0-19	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arenosa; sin estructura, pero con presencia algunos elementos de estructura granulares, medios, débiles, en contacto con raíces; duro, no adherente, no plástico; fragmentos de areniscas y lutitas predominantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas manchas de color 5 Y 7/6 (amarillo en húmedo) en planos de exfoliación de lutitas y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo) en caras de areniscas; muy pocas raíces finas y muy finas; muy fuertemente ácido; límite gradual plano.
C2	19-100+	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura; duro, no adherente, no plástico; fragmentos de areniscas y lutitas predominantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas manchas de color 5 Y 7/6 (amarillo en húmedo) en planos de exfoliación de lutitas y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo) en caras de areniscas; ninguna raíz; ligeramente ácido.

PERFIL VAL-12

Clasificación propuesta (WVU): Xerospolent regolítico.

Fecha de la observación: 17-07-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Parte superior convexa del talud más occidental de la escombrera exterior de la Corta de las Ranas.

Posición fisiográfica: Talud de escombrera.

Forma del terreno: Fuertemente socavado.

Pendiente : Llano.

Vegetación o uso del suelo: Dispersa: escobas y leguminosas herbáceas en sus inmediaciones. Robles de buen porte en inmediaciones, aparenta ser un resto de terraza fluvial roto y removilizado durante la creación o remodelado de la escombrera.

Material de origen: Arenas, areniscas y cuarcitas.

Drenaje: Excesivo.

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No.

Erosión: Lamina.

Estado hídrico: Húmedo.

Muestras: VAL-12-1 (AC) y VAL-12-2 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-5/7	2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 2'5 Y 4/4 (pardo verdoso en seco); franco-arenosa; estructura granular débil media a fina ligada a raíces; ligeramente adherente y ligeramente plástico en húmedo, blando en seco; muy abundantes elementos gruesos, dominan cuarcitas, sub-redondeados, mayoritariamente de tamaño gravilla y grava; frecuentes poros finos, intersticiales e intraagregados; abundantes raíces finas y muy finas, alguna media; muy fuertemente ácido; límite neto y ondulado.
AC	5/7-30	2'5Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 2'5 Y 4/4 (pardo verdoso en seco); franco-arenosa; sin estructura edáfica, suelto; no adherente y no plástico en húmedo, blando en seco; elementos gruesos dominantes, cuarcitas sub-redondeadas y redondeadas, dominan gravas y bloques decimétricos; frecuentes poros finos, intersticiales; presencia de espacios vacíos centimétricos; frecuentes raíces, finas y muy finas alguna media; muy fuertemente ácido; límite neto y plano.

VAL-12 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C	30-100+	10 YR 5/8 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en seco); franco-arenosa; sin estructura; no adherente y no plástico en húmedo, extremadamente duro en seco; elementos gruesos dominantes, dominan areniscas irregulares o algo sub-redondeadas, mayoritariamente de tamaño grava y bloques; pocos poros finos, intersticiales; muy pocas raíces medias; fuertemente ácido.

PERFIL VAL-13

Clasificación (USDA): Xerorthent lítico.
 Fecha de la observación: 17-07-02.
 Autor: Julio C. Arranz
 Localidad más próxima: Valdesamario.
 Situación: ladera orientada al sur en frente de la Corta de las Ranas.
 Coordenadas U.T.M.: 255.900, 4.735.000.
 Altitud: 1120 m.
 Posición fisiográfica: Ladera de erosión
 Forma del terreno: Fuertemente ondulado.
 Pendiente: Moderadamente escarpado.
 Vegetación o uso del suelo: Matorral de leguminosas y brezos
 Material de origen: Areniscas.
 Drenaje: Bueno.
 Pedregosidad superficial: Abundante.
 Afloramientos: No.
 Erosión: No.
 Estado hídrico: Seco.
 Muestras: No.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-5	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y 2'5 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en seco); franco-arenosa; migajosa fina; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); abundantes fragmentos de arenisca; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muy abundantes raíces finas, muy finas, medias y gruesas; límite inferior gradual plano.
AC	5-22	2'5 Y 4/4 (pardo verdoso en húmedo) y 2'5 Y 4/4 (pardo verdoso); franco-arenosa; granular fina a media, moderada a débil; no adherente, no plástico; friable (húmedo); fragmentos de areniscas muy abundantes; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; abundantes raíces finas, muy finas, medias y gruesas; límite inferior neto plano.
Cr	22+	Lajas finas de arenisca que encierran tierra fina en planos de exfoliación y pasa a roca inalterada. 2'5 Y 5/4 (pardo verdoso claro en húmedo) y 2'5 Y 6/4 (pardo amarillento claro); franco-arenosa; granular fina, débil a suelta; no adherente, no plástico; friable (húmedo); pocos poros, finos y muy finos, intersticiales; frecuentes raíces finas, muy finas, medias y gruesas.

PERFIL VAL-14

Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent carbolítico

Fecha de la observación: 24-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Talud orientado al norte en escombrera exterior de la Corta de las Ranas.

Posición fisiográfica: Talud de escombrera.

Forma del terreno: Fuertemente socavado.

Pendiente : Escarpado.

Vegetación o uso del suelo: Pinos de plantación y vegetación herbácea dispersa

Material de origen: Lutitas, areniscas y carbón.

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5.

Afloramientos: No.

Erosión: Laminar y en regueros poco grabados.

Estado hídrico: Seco que pasa a húmedo en profundidad.

Muestras: No.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C1	0-32	5 Y 2'5/1 (negro en húmedo) y 5 Y 3/2 (gris verdoso oscuro en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura; ligeramente duro, no adherente, no plástico; fragmentos de areniscas y lutitas predominantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas manchas de color 5 Y 7/6 (amarillo en húmedo) en planos de exfoliación de lutitas y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo) en caras de areniscas; alguna raíz fina y muy fina; límite gradual plano.
C2	32-100+	5 Y 2'5/1 (negro en húmedo) y 5 Y 3/2 (gris verdoso oscuro en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura edáfica; duro, no adherente, no plástico; fragmentos de areniscas y lutitas muy abundantes; frecuentes elementos gruesos lutíticos abigarrados de 5 Y 2'5/1 (negro en húmedo), 2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo), 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo) y 2'5 Y 8/8 (amarillo en húmedo), ligeramente adherentes y plásticos; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; ninguna raíz.

PERFIL VAL-15

Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent carbolítico.

Fecha de la observación: 23-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Valdesamario.

Situación: Parte oriental de la escombrera exterior de la Corta de las Ranas.

Posición fisiográfica: Talud de escombrera de estériles.

Forma del terreno: Fuertemente socavado.

Pendiente: Escarpado.

Vegetación o uso del suelo: Herbácea muy dispersa. Pinos plantados, muertos o poco crecidos.

Material de origen: Areniscas, lutitas y carbón.

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5.

Afloramientos: No.

Erosión: Laminar.

Estado hídrico: Seco.

Muestras: No.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C1	0-35	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arenosa; sin estructura, pero con presencia algunos elementos de estructura granulares, medios, débiles, en contacto con raíces; duro, no adherente, no plástico; fragmentos de areniscas y lutitas predominantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas manchas de color 5 Y 7/6 (amarillo en húmedo) en planos de exfoliación de lutitas y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo) en caras de areniscas; muy pocas raíces finas y muy finas; límite gradual plano.
C2	35-100+	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura; duro, no adherente, no plástico; fragmentos de areniscas y lutitas predominantes; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas manchas de color 5 Y 7/6 (amarillo en húmedo) en planos de exfoliación de lutitas y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo) en caras de areniscas; ninguna raíz.

PERFIL VIL-01

Clasificación (USDA): Udifluent áquico.

Fecha de la observación: 25-09-01

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: El Villar de Santiago.

Situación: En las inmediaciones de la pista que discurre por el Campo de la Mora.

Coordenadas U.T.M.: 727.150, 4.759.250.

Altitud: 1380 m.

Posición fisiográfica: Fondo de valle.

Forma del terreno: Casi plano.

Pendiente: Llano.

Vegetación o uso del suelo: Prados húmedos.

Material de origen: Depósitos cuaternarios.

Drenaje: Imperfectamente drenado.

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No.

Erosión: No.

Estado hídrico: Húmedo.

Muestras: VIL-01-1 (AC), VIL-01-2 (C1), VIL-01-3(C2) y VIL-01-4 (C3).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
AC	0-23	10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 10 YR 3/3 (pardo oscuro en seco); arenoso-franca; granular moderada media a fina; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); frecuentes fragmentos gruesos, domina el tamaño gravilla pero hay hasta bloques, cuarcitas; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muy abundantes raíces finas y muy finas; moderadamente ácido; límite inferior neto y plano.
C1	23-40	Abigarrado de 10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo), 10 YR 3/4 (pardo amarillento en seco); arenoso-franca; suelta; no adherente, no plástico; ligeramente duro (seco); fragmentos gruesos muy abundantes, dominan cantos y gravas, cuarcitas; abundantes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; moderadamente ácido; límite inferior neto y plano.

VIL-01 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C2	40-49	10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 10 YR 3/4 (pardo amarillento en seco); arenoso-franca; suelta; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); frecuentes fragmentos gruesos, dominan cantos y gravas, cuarcitas; abundantes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; moderadamente ácido; límite inferior gradual plano.
C3	49-85+	10 YR 2/2 (pardo muy oscuro en húmedo) y 10 YR 3/4 (pardo amarillento en seco); arenoso-franca; de columnar gruesa débil a suelta; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); frecuentes fragmentos gruesos, dominan cantos y gravas, cuarcitas; abundantes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; moderadamente ácido.

PERFIL VIL-02

Clasificación propuesta (WVU): Udispolent típico.
Fecha de la observación:
Autor: Julio C. Arranz
Localidad más próxima: Piedrafita de Babia
Situación: Zona de Carrasconte-El Salguero
Posición fisiográfica: Talud artificial
Forma del terreno: Colinado.
Pendiente: Escarpado
Vegetación o uso del suelo: Pradera mixta
Material de origen: Tierras sobre areniscas, lutitas y carbón.
Drenaje: Moderado
Pedregosidad superficial: Predominante. Clase 5.
Afloramientos: No
Erosión: Laminar y regueros.
Estado hídrico: Húmedo
Muestras: No.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-16	2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/6 (pardo verdoso claro en seco); franco-arenosa; de granular fina débil (ligada a raíces) a sin estructura; adherente, plástico; firme (húmedo); elementos gruesos muy abundantes, areniscas y lutitas, angulosos y subredondeados, predominan gravas y bloques; abundantes poros, intersticiales; abundantes raíces finas y muy finas; fuertemente ácido; límite gradual plano.
A/2C	16-66	Elementos de masa abigarrada de N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo), 10 YR 6/6 (pardo amarillento en húmedo) y 2'5 Y 8/8 (amarillo en húmedo), que se aprecian en seco como 2'5 Y 4/4 (pardo verdoso), embebidos en 2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/4 (pardo verdoso claro en seco); franco-arenosa; sin estructura edáfica; adherente, plástico; muy firme (húmedo); abundantes elementos gruesos, areniscas y lutitas, angulosos y planos, medianos y grandes, hasta bloques; pocos poros, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; fuertemente ácido; límite gradual plano

VIL-02 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C	66-100+	Abigarrado de N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo), 10 YR 6/8 (pardo amarillento en húmedo) y 2'5 Y 7/8 (amarillo en húmedo), que se aprecia en seco como 2'5 Y 4/4 (pardo verdoso); franco-arenosa; sin estructura edáfica; adherente, plástico; muy firme (húmedo); abundantes elementos gruesos, areniscas y lutitas, angulosos y planos, medianos y grandes, hasta bloques; pocos poros, intersticiales; sin raíces; fuertemente ácido.

PERFIL VIL-03

Clasificación (USDA): Udorthent típico.
Fecha de la observación: 26-09-01
Autor: Julio C. Arranz
Localidad más próxima: Piedrafita de Babia.
Situación: Acceso a las minas de Miranda.
Coordenadas U.T.M.: 725.500, 4.757.150
Altitud: 14000 m.
Posición fisiográfica: Ladera.
Forma del terreno: Colinado
Pendiente: Inclinado.
Vegetación o uso del suelo: Brezal.
Material de origen: Areniscas, cuarcitas, lutitas y carbón
Drenaje: Bueno
Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.
Afloramientos: No
Erosión: No.
Estado hídrico: Húmedo.
Muestras: VIL-03-1 (A), VIL-03-2 (AC) y VIL-03-3 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Oe	2-0	Capa de hojarasca medianamente descompuesta
A	0-15	10 YR 3/3 (pardo oscuro en húmedo) y 10 YR 3/4 (pardo amarillento oscuro en seco); franco-arenosa; migajosa; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); abundantes fragmentos de areniscas y lutitas; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muchas raíces finas, muy finas, medias y gruesas; muy fuertemente ácido; límite inferior gradual plano.
AC	15-50/56	10 YR 3/3 (pardo oscuro en húmedo) y 10 YR 6/6 (amarillo pardusco en seco); franco-arenosa; granular fina a media, moderada; no adherente, no plástico; friable (húmedo); fragmentos de lutitas y cuarcitas muy abundantes; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muchas raíces finas, muy finas, medias y gruesas; muy fuertemente ácido; límite inferior inclinado neto.

VIL-03 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C1	50/56-62/65	10 YR 5/6 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 6/8 (amarillo pardusco); franco-arenosa; sin estructura edáfica; no adherente, no plástico; duro (seco); dominan fragmentos de lutitas de areniscas con finos en grietas; pocos poros, finos y muy finos, intersticiales; abundantes raíces finas y muy finas; muy fuertemente ácido; límite inferior gradual plano.
C2	62/65-125/128	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/2 (pardo grisáceo en seco); franco-arcillo-arenosa; masa de lutitas algo carbonosas alteradas; sin estructura edáfica; ligeramente duro en seco; no adherente, no plástico; frecuentes poros intersticiales; pocas raíces medias y gruesas; muy fuertemente ácido; límite neto e inclinado.
2C	125/128-140+	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arenosa; es una capa de carbón alterada; sin estructura edáfica; ligeramente duro en seco; no adherente, no plástico; frecuentes poros intersticiales; alguna raíz fina; muy fuertemente ácido.

PERFIL VIL-04

Clasificación propuesta (WVU): Udispolent típico.

Fecha de la observación: 26-09-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Piedrafita de Babia

Situación: Zona de Carrasconte-El Salguero

Posición fisiográfica: Talud artificial

Forma del terreno: Fuertemente socavado.

Pendiente: Escarpado.

Vegetación o uso del suelo: Pradera mixta

Material de origen: Tierras sobre areniscas, lutitas y carbón.

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial:

Afloramientos: No

Erosión: Laminar y regueros.

Estado hídrico: Húmedo

Muestras: VIL-04-1 (A) y VIL-04-2 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-30/34	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/4 (pardo verdoso claro en seco); franco-arenosa; de granular fina débil (ligada a raíces) a sin estructura; ligeramente adherente, ligeramente plástico; firme (húmedo); elementos gruesos muy abundantes, areniscas y cuarcitas, angulosos y subredondeados, gravas y bloques; alguna caras de cantos se tiñen de 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo); pocos poros, intersticiales; frecuentes raíces finas y muy finas; límite inclinado neto.
2C	30/34-100+	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y 2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en seco); franco-arenosa; masiva; ligeramente adherente, ligeramente plástico; firme (húmedo); elementos gruesos predominantes, areniscas y lutitas, angulosos, cantos y bloques; alguna caras de cantos se tiñen de 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo); pocos poros, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas.

PERFIL VIL-05

Clasificación propuesta (WVU): Udispolent típico.
Fecha de la observación:
Autor: Julio C. Arranz
Localidad más próxima: Piedrafita de Babia
Situación: Zona de Carrasconte-El Salguero
Posición fisiográfica: Talud artificial
Forma del terreno: Colinado.
Pendiente: Escarpado
Vegetación o uso del suelo: Pradera mixta
Material de origen: Tierras sobre areniscas, lutitas y carbón.
Drenaje: Moderado
Pedregosidad superficial: Predominante. Clase 5.
Afloramientos: No
Erosión: Laminar y regueros.
Estado hídrico: Húmedo
Muestras: VIL-05-1 (A), VIL-05-2 (A/2C) y VIL-05-3 (2C)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-25	2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/4 (pardo verdoso claro en seco); franco-arenosa; de granular fina débil (ligada a raíces) a sin estructura; adherente, plástico; firme (húmedo); elementos gruesos muy abundantes, areniscas y lutitas, angulosos y subredondeados, predominan gravas y bloques; abundantes poros, intersticiales; abundantes raíces finas y muy finas; fuertemente ácido; límite gradual plano.
2C/A	25-56	Elementos 2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/4 (pardo verdoso claro en seco) embebidos en masa abigarrada de N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo), 10 YR 6/8 (pardo amarillento en húmedo) y 2'5 Y 7/8 (amarillo en húmedo), que se aprecia en seco como 2'5 Y 4/4 (pardo verdoso); franco-arenosa; sin estructura edáfica; adherente, plástico; muy firme (húmedo); abundantes elementos gruesos, areniscas y lutitas, angulosos y planos, medianos y grandes, hasta bloques; pocos poros, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; fuertemente ácido; límite gradual plano

VIL-05 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C	56-100+	40 % ocupado por gran bloque de arenisca; el resto es abigarrado de N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo), 10 YR 6/8 (pardo amarillento en húmedo) y 2'5 Y 7/8 (amarillo en húmedo), que se aprecia en seco como 2'5 Y 4/4 (pardo verdoso); franco-arenosa; sin estructura edáfica; adherente, plástico; muy firme (húmedo); abundantes elementos gruesos, areniscas y lutitas, angulosos y planos, medianos y grandes, hasta bloques; pocos poros, intersticiales; sin raíces; presencia de una masa no descompuesta de raíces y tallos situada sobre el gran bloque; fuertemente ácido.

