

**XVI REUNION
DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE LA CIENCIA DEL SUELO**

Guía de las excursiones



Lleida


Septiembre 1989

XVI REUNION DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA CIENCIA DEL SUELO

EROSION HIDRICA Y REHABILITACION DE AREAS MINERAS: PROCESOS, CUANTIFICACION E INTERES PEDAGOGICO.

Por:

Rosa M^a Poch
Jaime Porta
Jaime Boixadera

UPC
UPC
DARP & UPC

Con la colaboración:

Vegetación: Joan Pedrol

UPC

Lleida



A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Joan Pedrol', written in a cursive style.

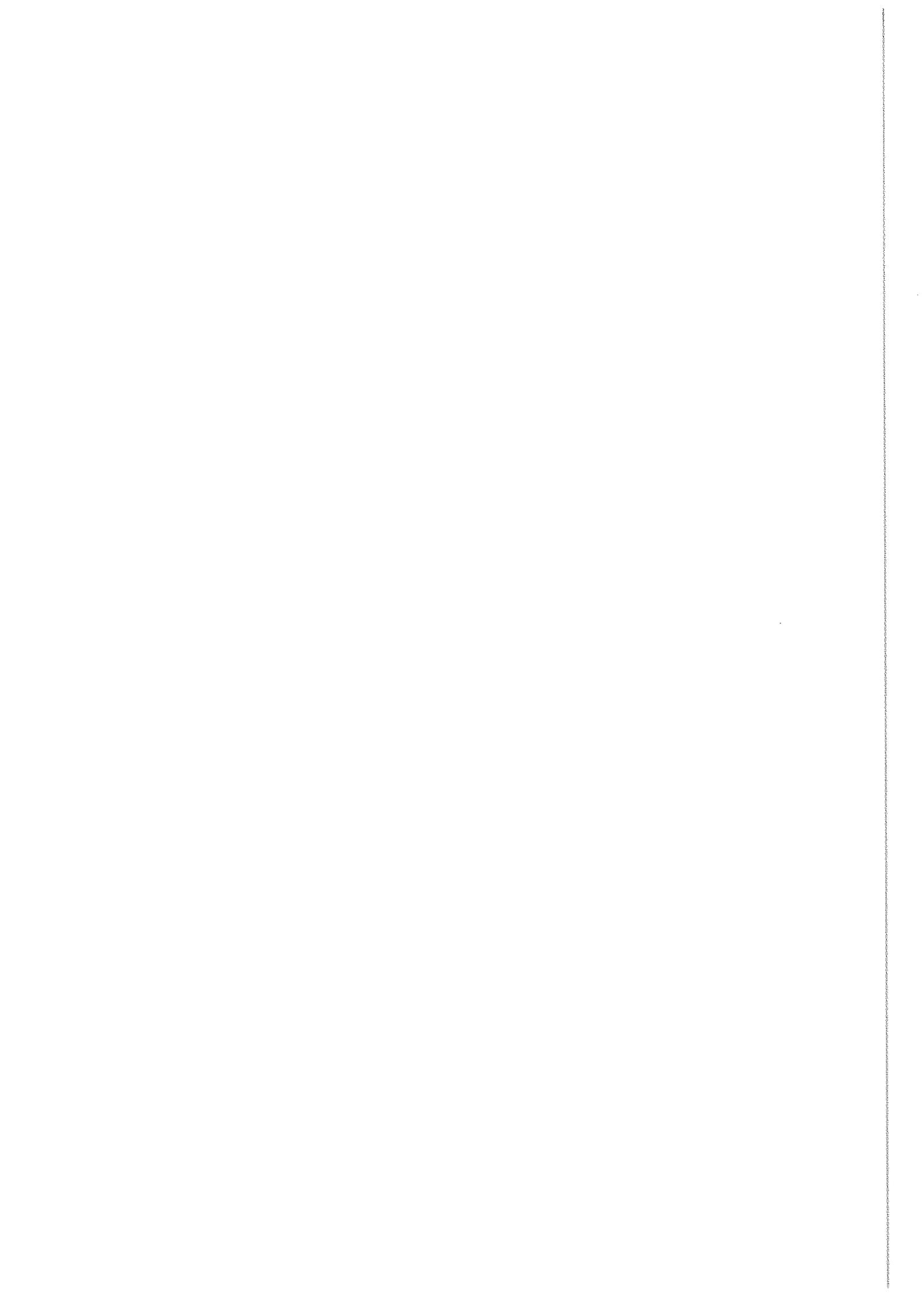
Septiembre 1989

© 1989. Depósito legal : 1448/ 89

Poch, R.M^a , J.Porta & J.Boixadera.
Erosión hídrica y rehabilitación de áreas mineras:
Proceso, cuantificación e interés pedagógico.
D.M.C.S. - U.P.C. & S.E.C.S. Lérida

EROSION HIDRICA Y REHABILITACION DE AREAS MINERAS: PROCESOS, CUANTIFICACION E INTERES PEDAGOGICO.

| | Pág. |
|--|------|
| 1. Introducción. | 2 |
| 1.1. Aspectos generales. | 2 |
| 1.2. Localización de la zona. | 3 |
| 1.3. Objetivos. | 4 |
| 2. Definición de términos. | 5 |
| 3. Aspectos previos. | 6 |
| 3.1. Marco legal. | 6 |
| 3.2. Minería a cielo abierto en El Bergadá. | 6 |
| 3.3. Procesos erosivos en escombreras. | 7 |
| 4. Medio natural. | 9 |
| 4.1. Condicionantes climáticos. | 9 |
| 4.2. Geología. | 18 |
| 4.3. Hidrología. | 19 |
| 4.4. Vegetación. | 19 |
| 4.5. Suelos. | 20 |
| 4.6. Procesos erosivos. | 24 |
| 5. Impactos, derivados de la actividad minera. | 24 |
| 5.1. Tipología de los impactos. | 24 |
| 5.2. Matriz de evaluación de impactos. | 27 |
| 6. Estudio de la zona rehabilitada. | 29 |
| 6.1. Explotación del carbón. | 30 |
| 6.2. Morfología y red de drenaje. | 31 |
| 6.3. Suelos misceláneos. | 31 |
| 6.4. Estudio de la revegetación. | 37 |
| 6.5. Valoración de la rehabilitación desde el punto de vista de la evaluación de tierras. | 37 |
| 7. Procesos erosivos en escombreras: Descripción y cuantificación. | 40 |
| 7.1. Protocolo experimental. | 40 |
| 7.2. Erosión por salpicadura. | 40 |
| 7.3. Erosión por escorrentía superficial difusa. | 42 |
| 7.4. Erosión por escorrentía superficial concentrada. | 43 |
| 7.5. Predicción de la erosión según la EUPS. | 54 |
| 8. El área rehabilitada y su interés para la enseñanza en conservación de suelos. | 56 |
| 8.1. Diversidad de procesos: Formas de erosión y factores de control. | 57 |
| 8.2. Intensidad de los procesos: Cuantificación. | 58 |
| Agradecimientos. | 62 |
| 9. Bibliografía. | 63 |



1. INTRODUCCION

1.1. Aspectos generales

La pérdida de calidad del medio ambiente incluye la degradación de las tierras motivada por la erosión de suelos, proceso con el que el hombre lleva conviviendo desde siempre y al que parece más sensible en unas épocas históricas que en otras. La pérdida de suelo tiene lugar a una velocidad aparentemente lenta a veces imperceptible, sin embargo, al ser un proceso continuo en el tiempo, puede llegar a tener efectos devastadores, llegando a hacer improductivas en pocas generaciones tierras de alta productividad.

