

Caracterización geoambiental de lugares alterados por minería de carbón en la provincia de León (España)

J.C. Arranz González

Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid
E-mail: jc.arranz@igme.es

RESUMEN

Algunos lugares afectados por la minería a cielo abierto son gradualmente colonizados por la vegetación, iniciándose procesos de formación de suelo, pero muchos otros presentan problemas edáficos que restringen largamente la colonización. Las situaciones que pueden encontrarse con posterioridad a la extracción minera abarcan desde el simple abandono de huecos y escombreras hasta la construcción de suelos artificiales sobre una topografía conformada, utilizando capas de suelo, rocas excavadas, o ambos materiales. En cualquier caso, el desarrollo vegetal puede ser desigual, y tal heterogeneidad no puede siempre explicarse atendiendo sólo al tiempo transcurrido, o a la influencia climática. Partiendo de estas consideraciones, se han analizado las propiedades superficiales de terrenos mineros, y se han estudiado perfiles de suelos mineros y naturales. Las investigaciones se localizaron en tres zonas mineras de carbón españolas, presentando aquí parte de los resultados principales obtenidos en Valdesamario y Villablino (provincia de León). Los suelos descritos sobre las áreas en rehabilitación estudiadas muestran un desarrollo incipiente y propiedades heredadas de la acción humana antes que de procesos naturales. Se ha visto que estos suelos se acomodan bien en la clasificación propuesta por investigadores de *West Virginia University*. La menor cobertura vegetal en estos suelos sólo puede explicarse por la elevada compactación, o porque el material que quedó en superficie carece de un banco de semillas y es biológicamente inerte. Se constata, además, que la presencia de materia orgánica fósil resta importancia a la medida de la materia orgánica como elemento de juicio para evaluar la calidad del suelo.

Palabras clave: León, minería de carbón, rehabilitación de terrenos, suelos mineros

Geoenvironmental characterization of sites affected by coal mining in the province of León (Spain)

ABSTRACT

Some abandoned mine sites will be gradually colonized in a relatively short time, initiating soil development processes, but contrary, in many other sites edaphic problems limit plant establishment a long time. There is a great range of different situations that can be found in areas where mining is finished, from the simple abandonment of pits and spoil tips to areas where restoration works have been carried out leading to establish an artificial soil. Vegetation cover in all these sites varies greatly, depending on many factors apart from the time passed or the climatic benignancy. Taking into account all these considerations, minelands surface properties has been analysed, and minesoils and natural soils profiles has also been studied. Investigations have been located in three coal mining areas of Spain. A portion of main results obtained from the Valdesamario and Villablino zones (León province) are presented in this paper. Soil profiles described in the reclaimed sites can be considered as very young soils, still undergoing incipient development. The properties of these soils have been more influenced by human action than by natural processes. Minesoils aptly fit into the classification proposed by researchers of West Virginia University. The lower plant presence and vegetation cover in these soils only can be explained by the high compaction of the surface layers or its inability to act as a seeds bank. Just as has been, analysis of results induce to feel that the presence of fossil organic matter reduce the importance of organic matter as a key element to assess minesoil quality.

Key words: coal mining, land reclamation, León province, mine soils

Introducción

Box (1978) introdujo el concepto de área drásticamente alterada, definiéndola como aquella superficie de terreno en la que la vegetación y la comunidad animal han sido eliminados y la mayor parte de los horizontes superiores del suelo se han perdido, alte-

rado o enterrado. En estas zonas, los procesos normales de sucesión ecológica secundaria pueden requerir periodos de tiempo cuyo orden de magnitud supera la dimensión de la vida humana, hasta la recuperación de la situación original u otro estado que puede no ser el mismo que el inicial. La minería a cielo abierto está entre las actividades humanas capa-

ces de generar este tipo de áreas drásticamente alteradas, pues aunque es cierto que algunos lugares afectados por la minería a cielo abierto han sido recolonizados por la vegetación, muchos otros presentan problemas de carácter edáfico que restringen el establecimiento de la vegetación durante décadas o siglos (Johnson y Skousen, 1995). No obstante, en los tipos de minería que permiten la transferencia o el relleno de huecos y el tapado de frentes rocosos con materiales sueltos puede pensarse en una restauración casi en sentido estricto, siempre y cuando las condiciones de suelo y vegetación se reconstruyan, después de una planificación de operaciones de movimiento de tierras que dejen en superficie un substrato apropiado con una topografía semejante a la original. La minería de carbón a cielo abierto es uno de los tipos de minería que más posibilidades ofrece para que se den estas circunstancias, y por ello se presta a que el proceso de rehabilitación del terreno pueda ser enfocado considerando preferentemente los aspectos relacionados con la puesta en marcha del sistema suelo-vegetación.

Los suelos mineros (ing. *minesoils*) originados en áreas mineras de carbón han sido objeto de numerosas investigaciones llevadas a cabo muy mayoritariamente fuera de nuestro país. La consideración de estos materiales dispuestos en la superficie del terreno como "suelos", refleja una creencia consciente en un cierto potencial productivo sobre algunas de las áreas alteradas (Plass, 1978; Opeka y Morse, 1979). Al emplear el concepto de suelo minero, se está aceptando una definición de suelo abierta: 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 (Soil Survey Staff, 1975). Severson y Gough (1983) entienden el suelo minero como aquel que se refiere a cualquier tipo de material de recubrimiento (*topsoil*, subsuelo, estéril o cualquier combinación de estos materiales) que queda intencionadamente en la superficie del terreno minero como medio de crecimiento de la vegetación. Claramente, es la definición que, estando de acuerdo con el concepto de suelo apuntado más arriba, incluye una mayor variedad de casos reales. Ya sea de forma casual, improvisada o rigurosamente planificada, el suelo que haya sido creado mediante vertido o extendido en la superficie de materiales geológicos no consolidados, capas de suelo, o ambos, en una secuencia vertical de mayor o menor calidad y espesor, marcará las posibilidades de utilización futura del terreno y su capacidad productiva. Por ello, la planificación de los usos futuros debería estar enormemente ligada a

las características del suelo obtenido con las prácticas de rehabilitación proyectada o efectivamente realizada. Este trabajo se centra precisamente en el estudio y caracterización de los suelos presentes en superficies alteradas por la minería a cielo abierto sitas en la parte más oriental de la cuenca minera de Villablino y en el Valle de Valdesamario (León), como parte de los resultados obtenidos en el proyecto "Investigación geoambiental en áreas alteradas por actividades mineras" (IGME, 2003), que se desarrolló también en la provincia de Teruel.