PERFIL VIL-06

Clasificación propuesta (WVU): Udispolent típico

Fecha de la observación: 27-09-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Piedrafita de Babia

Situación: Zona de Carrasconte-El Salguero

Posición fisiográfica: Talud artificial

Forma del terreno: Colinado.

Pendiente: Moderadamente escarpado

Vegetación o uso del suelo: Pradera mixta

Material de origen: Areniscas, cuarcitas, lutitas y carbón.

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Predominante. Clase 5.

Afloramientos: No

Erosión: Laminar y regueros.

Estado hídrico: Húmedo

Muestras: VIL-06-1 (A), VIL-06-2 (C1), VIL-06-3 (C2) y VIL-06-4 (C3).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-20	N 3/0 (gris muy oscuro en húmedo) y 2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en seco); franco-arenosa; sin estructura edáfica; duro (seco); fragmentos de areniscas y lutitas muy abundantes; algunos bloques y abundantes gravas cuarcíticas redondeadas y sub-redondeadas, frecuentes elementos gruesos lutíticos abigarrados de N 2/0 (negro en húmedo), 2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo), 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo) y 2'5 Y 7/8 (amarillo en húmedo), ligeramente adherentes y plasticos; algunas manchas de color 10 YR 6/8 (pardo amarillento en húmedo) en caras de fragmentos de areniscas; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; muchas raíces finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite gradual plano.
C1	20-40	2'5 Y 4/4 (pardo verdoso en húmedo) 2'5 Y 4/6 (pardo verdoso en seco); franco-arenosa; sin estructura edáfica; firme (húmedo); fragmentos de areniscas y lutitas muy abundantes, frecuentes elementos gruesos lutíticos abigarrados de N 2/0 (negro en húmedo), 2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo), 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo) y 2'5 Y 7/8 (amarillo en húmedo), ligeramente adherentes y plasticos; abundantes manchas de color 10 YR 6/8 (pardo amarillento en húmedo) en caras de fragmentos de areniscas; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; frecuentes raíces finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite gradual plano.

VIL-06 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C2	40-60	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 4/4 (pardo verdoso en seco); franco-arenosa; sin estructura edáfica; duro en seco; fragmentos de areniscas y lutitas muy abundantes; presencia de un gran bloque de arenisca; frecuentes elementos gruesos lutíticos abigarrados de N 2/0 (negro en húmedo), 2'5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo), 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo) y 2'5 Y 7/8 (amarillo en húmedo), ligeramente adherentes y plásticos; algunos fragmentos de carbón blandos, negros; frecuentes manchas de color 10 YR 6/8 (pardo amarillento en húmedo) en caras de fragmentos de areniscas; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite neto irregular.
C3	60-100+	N 2/0 (negro en húmedo) y N 3/0 (gris muy oscuro en seco); franco-arenosa; sin estructura edáfica; duro en seco; fragmentos de areniscas y lutitas dominantes; algunas manchas de color 10 YR 6/8 (pardo amarillento en húmedo) en caras de fragmentos de areniscas; pocos poros, finos y muy finos, intersticiales; alguna raíz fina y muy fina; fuertemente alcalino.

PERFIL VIL-07

Clasificación (USDA): Dystrochrept típico.
Fecha de la observación: 27-09-01
Autor: Julio C. Arranz
Localidad más próxima: Piedrafita de Babia.
Situación: Acceso a las minas de Miranda.
Coordenadas U.T.M.: 725.500, 4.757.150
Altitud: 1400 m.
Posición fisiográfica: Ladera.
Forma del terreno: Casi plano.
Pendiente: Llano.
Vegetación o uso del suelo: Matorral de leguminosas con robles.
Material de origen: Areniscas.
Drenaje: Bueno
Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.
Afloramientos: No
Erosión: No.
Estado hídrico: Húmedo.
Muestras: VIL-07-1 (A), VIL-07-2 (Bw) y VIL-07-3 (C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-18	10 YR 2/2 (pardo muy oscuro en húmedo), 10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en seco); franco-arenosa; migajosa fina; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); abundantes fragmentos de areniscas de tamaño gravilla; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muchas raíces finas, muy finas, medias y gruesas; extremadamente ácido; límite inferior gradual plano.
Bw	18-35	10 YR 4/3 (pardo oscuro en húmedo), 10 YR 4/3 (pardo oscuro en seco); franco-arenosa; granular fina a media, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico; friable (húmedo); abundantes fragmentos de areniscas, grava y gravilla; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muy frecuentes raíces finas, muy finas, medias y gruesas; muy fuertemente ácido; límite inferior gradual plano.

VIL-07 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C	35-57	10 YR 4/4 (pardo amarillento oscuro en húmedo), 10 YR 5/4 (pardo amarillento en seco; franco-arenosa; de suelto a bloques subangulares medios a gruesos, débil; no adherente, no plástico; blando (seco); fragmentos de areniscas muy abundantes de tamaño gravilla y grava; abundantes poros, finos y muy finos, intersticiales e intraagregados; frecuentes raíces finas y muy finas; muy fuertemente ácido; límite inferior neto plano.
R	57+	Arenisca que rompe en lascas, con presencia de finos y raíces en las grietas más superficiales.

PERFIL VIL-08

Clasificación propuesta (WVU): Udispolent típico.
Fecha de la observación: 11-06-02.
Autor: Julio C. Arranz
Localidad más próxima: Piedrafita de Babia
Situación: Zona de Carrasconte-El Salguero
Posición fisiográfica: Talud artificial
Forma del terreno: Colinado.
Pendiente: Escarpado
Vegetación o uso del suelo: Pradera mixta
Material de origen: Tierras sobre areniscas, lutitas y carbón.
Drenaje: Moderado
Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.
Afloramientos: No
Erosión: Laminar y regueros.
Estado hídrico: De húmedo a mojado
Muestras: VIL-08-1 (A), VIL-08-2 (2C) y VIL-08-3 (3C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-25	10 YR 3/4 (pardo amarillento oscuro en húmedo) y 10 YR 5/4 (pardo amarillento en seco); franco-arenosa; de granular fina débil (ligada a raíces) a sin estructura; ligeramente adherente, ligeramente plástico; blando (húmedo); elementos gruesos muy abundantes, areniscas y lutitas, angulosos y subredondeados, predominan gravas y bloques; algunas manchas medianas, irregulares, netas, de color 7.5 Y 6/8 (amarillo rojizo en húmedo); abundantes poros, intersticiales; abundantes raíces finas y muy finas; ligeramente alcalino; límite gradual plano.
2C	25-95	2.5 Y 3/2 (gris muy oscuro en húmedo) y 2.5 Y 4/4 (pardo verdoso en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura edáfica; blando (mojado); fragmentos de areniscas y lutitas muy abundantes; frecuentes elementos gruesos lutíticos abigarrados de N 2/0 (negro en húmedo), 2.5 Y 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo), 2.5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo) y 2.5 Y 7/8 (amarillo en húmedo), ligeramente adherentes y plásticos, con raíces; frecuentes manchas de color 10 YR 6/8 (pardo amarillento en húmedo) en caras de fragmentos de areniscas; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; frecuentes raíces finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite neto plano.

VIL-08 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
3C	95-110+	N 2/0 (negro en húmedo) y 2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en seco); franco-arenosa; sin estructura edáfica; firme (mojado); fragmentos de areniscas carbonosas y restos de carbón con superficies vistas de color N 2/0 (negro en mojado, con brillo), muy abundantes, de todos los tamaños; frecuentes poros, finos y muy finos, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; moderadamente alcalino

PERFIL VIL-09

Clasificación (USDA): Udorthent lítico.

Fecha de la observación: 27-09-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Piedrafita de Babia.

Situación: Al oeste de la zona de Carrasconte, en superficie de arrasamiento en escarpe sobre el Río Sil.

Coordenadas U.T.M.: 726. 150, 4.759.100.

Altitud: 1245 m.

Posición fisiográfica: Rellano en hombrera de valle fluvial.

Forma del terreno: Fuertemente ondulado.

Pendiente: Llano.

Vegetación o uso del suelo: Matorral de leguminosas y robles.

Material de origen: Areniscas.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: En las proximidades afloran conglomerados cuarcíticos.

Erosión: No.

Estado hídrico: Húmedo.

Muestras: No.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-16	10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 10 YR 3/3 (pardo oscuro en seco); arenoso-franca; granular moderada media a fina; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); frecuentes fragmentos gruesos, domina el tamaño gravilla pero hay hasta bloques, areniscas; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muy abundantes raíces finas y muy finas; límite inferior gradual plano.
AC	16-28	10 YR 4/4 (pardo amarillento oscuro en húmedo) y 10 YR 5/4 (pardo amarillento en seco); arenoso-franca; granular media a fina débil a suelta; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); frecuentes fragmentos gruesos, domina el tamaño gravilla pero hay hasta bloques, cuarcitas; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muy abundantes raíces finas y muy finas; límite inferior gradual y plano.

VIL-09 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C	28-36	10 YR 4/4 (pardo amarillento oscuro en húmedo), 10 YR 5/4 (pardo amarillento en seco; arenoso-franca; de suelto a bloques subangulares medios a gruesos, débil; no adherente, no plástico; duro (seco); fragmentos de areniscas muy abundantes de tamaño gravilla y grava; abundantes poros, finos y muy finos, intersticiales e intraagregados; frecuentes raíces finas y muy finas; muy fuertemente ácido; límite inferior neto plano.
R	36+	Arenisca que rompe en lascas, con presencia de finos y raíces en las grietas más superficiales.

PERFIL VIL-10

Clasificación (USDA): Dystrochrept típico.

Fecha de la observación: 27-09-01

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: El Villar de Santiago.

Situación: Ladera de orientación sur en descenso del cuerno de La Mora.

Coordenadas U.T.M.: 727.000, 4.756.500

Altitud: 1450 m.

Posición fisiográfica: Ladera.

Forma del terreno: Fuertemente ondulado.

Pendiente: Inclinado.

Vegetación o uso del suelo: Matorral de leguminosas y brezos.

Material de origen: Areniscas.

Drenaje: Bueno

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: No.

Estado hídrico: Húmedo.

Muestras: No.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-15	10 YR 2/2 (pardo muy oscuro en húmedo), 10 YR 3/2 (pardo grisáceo muy oscuro en seco); franco-arenosa; migajosa fina; no adherente, no plástico; muy friable (húmedo); abundantes fragmentos de areniscas de tamaño gravilla; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muchas raíces finas, muy finas, medias y gruesas; extremadamente ácido; límite inferior gradual plano.
Bw	15-24	10 YR 4/3 (pardo oscuro en húmedo), 10 YR 4/3 (pardo oscuro en seco); franco-arenosa; granular fina a media, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plástico; friable (húmedo); abundantes fragmentos de areniscas, grava y gravilla; muchos poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; muy frecuentes raíces finas, muy finas, medias y gruesas; muy fuertemente ácido; límite inferior gradual plano.

VIL-10 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C	24-45	10 YR 4/4 (pardo amarillento oscuro en húmedo), 10 YR 5/4 (pardo amarillento en seco; franco-arenosa; de suelto a bloques subangulares medios a gruesos, débil; no adherente, no plástico; blando (seco); fragmentos de areniscas muy abundantes de tamaño gravilla y grava; abundantes poros, finos y muy finos, intersticiales e intraagregados; frecuentes raíces finas y muy finas; muy fuertemente ácido; límite inferior neto plano.
R	45+	Arenisca que rompe en lajas, con presencia de finos y raíces en las grietas más superficiales.

PERFIL UTR-01

Clasificación propuesta (WVU): Aridispolent típico.

Fecha de la observación: 26-06-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas

Situación: Ladera orientada al sur en la zona de Sabina-Umbrión, entre las parcelas para el estudio de la erosión números 2 y 3.

Posición fisiográfica: Talud artificial

Forma del terreno: Colinado.

Pendiente: Moderadamente escarpado

Vegetación o uso del suelo: Dispersa (*Medicago sativa* y *Atriplex halimus*).

Material de origen: Arcillas sobre estériles de carbón

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: Muy intensa (regueros, cárcavas, pipping)

Estado hídrico: Seco.

Muestras: UTR-01-1 (A), UTR-01-2 (2C) y UTR-01-3 (3C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-15/22	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/2 (pardo grisáceo en seco); abundantes pseudomicelios blancos finos y muy finos; franco-arcillo-arenosa; de bloques subangulares medios a gruesos, débil, a suelta; ligeramente duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes fragmentos de calizas arenosas; abundantes poros, intersticiales; ninguna raíz; neutro; límite ondulado neto.
2C	15/22-40/45	5 Y 3/2 (gris verdoso oscuro en húmedo) y 5 Y 5/2 (gris verdoso en seco); franco-arenosa; masivo; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes manchas medianas y alguna grande, irregulares de color 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo); muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; ultra-ácido; límite ondulado gradual.

UTR-01 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
3C	40/45-100+	5 Y 2'5/1 (negro en húmedo) y 5Y 4/4 (verde oliva en seco); franco-arenosa; masivo que rompe el láminas finas; masa de argilitas carbonosas alteradas blandas; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes manchas medianas y alguna grande, irregulares y miceliars, entre láminas, de color 10 YR 5/8 (pardo amarillento en húmedo) y blanco (2'5 Y 8/2 en húmedo); consistencia arenosa en las manchas; muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; ultra-ácido.

PERFIL UTR-02

Clasificación propuesta (WVU): Aridispolent típico.

Fecha de la observación: 26-06-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas

Situación: Ladera orientada al sur en la zona de Sabina-Umbrión.

Posición fisiográfica: Talud artificial

Forma del terreno: Colinado.

Pendiente: Moderadamente escarpado

Vegetación o uso del suelo: Dispersa (*Ligeum spartium* y *Atriplex halimus*).

Material de origen: Arcillas sobre estériles de carbón

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: Muy intensa (regueros, cárcavas, pipping)

Estado hídrico: Seco.

Muestras: UTR-02-1 (A), UTR-02-2 (C) y UTR-02-3 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-30/35	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 6/2 (gris pardusco claro en seco); franco-arcillo-arenosa; de bloques subangulares medios a gruesos, débil, a suelta; ligeramente duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes fragmentos de calizas arenosas, de tamaño grava o menores; muy abundantes poros, intersticiales; raíz; muchas raíces finas y muy finas; ligeramente alcalino; límite ondulado gradual.
C	30/35-65	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 6/2 (gris pardusco claro en seco); franco-arcillo-arenosa; sin estructura edáfica; duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes fragmentos de calizas arenosas, de tamaño grava o menores; abundantes poros, intersticiales; pocas raíces muy finas; ligeramente alcalino; límite ondulado neto.

UTR-02 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C	65-100+	5 Y 4/4 (verde oliva en húmedo) y 5Y 5/6 (verde oliva en seco); franco-arenosa; masivo que rompe el láminas finas; masa de argilitas carbonosas alteradas blandas; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes manchas medianas y alguna grande, irregulares, de color 2'5 Y 5/6 (pardo verdoso claro en húmedo) y blanco (2'5 Y 8/2 en húmedo); frecuentes fragmentos gruesos pequeños, algunos de carbón, de color 5 Y 2'5/1 (negro en húmedo); pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; extremadamente ácido.

PERFIL UTR-03

Clasificación propuesta (WVU): Aridispolent típico.

Fecha de la observación: 26-06-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas

Situación: Ladera orientada al sur en la zona de Sabina-Umbrión.

Posición fisiográfica: Talud artificial

Forma del terreno: Colinado.

Pendiente: Moderadamente escarpado

Vegetación o uso del suelo: Dispersa (*Medicago sativa* y *Atriplex halimus*).