Al final del siglo XX parece haberse perdido en gran manera esta sensibilidad, lo cuál no es cierto ni es atribuible al colectivo que utiliza más extensamente el territorio. La necesaria mecanización en agricultura a partir de los años 50, la política de precios y la disminución de la población activa agraria (menos del 6 % en Cataluña en 1988, es decir unas 120.000 personas) han dejado pocas opciones al agricultor. Nadie le responde a la pregunta de quién está dispuesto a pagar la conservación de los suelos. Uno de los primeros en destacar la importancia del recurso suelo y de su conservación fue Hugh H. Bennett quien, en 1928 en una circular del USDA titulada Soil Erosion a National Menace, destaca que el problema de la erosión afecta a todos y no sólo a los agricultores.

A nivel internacional, el fomento de las investigaciones en conservación de suelos ha ido ligado a épocas de mayor interés en disponer de productos agrícolas. En los años 80 en Europa se está en una situación de excedentes, por lo que el interés por la conservación de suelos no procede principalmente de los organismos más directamente vinculados a la agricultura, sino de aquellos que se ocupan del medio ambiente. Ello se traduce no sólo en un interés abstracto, sino que, presionados por la opinión pública, lleva a desarrollar un marco legal adecuado. El posicionamiento de amplios sectores sociales frente a la degradación del medio ambiente ha dado paso a lo que Bentley (1985) denomina la ética de la conservación y a la constatación de que el recurso suelo es agotable.

La minería a cielo abierto es una de las actividades que produce un gran impacto medioambiental mientras se está llevando a cabo y puede ser origen del desencadenamiento de importantes procesos erosivos una vez finalizada la actividad minera. Una valoración inadecuada del recurso suelo puede conducir a fracasos, al verse enfrentados a rehabilitaciones excesivamente lentas o a procesos de degradación del medio ambiente. En estas circunstancias extremas se hace muy patente algo que no es menos válido en otros casos, la necesidad de preservar el suelo y de que ello sea algo realmente prioritario. Mientras en áreas agrícolas la erosión hace disminuir la producción, en áreas de minería a cielo abierto provoca una degradación del medio y puede hacer fracasar el plan de rehabilitación, al impedir que se alcancen los objetivos previstos. De no llegarse con la rehabilitación a una calidad suficiente de la tierra, no podrá implantarse el tipo de uso que se había planificado.

Las actividades de minería a cielo abierto no afectan a grandes superficies en comparación con las tierras agrícolas que sufren procesos erosivos. No obstante, hay dos elementos diferenciadores: la pérdida de suelos agrícolas es un proceso muchas veces poco aparente, mientras que en escombreras la pérdida de suelo puede llegar a adquirir en muy poco tiempo (menos de 10 años) un carácter catastrófico, lo que puede movilizar a una parte importante de la opinión pública.

Por otro lado, si en agricultura nadie responde a la pregunta antes formulada, en minería a cielo abierto hay un responsable directo a quien atribuir los costes de rehabilitación, incluyendo las necesarias obras para el control de los procesos erosivos y lograr así la conservación del suelo como soporte para el desarrollo de la vegetación. Las actividades extractivas deben plantearse con criterios compensatorios, de forma que los beneficios que produce la extracción no sean a costa del deterioro del medio ambiente.

Finalmente, un aspecto no menos importante es que, las áreas de minería a cielo abierto, en algunos casos, ofrecen la posibilidad de servir de campo de entrenamiento de estudiantes en conservación de suelos. Ello se debe a que si un bajo control de la rehabilitación lleva al desencadenamiento de procesos erosivos, éstos son extraordinariamente rápidos en este medio. Los estudiantes tienen, por consiguiente, la posibilidad de identificar los distintos procesos de erosión, estudiar cómo actúan y aplicar técnicas de medida y cuantificación. Todo ello, junto con su formación técnica, debe permitirles adquirir una formación suficiente para evaluar procesos erosivos reales o potenciales, y poder dar respuesta a los problemas que su actividad profesional les plantee en el ámbito de la protección del medio ambiente.

El estudio de procesos erosivos en áreas de minería a cielo abierto urge, además, para poder dar cumplimiento de la forma más económica y eficaz posible a la legislación vigente.

La identificación-cuantificación de procesos erosivos y el interés pedagógico del área son los que servirán de guía.

1.2. Localización de la zona.

El área carbonífera estudiada se halla en la comarca de El Bergadá, en la parte Norte de la provincia de Barcelona (Fig. 1), a $42^{\circ} 10' N$ $5^{\circ} 30' E$ y a una altitud de 1.000 m. La escombrera se halla en las inmediaciones del pueblo minero de Sant Corneli.