Descripción de las áreas y zonas de trabajo

Las áreas designadas aquí como Valdesamario y Villablino se corresponden, en lo que respecta a las características geológico-mineras, con las denominadas Subzona Bierzo oriental "Valdesamario" y Subzona Villablino, tal y como se definen en la Actualización del Inventario de Recursos Nacionales de Carbón (IGME, 1985), que se citará en adelante AIRNC. Estas áreas no responden a una delimitación exacta, sino que sólo sirvieron como marco de situación territorial de aquellos lugares en los que se encontraron circunstancias favorables para el desarrollo de los trabajos de campo, lo que se denominaron zonas de trabajo (Carrasconte y Miranda-Minas de la Mora, en el área de Villablino; Valdesamario y Corta de las Ranas, en el área de Valdesamario). En las zonas denominadas Miranda-Minas de la Mora y Valdesamario se estudiaron escombreras en sentido clásico. Sin embargo, estas páginas sólo harán referencia a los estudios desarrollados sobre lo que pueden considerarse superficies en proceso de rehabilitación, identificadas como zonas de trabajo de Carrasconte (El Salguero) y Corta de Las Ranas. La información completa derivada de toda la investigación puede ser consultada en IGME (2003). En la Figura 1 se muestra el marco geográfico donde se sitúan las zonas de trabajo.

La descripción que sigue se apoya en la información extraída de las hojas MAGNA 101 (Villablino) y 128 (Riello); del mapa y memoria correspondiente a la hoja de Cangas de Narcea (1990), del Mapa Forestal de España, así como de otras fuentes (Díaz González y Penas Merino, 1984; IGME, 1985; ITGE, 1997; IGME, 2002). También fue elaborado un análisis climático a partir de la información disponible del Instituto Nacional de Meteorología para las estaciones de Barrios de Luna, Piedrafita de Babia, Murias de Paredes, Villameca y San Martín de la Falamosa.

En Villablino, el Carbonífero aparece discordante sobre el resto de materiales más antiguos, tanto de

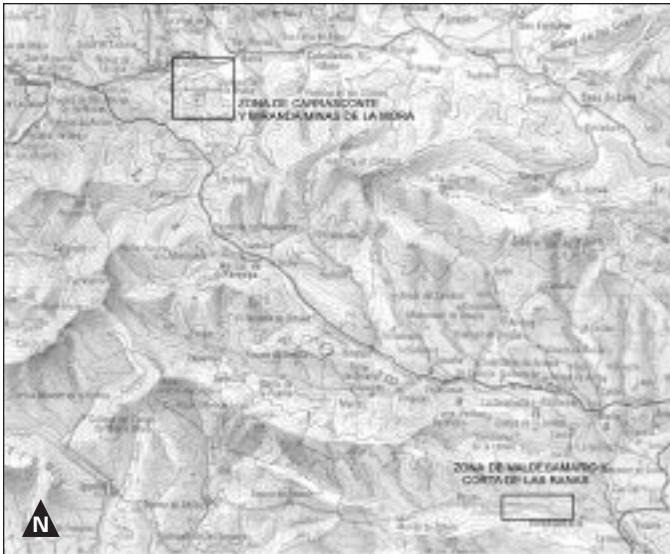


Fig. 1. Situación de las zonas de trabajo pertenecientes a las áreas Villablino y Valdesamario (provincia de León)

Fig. 1. Location of study sites in the areas of Villablino and Valdesamario (province of León)

la Zona Cantábrica como de la Astur Occidental Leonesa. La sedimentación se inicia con unos conglomerados de aspecto brechoide, que afloran de manera discontinua, adquiriendo mayor desarrollo en la parte occidental. A continuación, se deposita un 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. Encima se sitúa un nivel conglomerático, de mayor desarrollo en la parte occidental de la cuenca, mientras que más al Este sólo se ha localizado en pequeños afloramientos. A continuación se deposita el tramo superior, constituido por una secuencia ciclotemática, que incluye abundantes capas de carbón y es globalmente similar al tramo inferior. La abundante flora existente permite asignar una edad Estefaniense B alto-Estefaniense C para el conjunto.

En el área de Valdesamario, en discordancia con los materiales más bajos, aparece una potente serie de hasta 4000 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.

Los estériles que la minería genera en Valdesamario y Villablino poseen características parecidas, derivadas de la semejanza estratigráfica del Estefa-

niense en ambas cuencas. En ambos casos se pueden describir como fragmentos de areniscas (litarenitas de matriz muy escasa), lutitas (limolitas y argilitas de matriz pelítica muy poco recrystalizada), las cuales suelen denominarse también pizarras si presentan cierta dureza, y restos de carbón.

En Villablino, todo el entorno de la zona 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. La relación entre las estructuras hercínicas y el relieve actual es determinante en ambas comarcas. Son importantes los depósitos eluviales en el entorno del denominado Campo de la Mora y de la Ermita de Carrasconte.

El relieve en el área de Valdesamario es descrito como 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 terraza superior conectado con la terraza baja y cauce actual del Río Valdesamario.