Material de origen: Arcillas sobre estériles de carbón

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: Muy intensa (regueros, cárcavas, pipping)

Estado hídrico: Seco.

Muestras: No.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-25	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/2 (pardo grisáceo en seco); abundantes pseudomicelios blancos finos y muy finos; franco-arcillo-arenosa; de bloques subangulares medios a gruesos, débil, a suelta; ligeramente duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes fragmentos de calizas arenosas; abundantes poros, intersticiales; ninguna raíz; límite ondulado neto.
2C	25-48	5 Y 3/2 (gris verdoso oscuro en húmedo) y 5 Y 5/2 (gris verdoso en seco); franco-arenosa; masivo; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes manchas medianas y alguna grande, irregulares de color 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo); muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; límite ondulado gradual.

UTR-03 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
3C	48-80+	5 Y 2'5/1 (negro en húmedo) y 5Y 4/4 (verde oliva en seco); franco-arenosa; masivo que rompe el láminas finas; masa de argilitas carbonosas alteradas blandas; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes manchas medianas y alguna grande, irregulares y miceliares, entre láminas, de color 10 YR 5/8 (pardo amarillento en húmedo) y blanco (2'5 Y 8/2 en húmedo); consistencia arenosa en las manchas; muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz.

PERFIL UTR-04

Clasificación propuesta (WVU): Xerospolent típico.

Fecha de la observación: 28-06-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas.

Situación: Ladera orientada al norte en la zona de Sabina-Umbrión,

Posición fisiográfica: Talud artificial

Forma del terreno: Ondulado.

Pendiente: Inclinado.

Vegetación o uso del suelo: Césped denso.

Material de origen: Tierras arenosas sobre estériles de carbón.

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: Laminar, ligera.

Estado hídrico: Seco.

Muestras: UTR-04-1 (A), UTR-04-2 (C) y UTR-04-3 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-40	10 YR 5/6 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 6/6 (amarillo pardusco en seco); franco-arcillo-arenosa; de bloques subangulares medios, débiles, ligados a raíces, hasta suelta; duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes fragmentos gruesos de tamaño grava y garbancillo, areniscosos; abundantes poros, intersticiales; abundantes raíces, medias y finas; moderadamente alcalino; límite difuso plano.
C	40-90/95	10 YR 5/6 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 6/6 (amarillo pardusco en seco); franco-arcillo-arenosa; suelta; duro (seco); no adherente, no plástico; abundantes fragmentos gruesos de tamaño grava y garbancillo, areniscosos; abundantes poros, intersticiales; abundantes raíces, finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite neto ondulado.

UTR-04 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C	90/95-110+	Abigarrado de 5 Y 4/3 (verde oliva en húmedo), 5 Y 5/6 (verde oliva en húmedo) y 5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo, que se aprecia como 5 Y 5/6 (verde oliva en seco), con abundantes manchas pequeñas, irregulares, de color 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo); franco-arcillo-arenosa; masiva; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; ligeramente alcalino.

PERFIL UTR-05

Clasificación (USDA): Xerorthent lítico.
Fecha de la observación: 28-06-01.
Autor: Julio C. Arranz
Localidad más próxima: Utrillas.
Situación: Terreno natural situado en el límite occidental de Sabina-Umbrión.
Coordenadas U.T.M.: 679.800, 4.519.750.
Altitud: 1095 m.
Posición fisiográfica: Ladera de erosión.
Forma del terreno: Ondulado.
Pendiente: Suavemente inclinado.
Vegetación o uso del suelo: Tomillar.
Material de origen: Calizas ferruginosas.
Drenaje: Bueno.
Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 5.
Afloramientos: Si, en las inmediaciones.
Erosión: Laminar.
Estado hídrico: Seco.
Muestras: UTR-05-1 (A).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-25	7'5 YR 4/6 (fuertemente pardo en húmedo) y 7'5 YR 5/6 (fuertemente pardo en seco); franco-arenosa; de granular a subangular, moderada, media; duro (seco); no adherente, no plástico; elementos gruesos muy abundantes, hasta cantos; muchos poros finos, intersticiales e intra-agregados; muchas raíces finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite brusco plano.
R		Caliza ferruginosa.

PERFIL UTR-06

Clasificación propuesta (WVU): Xerospolent típico.

Fecha de la observación: 27-06-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas

Situación: Ladera orientada al norte en la zona de Sabina-Umbrión,

Posición fisiográfica: Talud de escombrera.

Forma del terreno: Fuertemente ondulado.

Pendiente: Moderadamente escarpado.

Vegetación o uso del suelo: Césped de gramíneas y leguminosas.

Material de origen: Tierras sobre estériles de carbón.

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: laminar

Estado hídrico: Seco.

Muestras: No.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-22	10 YR 5/6 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 6/6 (amarillo pardusco en seco); franco-arcillo-arenosa; de bloques subangulares medios, débiles, ligados a raíces, hasta suelta; duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes fragmentos gruesos de tamaño grava y garbancillo, areniscosos; abundantes poros, intersticiales; abundantes raíces, medias y finas; límite difuso plano.
C	22-55	10 YR 5/6 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 6/6 (amarillo pardusco en seco); franco-arcillo-arenosa; suelta; duro (seco); no adherente, no plástico; abundantes fragmentos gruesos de tamaño grava y garbancillo, areniscosos; abundantes poros, intersticiales; frecuentes raíces, finas y muy finas; límite neto ondulado.

UTR-06 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C	55-110+	Abigarrado de 5 Y 4/3 (verde oliva en húmedo), 5 Y 5/6 (verde oliva en húmedo) y 5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo, que se aprecia como 5 Y 5/6 (verde oliva en seco), con abundantes manchas pequeñas, irregulares, de color 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo); franco-arcillo-arenosa; masiva; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz.

PERFIL UTR-07

Clasificación (USDA): Xerorthent típico.
 Fecha de la observación: 28-06-01.
 Autor: Julio C. Arranz
 Localidad más próxima: Utrillas.
 Situación: Terreno natural en el límite sudeste de la zona de trabajo de Sabina-Umbrión.
 Coordenadas U.T.M.: 680.250, 4.519.750.
 Altitud: 1075 m.
 Posición fisiográfica: Cresta de loma.
 Forma del terreno: Plano.
 Pendiente: Llano
 Vegetación o uso del suelo: Vegetación rala de tipo tomillar, con *Santolina*.
 Material de origen: Arenas amarillentas.
 Drenaje: Bueno.
 Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.
 Afloramientos: No.
 Erosión: No se aprecia.
 Estado hídrico: Seco.
 Muestras: UTR-07-1 (A), UTR-07-2 (AC).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-17	10 YR 3/3 (pardo oscuro en húmedo) y 10 YR 4/4 (pardo amarillento oscuro en seco); franco-arenosa; granular fina, débil a suelta; blando (seco); no adherente, no plástico; frecuentes elementos gruesos de tamaño gravilla; frecuentes poros, intersticiales; frecuentes raíces finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite gradual plano.
AC	17-27	10 YR 3/3 (pardo oscuro en húmedo) y 10 YR 4/3 (pardo oscuro en seco); franco-arenosa; suelta; ligeramente duro (seco); no adherente, no plástico; frecuentes elementos gruesos de tamaño gravilla; frecuentes poros, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite neto y plano.
Ck	27+	10 YR 3/3 (pardo oscuro en húmedo) y 10 YR 4/3 (pardo oscuro en seco); franco-arenosa; suelta; duro (seco); no adherente, no plástico; frecuentes nódulos y pseudomicelios blanquecinos; frecuentes elementos gruesos de tamaño gravilla; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz.

PERFIL UTR-08

Clasificación propuesta (WVU): Aridispolent típico.

Fecha de la observación: 28-06-01

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas.

Situación: Área llana cultivada en la zona de trabajo de Utrillas.

Posición fisiográfica: Plataforma superior de escombrera.

Forma del terreno: Casi plano.

Pendiente: Casi llano.

Vegetación o uso del suelo: Recientemente labrado.

Material de origen: Arenas y arcillas de la Formación Escucha sobre estériles de carbón.

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No.

Erosión: No.

Estado hídrico: Seco.

Muestras: UTR-08-1 (A), UTR-08-2 (2C), UTR-08-3 (3C) y UTR-08-43 (4C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-15/18	2'5Y 6/6 (amarillo verdoso en húmedo) y 2'5 Y 6/6 (amarillo verdoso en seco); franco-arcillo-arenosa; bloques subangulares, media, de débil, a suelta; blando (seco); no adherente, no plástico; abundantes fragmentos de calizas arenosas; frecuentes poros, intersticiales e intra-agregados; frecuentes raíces, finas y muy finas; moderadamente alcalino; el límite es ondulado y neto; viene dibujado por una capa de unos dos centímetros de color 10 YR 5/8 (pardo amarillento en húmedo) que se continúa en canales de raíces.

UTR-08 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C	15/18-30	5 Y 2'5/1 (negro en húmedo) y 5 Y 4/1 (gris oscuro en seco); franco-arenosa; de bloques subangulares media débil a masivo; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; frecuentes fragmentos gruesos pequeños, pizarrosos; abundantes poros, intersticiales; ninguna raíz; ultra-ácido; límite ondulado neto.
3C	30-40/44	2'5Y 6/6 (amarillo verdoso en húmedo) y 2'5 Y 6/6 (amarillo verdoso en seco); franco-arenosa; sin estructura; friable (húmedo); no adherente, no plástico; pocos fragmentos de calizas arenosas; frecuentes poros, intersticiales; ninguna raíz; neutro; límites ondulado y neto; viene dibujado por una línea fina, milimétrica, de color 7'5 YR 6/8 (amarillo rojiza en húmedo).
4C	40/44-100+	5 Y 2'5/1 (negro en húmedo) y 5Y 4/4 (verde oliva en seco); arenoso-franca; masivo que rompe en láminas finas; masa de argilitas arenosas con carbón alteradas blandas; firme (húmedo); adherente, plástico; abundantes manchas pequeñas y muy pequeñas, irregulares y redondeadas, entre láminas, de color 7'5 YR 7/8 (amarillas en húmedo); muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; ultra-ácido.

PERFIL UTR-09

Clasificación propuesta (WVU): Aridispolent típico.

Fecha de la observación: 2-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas

Situación: Ladera orientada al norte en la zona de Sabina-Umbrión,

Posición fisiográfica: Talud de escombrera.

Forma del terreno: Ondulado.

Pendiente: Inclinado.

Vegetación o uso del suelo: Césped denso.

Material de origen: Tierras sobre estériles de carbón.

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: Laminar ligera.

Estado hídrico: Húmedo.

Muestras: UTR-09-1 (A), UTR-09-2 (C) y UTR-09-3 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-19	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/2 (pardo grisáceo en seco); franco-arcillo-arenosa; de granular fina, débil, ligada a raíces, hasta bloques subangulares, media, débil; muy friable (húmedo); no adherente, no plástico; abundantes fragmentos gruesos de tamaño grava y garbancillo, areniscosos; abundantes poros, intersticiales; muy abundantes raíces, finas y muy finas; ligeramente alcalino; límite gradual plano.
C	19-32	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/2 (pardo grisáceo en seco); franco-arcillo-arenosa; en bloques subangulares, media, débil suelta; friable (húmedo); no adherente, no plástico; muy abundantes fragmentos gruesos de tamaño grava y garbancillo, areniscosos; pocos poros, intersticiales; abundantes raíces, finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite neto y plano.

UTR-09 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C	32-85+	Abigarrado de 5 Y 4/3 (verde oliva en húmedo), 5 Y 5/6 (verde oliva en húmedo) y 5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo, que se aprecia como 5 Y 5/6 (verde oliva en seco), con abundantes manchas pequeñas, irregulares, de color 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo); franco-arcillo-arenosa; masiva que rompe en bloques subangulares medios, débiles; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; pocos fragmentos gruesos pequeños, arenosos; pocos poros, intersticiales; moderadamente alcalino; alguna raíz fina y muy fina.

PERFIL UTR-10

Clasificación (USDA): Xerochrept petrocálcico.

Fecha de la observación: 28-06-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas.

Situación: Proximidades de la Mina Alemanes, al sudoeste de Utrillas.

Coordenadas U.T.M.: 679.400, 4.519.000.

Altitud: 1115 m.

Posición fisiográfica: Glacis al pie de la Sierra de San Just.

Forma del terreno: Plano.

Pendiente: Llano.

Vegetación o uso del suelo: Tomillar actualmente. Fue cultivado.

Material de origen: Depósitos de glacis.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5.

Afloramientos: Alguno en las proximidades.

Erosión: Laminar.

Estado hídrico: Seco.

Muestras: UTR-10-1 (Ap), UTR-10-2 (Bk), UTR-10-3 (Bkm) y UTR-10-3 (BCKm).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-32/35	10 YR 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 10 YR 4/3 (pardo a pardo oscuro en seco); franco-arenosa; de granular a bloques subangulares, moderada, media; ligeramente duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes elementos gruesos, dominados por gravas y fragmentos calizos; abundantes poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; abundantes raíces, medias, finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite ondulado y neto.
Bk	32/35-50	10 YR 5/3 (pardo en húmedo) y 10 YR 6/4 (pardo amarillento claro en seco), franco-arcillo-arenosa; bloques subangulares, moderada, media; ligeramente duro (seco); ligeramente adherente, ligeramente plástico; muy abundantes elementos gruesos, dominados por gravas y fragmentos calizos; abundantes poros, finos y muy finos, intersticiales e intra-agregados; algunos pseudomicelios blancos, muy finos; frecuentes raíces, medias, finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite gradual plano.

UTR-10 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Bkm	50-67	Abigarrado de 10 YR 5/6 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 8/2 (blanco en húmedo) que se aprecia como 10 YR 8/4 (pardo muy pálido en seco); franco-arcillo-arenosa; extremadamente cementado; muy duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes elementos gruesos, dominados por rizoconcreciones, pisolitos y gravas recubiertas de carbonato cálcico; algún poro, intersticiales; ninguna raíz; fuertemente alcalino; límite gradual plano.
BCkm	67-100+	Abigarrado de 10 YR 5/8 (pardo amarillento en húmedo) y 10 YR 8/4 (pardo muy pálido en húmedo) que se aprecia como 10 YR 7/4 (pardo muy pálido en seco); franco-arcillo-arenosa; fuertemente cementado; firme (húmedo); no adherente, no plástico; muy abundantes elementos gruesos, dominados por rizoconcreciones, pisolitos y gravas recubiertas de carbonato cálcico; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; fuertemente alcalino.

PERFIL UTR-11

Clasificación propuesta (WVU): Aridispolent típico.
Fecha de la observación: 2-04-02.
Autor: Julio C. Arranz
Localidad más próxima: Utrillas.
Situación: laderas orientadas al norte en Sabina-Umbrión.
Posición fisiográfica: Talud de escombrera.
Forma del terreno: Ondulado.
Pendiente: Inclinado.
Vegetación o uso del suelo: Césped denso.
Material de origen: Tierras sobre estériles de carbón.
Drenaje: Moderado
Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.
Afloramientos: No.
Erosión: Laminar ligera con algún reguero.
Estado hídrico: Húmedo.
Muestras: UTR-11-1 (A), UTR-11-2 (C) y UTR-11-3 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-15	2'5 Y 5/6 (pardo verdoso claro en húmedo) y 2'5 Y 5/6 (pardo verdoso claro en seco); franco-arcillo-arenosa; granular débil, fina; muy friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes gravas y cantos; abundantes raíces finas y muy finas; fuertemente alcalino; límite gradual plano.
C	15-65	2'5 Y 5/6 (pardo verdoso claro en húmedo) y 2'5 Y 5/6 (pardo verdoso claro en seco);); franco-arcillo-arenosa; en bloques subangulares, débil, fina; muy friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes gravas y garbancillo; abundantes manchas de color 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo) y 5 Y 5/6 (verde oliva en húmedo) sobre caras de elementos gruesos); presencia de pseudomicelios salinos, muy finos; frecuentes raíces finas y muy finas; fuertemente alcalino; límite neto y plano.

UTR-11 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C	65-100+	Abigarrado de 5 Y 4/3 (verde oliva en húmedo), 5 Y 5/6 (verde oliva en húmedo) y 5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo, que se aprecia como 5 Y 5/6 (verde oliva en seco), con abundantes manchas pequeñas, irregulares, de color 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo); arcillo-arenosa; masiva; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; alguna raíz muy fina; moderadamente alcalino.

PERFIL UTR-12

Clasificación (USDA): Xerorthent típico.

Fecha de la observación: 3-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas.

Situación: Afloramiento de terreno natural al sudeste de la zona de Sabina-Umbrión.

Coordenadas U.T.M.: 679.900, 4.519.750.

Altitud: 1070 m.

Posición fisiográfica: Ladera de erosión

Forma del terreno: Ondulado.