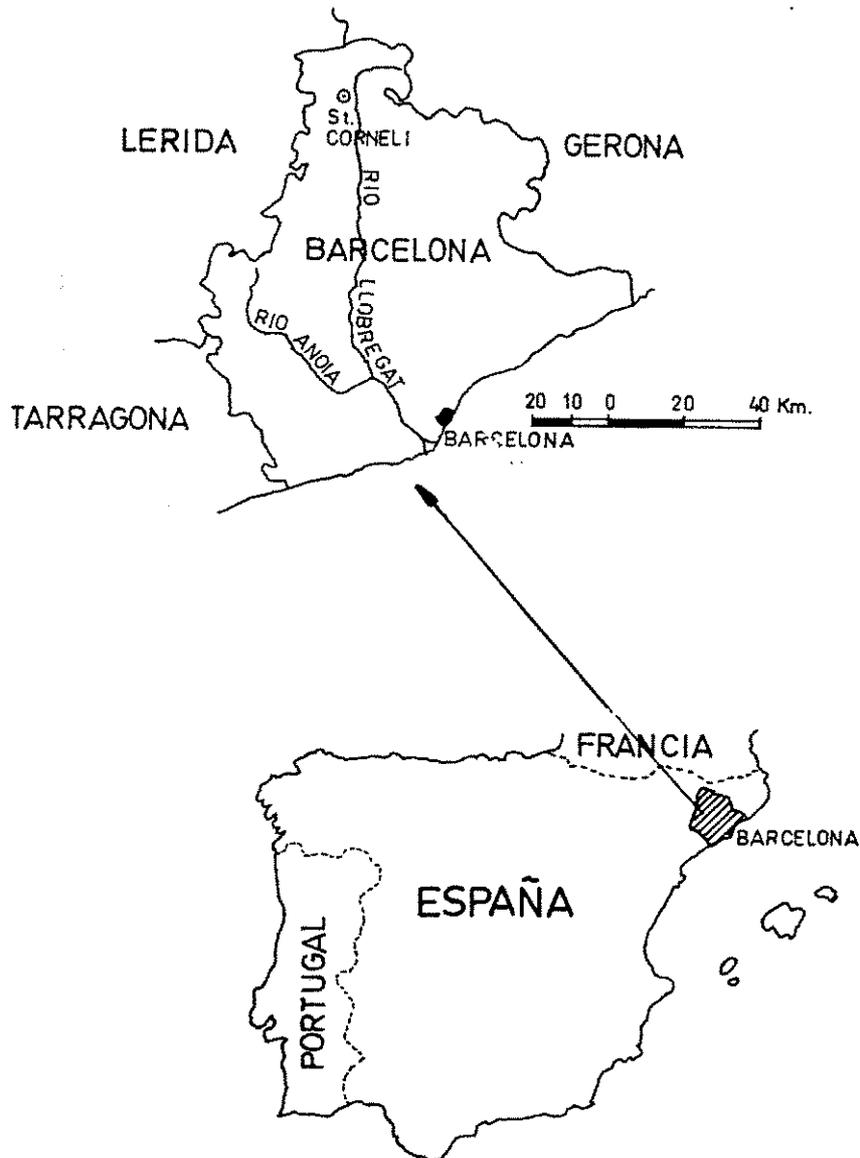


Fig 1. Localización general de la zona estudiada.

1.3. Objetivos.

Al plantearse estudiar la rehabilitación de una zona de minería a cielo abierto caben dos posturas. Una consistiría en la evaluación de los resultados de la rehabilitación, considerando la zona en su conjunto. Si bien por su interés evidente tal evaluación deberá realizarse algún día, el enfoque elegido ha sido otro. Se estudian casos concretos para analizar en base a ellos la problemática y los condicionantes de la rehabilitación de áreas de minería de carbón a cielo abierto, en un medio rico en materiales calizos y con un clima húmedo. Ello no autoriza a generalizar a todo el área los problemas aquí destacados, ya que la elección se hizo tomando como criterio el que los procesos erosivos estuviesen bien representados.

Los objetivos planteados para ser analizados y discutidos son los siguientes:

- a. Estudio de erosión laminar y erosión concentrada.
- b. Efectos de las obras públicas sobre la erosión.
- c. Aforo de la escorrentía en una subcuenca: Medidor Parshall.
- d. Técnicas de medida de la pérdida de suelo: Cajas para recogida de material erosionado.
- e. Movimientos de masa: Identificación y técnicas de control.
- f. Erosión de suelos y sus efectos aguas abajo.
- g. Técnicas de medida de la pérdida de suelo: Cajas Gerlach.
- h. Influencia de la posición en la ladera: Erosión laminar y erosión concentrada.
- i. Técnicas de medida: Control de la evolución de canales de cárcavas y barrancos.
- j. Parcelas experimentales de revegetación.

2. DEFINICION DE TERMINOS.

arroyadero: canal de tamaño centimétrico producido por la escorrentía superficial concentrada. Al labrar desaparece. (ingl. rill).

barranco: canal de tamaño métrico que disecta el territorio.

berma: término minero empleado para designar una terraza para el control del agua de escorrentía superficial.

calclutita: lutita rica en carbonatos.

capaceo: técnica consistente en retirar la capa superior del suelo previamente a una determinada actuación (nivelación, minería a cielo abierto, etc), para poder conservarla y reponerla una vez finalizada la obra.

cárcava: canal de tamaño decimétrico producido por la escorrentía superficial concentrada. Dificulta o impide el laboreo (ingl gully).

cobertera: capas que recubren las capas de carbón que deben extraerse en una explotación a cielo abierto.

esteriles: rocas que se extraen durante la explotación y que deben desecharse, ya que no contienen el mineral. Constituyen la cobertera.

lutita: roca sedimentaria de tamaño de grano limo y arcilla.

rehabilitación: acción de rehabilitar, volver a hacer útil o habitable. Supone devolver el área a un estado y grado de productividad conforme con un plan previo, es decir, llegar a una situación estable compatible con el uso previsto. Incluye, además una integración de la zona en el paisaje circundante. (ingl. rehabilitation).

restauración: acción de restaurar, volver a poner una cosa en aquel estado o estimación que tenía antes, reduplicación exacta de las condiciones que existían antes de producirse la alteración. Si bien la expresión "restauración de suelos" se ha utilizado, no parece aceptable aplicarla en este caso, ya que una zona no se devuelve a su estado inicial, como ocurre en el caso de la restauración de obras de arte. (ingl. restoration).

sofusión: erosión debida a la escorrentía subsuperficial, al existir un flujo por vías de circulación preferente, a favor de galerías de animales, grietas, etc.

tierras misceláneas: en sentido restringido, áreas que tienen poco o no tienen suelo natural, y que soportan poca vegetación si no son objeto de una mejora (ingl. miscellaneous land)

3. ASPECTOS PREVIOS.

3.1. Marco legal.

La Generalitat de Catalunya en 1981 dió el soporte legal necesario para regular las actividades extractivas con una normativa tendente a la protección del medio ambiente. La Ley 12/1981 del Parlamento de Cataluña establece que las actividades extractivas, si bien son necesarias por razones económicas, comportan un impacto ambiental notorio, con una degradación importante del paisaje, por lo que se hace necesario ordenar tales actividades, haciéndolas compatibles, en la medida de lo posible, con una protección adecuada de la naturaleza. La Ley establece la necesidad de tomar medidas encaminadas a restaurar la situación de los terrenos al término de la explotación, de forma que la zona afectada quede bien integrada en el conjunto natural que la rodea.

La Ley está orientada a la protección de los espacios de especial interés natural afectados por actividades extractivas. Ha sido complementada posteriormente con las normas de protección del medio ambiente de aplicación a las actividades extractivas del resto de Cataluña, elaboradas, al igual que la Ley, por el Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya, y fueron promulgadas en el Decreto 343/1983 (D.O.G. 356 de 19-8-83) y corrección de errores.