La cuenca minera de Villablino se enclava en la Región Eurosiberiana. El período frío supera los nueve meses, siendo posibles las heladas entre septiembre y junio. La zona minera se sitúa en las proximidades de Piedrafita de Babia (tm anual de 8'7 °C a 1200 m) por lo que el frío y la duración de los períodos de helada pueden ser importantes factores limitantes para la actividad vegetal en dicha zona. La mayor parte de la superficie del área de Villablino se sitúa en el piso Montano superior (Altimontano). Las cumbres en este entorno pertenecen al piso Subalpino. En cuanto a las precipitaciones, varían 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, mientras que en el entorno de Piedrafita de Babia se alcanzan 1100 a 1200 mm. Dominan los terrenos situados en los pisos Húmedo inferior a Húmedo superior. 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.

El área de Villablino posee unas características climáticas y edáficas que determinan el dominio de terrenos correspondientes a series de vegetación montanas y acidófilas del roble albar (*Quercus petraea*) y del roble melojo (*Quercus pyrenaica*). Los robledales albares y los abedulares de *Betula celtiberica* son los bosques caducifolios en este área, en los que, respectivamente, dominan el roble albar o el abedul, pudiendo verse acompañados mutuamente, así como del híbrido entre el roble albar y el carbayo (*Quercus x rosacea*) o el acebo (*Ilex aquifolium*), entre otras especies. Los fondos de valle o áreas más bajas y próximas a cursos de agua entrarían a formar parte de terrenos propios de bosques de ribera: fresnedas de *Fraxinus excelsior* y saucedas arbustivas de *Salix cantabrica*, con *Populus nigra* y *Salix caprea*. El resto de este área se recubre de matorrales subseriales: brezales y piornales, mayoritariamente, junto a pinares de repoblación. También existen manchas de pastizales vivaces y prados de siega, más húmedos o de fondo de valle, que sustituyen en buena parte a la vegetación original de bosques de ribera, con presencia en los mismos de elementos del bosque original y otros introducidos como: *Populus nigra*, *Populus tremula*, *Salix cantabrica*, *Salix caprea*.

El área de Valdesamario está situada al noreste de la depresión del 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. En las estaciones meteorológicas próximas son posibles las heladas entre finales de septiembre y finales de mayo, con un período frío de ocho meses. A mayor altura o en umbría más marcada, es previsible mayor humedad y mayor incidencia de las bajas temperaturas. La precipitación anual oscilará previsiblemente entre los 700 y los 1000 mm en el área de Valdesamario. 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 la estación de Villameca, pudiéndose considerar meses relativamente secos julio y septiembre en todo el área, y seco el mes de agosto, dando lugar a un período seco moderado, propio del clima Mediterráneo húmedo.

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. Ocupa territorios pertenecientes a dos series de vegetación silicícolas, supra y meso-

mediterráneas, húmedas, del melojo (*Quercus pyrenaica*). Los fondos de valle son propios de las geoseries del aliso (*Alnus glutinosa*) y del sauce salvifolio (*Salix salvifolia*).

En cuanto a la vegetación natural, al margen de pequeños agrupamientos dispersos, únicamente en la ladera de la margen derecha dominan importantes manchas de melojar, con porte arbóreo y arbustivo, y presencia de *Quercus robur*, que engarzan con prados de fondo de valle. Dichos prados son trebolares, orlados, en los regatos y canales, por especies como *Quercus pyrenaica*, *Salix salvifolia*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus angustifolia*, etc. Los márgenes del arroyo están cubiertos de una arboleda dominada por *Alnus glutinosa* con presencia, entre otros, de *Populus nigra* y *Ulmus minor*.

Las labores mineras situadas en las laderas y cabeceras de los tributarios de la margen izquierda del río afectaron, sobre todo, a brezales xerófilos mixtos, y en posiciones más elevadas están presentes grandes extensiones repobladas con pinos. En los brezales destacan *Erica cinerea*, *Erica aragonensis* y *Genistella tridentata*. Los matorrales de la familia de las leguminosas se hacen más abundantes en las proximidades de las manchas de melojo presentes en las vaguadas.

Las transformaciones del medio más importantes -tanto en Villablino como en Valdesamario- vienen ligadas secularmente al uso del fuego. 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, 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 y de fondo de valle en un "bocage" de prados naturales, cultivos tradicionales y setos, los cuales van dando paso a huertas en la proximidad de los pueblos.

La mayoría de los suelos que se extienden por estos territorios son en esencia de eminente vocación forestal o para la conservación de la vegetación natural. Las fuertes pendientes, la baja alterabilidad de los materiales en las zonas culminantes y los procesos de deposición en los fondos de valle, son factores que limitan la existencia de suelos muy evolucionados. No obstante, la precipitación 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: Typic Udifluent y Aquic

Udifluent, asociados a Typic Fluvaquent o Typic Fluvaquept en zonas como el Campo de la Mora (Villablino), 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, caracterizadas por la presencia de un horizonte B_w. Cuando el suelo se adelgaza en las zonas donde los procesos de erosión van siendo progresivamente más importantes, aparece una gradación que pasa por Lithic Dystrochrept hasta Lithic Udorthent y roca desnuda aflorante. El ascenso sobre las laderas lleva a encontrar Typic y Lithic Haplumbrept. Aparecerán también suelos del tipo Umbric Dystrochrept, sobre areniscas y cuarcitas con cubierta de brezal. En esta catena altitudinal, sólo en las zonas más altas, pueden estar presentes Typic y Lithic Cryumbrept asociados a Cryorthents y Cryochrepts.

La zona denominada 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, desde donde se accede a la zona de estudio. Es un hueco minero no completamente rellenado, 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 hidrosembrió el año anterior al inicio del proyecto, esperando 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. Los límites enrasan con el terreno natural a cotas de 1200 y 1290 m. El límite Norte es próximo al inicio de un marcado cambio de pendiente natural debido al encajamiento del río Sil, que corre al pie del mismo. La vegetación en esta parte es un robledal denso. Originalmente toda la zona afectada debió ser mayoritariamente un robledal.