Pendiente: Inclinado.

Vegetación o uso del suelo: Tomillar.

Material de origen: Conglomerado de matriz arenosa y carbón.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5.

Afloramientos: No.

Erosión: Laminar.

Estado hídrico: Seco.

Muestras: UTR-12-1 (A), UTR-12-2 (C1), UTR-12-3 (C2), UTR-12-4 (2C3).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-10	2'5 Y 6/ 4 (pardo amarillento claro en húmedo) y 2'5 Y 7/6 (amarillo en seco); franco-arcillo-arenosa; de granular fina muy débil a sin estructura; blando (suelto en seco); no adherente, no plástico; muy abundantes elementos gruesos, dominados por el tamaño gravilla; muchos poros, intersticiales; abundantes raíces finas y muy finas, alguna media; presencia del canal de entrada de un hormiguero; fuertemente alcalino; límite difuso y plano.
C1	10-50	2'5 Y 6/ 4 (pardo amarillento claro en húmedo) y 2'5 Y 7/8 (amarillo en seco); franco-arenosa; masivo; ligeramente duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes elementos gruesos, dominados por el tamaño gravilla; frecuentes poros, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; muy fuertemente alcalino; límite gradual plano.
C2	50-65	2'5 Y 6/ 4 (pardo amarillento claro en húmedo) y 2'5 Y 6/4 (pardo amarillento claro en seco); franco-arcillo-arenosa; masivo; ligeramente duro (seco); no adherente, no plástico; pocos elementos gruesos, dominados por el tamaño gravilla; pocos poros, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas; moderadamente alcalino; límite brusco plano.

UTR-12 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
2C3	65-90+	Capa de material carbonoso; 2'5 Y 3/ 2 (pardo grisáceo muy oscuro en húmedo) y 2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en seco); franco-arcillo-arenosa; masivo; muy friable (húmedo); no adherente, no plástico; pocos elementos gruesos, dominados por el tamaño gravilla; muy abundantes poros, intersticiales; abundantes raíces finas y muy finas; ligeramente ácido.

PERFIL UTR-13

Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent típico.

Fecha de la observación: 4-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas.

Situación: Área llana cultivada al sur de Sabina-Umbrión,

Posición fisiográfica: Plataforma superior de escombrera.

Forma del terreno: Casi plano.

Pendiente: Casi llano.

Vegetación o uso del suelo: Cultivado. Presencia de restos de rastrojo de cereal.

Material de origen: Tierras arenosas sobre estériles de carbón.

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: Laminar, ligera.

Estado hídrico: Seco.

Muestras: UTR-13-1 (A), UTR-13-2 (C1) y UTR-13-3 (2C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-30	2'5 Y 5/4 (pardo verdoso claro en húmedo) y 2'5 Y 6/6 (amarillo verdoso en seco); franco-arcillo-arenosa; masiva; firme (húmedo); muy adherente, muy plástico; abundantes fragmentos gruesos de tamaño grava y garbancillo, areniscosos; presencia de pseudomicelios blancos; pocos poros, intersticiales; pocas raíces finas, alguna media; moderadamente alcalino; límite gradual plano.
C1	30-42	2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo) y 2'5 Y 7/8 (amarillo en seco); franco-arcillo-arenosa; masiva; ligeramente duro (seco); adherente, plástico; abundantes fragmentos gruesos de tamaño grava y garbancillo, areniscosos; presencia de pseudomicelios blancos; pocos poros, intersticiales; alguna raíz, fina y muy fina; moderadamente alcalino; límite neto ondulado.

UTR-13 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C2	42-54	Capa de gravas.
2C	90/95-110+	Abigarrado de N 3/0 (negro en húmedo), 5 Y 3/2 (gris verdoso oscuro en húmedo) y N 5/0 (gris en húmedo, que se aprecia como 5 Y 5/4 (verde oliva en seco), con abundantes manchas pequeñas, irregulares, de color 2'5 Y 4/8 (amarillo verdoso en húmedo); franco-arcillo-arenosa; masiva; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; ligeramente alcalino.

PERFIL UTR-14

Clasificación propuesta (WVU): Aridispolent típico.

Fecha de la observación: 4-04-02.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas

Situación: Ladera orientada al sur en la zona de Sabina-Umbrión.

Posición fisiográfica: Talud artificial

Forma del terreno: Colinado.

Pendiente: Moderadamente escarpado

Vegetación o uso del suelo: Dispersa (*Medicago sativa* y *Atriplex halimus*).

Material de origen: Arcillas sobre estériles de carbón

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: Muy intensa (regueros, cárcavas, sufusión)

Estado hídrico: Seco.

Muestras: No.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-32	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/2 (pardo grisáceo en seco); abundantes pseudomicelios blancos finos y muy finos; franco-arcillo-arenosa; de bloques subangulares medios a gruesos, débil, a suelta; ligeramente duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes fragmentos de calizas arenosas; abundantes poros, intersticiales; ninguna raíz; límite ondulado neto.
2C	32-54	5 Y 3/2 (gris verdoso oscuro en húmedo) y 5 Y 5/2 (gris verdoso en seco); franco-arenosa; masivo; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes manchas medianas y alguna grande, irregulares de color 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo); muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; límite ondulado gradual.

UTR-14 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
3C	54-110+	5 Y 2 ⁵ /1 (negro en húmedo) y 5Y 4/4 (verde oliva en seco); franco-arenosa; masivo que rompe el láminas finas; masa de argilitas carbonosas alteradas blandas; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes manchas medianas y alguna grande, irregulares y miceliars, entre láminas, de color 10 YR 5/8 (pardo amarillento en húmedo) y blanco (2 ⁵ Y 8/2 en húmedo); consistencia arenosa en las manchas; muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz.

PERFIL UTR-15

Clasificación propuesta (WVU): Aridispolent típico.

Fecha de la observación: 26-06-01.

Autor: Julio C. Arranz

Localidad más próxima: Utrillas

Situación: Ladera orientada al sur en la zona de Sabina-Umbrión, entre las parcelas para el estudio de la erosión números 2 y 3.

Posición fisiográfica: Talud artificial

Forma del terreno: Colinado.

Pendiente: Moderadamente escarpado

Vegetación o uso del suelo: Dispersa (*Medicago sativa* y *Atriplex halimus*).

Material de origen: Arcillas sobre estériles de carbón

Drenaje: Moderado

Pedregosidad superficial: Abundante. Clase 4.

Afloramientos: No

Erosión: Muy intensa (regueros, cárcavas, pipping)

Estado hídrico: Seco.

Muestras: UTR-01-1 (A), UTR-01-2 (2C) y UTR-01-3 (3C).

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-18/24	2'5 Y 4/2 (pardo grisáceo oscuro en húmedo) y 2'5 Y 5/2 (pardo grisáceo en seco); abundantes pseudomicelios blancos finos y muy finos; franco-arcillo-arenosa; de bloques subangulares medios a gruesos, débil, a suelta; ligeramente duro (seco); no adherente, no plástico; muy abundantes fragmentos de calizas arenosas; abundantes poros, intersticiales; ninguna raíz; neutro; límite ondulado neto.
2C	18/24-48/54	5 Y 3/2 (gris verdoso oscuro en húmedo) y 5 Y 5/2 (gris verdoso en seco); franco-arenosa; masivo; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes manchas medianas y alguna grande, irregulares de color 2'5 Y 6/8 (amarillo verdoso en húmedo); muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; ultra-ácido; límite ondulado gradual.

UTR-15 (cont.)

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
3C	48/54-100+	5 Y 2'5/1 (negro en húmedo) y 5Y 4/4 (verde oliva en seco); franco-arenosa; masivo que rompe el láminas finas; masa de argilitas carbonosas alteradas blandas; friable (húmedo); ligeramente adherente, ligeramente plástico; abundantes manchas medianas y alguna grande, irregulares y miceliars, entre láminas, de color 10 YR 5/8 (pardo amarillento en húmedo) y blanco (2'5 Y 8/2 en húmedo); consistencia arenosa en las manchas; muy pocos fragmentos gruesos pequeños; pocos poros, intersticiales; ninguna raíz; ultra-ácido.

A. II. MÉTODOS ANALÍTICOS Y RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

En las páginas sucesivas se reproduce una copia del texto del informe redactado por el Departamento de Química Agrícola Geología y Geoquímica de la UAM, reuniendo las descripciones de los procedimientos analíticos y los resultados de los ensayos.

MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS ANALISIS DE SUELOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA, GEOLOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID PARA EL PROYECTO SUELOS Y MINERÍA (IGME, 2001-2002).

1. INTRODUCCIÓN

A requerimiento del responsable del proyecto Investigación Geoambiental en áreas alteradas por actividades mineras: reconocimiento y evaluación de la potencialidad de terrenos alterados por minería a cielo abierto (IGME, 2001-2002), cuyo título abreviado es Suelos y Minería, se han realizado los análisis de caracterización edafológica solicitados.

Las muestras fueron entregadas por tandas a lo largo del periodo transcurrido entre el 29 de junio de 2001 y el 7 de octubre de 2002, y por cada una de las entregas se recibieron instrucciones sobre los tipos de ensayos a realizar con cada muestra

2. MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS

2.1 PREPARACION DE LA MUESTRA

El pretratamiento de la muestra de suelo a su llegada al laboratorio consta de varias etapas: secado, tamizado y separación de elementos gruesos y homogeneización.

2.1.1. Secado.

La muestra completa se seca al aire extendida sobre papeles de filtro. Para favorecer el proceso se realiza una disgregación a mano de los terrones existentes. El secado debe proseguirse hasta que la pérdida de masa de suelo no sea mayor de un 5% en 24 horas.

2.1.2. Tamizado y separación de elementos gruesos.

Se disgregan mecánicamente los terrones con ayuda de martillo y rodillo de madera y se tamiza la totalidad de la muestra por un tamiz de 2 mm de luz de malla, repitiendo este ensayo sobre la fracción superior a 2 mm. Se recoge la porción que haya pasado por el tamiz, denominándose esta fracción "tierra fina seca al aire". Una pequeña parte de la muestra original se mantiene sin disgregar para determinación de la densidad aparente.

La fracción que no pasó por tamiz de 2 mm es lavada al agua, secada en estufa y posteriormente enfriada a temperatura ambiente, y pesada con aproximación al gramo. Esta fracción representa el contenido en elementos gruesos.

2.1.3. Homogeneización de la muestra.

La fracción de muestra que pasó por tamiz de 2 mm es rehomogeneizada manualmente e introducida en botes de polietileno, para posteriores determinaciones analíticas.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS MUESTRAS

2.2.1. Porcentaje de elementos gruesos

El porcentaje de elementos gruesos se determina mediante la relación:

$$\text{Porcentaje de elementos gruesos} = (p'/p) \cdot 100$$

Donde:

p' = peso, en gramos, de los elementos gruesos (tamaño de diámetro superior a 2 mm).

p = peso, en gramos, de la muestra inicial secada al aire.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.2.2. Porcentaje de humedad

Se determina el agua de una muestra de suelo secada al aire excluyendo el agua de constitución de los distintos componentes. Para ello, se pesan 5 gramos de muestra de suelo y se introduce en una cápsula de porcelana previamente tarada. En ambos casos se pesa con aproximación de 0.001 g. Se seca en estufa de desecación a 150°C durante 25 horas. Posteriormente se pone a enfriar en un desecador y se pesa de nuevo.

Se calcula el porcentaje de humedad, expresado en porcentaje de tierra fina seca en estufa, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = (P - P') \cdot (100/P')$$

Donde:

P = peso, en gramos, de la muestra de suelo.

P' = peso, en gramos, de la muestra de suelo desecado.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.2.3. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo se define como la relación de la masa del suelo seco al aire respecto al volumen ocupado por las partículas más el volumen ocupado por los poros del suelo.

Para su determinación experimental se utilizan agregados de suelo no disgregados en el proceso de tamizado de la muestra. El método utilizado se basa en el principio de Arquímedes, calculando el volumen de mercurio desplazado por un agregado de suelo al sumergirlo en un recipiente previamente tarado con mercurio. Conociendo el peso de mercurio desalojado tras la inmersión del agregado en el recipiente y la densidad del mercurio, se calcula el volumen del agregado. Al ser conocido el peso inicial del agregado, se determina la densidad aparente por relación entre este peso y el volumen del agregado.

Método: Método no normalizado, utilizado en los Laboratorios de Edafología de la Universidad Autónoma de Madrid.

2.2.4. Textura

En la fracción de suelo que pasa por el tamiz de 2 mm se determinan los porcentajes de arena, limo y arcilla mediante el método de tamizado y sedimentación, y considerando los criterios de clasificación textural del Dep. Agric. de los Estados Unidos (USDA) .

La muestra de suelo se dispersa mediante adición de un agente dispersante (hexametáfosfato sódico al 10%) agitando la mezcla en un agitador mecánico durante 2 horas. Una vez dispersada la muestra, se lava repetidas veces sobre un tamiz de malla 50 micras, haciendo pasar el limo y la arcilla por el tamiz a un recipiente cilíndrico de 1 litro. Las partículas de arena quedan sobre el tamiz, siendo lavadas y secadas a 105°C en estufa, pasadas a desecador y posteriormente pesadas.

La suspensión de limo y arcilla es llevada a una probeta de 1 litro, enrasando con agua destilada a ese volumen, y tras agitación del sistema, se inicia la operación de separación del limo y la arcilla utilizando la pipeta de Robinson. En primer lugar se pipetea la fracción menor de 20 micras a una profundidad de 10 cm, considerando el tiempo de sedimentación necesario para sedimentación de partículas de 20 micras a la temperatura dada. A continuación se pipetea la fracción menor de 2 micras después del tiempo estipulado que por lo general oscila entre 6 y 6 y media horas. El agua presente en las fracciones separadas se elimina por evaporación a 95°C y se seca el residuo resultante a 105°C para su pesada final.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.2.5 Textura al tacto.

Este método se empleó en aquellas muestras de suelo en las que no pudo realizarse adecuadamente la determinación de textura según el método de dispersión-sedimentación, debido a la elevada presencia de sales que impedían la correcta dispersión de las muestras.

El procedimiento de determinación de la textura al tacto permite clasificar los suelos en las clases texturales correspondientes.

El método seguido es el recomendado por el Soil Quality Institute, en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. (Agosto, 1999).

2.2.6. Contenido en humedad en puntos característicos de agua en el suelo (33kPa, 1500 kPa).

Las muestras de suelo, inicialmente saturadas de agua, se dejan equilibrar con la presión creada por aire en un equipo de placa de presión Richards. Transcurrido el tiempo de equilibrio, se despresuriza la cámara y se determina gravimétricamente la humedad, lo que permite determinar el punto de agua en el suelo a la presión dada.

Se expresa la humedad en tanto por ciento de agua referido a suelo seco a 105°C.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS MUESTRAS

2.3.1. pH

Se determina el pH del suelo medido potenciométricamente en una suspensión obtenida por agitación del suelo con agua destilada en relación 1:2.5 (acidez real), y en suspensión obtenida por agitación del suelo con disolución 1M KCl en relación 1:2.5 (acidez potencial).

Se mezclan 10 gramos de muestra de suelo con 25 ml de agua destilada. Se agita durante 10 minutos dejándola en reposo durante 30 minutos. Del mismo modo se procede con la determinación en cloruro potásico, empleando una disolución 1M de dicha sal.

Previamente a la determinación del pH en las muestras de suelo, se procede al calibrado del pH-metro mediante calibración con disoluciones patrón de pH 4 y 7. Para efectuar la determinación del pH se agita la suspensión de suelo con una varilla de vidrio, introduciendo el electrodo para realizar la lectura.

Método: Métodos oficiales de Análisis. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.3.2 Materia orgánica oxidable

2.3.2.1. Determinación de la materia orgánica por ignición a baja temperatura.

En este método el agua y los hidróxidos se eliminan previamente de la muestra de suelo por calentamiento a 105°C. La materia orgánica se oxida posteriormente por calentamiento a 400°C durante 7 horas. El porcentaje de materia orgánica se determina por pérdida de peso.

Método: Jakson, M.L. Análisis químico de suelos. Omega, Barcelona, 1964.

2.3.2.2. Determinación de la materia orgánica oxidable mediante oxidación con dicromato potásico.

Se determina el carbono orgánico del suelo que se oxida con dicromato en presencia de ácido sulfúrico. El exceso de oxidante se valora con sulfato ferroso amoniacal y la cantidad de carbono orgánico oxidado se calcula a partir de la cantidad de dicromato reducido.

Teóricamente, en la valoración realizada por este método no interfiere el contenido de carbono en forma de carbonatos, ni tampoco las formas de carbono en forma de carbono elemental (grafito, carbón vegetal, carbón de hulla, etc.) ya que no son atacados. El contenido en materia orgánica se obtiene de multiplicar el carbono por el factor 1'724 (coeficiente de Waksman).