De acuerdo con esta legislación, las empresas que llevan a cabo actividades de minería a cielo abierto en Cataluña tienen que tomar en consideración la protección del medio ambiente y, en concreto, la rehabilitación de los espacios afectados que debe quedar plasmada en un proyecto de rehabilitación a presentar junto con el plan de explotación. La rehabilitación ha pasado a ser un coste más de toda explotación minera. Las áreas afectadas por minería a cielo abierto no pueden considerarse como partes aisladas del paisaje, sino que deben tenerse en cuenta las interacciones con las zonas que las rodean al plantear cualquier actuación encaminada a su integración en el paisaje.

3.2. Minería a cielo abierto en El Bergadá.

Esta cuenca carbonífera de la comarca de El Bergadá se viene explotando desde mediados del siglo pasado, por medio de minas de interior, que han dado lugar a notorias escombreras. Los condicionantes económicos llevaron a que el carbón fuese perdiendo importancia a lo largo de los años y sólo cuando circunstancias externas lo han permitido ha habido reanimación del sector. El desarrollo de la minería del carbón a cielo abierto ha ido unido a la evolución de los precios de las fuentes de energía alternativas. La gran crisis energética de los años setenta indujo el auge de la minería a cielo abierto, mientras que la situación de los precios del petróleo al final de la década de los años ochenta lleva a paralizar este tipo de explotaciones. En esta comarca se ha asociado geográficamente explotación y consumo para disminuir costes. Ello explica la presencia de una cementera y la central térmica de Cercs en las inmediaciones. La actividad minera ha supuesto nuevos efectos sobre el medio ambiente, a añadir a los ya clásicos en las áreas mineras del carbón. Estas alteraciones afectan a todos

los componentes del medio natural y a sus interacciones y sus consecuencias, por desconocidas, son a menudo imprevisibles a medio y largo plazo.

3.3. Procesos erosivos en escombreras.

A pesar de que los estudios sobre erosión y conservación de suelos cuentan con una amplia bibliografía y que la investigación tiene una larga tradición en todo el mundo, la transferencia de tecnología de conservación de suelos a zonas de minería a cielo abierto ha sido muy limitada hasta 1985. Las principales líneas de investigación en escombreras pueden agruparse en el estudio de la estabilidad de taludes, la modelización y cuantificación de los procesos erosivos y la ingeniería de la rehabilitación.

a. Estudio de estabilidad de taludes.

En el diseño de la morfología de las escombreras, uno de los aspectos que más se ha tenido en cuenta ha sido la estabilidad de taludes. Los movimientos de masa de tipo catastrófico han hecho que en ingeniería del terreno se les haya dedicado mucha atención (Morgenstern & al 1956; Bishop & al, 1960; Hoek & al, 1981; Alonso, 1984, entre otros).

La aplicación de la teoría de la estabilidad de taludes naturales a la minería a cielo abierto consiste en, dadas unas características geotécnicas de los materiales que forman la escombrera, calcular los parámetros que definen una morfología (altura y pendiente) estable a largo plazo (Alonso, 1984). Los parámetros se suelen obtener como valores máximos en función de la probabilidad de ocurrencia y para evitar riesgos a personas y obras.

Los métodos de cálculo varían según las hipótesis de partida y la aplicabilidad en cada caso dependerá de la disponibilidad de datos de base y del soporte informático. Cabe citar el programa "STABL" desarrollado por la ETSI de Caminos de la UPC, que es el utilizado para calcular y comprobar la estabilidad de taludes en los proyectos presentados al Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya.

A parte de los movimientos de masa de carácter catastrófico, las escombreras son susceptibles de experimentar deformaciones más o menos lentas, debidas a asentamientos de materiales, colapsos locales y fenómenos de sofusión. Las causas varían de unos casos a otros según la naturaleza de los materiales, la compactación conseguida al construir la escombrera, momento en que tuvo lugar la construcción, hidrología subterránea mal controlada, etc.

b. Modelización y cuantificación de los procesos erosivos.

La predicción de los riesgos de erosión y la cuantificación de los procesos son objetivos primordiales en el campo de la conservación de suelos. De los diversos modelos formulados, el que ha alcanzado mayor popularidad ha sido el propuesto por Whischmeier & al (1978): Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS). Esta ecuación empírica, pensada para evaluar la erosión hídrica (laminar y

por arroyaderos), en campos de cultivo, ha sido profusamente aplicada debido a que ello resulta relativamente sencillo. No obstante, en ocasiones no se han tenido suficientemente en cuenta los aspectos restrictivos que contienen las hipótesis de partida: ausencia de erosión por cárcavas y barrancos, campos sin pedregosidad superficial, etc, lo que ha conducido a resultados alejados de la realidad.

Se han realizado diversos intentos para proponer modelos más adaptados a las características de las diversas áreas, así existe el Grupo Europeo de Erosión de Suelos que está trabajando en la elaboración de un nuevo modelo más adaptado a las características de los campos en Europa.

La generalización del modelo EUPS a zonas de minería a cielo abierto presenta dificultades debido a las elevadas pendientes de las áreas afectadas, a la abundante pedregosidad superficial, a las características de los materiales de las escombreras, a menudo no edafizados, etc. Todo ello hace que tales adaptaciones sean parciales y de uso limitado en estas áreas, requiriéndose una base experimental para validar los modelos. Israelsen & al. (1982) realiza un planteamiento que supone una ampliación de los parámetros de base, al tener en cuenta la aplicación de cubiertas protectoras de diversos materiales, si bien puede resultar demasiado simplista.

Dado que los suelos con fragmentos de rocas en superficie ocupan importantes extensiones, la SSSA organizó un simposium en 1982 para estudiar la erosión y productividad de los suelos con pedregosidad superficial. Uno de los trabajos presentados Ashby & al. (1984) se centra en los suelos en zonas de minería y otros se refieren directamente a la EUPS (McCormack & al. 1984, Box & al. 1984).

Una de las principales limitaciones del uso de la EUPS reside en que no está formulada para estimar la pérdida de suelo debido a sucesos aislados. Ello dificulta la comparación entre los resultados de la evaluación mediante la EUPS y los de medidas realizadas en campo con lluvias concretas. Algunos autores han llegado a desarrollar modelos probabilísticos de pérdida de suelos, con aplicación a cuencas mineras (Barfield & al. 1979; Rojiani & al. 1984).

c. Ingeniería de la rehabilitación.

El control del agua de escorrentía superficial resulta imprescindible para que pueda evitarse la pérdida de suelo y establecerse una cubierta vegetal aceptable en las escombreras. Aunque son de aplicación los principios generales de conservación de suelos, la simulación por ordenador y el estudio de vertientes han ampliado los conocimientos en este ámbito.

La aplicación de modelos hidrológicos simulados ha permitido destacar la importancia del espaciamiento entre terrazas, constatando que, si bien el volumen de escorrentía total no varía al disminuir de 60 a 30 m el espaciamiento de las terrazas a lo largo de una vertiente, la cantidad de sedimento se reduce a más de la mitad (Smith & al. 1977).