En el área de Valdesamario, 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. La zona de trabajo denominada

Corta de las Ranas se sitúa 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. Abarca cotas que varían entre los 1070 y 1110 m, aproximadamente. Se accede desde la carretera CV-128/21 procedente de Valdesamario en dirección a Tremor, tomando una pista que cruza el río por un viejo puente, a unos tres kilómetros de la población. En 1990 se iniciaban las labores de apertura del hueco. 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 en 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. El frente excava areniscas y cuarcitas ordovícicas que buzcan 40-45° sur a contrapendiente, mostrando una inclinación de unos sesenta grados y unos treinta metros de altura. Durante el período 96-97 se realizó una cuneta perimetral sobre el frente. También se plantaron en toda la corta 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 que fueron cubiertas con tierras o estériles parduscos, frente a la escasez de vegetación de las superficies donde quedan expuestos estériles negros. La vegetación del entorno más próximo es un melojar bastante bien conservado, con mezcla de pies arbustivos y arbóreos.

Materiales y métodos

Como ya se ha comentado, en estas páginas se hace referencia a los estudios realizados sobre suelos mineros localizados en superficies en proceso de restauración de la provincia de León, en las que se realizaron operaciones tales como: remodelado topográfico, recubrimiento con materiales seleccionados (estériles o suelos nativos), abonados, siembras (en Carrasconte), plantaciones (en la Corta de las Ranas), etc., así como de los trabajos de caracterización de suelos nativos en el entorno inmediato de las zonas de trabajo.

El tipo, porte y densidad de la vegetación, o su total ausencia, junto con aspectos tales como pendiente, orientación, apariencia externa (color, pedregosidad, presencia de precipitados), sirvieron de base para la delimitación de subunidades o sectores dentro de cada una de las zonas de estudio, los cuales fueron descritos pormenorizadamente

(IGME, 2003). En cada sector se realizó una caracterización edafológica superficial y una descripción y muestreo por capas u horizontes de, al menos, un perfil completo.

La caracterización edafológica de la superficie de los suelos en los distintos sectores diferenciados visualmente se realizó a partir de muestras compuestas de varias submuestras en cada uno. Normalmente, se recomienda formar cada muestra representativa de cada una de las divisiones del terreno juntando entre 15 y 30 submuestras, tomadas hasta una profundidad prefijada, de tamaño aproximadamente igual, a lo largo de un transecto aleatorio. Fijando en treinta el número de incrementos muestrales tomados por muestra representativa, además de cumplirse las recomendaciones corrientes en terrenos agrícolas, se observa lo prescrito por Hageman y 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: se tomaron muestras compuestas en cada uno de los sectores, y en cada subdivisión de aquellos de mayor superficie o superficies de especial interés. Las submuestras se extrajeron clavando una pequeña pala de jardinero a una profundidad de 10 cm en la pared de un pocillo, con un movimiento hacia arriba; las piedras, salvo las muy grandes, no se separaron.

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. También se estudiaron algunos perfiles de suelos nativos seleccionados con el objetivo de obtener información analítica que permitiera la comparación. Las descripciones de los perfiles se realizaron de acuerdo con los modelos clásicos, como los descritos en el manual de reconocimiento de suelos (Soil Survey Staff, 1993), y la guía para la descripción de perfiles de suelos (FAO, 1990). Las muestras tomadas en los perfiles se corresponden con los horizontes o capas que fue posible discernir sobre las caras de la correspondiente calicata.

La batería de análisis convencionales, proyectada para su aplicación generalizada a todas las muestras, se basó en la que se propone en el Manual de Procedimientos para la Cartografía de Suelos del PNCTA (ITGE, 1998). Además, fueron tenidas en cuenta las recomendaciones de Sandoval y Power (1977) y el trabajo de Sobek *et al.* (1978), los cuales consideran que los procedimientos descritos pueden ser aplica-

dos igualmente a suelos y estériles de mina, sin mirar su profundidad original. Por otro lado, se consideró de gran interés realizar, con carácter especial, algunos ensayos encaminados a establecer la Contabilidad Ácido-Base (*Acid-Base Accounting*), que han sido muy empleados para la caracterización ambiental de recubrimientos y estériles mineros. También se añadieron algunas medidas de los puntos de agua en el suelo y de niveles de fertilidad. La analítica realizada comprende pues:

- 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 por dos métodos (ignición en estufa y método Walkley-Black de oxidación con dicromato), pH en suspensión suelo/agua 1:2'5 y suelo/KCl 1:2'5, capacidad de intercambio catiónico, cationes ácidos de cambio (acidez cambiante), cationes básicos de cambio (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} de cambio) y 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 pirítico, capacidad de neutralización potencial, determinación de la capacidad de retención de agua disponible -por diferencia entre la capacidad de retención de humedad a 33 kPa (0'33 atm.) y a 1500 kPa (15 atm.) en la fracción tierra fina-, y fertilidad (contenidos en N Kjeldahl, P y K asimilables).

La generalidad de ellos se realizó siguiendo las descripciones reunidas en la publicación "Métodos oficiales de Análisis-Tomo III", del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1986). Para la medida de la densidad aparente se utilizó un procedimiento no normalizado de uso corriente en los Laboratorios de Edafología de la Universidad Autónoma de Madrid, empleando baños a rebose de agregados de suelo en mercurio. Se utilizó el procedimiento descrito por Sobek *et al.* (1978) para medir el contenido en azufre pirítico y el de Jackson (Jackson, 1964) para medir la capacidad de neutralización potencial. Por último, los cationes ácidos de cambio se midieron empleando el procedimiento descrito en Coleman y Thomas (1967).

Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos para

los principales parámetros físicos medidos en muestras compuestas superficiales. Puede verse 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 (desde 1'11 a 2'12 Mg/m³). La compactación superficial se hizo patente durante la toma de muestras. El contenido en elementos gruesos supera siempre el 60%, llegando a alcanzar 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.

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 mayoritariamente Franco-arcillo-arenosas. 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 (con valores superiores a 1'7 Mg/m³).