La presencia en el suelo de otras sustancias, oxidables ó reducibles, pueden dar contenidos en carbono orgánico más altos o bajos, respectivamente.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.3.3. Conductividad eléctrica

Mediante la determinación experimental de la conductividad eléctrica del extracto acuoso del suelos bajo la relación suelo-agua 1:5 es posible determinar de forma indirecta el grado de salinidad del suelo.

Se pesan 10 gramos de suelo tamizado a 2 mm y se añaden 50 ml de agua destilada. Se agita durante 30 minutos en agitador mecánico. La determinación de la conductividad eléctrica se realiza midiendo la resistencia eléctrica entre dos electrodos paralelos sumergidos en la disolución acuosa del suelo; con corrección de temperatura a 25°C. Se expresa en dS m^{-1} .

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.3.4. Capacidad de neutralización potencial

En este método se determinan las bases neutralizantes, incluidos los carbonatos, presentes en el material mediante tratamiento con un exceso conocido de ácido clorhídrico. La muestra y el ácido son calentados para asegurar que se completa la reacción entre ácido y sustancias neutralizantes. Se obtiene el equivalente en carbonato cálcico de la muestra por determinación de la cantidad de ácido consumido por valoración con disolución estandarizada de hidróxido sódico.

Se parte de 2 g de suelo previamente molido en mortero de ágata. Se añade a la muestra disolución de ácido clorhídrico en volumen y concentración previamente determinadas en un ensayo previo en diferente alícuota de muestra en función de la tasa de burbujeo apreciada con la adición de ácido. La muestra con el ácido clorhídrico añadido se somete a diversas fases de calentamiento llegando a punto cercano a ebullición.

Finalmente se añade agua destilada a volumen de 125 ml y se valora con disolución de hidróxido sódico de concentración adecuada hasta pH 7'0 mediante uso de pH-metro. Es preciso realizar un ensayo en blanco para cada grupo de muestras.

Los resultados se expresan como :

$t \text{ CO}_3\text{Ca equivalente}/1000 \text{ t material} = (\text{ml ácido consumido}) \times (25.0) \times (\text{N ácido})$

Método: Jakson, M.L. Análisis químico de suelos. Omega, Barcelona, 1964.

2.3.5. Azufre pirítico

Este método se basa en la utilización de peróxido de hidrógeno para oxidar los materiales piríticos dando como subproductos ácido sulfúrico y óxidos de hierro. Este proceso reproduce el proceso natural de los cambios que los materiales piríticos experimentan cuando están expuestos a la atmósfera, si bien el empleo de peróxido de hidrógeno reduce grandemente el tiempo necesitado en ese proceso.

Se parte de 2 g de muestra de suelo previamente molido en mortero de ágata. Se lava con 200 ml de disolución 2:3 de ácido clorhídrico y posteriormente con agua destilada hasta ensayo negativo de presencia de cloruros con disolución de nitrato de plata. Una vez seca la muestra se trata con diversas adiciones de peróxido de hidrógeno al 30% y se calienta en placa calefactora a 90°C hasta cese de burbujeo. Se lavan las paredes del recipiente con agua destilada y se lleva el volumen a 100 ml con agua destilada. Finalmente se valora la disolución con hidróxido sódico 0.01N hasta pH 7'0 con uso de pH-metro.

El porcentaje de azufre pirítico se determina mediante la fórmula:

$\%S = 0.0185 (\text{meq H}^+/100 \text{ g}) - 0.0806.$

Método: Sobek, A. A., W. A. Schuller, J. R. Freeman & R. M. Smith. 1978. Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils. EPA-600/2-78-054.

2.3.6. Cationes básicos de cambio (extraíbles con acetato amónico).

Los cationes intercambiables del suelo se desplazan mediante extracciones sucesivas con una solución 1N de acetato amónico a pH 7'0, y se determinan en dicho extracto.

Se parte de 4 gramos de suelo pasados por tamiz de 2mm. Se colocan en tubo de centrífuga y se añaden 40 ml de disolución de acetato amónico 1 N tamponada a pH 7'0. Se agita 15 minutos, se centrifuga 15 minutos y se decanta en matraz aforado de 250 ml. Se repite el proceso cuatro veces más y se enrasa con la disolución de acetato amónico a 250 ml. El residuo de suelos se lava dos veces con etanol para eliminar el exceso de acetato amónico, preparando la muestra para la determinación de la capacidad total de cambio (apartado 2.3.8.). Se realiza un blanco para cada grupo de muestras.

Na y K de cambio se determinan mediante método potenciométrico utilizando electrodos selectivos de los respectivos elementos.

Ca y Mg de cambio se determinan por espectrofotometría de absorción atómica.

Los resultados se expresan en cmol(+)/kg suelo.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.3.7. Cationes ácidos de cambio (extraíbles con KCl).

El método consiste en el lavado del suelo con una disolución 1M de KCl no tamponada, en la cual se desplazan los cationes intercambiados. De éstos se determina la acidez de cambio ($H^+ + Al^{+3}$) por valoración con disolución de hidróxido sódico.

Se parte de 10 g de suelo tamizado a 2 mm y se añaden 100 ml de disolución 1M KCl en un frasco de polietileno de 250 ml. Se agita durante 30 minutos en agitador mecánico. Posteriormente se deja reposar 10 minutos. Se filtra la suspensión a través de un embudo con papel de filtro y se valora con disolución 0.01 M NaOH hasta pH 7'0 mediante empleo de pH-metro.

Los resultados se expresan como cmol(+)/kg suelo.

Método: Coleman, N.T. y Thomas, G.W. (1967). The Basic Chemistry of soil acidity. En "Soil Acidity and Liming" (Pearson, R.W. and Adams, F. Eds.) Am.Soc.Agron. Madison.

2.3.8. Capacidad total de cambio.

La muestra de suelo saturada en amonio procedente del apartado 2.3.6. (Cationes básicos de cambio), se satura en sodio mediante cuatro lavados sucesivos con disolución de acetato sódico 1N a pH 8.2. Los distintos extractos se llevan a matraz aforado de 250 ml, enrasando con la disolución de acetato sódico. Se efectúa un ensayo en blanco para cada grupo de muestras. El amonio desplazado se determina mediante método potenciométrico utilizando electrodo selectivo de amonio.

Los resultados se expresan como cmol(+)/kg suelo.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.3.9. Nitrógeno.

Se utiliza una variante del método Kjeldahl. Se transforma el nitrógeno orgánico en sulfato amónico por digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado previa reducción del nitrógeno nítrico a amoniacal. La muestra de suelo se digiere con ácido sulfúrico y mezcla de sulfato potásico y sulfato de cobre (para enaltecer el punto de ebullición de la muestra) y selenio como catalizador. Una vez mineralizado el nitrógeno, se le añade hidróxido sódico en cantidad suficiente para conseguir un medio básico y se procede a la destilación del amoniaco en un aparato Bouat, valorándolo con disolución de ácido clorhídrico e indicador mixto.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.3.10. Fósforo asimilable.

Se utiliza el método Olsen ó determinación del Fósforo soluble en bicarbonato sódico. Se extrae el fósforo del suelo con disolución 0.5N de bicarbonato sódico a un pH aproximadamente constante de 8.5. El fósforo extraído se hace reaccionar, en medio ácido, con molibdato amónico y forma ácido fosfomolibdico. Se reduce este compuesto con ácido ascórbico para formar el complejo “azul de molibdeno” de intenso color azul, que es medido colorimétricamente en un fotocolorímetro a 630 nm.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

2.3.11. Potasio asimilable

El índice de asimilabilidad de K en suelos más universalmente usado es la suma del K intercambiable y el K soluble en agua, esto es, el K total extraído por una disolución 1N de acetato amónico a pH 7. La extracción del K asimilable puede llevarse a cabo mediante agitación ó percolación. En estos suelos la extracción se efectuó mediante agitación repetida durante cuatro veces de la muestra decantando sucesivamente los extractos hasta enrase final a 100 ml. La determinación de los contenidos en K fue realizada utilizando un electrodo selectivo de potasio en un potenciómetro Orion 901.

Método: Métodos oficiales de Análisis, Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986).

3. TABLAS DE DATOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS

MUESTRA	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	DENSIDAD APARENT.	E.G. (%)	HUMEDAD (%)	HUM. 1/3 atm. (%)	HUM. 15 atm. (%)
UTR-ES-01	50,0	26'6	23'4	1'69	74'4	0'62		
UTR-TI-01	53'1	23'6	23'3	1'65	64'4	1'21		
VIL-ES-01	89'4	6'2	4'4		68'9	0'83		
VIL-TI-01	67'2	18'2	14'6	1'58	28'0	1'29		
VIL-TI-02	76'4	13'9	9'6	1'67	52'4	0'96		

MUESTRA	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	DENSIDAD APARENT.	E.G. (%)	HUMEDAD (%)	HUM. 1/3 atm. (%)	HUM. 15 atm. (%)
UTR-PIL-I	Franco-arcillosa (*)			1'38	64'4	6'51		
UTR-PIL-II	Areno-arcillosa (*)			1'08	57'6	5'85		
UTR-PIL-III	Arenoso-franca (*)			1'18	41'5	8'62		
VIL-PIL-I	72'2	13'2	14'6	1'51	77'7	1'13		
VIL-PIL-II	82'2	7'3	10'5	1'45	77'5	0'85		
VIL-PIL-III	77'2	12'3	10'5	1'63	73'5	1'00		
VIL-PIL-IV	76'5	13'0	10'5	1'75	85'9	1'67		
VIL-PIL-V	76'6	9'2	14'2	1'24	74'5	2'04		
VAL-PIL-I	61'6	21'6	16'8	1'67	70'4	7'62		
VAL-PIL-II	65'0	18'2	16'8	1'64	70'5	1'35		
VAL-PIL-III	67'7	10'5	21'8	1'68	71'7	0'80		
VAL-PIL-IV	65'0	13'2	21'8	1'48	68'1	1'14		
VAL-PIL-V	70'0	15'0	15'0	1'62	82'8	1'07		
VAL-PIL-VI	73'6	8'90	17'5	1'18	80'7	1'10		

(*) Estimación manual de la textura debido a la imposibilidad del análisis granulométrico convencional por tamizado y sedimentación.

MUESTRA	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	DENSIDAD APARENTE	E.G. (%)	HUMEDAD (%)	HUM. 1/3 atm. (%)	HUM. 15 atm. (%)
VAL-I-01	79'3	10'3	10'0		71'4	0'22		
VAL-I-02	71'8	12'3	15'9	2'12	73'1	0'58		
VAL-II-01	68'9	14'2	16'9	1'11	63'6	0'46		
VAL-III-01	66'8	21'4	11'8	1'62	77'7	0'70		
VAL-IV-01	66'8	13'9	19'3	1'71	75'1	0'66		
VAL-V-01	66'8	16'4	16'8	1'74	69'0	0'71		
VAL-VI-01	66'4	14'8	18'8	1'76	68'7	0'37		
VAL-VI-02	66'4	14'8	18'8		70'2	0'55		
VAL-VII-01	61'4	17'3	21'3	1'59	63'1	0'72		
VAL-VIII-01	62'1	20'7	17'2		71'9	0'53		
VAL-IX-01	59'6	23'2	17'2	1'59	65'4	0'69		
VAL-X-01	61'2	16'6	22'2	1'70	63'7	1'28		
VAL-XI-01	66'8	13'7	19'5	1'83	65'2	0'13		
VAL-XII-01	68'4	16'2	15'4	1'55	63'4	0'18		
VAL-01-1	65'9	17'8	16'3		66'7	0'47		
VAL-01-2	70'7	13'0	16'3		73'3	0'62		
UTR-01-1	55'7	20'4	24'0	1'70	37'3	1'93	23'46	11'76
UTR-01-2	53'6	31'4	15'0	1'76	56'6	6'71	32'44	16'96
UTR-01-3	52'3	41'5	6'20		84'2	3'41	29'25	15'30
UTR-02-1	57'0	17'3	25'8	1'72	36'1	1'10		
UTR-02-2	61'4	10'9	27'8	0'69	37'8	1'10		
UTR-02-3	76'0	5'5	18'5	1'41	43'3	3'52		
UTR-04-1	63'0	15'2	21'8	1'61	36'4	0'78	16'09	6'82
UTR-04-2	73'1	14'6	22'3	1'66	36'4	0'83	19'91	10'08
UTR-04-3	53'5	19'9	26'6	1'87	51'6	1'39	20'81	11'72
UTR-05-1	69'4	14'0	16'6	1'40	41'4	0'76	17'45	9'35
UTR-07-1	67'5	15'9	16'6	1'27	26'3	1'08	20'40	12'05
UTR-07-2	67'2	17'9	14'9	1'74	25'9	0'74	19'84	12'10
UTR-08-1	58'9	16'8	24'2	1'63	36'6	0'65	19'31	10'22
UTR-08-2	57'1	24'2	18'7	1'40	34'3	3'25	30'12	19'23
UTR-08-3	71'9	20'3	7'9	1'61	30'5	1'48	15'09	8'78
UTR-08-4	Arenoso-franca (*)			1'49	86'6	2'37	28'53	17'21
UTR-10-1	63'8	19'7	16'7	0'85	47'3	1'02		
UTR-10-2	61'0	12'3	26'7	1'45	78'7	0'59		
UTR-10-3	65'1	10'7	24'2	1'69	87'1	0'33		
UTR-10-4	67'9	11'1	21'0	1'84	57'4	0'29		

(*) Estimación manual de la textura debido a la imposibilidad del análisis granulométrico convencional por tamizado y sedimentación.

MUESTRA	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	DENSIDAD APARENT.	E.G. (%)	HUMEDAD (%)	HUM. 1/3 atm. (%)	HUM. 15 atm. (%)
UTR-I-01	61,6	11,4	27,0	1,51	51,5	0,14		
UTR-I-02	59,1	13,9	27,0	1,75	57,2	0,2		
UTR-II-01	69,1	11,4	19,5	1,64	48,9	0,17		
UTR-II-02	64,1	13,9	22,0	1,58	43,7	0,14		
UTR-III-01	56,6	18,9	24,5	1,55	39,6	0,43		
UTR-III-02	61,6	13,9	24,5	1,43	30,9	0,17		
UTR-IV-01	61,6	13,9	24,5	1,51	34,4	0,37		
UTR-V-01	59,1	16,4	24,5	1,7	48,4	0,25		
UTR-VI-01	64,1	13,9	22,0	1,62	47,8	0,05		
UTR-VI-02	59,1	16,4	24,5	1,47	55,6	0,24		
UTR-2A-1	61,6	13,9	24,5	1,85	41,2	0,01		
UTR-2A-2	59,1	13,9	27,0		51,7	1,56		
UTR-2B-1	62,1	10,7	27,2	1,56	34,3	0,33		
UTR-2B-2	54,6	8,2	37,2	1,62	43,7	0,29		
UTR-2C-1	62,1	5,7	32,2	1,79	46,9	0,36		
UTR-2C-2	59,6	8,2	32,2		45,7	0,76		
UTR-9-1	62,1	10,7	27,2	1,57	49,4	0,28	17,28	8,23
UTR-9-2	62,1	10,7	27,2		57,3	1,7	15,79	8,29
UTR-9-3	49,6	18,2	32,2		54,2	1,3	18,77	8,71
UTR-9A-1	59,6	13,2	27,2	1,61	44,2	0,32		
UTR-9A-2	57,1	13,2	29,7		40,2	2,26		
UTR-9B-1	64,6	10,7	24,7	1,39	36,6	0,01		
UTR-9B-2	67,1	10,7	22,2		43,0	0,88		
UTR-11-1	59,6	10,7	29,7	1,56	38,9	0,49	17,21	9,12
UTR-11-2	58,7	14,1	27,2	1,68	46,4	0,28	16,75	8,58
UTR-11-3	48,7	11,6	39,7	1,89	48,5	0,41	19,38	10,26
UTR-12-1	58,7	19,1	27,2		52,7	1,18		
UTR-12-2	63,7	19,1	17,2		48,7	0,01		
UTR-12-3	61,2	16,6	22,2		32,6	0,59		
UTR-12-4	53,7	24,1	22,2		43,0	3,12		
UTR-13-1	51,2	16,6	32,2	1,79	60,6	2,11	22,16	13,26
UTR-13-2	53,7	19,1	27,2		59,3	0,3	20,97	11,32
UTR-13-3	38,7	16,6	44,7	1,89	47,2	0,44	18,93	10,47
UTR-13A-1	53,7	16,6	29,7	1,78	57,8	0,25		
UTR-13A-2	53,7	14,1	32,2	1,68	51,4	0,33		
UTR-13B-1	48,7	19,1	32,2		43,5	0,66		
UTR-13B-2	56,2	11,6	32,2	1,99	48,6	0,36		
UTR-13C-1	41,2	11,6	47,2	1,61	39,1	0,4		
UTR-13C-2	41,2	9,1	49,7	1,75	31,3	0,36		
UTR-14-1	56,2	11,6	32,2	1,49	56,1	0,58	19,78	10,65
UTR-14-2	51,2	11,6	37,2	1,65	48,2	2,43	21,12	11,6
UTR-14-3		Franco-arcillosa (*)			58,6	5,09	25,73	13,93
UTR-14A-1	53,7	16,6	29,7	1,48	46,4	0,71		
UTR-14A-2	51,2	16,6	32,2	1,54	37,2	0,52		
UTR-14B-1	48,7	16,6	34,7	1,54	28,9	0,58		
UTR-14B-2	50,0	12,9	37,1	1,54	36,8	0,43		

(*) Estimación manual de la textura debido a la imposibilidad del análisis granulométrico convencional por tamizado y sedimentación.