La forma de las vertientes desempeña igualmente un papel muy importante en la pérdida de suelo. En efecto, a igual longitud, una vertiente cóncava se verá menos afectada por la erosión frente a una ladera convexa, rectilínea o mixta, siendo la convexa la más inestable (Schaefer & al, 1979). Según estos mismos autores, la evolución normal de una vertiente de una escombrera, consiste en la formación de un perfil cóncavo en su parte distal, siendo la inclinación de ésta la más importante a la hora de controlar el volumen total de sedimentos. De ello se desprende la importancia de la morfología final que se dé a la escombrera.

La tecnología de la revegetación no es sino el último paso en un proyecto de rehabilitación, para lograr la estabilización de la superficie de las escombreras. En el caso en que no se haya realizado capaceo, a menudo los materiales de la escombrera pueden no resultar excesivamente idóneos para la implantación de una cubierta vegetal. Se han ensayado diversos métodos para mejorar las condiciones en que se realiza la siembra. Así, el uso de acondicionadores sintéticos, cubiertas de paja, productos bituminosos o celulósicos, aporte de materia orgánica, etc, que pueden aplicarse al realizar la siembra en la modalidad de hidrosiembra (Calvo, 1984); granulados de hongos (Jardon, 1985), productos que han dado buenos resultados en escombreras de zonas húmedas del Norte de España.

4. MEDIO NATURAL.

4.1. Condicionantes climáticos.

a. Origen de los datos.

Los datos meteorológicos utilizados proceden del observatorio de la Central Térmica de Cercs (FECSA), que era el único existente hasta Julio de 1989 en que se ha instalado una estación meteorológica para el control de la contaminación ambiental. La diferencia de cotas con la zona estudiada es de unos 300 m y la posición es bastante diferente.

b. Régimen de temperaturas.

La temperatura media anual es de 11,5 °C (4,1 °C en Enero y 20,5 °C en Julio). La media de las máximas es 17,0 °C y la de las mínimas de 6,3 °C (Cuadro nº 1). De acuerdo con los gradientes altitudinales establecidos por Angot, la temperatura media anual de la zona estudiada se estima en 9,9 °C.

El cálculo de los períodos de riesgo de heladas según Emberger (Cuadro nº 2) muestra que el riesgo es seguro del 15-XII al 2-II y frecuente del 2-II al 26-III y del 15-XI al 15-XII. El período medio de heladas según Papadakis (Cuadro nº 3) va del 28-X al 20-III, siendo el período disponible libre de heladas del 12-V al 15-X.

Cuadro nº 1.- Temperaturas medias correspondientes al observatorio de Cercs (1971-1985)

| MES | T.media | Coef.V | T.m.min | Coef.V | T.m.max | Coef.V |
|------------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|
| ENERO | 4.1 | 45.29 | -0.7 | -262.03 | 8.5 | 22.44 |
| FEBRERO | 5.1 | 25.74 | 0.5 | 284.86 | 9.9 | 29.69 |
| MARZO | 6.6 | 28.26 | 2.3 | 129.44 | 12.6 | 14.39 |
| ABRIL | 9.7 | 14.71 | 4.2 | 32.85 | 15.0 | 8.43 |
| MAYO | 12.5 | 12.24 | 7.2 | 13.59 | 18.2 | 9.51 |
| JUNIO | 17.3 | 6.96 | 11.7 | 8.07 | 23.1 | 7.14 |
| JULIO | 20.5 | 7.11 | 14.2 | 9.45 | 27.4 | 7.02 |
| AGOSTO | 20.1 | 7.39 | 14.1 | 11.85 | 26.3 | 7.33 |
| SEPTIEMBRE | 17.4 | 8.96 | 11.8 | 10.77 | 23.0 | 9.27 |
| OCTUBRE | 12.2 | 14.04 | 7.3 | 40.38 | 17.8 | 10.06 |
| NOVIEMBRE | 8.0 | 19.05 | 2.9 | 61.72 | 12.7 | 9.06 |
| DICIEMBRE | 4.8 | 20.86 | 0.0 | 5807.00 | 9.3 | 13.07 |
| AÑO | 11.5 | | 6.3 | | 17.0 | |

c. Precipitaciones medias.

La precipitación anual media en el observatorio de Cercs es de 945 mm. La distribución a lo largo del año es muy irregular (Fig. 2) con un mínimo en Febrero (40,5 mm) y un máximo en Agosto (116 mm). La variabilidad interanual es elevada (Fig. 3).

d. Régimen de humedad y régimen de temperatura del suelo.

El régimen de humedad del suelo según SSS(1975) se considera údico: se trata de un régimen percolante según los criterios de Gerasimov (1965). El régimen de temperatura es méxico según SSS(1975).

Cuadro nº 2.- Período de heladas según los criterios de Emberger.

| PERIODO DE FRIO - EMBERGER | | | |
|----------------------------|----------|---------------------------|--------------------------------------|
| MES | T.m.min. | RIESGO DE HELADA | PERIODO |
| ENERO | -0,7 | Riesgo seguro | 15-XII al 2-II |
| FEBRERO | 0.5 | Riesgo frecuente | 2-II al 26-III, y 15-XI al 15-XII |
| MARZO | 2.3 | Riesgo poco frecuente | 26-III al 13-V, y 17-X al 15-XI |
| ABRIL | 4.2 | | |
| MAYO | 7.2 | Riesgo muy poco frecuente | 13-V al 17-X |
| JUNIO | 11.7 | | |
| JULIO | 14.2 | | |
| AGOSTO | 14.1 | | |
| SEPTIEMBRE | 11.8 | | |
| OCTUBRE | 7.3 | | |
| NOVIEMBRE | 2.9 | | |
| DICIEMBRE | 0.0 | | |