En cuanto a las características químicas, en Carrasconte, el pH superficial varían entre 4'97 y 7'80. En los de menor pH, la acidez de cambio llega a ser importante (hasta 1'9 para una capacidad total de intercambio de 6'91 cmol(+)/kg). 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%). Aquí nin-

guna de las muestras es sospechosa de contener restos de carbón, por lo que los contenidos presentes derivan de los que tuvieron en su origen o de la presencia de una cubierta herbácea. 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° C en la solución 1/5).

El pH es muy fuertemente ácido en cinco de los doce sectores diferenciados en la Corta de las Ranas, y fuertemente ácido en cuatro sectores. En el resto varía de moderadamente ácido a ligeramente ácido. En algunos casos la acidez de cambio es bastante elevada, lo que teóricamente puede suponer problemas de toxicidad por aluminio. Los valores de CIC resultaron muy bajos en general (de 4 a 6'5 cmol(+)/kg). 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 parecen mucho más lógicos, si se considera el tipo de material que se está analizando (van desde 0'42% a 2'95%). 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%.

Un sector, el denominado Sector XII, puede considerarse ligeramente salino, con una conductividad eléctrica de 0'246 dS/m a 25° en la solución 1/5. En él se llegan a apreciar manchas blancas de precipitados superficiales en las épocas secas.

Llama la atención que tres de los sectores con

| MUESTRA | ARENA (%) | LIMO (%) | ARCILLA (%) | DENSIDAD APARENTE | E.G. (%) | HUMEDAD (%) |
|----------|-----------|----------|-------------|-------------------|----------|-------------|
| VAL-I-1 | 79'3 | 10'3 | 10'0 | | 71'4 | 0'22 |
| VAL-I-2 | 71'8 | 12'3 | 15'9 | 2'12 | 73'1 | 0'58 |
| VAL-II | 68'9 | 14'2 | 16'9 | 1'11 | 63'6 | 0'46 |
| VAL-III | 66'8 | 21'4 | 11'8 | 1'62 | 77'7 | 0'70 |
| VAL-IV | 66'8 | 13'9 | 19'3 | 1'71 | 75'1 | 0'66 |
| VAL-V | 66'8 | 16'4 | 16'8 | 1'74 | 69'0 | 0'71 |
| VAL-VI-1 | 66'4 | 14'8 | 18'8 | 1'76 | 68'7 | 0'37 |
| VAL-VI-2 | 66'4 | 14'8 | 18'8 | | 70'2 | 0'55 |
| VAL-VII | 61'4 | 17'3 | 21'3 | 1'59 | 63'1 | 0'72 |
| VAL-VIII | 62'1 | 20'7 | 17'2 | | 71'9 | 0'53 |
| VAL-IX | 59'6 | 23'2 | 17'2 | 1'59 | 65'4 | 0'69 |
| VAL-X | 61'2 | 16'6 | 22'2 | 1'70 | 63'7 | 1'28 |
| VAL-XI | 66'8 | 13'7 | 19'5 | 1'83 | 65'2 | 0'13 |
| VAL-XII | 68'4 | 16'2 | 15'4 | 1'55 | 63'4 | 0'18 |
| VIL-I | 64'6 | 13'2 | 22'2 | 1'80 | 61'4 | 0'46 |
| VIL-II | 62'8 | 18'2 | 19'0 | 1'80 | 67'2 | 0'30 |
| VIL-III | 56'9 | 21'6 | 21'5 | 1'70 | 79'9 | 0'65 |
| VIL-IV | 63'5 | 14'1 | 22'4 | 1'87 | 71'7 | 0'61 |

Tabla 1. Parámetros físicos en muestras compuestas superficiales
 Table 1. Physical properties of surface composite samples

mayor densidad y diversidad en la cobertura vegetal (los denominados VAL-V, VAL-IX y VAL-X), en los que sobresalen matorrales de *Genista florida* y *Cytisus multiflorus* introducidos de forma natural, 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 sólo 5'17 a 6'91 cmol(+)/kg. En todos ellos se aportaron estériles pardo amarillentos, presumiblemente con una importante proporción de suelos arrancados en operaciones de desmonte y, previsiblemente, con cierta capacidad para actuar como bancos de semillas y propágulos. En la tabla 2 se muestran los contenidos en elementos fertilizantes fácilmente asimilables de las muestras superficiales. El contenido en N es adecuado o elevado salvo en una excepción (0'07%). Destaca el elevado valor obtenido para en Sector VAL-XII (0'35), entre otros, pues se trata de materiales carbonosos, muy ácidos, sin vegetación, lo que hace sospechar de un ataque a N de origen geogénico. Vandeverder y Sencindiver (1982) encuentran contenidos de N Kjeldahl de 0'18 a 0'29% 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. De modo semejante, puede pensarse que existe nitrógeno disponible para las plantas en estos materiales, aunque no se conoce cuanto de él aparece ligado a silicatos o a materia orgánica fósil.

| MUESTRA | %N | P mg/kg | K mg/kg |
|----------|------|---------|---------|
| VAL-I-1 | 0,14 | 8,7 | 90,0 |
| VAL-I-2 | 0,15 | 13,5 | 70,4 |
| VAL-II | 0,16 | 19,2 | 69,5 |
| VAL-III | 0,12 | 23,3 | 46,9 |
| VAL-IV | 0,15 | 36,5 | 98,0 |
| VAL-V | 0,07 | 26,1 | 54,7 |
| VAL-VI-1 | 0,17 | 17,1 | 43,0 |
| VAL-VI-2 | 0,24 | 18,8 | 46,9 |
| VAL-VII | 0,23 | 17,0 | 43,0 |
| VAL-VIII | 0,16 | 14,0 | 78,2 |
| VAL-IX | 0,11 | 26,9 | 54,7 |
| VAL-X | 0,10 | 13,7 | 78,2 |
| VAL-XI | 0,21 | 8,5 | 54,7 |
| VAL-XII | 0,35 | 20,7 | 58,5 |
| VIL-I | 0,14 | 7,65 | 136,5 |
| VIL-II | 0,13 | 5,26 | 124,8 |
| VIL-III | 0,21 | 6,16 | 156,0 |
| VIL-IV | 0,18 | 7,65 | 234,0 |

Tabla 2. Análisis de contenidos en elementos mayores fertilizantes en sectores de muestreo
 Table 2. Analytical contents in major fertilizing element of sampled sectors

Como ya se ha mencionado, además de las muestras superficiales, se describieron y analizaron muestras en perfiles visualizados sobre calicatas abiertas. Las descripciones detalladas de todos ellos se reúnen en el informe final del proyecto (IGME, 2003). Dos ejemplos de perfiles de suelos mineros se muestran en la tabla 3.