MUESTRA	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	DENSIDAD APARENTE	E.G. (%)	HUMEDAD (%)	HUM. 1/3 atm. (%)	HUM. 15 atm. (%)
VIL-I-01	64'6	13'2	22'2	1'80	61'4	0'46		
VIL-II-01	62'8	18'2	19'0	1'80	67'2	0'30		
VIL-III-01	56'9	21'6	21'5	1'70	79'9	0'65		
VIL-IV-01	63'5	14'1	22'4	1'87	71'7	0'61		
VIL-4A-1	62'6	14'1	23'4	1'84	58'4	0'35		
VIL-4A-2	60'1	16'5	23'4	1'74	66'8	0'26		
VIL-4B-1	60'6	16'0	23'4	1'73	72'1	0'45		
VIL-4B-2	66'0	14'1	19'9	1'74	60'3	0'32		
VIL-5A-1	62'8	13'8	23'4		65'3	0'63		
VIL-5A-2	62'8	13'8	23'4		81'4	0'75		
VIL-6A-1	66'9	12'5	20'9	1'84	63'4	0'34		
VIL-6A-2	66'9	12'5	20'9		68'5	0'48		
VIL-6B-1	67'8	13'2	19'0	1'68	52'7	0'31		
VIL-6B-2	68'9	13'9	17'2	1'53	70'8	0'31		
VAL-02-1	67'4	13'2	19'4		61'5	1'03		
VAL-02-2	59'9	18'2	21'9		56'2	1'61		
VAL-02-3	69'9	10'7	19'4	1'17	27'5	2'08		
VAL-03-1	59'9	20'7	19'4		68'1	1'22	38'9	18'7
VAL-03-2	57'4	23'2	19'4		64'6	3'23	26'6	10'7
VAL-03-3	54'9	25'7	19'4	1'26	60'9	0'45	19'7	6'8
VAL-03-4	52'4	23'2	24'4		66'8	0'21	19'9	7'0
VAL-04-1	64'9	15'7	19'4		84'3	0'17	15'0	4'9
VAL-04-2	64'9	13'2	21'9		90'0	0'17	15'8	5'3
VAL-4A-1	67'4	13'2	19'4	1'57	61'4	0'07		
VAL-4A-2	67'4	10'7	21'9		73'0	0'14		
VAL-4B-1	69'9	10'7	19'4		79'5	0'01		
VAL-4B-2	69'2	13'2	17'6		81'4	0'05		
VAL-05-1	64'2	15'7	20'1	1'94	75'4	0'15	15'7	5'3
VAL-05-2	71'7	10'7	17'6	1'96	77'6	0'03	13'7	4'3
VAL-5A-1	69'2	19'3	20'1		63'5	0'16		
VAL-5A-2	71'7	10'7	17'6		71'5	0'07		
VAL-5B-1	74'2	8'2	17'6		69'8	0'44		
VAL-5B-2	74'2	10'7	15'1		91'6	0'20		
VAL-06-1	59'2	20'7	20'1		63'4	1'08	15'3	5'1
VAL-06-2	69'2	13'2	17'6		83'2	0'16	11'6	3'8
VAL-6A-1	59'2	23'2	17'6		59'4	0'16		
VAL-6A-2	56'7	25'7	17'6		68'4	0'24		
VAL-6B-1	61'7	20'7	17'6	1'61	62'0	0'66		
VAL-6B-2	66'7	13'2	20'1		65'5	0'09		
VAL-07-1	66'7	15'7	17'6		69'2	0'19	14'2	4'6
VAL-07-2	64'2	18'2	17'6	1'72	66'1	0'44	18'5	6'2
VAL-08-1	64'2	18'2	17'6	1'69	62'2	0'19	14'5	4'7
VAL-08-2	64'1	18'3	17'6		66'0	0'13	15'1	5'3
VAL-8A-1	64'2	18'2	17'6		64'1	0'31		
VAL-8A-2	61'7	20'7	17'6		60'5	2'41		
VAL-8B-1	64'2	18'2	17'6	1'58	63'5	0'35		
VAL-8B-2	66'7	15'7	17'6	1'59	65'8	2'58		

MUESTRA	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	DENSIDAD APARENTE	E.G. (%)	HUMEDAD (%)	HUM. 1/3 atm. (%)	HUM. 15 atm. (%)
VIL-01-1	77'6	15'9	6'4	1'41	46'9	2'13		
VIL-01-2	82'0	9'2	8'8	1'28	61'9	1'70		
VIL-01-3	81'0	9'9	9'1	1'39	33'1	1'47		
VIL-01-4	85'6	0'6	13'8	1'47	45'4	4'16		
VIL-03-1	75'3	18'5	6'2	1'24	54'8	1'51	17'4	8'5
VIL-03-2	62'9	25'6	11'5		90'6	2'16	18'0	8'4
VIL-03-3	70'9	17'6	11'5	1'41	84'9	9'03	25'1	10'0
VIL-04-1	72'9	14'6	12'5	1'76	52'5	0'94		
VIL-04-2	77'3	11'2	11'5		71'1	7'23		
VIL-05-1	73'6	16'2	10'2	1'93	53'8	1'56		
VIL-05-2	73'4	13'4	13'3	1'91	56'8	1'50		
VIL-05-3	71'9	15'7	12'4	1'73	58'9	1'30		
VIL-06-1	76'2	11'3	12'4	1'57	51'7	1'14	16'9	7'5
VIL-06-2	76'9	11'7	11'4	1'92	51'4	0'66	14'6	5'9
VIL-06-3	75'0	13'6	11'4	1'83	45'6	0'85	15'2	6'4
VIL-06-4	72'7	10'9	16'4	1'85	75'7	0'96	17'6	7'5
VIL-07-1	72'4	17'2	10'4	1'11	56'5	3'10		
VIL-07-2	69'1	20'6	10'4	1'53	52'2	1'99		
VIL-07-3	69'7	16'9	13'4	1'45	35'1	1'40		
VIL-08-1	68'2	12'1	19'7	1'85	69'2	0'37		
VIL-08-2	68'2	9'6	22'2	2'04	52'4	0'43		
VIL-08-3	69'6	8'2	17'2	2'07	89'3	0'21		
VIL-8A-1	65'3	12'5	22'2	1'69	64'5	0'28		
VIL-8A-2	67'1	10'7	22'2	1'82	64'9	0'28		
VIL-8B-1	67'8	12'5	19'7	1'76	72'1	0'32		
VIL-8B-2	66'7	15'7	17'6	1'59	65'8	2'58		
VAL-09-1	64'2	15'7	20'1	1'74	71'2	0'31	14'5	5'0
VAL-9A-1	62'3	17'7	20'5	1'44	73'0	0'20		
VAL-9A-2	62'3	15'5	22'2		73'9	0'35		
VAL-9B-1	61'4	20'7	17'9	1'54	82'9	0'15		
VAL-9B-2	65'0	13'0	22'0	1'63	74'4	0'22		
VAL-10-1	67'5	14'6	17'9	1'43	58'3	0'16	16'6	4'6
VAL-10-2	76'4	7'3	16'3		89'3	0'15	13'8	4'9
VAL-10-3	80'0	7'3	12'7		74'9	0'25	12'3	5'4
VAL-10A-1	71'6	14'8	13'6		62'6	0'14		
VAL-10A-2	73'2	13'2	13'6		78'2	0'11		
VAL-10B-1	66'8	15'5	17'7		79'3	0'13		
VAL-10B-2	63'2	14'3	22'5	1'65	74'6	0'10		
VAL-11-1	66'8	12'1	21'1		76'8	0'11	15'9	4'9
VAL-11-2	70'0	11'4	18'6		87'2	0'12	15'2	5'6
VAL-12-1	65'0	20'5	14'5		73'5	0'34	18'1	5'3
VAL-12-2	55'9	28'0	16'1		80'8	0'28	19'2	5'1

3.2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS CORRIENTES

MUESTRA	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	M.O. (%) (ignic.)	M.O. (%) (oxid.)	C.I.C. (cmol/kg)	Complejo de cambio (cmol/kg)					C.E. dS/m
						Ca	Mg	Na	K	Acidez	
UTR-ES-01	6'64	5'92	4'79	3'89	5'58	15'4	1'03	0'73	0'14	0'06	0'370
UTR-TI-01	6'89	6'12	4'65	2'55	12'08	28'9	1'32	0'52	0'35	0'14	0'250
VIL-ES-01	7'85	7'14	6'01	0'50	4'39	6'46	2'43	0'57	0'15	0'20	0'105
VIL-TI-01	6'08	5'29	6'61	2'01	7'44	4'26	2'16	0'54	0'15	0'30	0'102
VIL-TI-02	6'79	6'12	3'35	0'80	11'98	7'83	3'41	0'56	0'16	0'18	0'074

MUESTRA	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	M.O. (%) (ignic.)	M.O. (%) (oxid.)	C.I.C (meq/100gr)	Complejo de cambio (cmol/kg)					C.E. dS/m
						Ca	Mg	Na	K	Acidez	
UTR-PIL-I	3'87	3'34	14'30	7'70	17'10	55'80	4'52	1'95	0'06	16'3	2'610
UTR-PIL-II	3'18	2'92	12'70	7'20	12'60	60'32	4'05	1'83	0'11	14'6	2'590
UTR-PIL-III	2'18	2'05	31'00	24'10	34'50	58'90	1'19	1'66	0'04	36'8	3'890
VIL-PIL-I	6'65	5'69	5'16	3'62	5'60	2'75	2'14	0'52	0'13	0'06	0'070
VIL-PIL-II	8'23	7'03	8'57	7'63	4'52	2'09	2'00	0'42	0'19	0'04	0'050
VIL-PIL-III	8'73	7'31	2'67	3'28	4'87	2'27	2'16	0'50	0'15	0'04	0'050
VIL-PIL-IV	5'78	4'95	6'82	4'42	7'77	3'52	3'48	0'45	0'26	0'06	0'110
VIL-PIL-V	6'1	5'6	12'50	4'19	13'20	6'33	5'44	1'92	0'44	0'14	0'250
VAL-PIL-I	4'05	3'67	3'12	1'54	4'85	1'30	1'11	0'78	0'12	1'52	0'230
VAL-PIL-II	4'34	3'43	10'20	4'89	7'77	2'47	2'22	0'80	0'24	1'88	0'160
VAL-PIL-III	5'72	5'08	2'35	1'54	5'66	2'39	2'14	0'72	0'28	0'26	0'260
VAL-PIL-IV	5'09	4'08	5'25	3'48	6'71	2'56	1'43	0'75	0'16	1'60	0'060
VAL-PIL-V	4'49	3'98	4'86	7'10	4'40	2'28	1'36	0'62	0'26	0'20	0'230
VAL-PIL-VI	6'16	5'58	1'61	4'96	4'10	2'23	1'38	0'44	0'19	0'06	0'220

MUESTRA	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	M.O. (%) (ignic.)	M.O. (%) (oxid.)	C.I.C. (cmol/kg)	Complejo de cambio (cmol/kg)					C.E. dS/m
						Ca	Mg	Na	K	Acidez	
VAL-I-01	6'06	5'65	3'40	1'23	4'00	2'13	1'93	0'83	0'23	0'08	0'035
VAL-I-02	5'83	5'14	6'12	1'37	4'91	2'00	1'97	0'70	0'18	0'06	0'029
VAL-II-01	5'23	4'32	3'13	1'16	5'16	3'05	0'61	0'70	0'13	0'71	0'016
VAL-III-01	5'20	4'05	2'07	1'78	5'58	3'20	1'14	0'76	0'12	0'30	0'032
VAL-IV-01	6'73	5'96	8'17	2'04	6'26	2'74	2'45	0'73	0'25	0'04	0'039
VAL-V-01	4'98	4'11	2'56	0'44	5'92	3'10	0'76	0'71	0'14	1'16	0'013
VAL-VI-01	6'67	6'37	3'81	1'81	5'30	1'78	2'60	0'73	0'11	0'04	0'058
VAL-VI-02	5'38	4'68	8'94	2'68	2'89	1'36	0'81	0'69	0'12	0'04	0'032
VAL-VII-01	4'40	3'77	7'37	1'98	4'09	1'45	1'08	0'56	0'11	0'86	0'051
VAL-VIII-01	5'79	4'41	3'11	1'84	6'05	3'36	1'76	0'65	0'20	0'08	0'020
VAL-IX-01	4'88	3'80	3'69	1'41	5'17	2'31	0'91	0'61	0'14	1'20	0'018
VAL-X-01	4'68	3'79	3'23	2'95	6'91	3'38	0'66	0'64	0'20	1'90	0'020
VAL-XI-01	5'25	4'64	3'18	2'21	4'80	1'90	1'72	0'88	0'14	0'08	0'032
VAL-XII-01	4'53	3'96	6'00	0'42	4'83	2'49	1'65	0'50	0'15	0'14	0'246
VAL-01-1	5'75	4'73	2'37	2'18	7'90	5'00	1'55	0'93	0'40	0'06	0'038
VAL-01-2	5'83	4'84	3'62	2'18	5'40	3'51	1'16	0'55	0'20	0'08	0'021
UTR-01-1	7'23	6'88	5'70	5'03	13'40	62'10	7'96	1'99	0'85	0'20	1'590
UTR-01-2	2'32	2'18	12'40	3'22	12'50	52'90	7'11	1'26	0'65	37'4	4'270
UTR-01-3	2'29	2'05	9'76	6'70	13'90	31'50	6'97	1'18	0'50	47'0	4'930
UTR-02-1	7'72	7'52	3'03	1'88	8'90	66'10	3'10	0'87	0'28	0'22	0'860
UTR-02-2	7'95	7'58	4'28	2'35	10'40	65'60	4'42	0'66	0'25	0'24	0'980
UTR-02-3	3'61	3'37	10'97	10'40	11'60	8'90	0'95	0'79	0'30	5'54	2'500
UTR-04-1	8'26	7'53	2'84	2'55	5'37	61'10	2'08	1'08	0'85	0'06	0'140
UTR-04-2	8'43	7'64	2'37	0'67	5'40	64'40	2'12	0'80	0'19	0'06	0'110
UTR-04-3	7'64	7'33	3'21	2'48	8'64	52'10	3'80	3'52	0'19	0'08	1'710
UTR-05-1	8'36	7'60	4'48	3'15	4'85	63'10	1'26	4'87	0'04	0'04	0'110
UTR-07-1	8'32	7'62	5'16	2'51	10'20	63'50	0'92	3'99	0'26	0'06	0'120
UTR-07-2	8'39	7'61	3'88	3'56	9'78	65'30	1'36	3'63	0'45	0'06	0'110
UTR-08-1	7'93	7'56	3'43	1'34	11'30	63'70	3'27	6'16	0'47	0'04	0'710
UTR-08-2	2'43	2'28	12'24	10'39	19'20	51'90	3'43	1'80	0'17	11'40	2'890
UTR-08-3	6'68	6'31	3'41	2'21	7'43	69'20	4'46	6'95	0'19	0'14	2'200
UTR-08-4	2'29	2'23	9'69	7'44	11'20	41'90	6'50	1'87	0'01	29'1	3'830
UTR-10-1	8'26	7'44	4'49	4'09	10'90	67'50	1'52	0'65	0'47	0'06	0'140
UTR-10-2	8'38	7'60	2'91	1'94	5'99	66'60	1'11	0'55	0'16	0'04	0'120
UTR-10-3	8'56	7'88	1'87	1'07	4'37	67'40	1'54	0'65	0'25	0'06	0'100
UTR-10-4	8'48	7'74	2'00	0'54	5'47	69'60	1'46	0'43	0'22	0'04	0'110