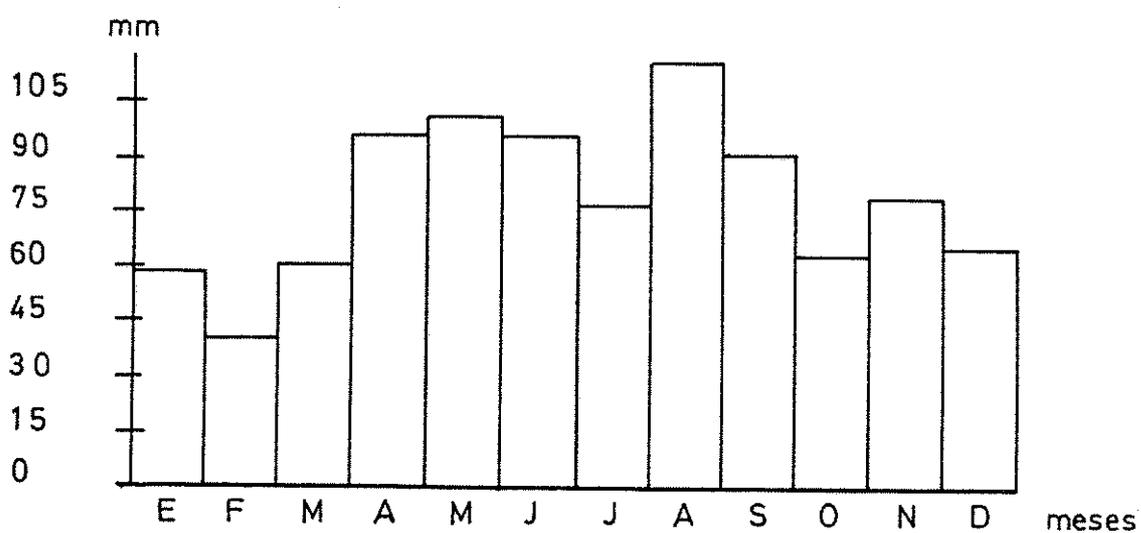


Fig. 2.- Variación anual de las precipitaciones medias mensuales.

Cuadro nº 3.- Período de heladas según los criterios de Papadakis.

| PERIODO DE FRIO - PAPADAKIS | | | |
|-----------------------------|----------|---------------------------------|----------------|
| MESES | T mma | RIESGO DE HELADA | PERIODO |
| ENERO | -6.5 | Período medio de heladas | 28-X al 20-III |
| FEBRERO | -4.9 | Período medio libre de heladas | 20-III al 28-X |
| MARZO | -4.1 | Período disponible libre | 12-V al 15-X |
| ABRIL | -0.5 | de heladas | |
| MAYO | 2.3 | Período mínimo libre de heladas | 15-VI al 9-IX |
| JUNIO | 7.0 | | |
| JULIO | 9.6 | | |
| AGOSTO | 9.7 | | |
| SEPTIEMBRE | 6.3 | | |
| OCTUBRE | 2.1 | | |
| NOVIEMBRE | | | |
| DICIEMBRE | -4.7 | | |

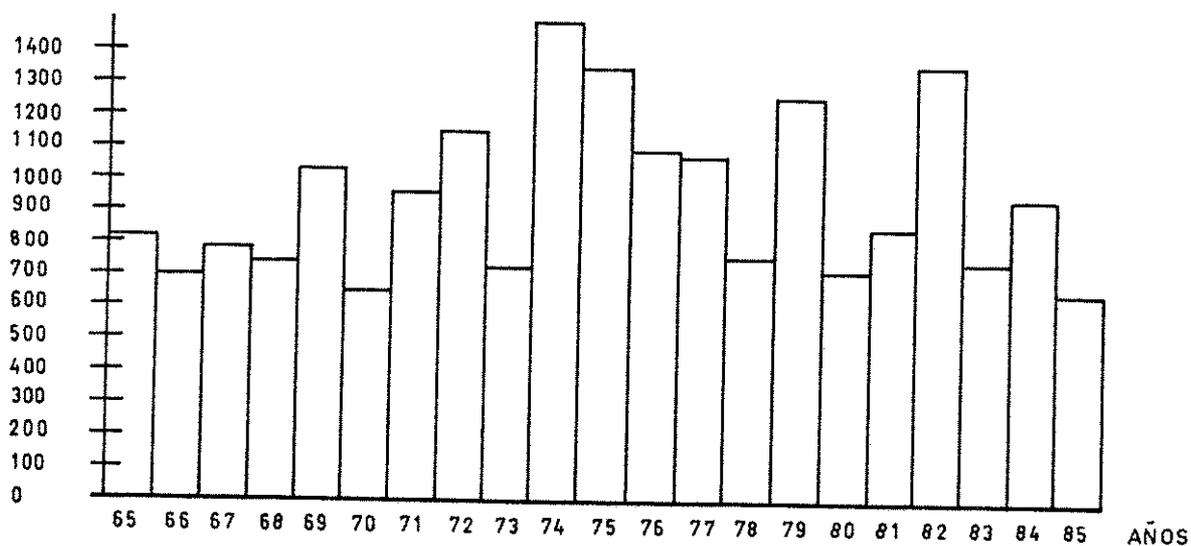


Fig. 3. Variación de las precipitaciones anuales a lo largo de la serie.

e. Energía cinética y poder erosivo de las lluvias.

La capacidad potencial de una lluvia para causar erosión o erosividad depende de sus características físicas, en especial de su intensidad, como han subrayado múltiples autores. Los enfoques experimentales se basan principalmente en ensayos con simuladores de lluvia, habiéndose puesto de manifiesto la importancia de la energía cinética de las gotas de lluvia al chocar contra la superficie del suelo.

Según Whischmeier & al(1965) el mejor estimador de la relación entre la lluvia y la pérdida de suelo es el parámetro EI_{30} , producto de la energía cinética (E) y la intensidad máxima en 30 minutos I_{30} , con un umbral mínimo de precipitación de 12,7 mm, que Hudson (1966) sitúa en 25 mm para condiciones tropicales. La energía cinética para las lluvias de la zona se ha calculado a partir de la expresión propuesta por Whischmeier (1978) y Foster & al (1981), si se disponía de valores de intensidad máxima en 30 minutos:

$$\begin{array}{ll} I > 76 \text{ mm/h} & E = 0.283 P \\ I < 76 \text{ mm/h} & E = (0.1198 + 0.0873 \log I).P \end{array}$$

donde:

| | |
|---|----------|
| E | en MJ/ha |
| I | en mm/h |
| P | en mm |

Para aquellos períodos del año en que no se dispone de bandas pluviométricas se ha establecido la recta de regresión que relaciona intensidades medias y máximas en 30 minutos, con el fin de ampliar las posibilidades de cálculo:

$$I_{30} = 459 + 0.8074 \times I_m \quad r = 0.85$$

El estudio detallado de las lluvias en el período de Julio 86 a Agosto 87 ha permitido calcular el factor R para un período anual, resultando un valor de 1794 MJ.mm/ha y año, que es considerablemente alto.

Los valores de $R = \sum EI_{30}$ se expresan en los cuadros nº 4, 5 y 6.

f. Estudio de las precipitaciones extremas y período de retorno.

Para el diseño de obras de conservación de suelos se ha calculado el período de retorno según los métodos de Gumbel y de Chow. De la aplicación a una serie de 19 años consecutivos se deduce que cada 2 años se iguala o supera una lluvia diaria de 84,6 mm (error típico de 12 mm); cada 10 años se superan los 155.5 mm (error típico de 27.6 mm), y cada 50 años, los 217.5 mm (error típico de 42.8 mm)(Cuadros nº 7 y 8).