Se describieron un total de 25 perfiles de suelos, de los cuales se tomaron muestras en 19. En Valdesamario se situaron 11 perfiles en terreno minero y 5 en Villablino. Los perfiles de suelos naturales descritos se corresponden normalmente con tipos de suelos poco evolucionados: Entisoles e Inceptisoles (Soil Survey Staff, 1995). Los perfiles de suelos mineros descritos son todos de tipo C, AC-C o A-C. En todos los que se han formado a partir de materiales de colores pardos o pardo-amarillentos, vertidos sobre estériles carbonosos, se aprecia perfectamente el contraste entre unos y otros. Entre algunas de las características visualizadas en los perfiles que son de destacar están:

- Como rasgo de evolución incipiente, se constató la presencia de una capa superficial fina, con estructura granular ligada a los sistemas radiculares de las gramíneas colonizadoras o sembradas, 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 (zona de Carrasconte y algunos horizontes superficiales en Valdesamario), en las que existe un denso enraizamiento muy superficial.
- Los elementos gruesos suelen presentarse desordenados. Muchas veces son angulosos, de bordes afilados, o planos de bordes astillados. En ocasiones, forman un puente entre otros, dejando por debajo de ellos un espacio vacío no relleno por tierra fina.
- La mayoría de los horizontes descritos no presentaban estructura edáfica o ésta era 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.
- Fue frecuente encontrar elementos gruesos lutíticos de colores abigarrados (negro, pardo grisáceo oscuro, amarillo verdoso, amarillo, etc.) A pesar de conservar la forma original derivada de la simple fragmentación, resultaron ser ligeramente adherentes y plásticos, penetrados por las raíces, por lo que, desde el punto de vista de la disponibilidad de agua, parecen comportarse como agregados de suelo. Posiblemente, algunos agregados

| PERFIL VAL-04 | | | PERFIL VIL-04 | | |
|--|------------|---|--|------------|---|
| Clasificación propuesta (WVU): Xerosolent carbolítico. | | | Clasificación propuesta (WVU): Udisolent típico. | | |
| Fecha de la observación: 23-04-02. | | | Fecha de la observación: 26-09-01. | | |
| Autor: Julio C. Arranz. | | | Autor: Julio C. Arranz. | | |
| Localidad más próxima: Valdesamario. | | | Localidad más próxima: Piedrafita de Babia. | | |
| Situación: Parte sur-occidental de la Corta de las Ranas. | | | Situación: Zona de Carrasconte-El Salguero. | | |
| Posición fisiográfica: Talud suave de montículo de estériles. | | | Posición fisiográfica: Talud artificial. | | |
| Forma del terreno: Ondulado. | | | Forma del terreno: Fuertemente socavado. | | |
| Pendiente: Suavemente inclinado. | | | Pendiente: Escarpado. | | |
| Vegetación o uso del suelo: Herbácea muy dispersa. Pinos plantados, muertos o poco crecidos. | | | Vegetación o uso del suelo: Pradera mixta. | | |
| Material de origen: Areniscas, lutitas y carbón. | | | Material de origen: Tierras sobre areniscas, lutitas y carbón. | | |
| Drenaje: Moderado. | | | Drenaje: Moderado. | | |
| Pedregosidad superficial: Dominante. Clase 5. | | | Pedregosidad superficial: | | |
| Afloramientos: No. | | | Afloramientos: No. | | |
| Erosión: Laminar. | | | Erosión: Laminar y regueros. | | |
| Estado hídrico: Seco. | | | Estado hídrico: Húmedo. | | |
| Muestras: VAL-4-1 (C1) y VAL-4-2 (C2). | | | Muestras: VIL-4-1 (A) y VIL-4-2 (2C). | | |
| Hor. | Prof. (cm) | Descripción | Hor. | Prof. (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. | 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; algunas 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. |
| 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. | 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; algunas caras de cantos se tiñen de 10 YR 6/8 (amarillo pardusco en húmedo); pocos poros, intersticiales; pocas raíces finas y muy finas. |

Tabla 3. Descripción de dos perfiles de suelos mineros
 Table 3. Description of two mine soil profiles

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 fue posible encontrar elementos extraños en los perfiles, tales como la presencia de grandes bloques intercalados entre la masa de fragmentos rocosos y elementos finos, o restos vegetales poco descompuestos enterrados.
- 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)* (Sencindiver y Ammons, 2000), pues aporta mayor información sobre los mismos. Ha sido necesario proponer modificadores para el edafoclima Xérico, junto con 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 (perfil VAL-9). Observados uno por uno, se han clasificado como suelos mineros (Spolents) un total de 16 perfiles en ambas zonas de trabajo. Los subgrupos principales encontrados, según lo propuesto por Sencindiver y Ammons (2000) son: Carbolítico (de colores negruzcos, con alto contenido en restos de carbón), Regolítico Plático (con abundantes areniscas y arenas pardas) y Típico (mezcla de tipos de rocas).