MUESTRA	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	M.O. (%) (ignic.)	M.O. (%) (oxid.)	C.I.C. (cmol/kg)	Complejo de cambio (cmol/kg)					C.E. dS/m
						Ca	Mg	Na	K	Acidez	
UTR-I-01	8'20	7'61	3'48	1'21	2'70	105'10	2'24	1'39	0'19	0'04	0'23
UTR-I-02	8'11	7'80	2'13	1'01	3'00	111'50	2'52	1'19	0'20	0'08	0'55
UTR-II-01	8'00	7'77	3'64	1'61	2'34	95'70	1'57	1'16	0'22	0'04	0'53
UTR-II-02	8'50	7'64	2'89	1'54	2'64	99'10	1'86	1'21	0'18	0'06	0'11
UTR-III-01	7'87	7'54	5'81	2'28	2'38	95'30	2'85	1'57	0'25	0'08	1'96
UTR-III-02	8'05	7'70	2'30	1'81	2'65	113'40	2'62	1'27	0'23	0'04	0'55
UTR-IV-01	7'91	7'63	4'64	3'62	4'56	107'00	2'81	1'25	0'27	0'06	0'86
UTR-V-01	7'92	7'66	4'80	1'54	4'32	115'30	2'91	1'43	0'30	0'06	1'08
UTR-VI-01	8'51	7'76	3'53	1'21	3'60	108'00	2'21	1'16	0'18	0'04	0'16
UTR-VI-02	8'07	7'67	4'40	2'55	4'82	117'70	2'73	1'27	0'25	0'06	0'54
UTR-2A-1	7'97	7'60	2'33	1'11	5'28	113'70	2'61	1'41	0'11	0'06	1'300
UTR-2A-2	8'09	7'70	3'34	1'21	3'85	122'90	3'16	1'40	0'16	0'06	1'930
UTR-2B-1	8'16	7'80	2'82	1'61	4'88	118'00	2'51	1'02	0'20	0'04	0'440
UTR-2B-2	7'99	7'60	4'00	1'47	3'95	120'70	2'98	1'05	0'25	0'08	1'160
UTR-2C-1	8'25	7'76	2'22	1'27	3'52	115'70	2'20	1'21	0'17	0'06	0'280
UTR-2C-2	8'07	7'68	4'19	1'34	4'35	120'80	2'56	1'15	0'13	0'06	1'100
UTR-9-1	7'73	7'47	3'84	2'28	3'63	108'00	1'53	1'29	0'14	0'06	1'130
UTR-9-2	7'93	7'52	4'04	1'01	3'16	128'30	1'94	1'02	0'03	0'04	1'900
UTR-9-3	7'86	7'55	2'80	1'21	3'44	126'60	2'75	0'99	0'32	0'06	1'800
UTR-9A-1	8'00	7'61	3'04	2'81	3'23	120'80	1'84	1'14	0'15	0'04	0'450
UTR-9A-2	7'64	7'70	4'85	1'88	3'18	124'80	1'84	1'27	0'18	0'02	1'220
UTR-9B-1	8'47	7'81	3'03	1'14	2'68	125'20	1'78	1'24	0'30	0'04	0'120
UTR-9B-2	8'56	8'01	1'80	1'27	2'53	125'20	1'77	1'41	0'25	0'02	0'100
UTR-11-1	8'48	7'74	2'77	1'34	5'27	98'30	1'80	1'25	0'27	0'04	0'110
UTR-11-2	8'58	7'71	2'81	1'27	3'46	121'20	2'00	1'38	0'27	0'02	0'980
UTR-11-3	7'96	7'63	3'74	0'61	7'78	61'10	2'72	1'33	0'25	0'04	0'910
UTR-12-1	8'71	8'10	1'93	0'94	2'45	132'00	1'63	1'12	0'19	0'02	0'120
UTR-12-2	9'01	8'37	0'70	0'40	1'45	112'40	1'50	1'33	0'30	0'00	0'660
UTR-12-3	8'40	7'88	2'00	1'14	2'77	119'40	2'42	1'18	0'32	0'02	0'250
UTR-12-4	6'47	6'01	12'70	7'61	17'10	151'70	2'93	1'31	0'25	7'00	2'190
UTR-13-1	8'22	7'64	3'01	0'87	4'00	123'20	2'88	1'29	0'22	0'04	0'340
UTR-13-2	8'23	7'70	3'74	0'34	2'92	121'30	2'93	9'67	0'35	0'04	0'420
UTR-13-3	7'54	7'09	3'64	0'40	14'20	26'90	2'80	1'21	0'25	0'04	1'340
UTR-13A-1	8'31	7'66	1'63	1'07	4'47	119'40	2'66	0'97	0'27	0'06	0'260
UTR-13A-2	8'24	7'67	1'92	0'67	5'07	120'50	2'83	1'29	0'21	0'06	0'440
UTR-13B-1	8'36	7'71	3'53	0'74	4'58	125'40	2'77	1'29	0'19	0'06	0'210
UTR-13B-2	8'16	7'70	2'84	0'54	3'98	128'40	2'84	1'26	0'31	0'04	0'460
UTR-13C-1	7'95	7'52	3'41	0'34	7'93	41'20	2'45	1'60	0'25	0'02	1'380
UTR-13C-2	8'06	7'53	4'28	0'27	10'90	46'90	2'83	1'58	0'27	0'04	0'950
UTR-14-1	7'89	7'45	3'68	2'08	3'62	117'90	3'06	1'21	0'14	0'04	1'410
UTR-14-2	7'92	7'63	3'05	1'07	4'66	113'80	2'84	1'24	0'15	0'06	1'630
UTR-14-3	6'29	6'14	9'43	4'49	12'10	184'60	3'38	1'00	0'24	0'16	2'470
UTR-14-A-1	7'77	7'40	3'72	2'55	6'54	143'80	3'32	1'56	0'23	0'06	1'950
UTR-14-A-2	7'84	7'46	3'70	1'68	6'10	123'20	2'78	1'19	0'25	0'04	1'820
UTR-14-B-1	8'04	7'48	4'47	3'69	6'10	128'40	2'97	0'84	0'28	0'06	0'400
UTR-14-B-2	7'97	7'51	9'25	2'35	6'44	135'90	3'07	1'18	0'27	0'02	0'830

MUESTRA	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	M.O. (%) (ignic.)	M.O. (%) (oxid.)	C.I.C. (cmol/kg)	Complejo de cambio (cmol/kg)					C.E. dS/m
						Ca	Mg	Na	K	Acidez	
VIL-I-01	7'80	6'82	2'92	2'81	6'95	10'70	2'08	0'79	0'35	0'02	0'088
VIL-II-01	7'76	7'39	3'38	2'81	6'17	28'10	2'13	0'82	0'32	0'02	0'110
VIL-III-01	5'06	4'00	6'06	5'69	7'23	3'45	1'41	1'20	0'40	0'60	0'047
VIL-IV-01	4'97	3'87	4'96	5'36	8'83	4'64	1'58	1'16	0'60	0'86	0'027
VIL-4A-1	7'30	6'28	5'16	3'41	17'40	11'90	2'54	1'20	1'56	0'02	0'056
VIL-4A-2	7'46	6'67	4'48	3'48	11'60	8'00	2'52	0'98	0'37	0'02	0'054
VIL-4B-1	6'77	5'83	6'41	4'29	10'70	7'45	1'66	1'08	0'45	0'04	0'057
VIL-4B-2	7'87	7'47	3'63	2'48	5'67	13'60	2'37	0'60	0'27	0'04	0'107
VIL-5A-1	5'07	3'81	6'83	6'16	8'17	4'13	1'16	1'30	0'50	1'02	0'027
VIL-5A-2	5'05	3'85	11'20	6'50	7'66	3'68	1'40	0'98	0'40	1'20	0'030
VIL-6A-1	7'80	6'98	4'36	2'81	5'11	10'90	2'23	0'49	0'23	0'04	0'073
VIL-6A-2	6'15	4'91	6'19	4'22	9'36	5'94	1'80	0'96	0'49	0'06	0'040
VIL-6B-1	7'58	7'23	3'87	2'41	5'82	11'60	1'42	0'50	0'25	0'02	0'072
VIL-6B-2	7'75	7'16	4'07	2'74	6'89	10'00	1'72	0'80	0'25	0'02	0'067
VAL-02-1	6'07	4'63	14'40	9'58	27'80	22'70	1'86	0'63	0'87	0'18	0'230
VAL-02-2	5'10	3'42	2'45	1'61	7'33	1'64	0'75	0'59	0'43	3'82	0'023
VAL-02-3	4'84	3'16	18'20	0(*)	13'80	3'11	1'82	0'60	0'46	6'84	0'016
VAL-03-1	4'27	2'97	14'70	10'12	14'30	5'59	1'33	0'71	0'63	4'88	0'086
VAL-03-2	4'66	3'50	5'76	4'42	7'77	2'39	0'86	2'14	0'34	3'72	0'034
VAL-03-3	4'91	3'98	4'27	2'14	4'72	1'29	0'44	0'52	0'27	1'36	0'032
VAL-03-4	4'84	3'80	3'12	1'14	5'99	1'56	0'49	1'99	0'21	1'80	0'018
VAL-04-1	4'87	4'10	4'18	2'71	4'75	1'77	1'60	0'82	0'20	0'16	0'098
VAL-04-2	6'08	5'41	3'95	2'55	6'01	1'92	2'41	1'15	0'29	0'14	0'120
VAL-4A-1	7'05	6'44	2'78	2'48	5'68	2'07	2'49	0'72	0'20	0'06	0'076
VAL-4A-2	7'59	7'28	3'02	2'61	7'37	2'15	2'79	1'06	1'12	0'08	0'071
VAL-4B-1	5'86	5'46	2'46	1'94	5'16	1'71	1'83	0'87	0'23	0'12	0'064
VAL-4B-2	6'85	6'67	3'48	2'61	5'06	1'83	2'01	1'05	0'18	0'10	0'065
VAL-05-1	6'35	5'94	2'89	4'29	4'38	1'57	1'93	0'57	0'16	0'12	0'069
VAL-05-2	7'53	7'22	3'68	4'08	4'37	1'47	1'83	0'62	0'21	0'10	0'059
VAL-5A-1	3'88	3'34	5'25	3'42	7'97	1'47	0'79	0'79	0'17	4'56	0'076
VAL-5A-2	4'20	3'88	4'23	3'22	3'87	1'39	1'13	0'72	0'25	0'30	0'098
VAL-5B-1	3'64	3'29	5'95	4'35	4'30	1'22	0'54	0'72	0'22	1'50	0'110
VAL-5B-2	4'26	3'90	3'20	1'47	3'68	1'34	1'03	0'67	0'16	0'36	0'088
VAL-06-1	4'64	3'68	3'12	1'87	4'48	1'47	0'69	0'72	0'27	1'40	0'041
VAL-06-2	5'31	4'56	2'15	1'34	4'50	1'81	1'41	0'68	0'26	0'14	0'042
VAL-6A-1	4'53	3'74	2'98	1'34	4'62	1'47	0'69	0'71	0'22	1'48	0'036
VAL-6A-2	4'62	3'72	1'56	0'80	4'89	1'52	0'80	0'85	0'17	1'44	0'034
VAL-6B-1	5'59	5'05	2'85	2'28	4'82	1'75	1'73	0'79	0'15	0'10	0'054
VAL-6B-2	5'87	5'58	4'25	3'88	4'55	1'79	1'92	0'75	0'23	0'08	0'046
VAL-07-1	7'02	6'55	2'86	2'55	4'72	1'60	2'25	0'44	0'23	0'10	0'039
VAL-07-2	4'53	3'68	4'56	3'08	6'45	1'68	1'08	0'74	0'21	1'80	0'033
VAL-08-1	4'84	3'80	1'78	0'80	4'75	1'44	0'57	0'60	0'20	1'34	0'014
VAL-08-2	4'71	3'80	2'96	1'14	4'73	1'70	0'79	1'12	0'21	1'20	0'020
VAL-8A-1	4'80	3'82	2'88	1'07	4'13	1'50	0'60	0'74	0'17	1'18	0'016
VAL-8A-2	4'83	3'80	1'62	0'94	6'50	2'85	1'11	1'27	0'17	1'36	0'017
VAL-8B-1	4'87	3'81	1'95	1'14	4'63	1'30	0'52	0'55	0'08	1'58	0'020
VAL-8B-2	4'81	3'77	2'15	1'00	4'75	1'11	0'48	1'18	0'08	1'76	0'019

(*) Fue imposible determinar el contenido de carbono orgánico al no producirse viraje de color en el ensayo.

MUESTRA	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	M.O. (%) (ignic.)	M.O. (%) (oxid.)	C.I.C. (cmol/kg)	Complejo de cambio (cmol/kg)					C.E. dS/m
						Ca	Mg	Na	K	Acidez	
VIL-01-1	5'67	4'65	8'55	0'24	9'60	5'64	2'20	1'45	0'39	0'20	0'045
VIL-01-2	5'71	4'36	5'26	3'79	7'55	6'88	1'91	1'10	0'35	0'26	0'023
VIL-01-3	5'97	4'54	4'29	1'51	6'38	3'71	1'75	1'38	0'39	0'18	0'017
VIL-01-4	5'58	4'19	15'10	3'52	9'99	6'15	1'81	1'16	0'47	0'92	0'016
VIL-03-1	4'66	3'83	5'40	2'01	5'77	2'34	0'68	1'48	0'26	3'16	0'021
VIL-03-2	4'80	4'09	5'09	2'95	6'10	1'10	0'43	1'01	0'41	2'80	0'024
VIL-03-3	4'65	3'46	34'10	0'00	17'70	1'51	0'43	1'19	0'16	11'10	0'012
VIL-04-1	8'12	7'53	2'71	1'88	6'18	15'0	2'65	0'79	0'29	0'24	0'093
VIL-04-2	7'90	7'34	6'68	2'01	5'60	8'52	3'56	1'04	0'47	0'24	0'180
VIL-05-1	5'30	4'15	4'95	0'23	6'70	3'85	0'93	0'58	0'15	1'00	0'027
VIL-05-2	5'23	4'22	5'19	2'61	8'99	5'78	1'67	0'96	0'46	0'60	0'044
VIL-05-3	4'97	3'02	5'20	3'02	7'17	4'68	1'36	0'92	0'46	1'20	0'054
VIL-06-1	7'96	6'93	2'06	1'98	16'60	11'80	4'01	1'11	0'46	0'14	0'067
VIL-06-2	8'23	7'57	2'96	0'84	7'27	15'40	2'72	0'93	0'39	0'22	0'090
VIL-06-3	8'02	7'33	2'07	1'68	9'90	11'00	2'32	0'62	0'29	0'20	0'090
VIL-06-4	8'45	8'08	2'09	2'91	10'80	11'30	7'63	0'58	0'30	0'22	0'169
VIL-07-1	4'12	3'45	11'5	6'03	14'50	1'65	1'03	1'88	0'15	8'18	0'041
VIL-07-2	4'47	3'90	6'62	0'13	9'50	2'48	0'78	0'62	0'20	3'50	0'028
VIL-07-3	4'73	4'16	5'08	1'51	7'60	2'34	0'66	0'58	0'16	2'40	0'015
VIL-08-1	7'74	7'00	3'89	2'54	6'29	6'75	1'42	0'68	0'28	0'02	0'070
VIL-08-2	8'06	7'58	3'92	2'01	4'68	18'60	2'01	0'52	0'18	0'02	0'110
VIL-08-3	7'94	7'76	7'45	3'22	3'69	9'45	1'81	0'48	0'19	0'02	0'158
VIL-8A-1	7'65	6'66	4'96	2'75	5'66	7'20	1'55	0'70	0'26	0'02	0'042
VIL-8A-2	7'69	6'96	4'87	2'81	7'09	7'85	1'98	0'65	0'29	0'02	0'072
VIL-8B-1	7'84	7'31	3'52	2'21	4'59	11'80	1'64	0'55	0'23	0'02	0'088
VIL-8B-2	7'95	7'38	4'14	2'95	5'44	10'80	2'06	0'68	0'30	0'02	0'088
VAL-09-1	5'29	4'85	4'02	2'95	7'57	1'84	3'84	1'91	0'08	0'12	0'620
VAL-9A-1	3'83	3'13	5'23	0'36	4'25	1'53	1'00	0'50	0'12	1'10	0'104
VAL-9A-2	3'99	3'24	9'24	0'50	5'10	1'63	0'95	0'61	0'20	1'68	0'087
VAL-9B-1	4'48	3'96	9'09	0'42	5'20	2'27	1'93	0'80	0'23	0'12	0'328
VAL-9B-2	4'34	3'59	9'64	0'53	4'43	1'87	2'03	0'46	0'13	0'48	0'154
VAL-10-1	4'01	3'21	17'20	0'63	4'00	1'43	0'92	0'56	0'11	0'88	0'060
VAL-10-2	3'89	3'44	24'00	0'74	3'80	1'30	0'98	0'69	0'12	0'52	0'072
VAL-10-3	3'47	3'13	28'60	0'71	4'10	1'59	0'76	0'40	0'11	1'32	0'968
VAL-10A-1	4'17	3'42	9'83	0'32	4'45	2'11	1'27	0'40	0'13	0'44	0'058
VAL-10A-2	5'01	4'64	6'93	0'30	4'20	1'81	1'60	0'66	0'14	0'02	0'060
VAL-10B-1	5'96	5'47	7'42	0'46	4'55	2'54	1'84	0'40	0'15	0'04	0'155
VAL-10B-2	6'32	5'97	9'55	0'52	4'01	2'11	1'46	0'35	0'13	0'04	0'090
VAL-11-1	6'17	5'38	10'80	0'57	3'57	1'87	1'02	0'43	0'13	0'02	0'084
VAL-11-2	6'57	6'25	8'95	0'50	4'27	2'30	1'43	0'50	0'11	0'02	0'125
VAL-12-1	4'76	3'51	5'98	0'42	5'03	2'24	0'96	0'65	0'23	0'90	0'035
VAL-12-2	5'05	3'62	3'50	0'23	5'53	3'43	1'06	0'41	0'13	0'60	0'032

MUESTRA	% S pirítico	C.N.P. (t CO ₃ Ca/1000t material)
VIL-ES-01	0'440	11'3
UTR-ES-01	0'440	21'5
UTR-PIL-I	0,930	135'4
UTR-PIL-II	1,090	-0'9
UTR-PIL-III	4,540	-12'6
VAL-PIL-I	0,087	38'1
VAL-PIL-II	0,091	44'1
VAL-PIL-III	0,076	27'2
VAL-PIL-IV	0,370	32'2
VAL-PIL-V	0,290	40'0
VAL-PIL-VI	0,370	44'7
VIL-PIL-I	0,087	41'7
VIL-PIL-II	0,250	26'5
VIL-PIL-III	0,180	35'9
VIL-PIL-IV	0,160	49'5

MUESTRA	% S pirítico	C.N.P. (t CO ₃ Ca/1000t material)
VAL-04-1	0'134	Neg.
VAL-04-2	0'138	Neg.
VAL-05-2	0,156	Neg.
VAL-06-2	0'000	Neg.
VAL-07-1	0,151	Neg.
VAL-09-1	0,104	Neg.