Cuadro nº 4.- Cálculo del factor R para el área de Sant Corneli.
Análisis de las bandas pluviométricas

| Día | Pluvióme- tría P (mm) | Duración t (min) | Inten- sidad media Im (mm/h) | Inten- sidad máxima I30 (mm/h) | Energía E (MJ/ha) | EI30 MJ.mm ha |
|----------|--------------------------------|------------------------|--|--|-------------------------|---------------------|
| 11-8-86 | 4 | 30 | 8 | 8 | 1,132 | 9,056 |
| 27-8-86 | 9 | 305 | 1,8 | 6 | 2,547 | 15,282 |
| 28-8-86 | 7 | 160 | 2,6 | 4 | 1,981 | 7,924 |
| 9-9-86 | 6 | 30 | 12 | 12 | 1,698 | 20,376 |
| 1-10-86 | 4 20 | 30 285 | 8 4,2 | 8 12 | 1,132 5,660 | 9,056 67,920 |
| 2-10-86 | 10 | 190 | 3,1 | 18 | 2,830 | 50,940 |
| 13-10-86 | 17 | 30 | 34,0 | 34 | 4,811 | 163,570 |
| 14-10-86 | 9 6 | 90 15 | 6 24 | 8 24 | 2,547 1,698 | 20,367 40,752 |
| 15-10-86 | 9 | 40 | 14 | 14 | 2,547 | 35,658 |
| 16-10-86 | 10 | 90 | 6,7 | 12 | 2,830 | 33,960 |
| 18-10-86 | 2 | 60 | 2 | 2 | 0,566 | 1,132 |
| 13-11-86 | 8 | 280 | 1,7 | 10 | 2,264 | 22,640 |
| 14-11-86 | 29 | 215 | 8,1 | 12 | 8,207 | 98,484 |
| 17-11-86 | 3 | 90 | 2 | 4 | 0,849 | 3,396 |
| 17-5-87 | 47 | 1225 | 2,3 | 10 | 13,301 | 133,010 |
| 18-5-87 | 12 5 | 430 55 | 1,7 5,5 | 4 8 | 3,396 1,415 | 13,584 11,320 |
| 23-5-87 | 9 | 240 | 2,2 | 4 | 2,547 | 10,180 |
| 27-5-87 | 12 | 120 | 6 | 10 | 3,396 | 33,960 |
| 3-6-87 | 3 | 15 | 12 | 12 | 0,849 | 10,188 |

R1 (parcial) = 812,8

Cuadro nº 5.- Cálculo del factor R en el área de Sant Corneli. Resultados de la estimación a partir de intensidades medias.

| Día | Pluviometría P (mm) | Intensidad media Im (mm/h) | Intensidad máx. estim. I30 (mm/h) | Energía E(MJ/ha) | (MJ.mm) ha |
|----------|------------------------|----------------------------------|---|---------------------|---------------|
| 8-12-86 | 4,5 | 2,4 | 6,53 | 1,274 | 8,316 |
| 10- 1-87 | 11 | 1,6 | 5,88 | 3,113 | 18,304 |
| 13- 1-87 | 13,5 | 2,7 | 6,77 | 3,820 | 25,865 |
| 10- 3-87 | 11 | 1,1 | 5,48 | 3,113 | 17,059 |
| 12- 3-87 | 5 | 1,4 | 5,72 | 1,415 | 8,094 |
| 2- 4-87 | 9 | 1,7 | 5,96 | 2,547 | 15,180 |
| 3- 4-87 | 75 | 3,1 | 7,09 | 21,225 | 150,485 |
| 14- 6-87 | 20 | 4,3 | 15,94 | 5,660 | 90,220 |
| 1- 7-87 | 3,5 | 7,0 | 10,24 | 0,990 | 10,143 |
| 12- 7-87 | 5 | 3,3 | 7,25 | 1,415 | 10,259 |
| 18- 7-87 | 78 | 28,4 | 28,40 | 22,074 | 626,902 |

R2 (parcial) = 980,8

Cuadro nº 6.- Cálculo del factor R para el área de Sant Corneli como suma de los resultados del pluviógrafo y de las intensidades medias (Agosto 1986 a Julio 1987)

| | | |
|-------------|--|---------------------------------|
| R1 | Erosividad registrada por las bandas pluviográficas | 812,8 MJ.mm ----- ha |
| R2 | Erosividad estimada a partir de intensidades medias. | 980,8 MJ.mm ----- ha |
| R = R1 + R2 | | 1793,6 MJ.mm ----- ha año |

Cuadro n° 7.- Precipitación diaria máxima en función del período de retorno. Variable reducida y error típico correspondiente según el método de Gumbel.

| PERIODO DE RETORNO T (años) | VARIABLE REDUCIDA Y_t | PRECIPITACION DIARIA X_t (mm) | ERROR TIPICO (mm) |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------|
| 2 | 0,3665 | 84,64 | 12,12 |
| 5 | 1,4999 | 127,24 | 19,31 |
| 10 | 2,2504 | 155,45 | 27,61 |
| 15 | 2,6738 | 171,36 | ---- |
| 20 | 2,9702 | 182,50 | 38,84 |
| 25 | 3,1986 | 191,09 | ---- |
| 30 | 3,3843 | 198,07 | 42,08 |
| 40 | 3,6762 | 209,04 | ---- |
| 50 | 3,9019 | 217,52 | ---- |
| 100 | 4,6002 | 243,77 | ---- |

Cuadro n° 8.- Precipitaciones y períodos de retorno correspondientes según el método de Chow.

| PERIODO DE RETORNO T (años) | VARIABLE X_t' | PRECIPITACION MAXIMA X_T (mm) |
|-----------------------------|-----------------|---------------------------------|
| 2 | 9,03 | 81,5 |
| 5 | 11,10 | 123,3 |
| 10 | 12,48 | 155,7 |
| 20 | 13,80 | 190,7 |
| 30 | 14,56 | 211,9 |
| 50 | 15,50 | 240,4 |
| 100 | 16,78 | 281,7 |

g. Evapotranspiración potencial y balance hídrico.