Las texturas dominantes de los horizontes superficiales de los suelos naturales estudiados, tanto en Valdesamario como en Villablino, resultaron ser Franco-arenosas, y tanto en suelos naturales como mineros, si bien son ligeramente más arenosas en Villablino. Puede afirmarse, en definitiva, que no existen 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%. Los valores de la densidad aparente, cuando pudieron ser medidos, indican en general un elevado grado de compactación en todos los suelos mineros estudiados, siendo bastante superiores que en las muestras de suelos naturales. Al margen de los valores de densidad aparente, la dificultad de excavación durante la apertura de calicatas a mano permitió 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 Mg/m³ aunque sólo se pudieron obtener dos valores. En Villablino el máximo valor de densidad aparente medido es 1'53 Mg/m³. Las medidas de densidad aparente de horizontes de suelos mineros analizados superan o rondan casi siempre el valor de 1'7 Mg/m³, alcanzándose valores tan altos como 2'07 Mg/m³ en la muestra profunda denominada VIL-08-3.

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 capacidad 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 zona de la Corta de las Ranas (Valdesamario) presenta un clima Mediterráneo con características atlánticas y un edafoclima un tanto indefinido. Teóricamente, los suelos mineros presentan, potentes espesores disponibles para el desarrollo radicular, si no fuera por la elevada densidad aparente. 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 natural VAL-3, que puede considerarse representativo de lo que hubo en la mayor parte de la superficie alterada (suelo de bosque bajo cubierta de melojar bien conservada), 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. 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 Villablino (Carrasconte), el pH de los suelos naturales es muy inferior al de las muestras tomadas en suelos mineros. La CIC total de los suelos mineros y naturales es en general semejante, y siempre baja. La acidez de cambio también es muy superior en los horizontes de suelos naturales, a excepción del perfil VIL-1, el cual, por su posición en fondo de valle, ha podido enriquecerse en bases procedentes de las laderas cercanas. Sólo el perfil de suelo minero VIL-5

tiene un pH semejante a 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 el perfil llamado VIL-6) se identifica que los suelos se formaron mediante el recubrimiento de estériles grisáceos, carbonosos, con otros de colores más pardos, y estos no se diferencian por el pH, moviéndose éste 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 muestreó 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.

Los suelos naturales de carácter forestal (bajo melojares y matorrales subseriales) 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-2-3, que proviene de una capa carbonosa situada en la base del perfil, se alcanzan 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. Por ejemplo, la muestra VAL-4-1 tiene un pH de 4'87, mientras que la muestra del mismo perfil VAL-4-2 tiene un pH de 6'08. También VAL-5-1 tiene un pH de 6'35, mientras que en VAL-5-2 el pH es 7'53. 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-4-1 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, no proporciona demasiados criterios para la mejora y el manejo. Un pH bajo en esta zona no supone un impedimento para la vegetación natural del entorno, así como tampoco la elevada acidez de cambio.

Puede verse en los resultados de la contabilidad ácido-base (tabla 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 una muestra subsuperficial (VIL-4-2), en la que el ABA es negativo, es previsible un futuro descenso del pH (actualmente es de 7'9). La muestra VIL-3-3, 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.

| 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-4-1 | 5Y 4/2 | 4'87 | 0'134 | 4'19 | Neg. | 0'16 | 0'05 | <-4'24 |
| VAL-4-2 | 5Y 4/2 | 6'08 | 0'138 | 4'31 | Neg. | 0'14 | 0'09 | <-4'40 |
| VAL-5-2 | 5Y 3/1 | 7'53 | 0,156 | 4'87 | Neg. | 0'10 | 0'05 | <-4'92 |
| VAL-6-2 | 5Y 4/2 | 5'31 | 0'000 | 0'00 | Neg. | 0'14 | 0'08 | <-0'14 |
| VAL-7-1 | N 2/0 | 7'02 | 0,151 | 4'72 | Neg. | 0'10 | 0'05 | <-4'77 |
| VAL-9-1 | 5Y 4/2 | 5'29 | 0,104 | 3'25 | Neg. | 0'12 | 0'03 | <-3'28 |
| VIL-3-3 | N 2/0 | 4'65 | 0,270 | 8'44 | 7,2 | 11'10 | 8'37 | -9'61 |
| VIL-4-2 | 2'5 Y 4/2 | 7'90 | 0,250 | 7'81 | -2'8 | 0'24 | 0'14 | -10'75 |
| VIL-5-2 | 2'5 Y 4/4 | 5'23 | 0,000 | 0'00 | 17,3 | 0'60 | 0'28 | 17'02 |

Tabla 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

Table 4. Horizon samples data and Acid-Base account. A factor of 1000 and the layer thickness (with a maximum of 30 cm) has been considered to convert units of exchangeable acidity from cmol (+) kg to tCO₃Ca/1000t of material

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. En horizontes profundos, oscuros, de suelos mineros de ambas zonas, se alcanzan valores tales como 6'68, 4'08, 3'22, 3'08, 2'91 ó 2'55% de contenido de materia orgánica, que encierran previsiblemente una porción de origen geogénico.

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 con pH_s bajos (VAL-9-1, en superficie topográficamente deprimida, y VAL-10-3), lo que denota oxidación de sulfuros y acumulación de sales.

Destaca el contenido de N de un horizonte de suelo natural muy carbonoso y profundo (0'63%), lo que lleva a sospechar de la existencia de nitrógeno de origen geogénico. Los niveles de nitrógeno son medios en general y elevados en el suelo minero VAL-10. El contenido de nitrógeno de una muestra carbonosa y profunda VAL-10-3 alcanza casi el 1%, lo que hace sospechar de nuevo de la existencia de nitrógeno de origen geogénico.

Conclusiones

Las muestras superficiales de los suelos mineros anuncian 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. 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.

Los suelos mineros se ajustan perfectamente a la clasificación propuesta por los investigadores de *West Virginia University*. Con carácter tentativo, se propone la inclusión de los modificadores Xero como prefijo para la calificación a nivel de gran grupo, y Lítico para la nomenclatura a nivel de subgrupo.

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. La existencia de fragmen-

tos 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. 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 por su estructura heredada. 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. La superficie de contacto de dichas caras con la matriz parece formar una vía preferente para en movimiento del agua y el aire.