MUESTRA	% S pirítico	C.N.P. (t CO ₃ Ca/1000t material)
VIL-05-2	0,270	7,2
VIL-03-3	0,250	-2'8
VIL-04-2	0,000	17,3

MUESTRA	% S pirítico	C.N.P. (t CO ₃ Ca/1000t material)
VIL-ES-01	0'440	11'3
UTR-ES-01	0'440	21'5
UTR-PIL-I	0,930	135'4
UTR-PIL-II	1,090	-0'9
UTR-PIL-III	4,540	-12'6
VAL-PIL-I	0,087	38'1
VAL-PIL-II	0,091	44'1
VAL-PIL-III	0,076	27'2
VAL-PIL-IV	0,370	32'2
VAL-PIL-V	0,290	40'0
VAL-PIL-VI	0,370	44'7
VIL-PIL-I	0,087	41'7
VIL-PIL-II	0,250	26'5
VIL-PIL-III	0,180	35'9
VIL-PIL-IV	0,160	49'5

MUESTRA	% S pirítico	C.N.P. (t CO ₃ Ca/1000t material)
VAL-04-1	0'134	Neg.
VAL-04-2	0'138	Neg.
VAL-05-2	0,156	Neg.
VAL-06-2	0'000	Neg.
VAL-07-1	0,151	Neg.
VAL-09-1	0,104	Neg.

MUESTRA	% S pirítico	C.N.P. (t CO ₃ Ca/1000t material)
VIL-02-1	0,270	7,2
VIL-03-3	0,250	-2'8
VIL-04-2	0,000	17,3

MUESTRA	% S pirítico	C.N.P (t CO₃Ca/1000t material)
UTR-01-2	0'640	-19'0
UTR-01-3	0,650	-24'5
UTR-02-3	1,750	1,95
UTR-04-3	0,350	164,9
UTR-09-2	0,150	321,3
UTR-09-3	0,100	313,8

MUESTRA	N(%)	P mg/kg	K asim. (mg/kg)
VAL-PIL-I	0,13	19,50	46,8
VAL-PIL-II	0,32	5,96	93,6
VAL-PIL-III	0,12	20,30	109,2
VAL-PIL-IV	0,15	4,12	62,4
VAL-PIL-V	0,37	6,69	101,4
VAL-PIL-VI	0,38	16,60	74,1
VIL-PIL-I	0,13	17,20	50,7
VIL-PIL-II	0,40	5,02	74,1
VIL-PIL-III	0,19	4,12	58,5
VIL-PIL-IV	0,27	45,30	101,4
VIL-PIL-V	0'16	4'75	56'3
UTR-PIL-I	0,14	3'00	23,4
UTR-PIL-II	0,10	1,78	42,9
UTR-PIL-III	0,29	0,48	15,6

4. INFORME SOBRE DETECCIÓN DE PROBLEMAS Y COMENTARIOS SOBRE EL PROCESO ANALÍTICO

Durante la realización de las determinaciones analíticas en las muestras de se han advertido algunos problemas derivados fundamentalmente de la naturaleza de estos suelos, que a continuación se detallan.

- **Análisis granulométrico.** Se ha puesto de manifiesto la existencia de una gran dificultad en la etapa de dispersión de algunas muestras, precisamente aquellas que presentan altos contenidos en sales solubles (probablemente cálcicas y/o magnésicas). La acción floculante de dichos cationes divalentes impide una correcta dispersión de la muestra, que es requisito indispensable para una correcta cuantificación de las fracciones texturales. El tratamiento seguido con dichas muestras fue el lavado repetido de las mismas con agua destilada con objeto de lograr la eliminación del exceso de sales solubles. En algunos casos, tras lavados diarios durante un prolongado periodo de tiempo (incluso superior a tres semanas), se evidenció la deficiencia del método y, con objeto de evitar pérdida de masa de suelo en las sucesivas etapas de lavado y decantación, se decidió estimar la textura al tacto según lo propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- **Materia Orgánica.** Tras realizar la determinación de los contenidos en materia orgánica en las primeras entregas de muestras de suelo del proyecto mediante el método inicialmente propuesto -determinación de carbono orgánico por ignición a baja temperatura (Jackson ,1964)- se observaron valores excesivamente altos si se considera la naturaleza eminentemente mineral de estos suelos. Este hecho puede ser atribuible a la pérdida por ignición de otros compuestos presentes en el suelo además del carbono orgánico, lo cual sugirió la necesidad de aplicar otro tipo de metodología a efectos comparativos.

De este modo se realizó en todas las muestras del proyecto el análisis de los contenidos de materia orgánica empleando el método anteriormente citado y el método tradicional de análisis de materia orgánica en suelos basado en la oxidación de la muestra con disolución de dicromato potásico en medio fuertemente sulfúrico (Métodos Oficiales de Análisis de Suelos, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986)). La aplicación de esta metodología en estos suelos tampoco debe considerarse totalmente correcta, ya que es probable una sobreestimación de los contenidos de materia orgánica debida a la oxidación de los sulfuros, frecuentemente presentes en estos suelos, con el reactivo oxidante utilizado. A pesar de ello, los valores de materia orgánica obtenidos en las muestras más afectadas por residuos de minería fueron siempre bastante inferiores respecto a los obtenidos por el método inicialmente propuesto, y pueden considerarse por tanto menos erróneos. Las muestras de suelo menos afectadas por residuos mineros mostraron unos contenidos en materia orgánica similares por ambos métodos, así como las muestras de suelos naturales.

- **Cationes Básicos de Cambio y Capacidad de Intercambio Catiónico.** Los cationes básicos de cambio (Ca, Mg, Na y K) fueron determinados tras extracción

con el método propuesto inicialmente, extracción en etapas sucesivas con disolución de acetato amónico 1N tamponada a pH (Métodos Oficiales de Análisis, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986)). Este método, ampliamente utilizado, suele presentar problemas en suelos carbonatados ó ricos en sales solubles. El reactivo utilizado puede disolver parcialmente los carbonatos presentes en el suelo, por lo que, tradicionalmente, en suelos carbonatados suele preferirse la utilización de otros reactivos menos agresivos, tales como la disolución de cloruro bórico-trietanolamina tamponada a pH 8'2 con objeto de impedir la disolución de carbonatos y, por tanto, que la extracción de calcio o magnesio integrantes de los carbonatos se sume a la extracción de calcio ó magnesio presentes en posiciones de cambio.

La posible extracción de calcio y magnesio procedentes de carbonatos ú otras sales que los contengan en algunas muestras de suelo analizadas elevó anormalmente los contenidos de estos metales durante la extracción de los cationes de cambio. Ello provocó que el balance entre cationes básicos y ácidos de cambio frente a la capacidad total de cambio no fuera equilibrada.

Dado que es inevitable la extracción conjunta de Ca y Mg presentes en posiciones de cambio junto a parte de los procedentes de la disolución de sales presentes en el suelo, creemos más conveniente que en estas muestras de suelo se denominen "cationes extraíbles con AcNH_4 a pH 7" en lugar de "cationes de cambio".

El resto de muestras de suelo analizadas y no afectadas por carbonatos no presentaron ninguna dificultad en la caracterización de los cationes de cambio y su capacidad total de cambio, por lo que para ellas la metodología propuesta sí parece adecuada.

A.III. FOTOGRAFÍAS



Fotografía A.III.1 Panorámica general del Grupo Carrasconte (M.S.P.) desde el noroeste. A la izquierda, sobre el Río Sil se situa la zona restaurada elegida para este estudio (junio, 2002).



Fotografía A.III.2. Área restaurada elegida para la toma de muestras superficiales y estudio de perfiles de suelos perteneciente al Grupo Carrasconte: Zona de Carrasconte (junio, 2002).



Fotografía A.III.3. Aspecto que ofrecen los taludes orientados sensiblemente al norte en la Zona de Carrasconte. Se puede observar la incidencia de la erosión en regueros (septiembre, 2001).



Fotografía A.III.4. Como en la anterior, aunque con un ángulo distinto, se muestra el aspecto de los taludes orientados al norte en la Zona de Carrasconte (junio, 2002). También se observa la diferente coloración de la cubierta vegetal.



Fotografía A.III.5. Vista en perfil de los taludes orientados al norte en la Zona de Carrasconte (junio, 2002).



Fotografía A.III.6. Antigua escombrera situada en la Zona de Miranda-Minas de la Mora, que fue elegida para caracterización superficial (junio, 2002).



Fotografía A.III.7. Escombreras en la Zona de Miranda-Minas de la Mora (octubre, 2002).



Fotografía A.III.8. Aspecto caótico de explotación abandonada en la Zona de Miranda-Minas de la Mora (septiembre, 2001).



Fotografía A.III.9. Acopios de estériles muy carbonosos al borde de la plataforma superior de una escombrera en la Zona de Miranda-Minas de la Mora (septiembre, 2001).



Fotografía A.III.10. Zona de Valdesamario, en las proximidades de la localidad del mismo nombre. Se trata de una serie de huecos parcialmente rellenos mediante la remodelación de las escombreras durante el año 2000. En primer plano se ve la vega del Arroyo Valdesamario (octubre, 2002).



Fotografía A.III.11. Escombrera remodelada que tapa parcialmente un hueco de explotación en la Zona de Valdesamario. Esta escombrera fue seleccionada para la caracterización superficial (octubre, 2002).



Fotografía A.III.12. Escombrera remodelada en la Zona de Valdesamario. Esta escombrera fue seleccionada para la caracterización superficial (octubre, 2002).



Fotografía A.III.13. Fondo de la Corta de las Ranas, en el área donde la escombrera recubre parcialmente el hueco de la explotación. A la derecha se observa parte del frente (julio, 2002).



Fotografía A.III.14. Aspecto que ofrece la superficie del talud orientado al norte de la escombrera de la Corta de las Ranas (abril, 2002).



Fotografía A.III.15. Precipitados salinos en la superficie de la escombrera de la Corta de las Ranas (abril, 2002).



Fotografía A.III.16. Perfil de suelo natural en las inmediaciones de la Corta de las Ranas (abril, 2002).



Fotografía A.III.17. Panorámica del paisaje al noreste de la Zona de Sabina-Umbrión (MFUSA), en las inmediaciones de la población de Utrillas (junio, 2001).



Fotografía A.III.18. Aspecto de las superficies en proceso de restauración en el área de Vinagre (MFUSA) (junio, 2001).



Fotografía A.III.19. Superficies restauradas, en producción de cereal, al sur de la Zona de Sabina-Umbrión (MFUSA) (junio, 2001).



Fotografía A.III.20. Aspecto que ofrecen algunas de las escombreras de la Corta Santa Lucía (agosto, 2002).



Fotografía A.III.21. Aspecto del hueco de la explotación abandonada Corta Santa Lucía (agosto, 2002). Puede compararse la apariencia que ofrece esta fotografía y la anterior con las fotografías A.III.18. y A.III.19. correspondientes a las áreas restauradas por Minas y Ferrocarriles de Utrillas.



Fotografía A.III.22. Taludes de solana en la Zona de Sabina-Umbrión (junio, 2001). A la derecha se observan dos parcelas para el estudio de la erosión.



Fotografía A.III.23. Hueco de Alemanes (MFUSA) (junio, 2001). Actualmente ha sido parcialmente rellenado y está en proceso de restauración.



Fotografía A.III.24. Panorámica de taludes en solana en la Zona de Sabina-Umbrión (MFUSA) (marzo, 2002). Pueden observarse, tanto las huellas que dejó el subsolado, como los regueros y cárcavas que se forman a pesar de que se diera dicha labor siguiendo curvas de nivel.



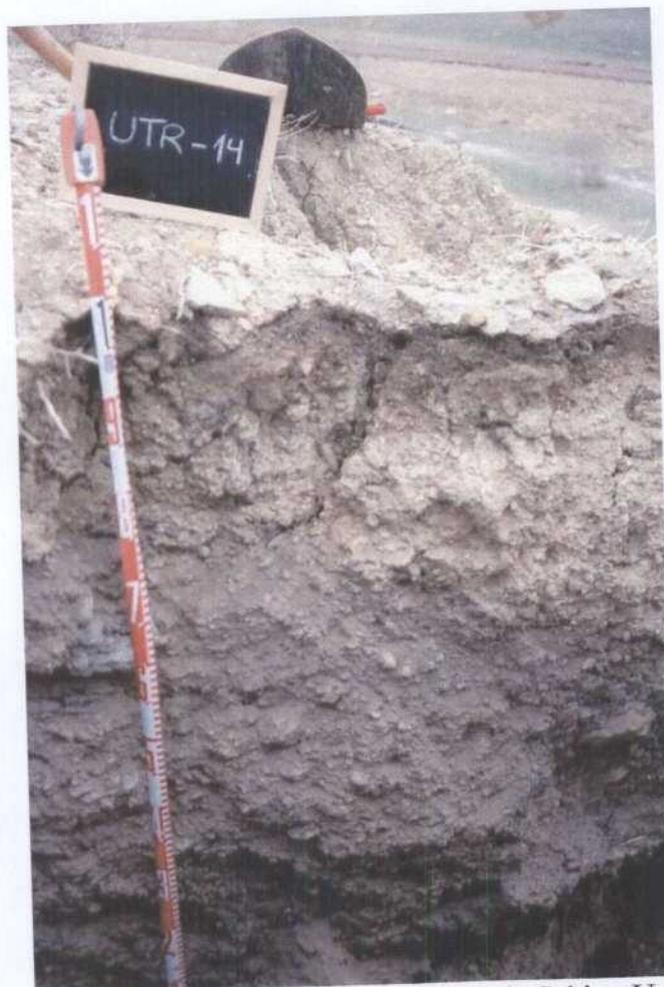
Fotografía A.III.25. Plataforma superior y taludes en umbría en la Zona de Sabina-Umbrión (MFUSA) (marzo, 2002).



Fotografía A.III.26. Imagen que muestra la profusión de regueros, cárcavas y fenómenos de sufusión en los taludes de solana de la Zona de Sabina-Umbrión (marzo, 2002).



Fotografía A.III.27. Detalle de la conversión de un fenómeno de tubificación en una cárcava en los taludes de la Zona de Sabina-Umbrión (marzo, 2002).



Fotografía A.III.28. Perfil de suelo minero en la Zona de Sabina-Umbrión (marzo, 2002).



Fotografía A.III.29. Perfil de un suelo natural al sur de la Zona de Vinagre (MFUSA) (junio, 2001).



Fotografía A.III.30. Detalle del método de muestreo en superficie sobre una escombrera.