Los contenidos en nutrientes mayores disponibles no destacan por sus niveles especialmente bajos. A veces la menor presencia y cobertura vegetal en estos suelos 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 arroja valores siempre excesivamente altos si se considera la naturaleza eminentemente mineral de estos suelos. Los resultados obtenidos 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 también se ha constatado que, 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 tampoco debe considerarse totalmente correcto, ya que es probable una sobreestimación de los contenidos de materia orgánica debida al ataque sobre materia orgánica de origen geogénico o la oxidación de los sulfuros, frecuentemente presentes. 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. Las muestras de suelo menos afectadas por residuos mineros, así como las muestras de suelos naturales, mostraron unos contenidos en materia orgánica razo-

nables. 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 de acuerdo con (WDEQ, 1994).

Para finalizar, es posible recomendar, sin entrar en detalles, algunas actuaciones que sirvan para la mejora de la situación actual presente en las zonas de estudio. Tanto por la pequeña superficie como por la vegetación existente en el entorno cercano, resultaría recomendable actuar de forma que se encamine la rehabilitación hacia la implantación de vegetación autóctona. La elevada pedregosidad elimina cualquier otro tipo de propuesta de aprovechamiento de dichos terrenos, aunque incide en la minimización de los problemas de erosión. Después de realizar tratamientos para reducir la compactación y otras medidas tomadas sector por sector, sería razonable ejecutar plantaciones al azar. La posibilidad de elección de especies para establecer es muy amplia en ambos casos, pero convendría considerar la masiva introducción de leguminosas arbustivas (*Cytisus multiflorus*, *Cytisus scoparius*, *Genista florida*, etc.), las cuales pueden aumentar la sostenibilidad relativa al N edáfico e incrementar, como especies puente, la velocidad de recuperación del bosque original. En cualquier caso, la simple plantación de pinos y chopos, tal y como se realizó años atrás no resuelve nada.

Referencias

- Box, T.W. 1978. The Significance and Responsibility of Rehabilitating Drastically Disturbed Land. En: F.W. Schaller y P. Sutton (eds.). *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. Chapter 1. pp. 1-10.
- Colleman, N.T. y Thomas, G.W. 1967. The Basic Chemistry of soil acidity. En: Pearson, R.W. and Adams, F. (eds.) *Soil Acidity and Liming*. American Society of Agronomy. Madison. WI.
- Díaz González, T.E. y Penas Merino, A. 1984. *Bases para el Mapa Fitogeográfico de la provincia de León*. Institución Fray Bernardino de Sahagún. Diputación Provincial de León. León. 99 p.
- FAO. 1990. *Guidelines for soil description, 3rd Edition*. Soil Resources, Management and Conservation Service. FAO-ISRIC. Rome. 70 p.
- Hageman, P.L. y Briggs, P.H. 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.
- 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. Servicio de documentación del IGME. Inédito.
- IGME. 2003. *Investigación Geoambiental en áreas alteradas por actividades mineras. Reconocimiento y evaluación de la potencialidad de terrenos alterados por minería a cielo abierto*. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid. Servicio de documentación del IGME. Inédito.
- ITGE. 1997. *Estudio de Recuperación Ambiental de la Zona Minera Tremor-Valdesamario, Bierzo Oriental (León)*. Servicio de documentación del IGME. Inédito.
- ITGE. 1998. *Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental. Manual de Procedimientos: Cartografía de Suelos*. PNCTA-250. Inédito.
- Jackson, M.L. 1964. *Análisis químico de suelos*. Omega. Barcelona.
- Johnson, C.D. y Skousen, J.G. 1995. Minesoil Properties of 15 Abandoned Mine Land Sites in West Virginia. *Journal of Environmental Quality*, 24: 635-643.
- MAPA. 1994. *Métodos oficiales de Análisis, Tomo III*. Dirección General de la Producción Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Opeka, T. y Morse, R. 1979. *Use of Green Manure Amendments and Tillage to Improve Minesoil Productivity*. (EPA. 600/7-791-257). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VI. Industrial Environmental Research Laboratory. USEPA Cincinnati, OH. 84 p.
- Plass, W.T. 1978. Reclamation of coal-mined land in Appalachia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 33(2): 56-61.
- Sandoval, F.M. and Power, J.F. 1977. *Laboratory methods recommended for chemical analysis of mined-lands spoils and overburden in Western United States*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, No. 525. 31 p.
- Sencindiver, J.C. y Ammons, J.T. 2000. Minesoil Genesis and Clasification. Ch. 23. In: *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*. R.I. Barsnhisel, W.L. Daniels y R.G. Darmody (Eds.). Agronomy Series No. 41. Chapter 12. American Society of Agronomy. Madison, WI. 34 p.
- Severson, R.C. y Gough, L.P.B. 1983. Rehabilitation Materials from Surface-Coal Mines in Western U.S.A. I: Chemical Characteristics of Spoil and Replaced Cover-Soil. *Reclamation and Revegetation Research*, 2: 83-102.
- Smith, K.S., Ramsey, C.A. y Hageman, P.L. 2000. Sampling Strategy for the Rapid Screening of Mine-Waste Dumps on Abandoned Mine Lands. En: 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.

- Sobek, A.A., Schuller, W.A., Freeman, J.R. y Smith, R.M. 1978. *Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils* (EPA-600/2-78-054). U. S. Government Printing Office, Washington, DC. 203 p.
- 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 Especial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México. 306 p.
- Vandevender, J.C. y Sencindiver, J.C. 1982. The Effects of Three Forms of Nitrogen Fertilizer, Phosphorus and Hidrated Lime on Abandoned Mine Land Reclamation. En: *Proceedings of 1982' Symposium on Surface Mining Hydrology, Sedimentology and Reclamation*. Univ. Kentucky, Lexington, KY. pp. 497-502.
- WDEQ. 1994. *Guideline No. 1: Topsoil and Overburden*. Wyoming Department of Envirommental Quality. Land Quality Division. Unpublished Document. 43 p.

Recibido: julio 2005
Aceptado: mayo 2006