La ETP según Thornthwaite tiene un valor de 678 mm y según Papadakis de 816 mm. El balance hídrico indica que sólo el mes de Julio tiene falta de agua, que es del orden de 12 mm. El exceso de agua a evacuar por escorrentía superficial o subterránea es importante desde Noviembre a Mayo. (Cuadro nº 9)

Cuadro nº 9.- Balance hídrico según Thornthwaite: Método exponencial. Reserva: 100 mm

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| P | 58,2 | 40,6 | 60,7 | 95,9 | 101,2 | 96,4 | 77,3 | 116,1 | 91,3 | 63,6 | 78,6 | 64,9 |
| ETP | 11,1 | 14,9 | 25,0 | 44,2 | 67,7 | 101,6 | 126,2 | 114,9 | 84,0 | 49,7 | 25,8 | 13,1 |
| P-ETP | 47,1 | 25,7 | 35,7 | 51,7 | 33,4 | -5,2 | -48,9 | 1,2 | 7,3 | 13,9 | 52,8 | 51,8 |
| RESER | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 94,9 | 58,2 | 59,4 | 66,7 | 80,6 | 100,0 | 100,0 |
| VA.RE | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -5,1 | -36,7 | 1,2 | 7,3 | 13,9 | 19,4 | 0,0 |
| ETA | 11,1 | 14,9 | 25,0 | 44,2 | 67,7 | 101,5 | 114,0 | 114,9 | 84,0 | 49,7 | 25,3 | 13,1 |
| FALTA | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 12,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| EXCE | 47,1 | 25,7 | 35,7 | 51,7 | 33,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 33,9 | 51,8 |

Cuadro nº 10.- Balance hídrico según Papadakis: Método exponencial. Reserva: 100 mm

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| P | 58,2 | 40,6 | 60,7 | 95,9 | 101,2 | 96,4 | 77,3 | 116,1 | 91,3 | 63,6 | 78,6 | 64,9 |
| ETP | 34,5 | 38,1 | 47,4 | 56,2 | 68,1 | 92,3 | 126,3 | 113,9 | 90,9 | 65,3 | 46,3 | 36,7 |
| P-ETP | 23,7 | 2,5 | 13,4 | 39,7 | 33,0 | 4,1 | -49,0 | 2,2 | 0,5 | -1,7 | 32,3 | 28,2 |
| RESER | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 61,3 | 63,5 | 63,9 | 62,9 | 95,2 | 100,0 |
| VARE | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -38,7 | 2,2 | 0,5 | -1,1 | 32,3 | 4,8 |
| ETA | 34,5 | 38,1 | 47,4 | 56,2 | 68,1 | 92,3 | 116,0 | 113,9 | 90,9 | 64,7 | 46,3 | 36,7 |
| FALTA | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 10,3 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| EXCE | 23,7 | 2,5 | 13,4 | 39,7 | 33,0 | 4,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 28,2 |

h. Diagrama ombrotérmico.

El estudio del diagrama ombrotérmico no aporta información complementaria. (Fig. 4).

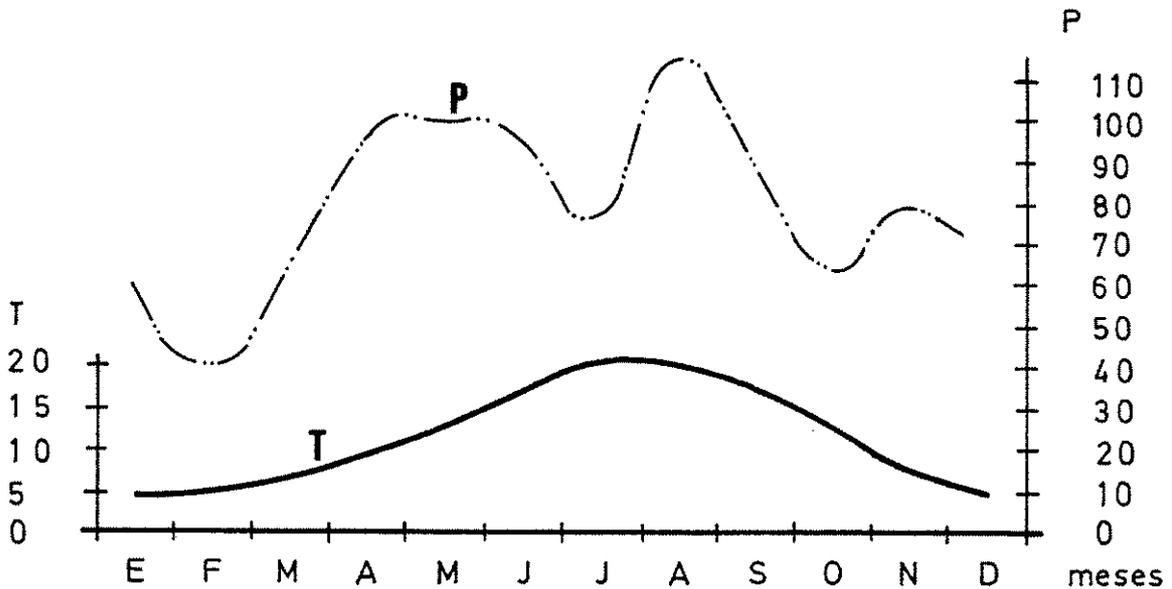


Fig. 4.- Diagrama ombrotérmico.

i. Índices y clasificaciones climáticas.

La zona pertenece al estadio mediterráneo húmedo de Emberger; clima húmedo, con poca o ninguna falta de agua, mesotérmico, con una concentración en verano de la eficacia térmica del 50,2 % (Thornthwaite); clima marítimo templado (Papadakis); clima templado medio de invierno moderado (UNESCO-FAO), y clima templado húmedo sin estación seca (Köppen).

4.2. Geología.

La zona forma parte del afloramiento de materiales del Garunniense continental (Cretácico superior) que configuran la cubeta sinclinal de Fígols-Vallcebre en su extremo occidental (Sole-Sugrañes, 1974, Martínez et al., 1978). Las series aflorantes están formadas por calcilutitas (margas) y calizas margosas nodulosas de la formación Perles. Encima reposan las calizas azoicas denominadas "cementos" que constituyen el nivel guía en las prospecciones de carbón, dado que sobre ella se hallan las margas de San Corneli que es donde se presentan las capas estratificadas de lignito.

La estratigrafía y la litología condicionan la rehabilitación de zonas afectadas por minería a cielo abierto. La primera puede afectar a la estabilidad de los taludes y de la escombrera, la segunda define las características de los materiales que sirven para rellenar las fosas y de las que quedarán finalmente en o cerca de la superficie, sirviendo de soporte para la revegetación. La actividad minera removió todos los materiales, de forma que en la escombrera la disposición actual, de la base a la superficie es la siguiente: Calizas azoicas claras en estratos de 5 a 7 m de potencia (capa-guía denominada "cemento"). Se dispone de SE a NE con buzamiento al NNW y un ángulo de inclinación de 17°. La explotación de carbón llegó hasta el techo de esta capa; y encima mezcla de materiales de la formación "San Corneli", lutitas con carbón color gris, calcilutitas de Fígols de color rojo-amarillento claro y bloques de caliza de distintos tamaños. La mezcla es debida a las operaciones de extracción del carbón, y constituye el material heterogéneo que se encuentra en superficie.

4.3. Hidrología.

La zona NW de la escombrera recibe las aguas de escorrentía de la vertiente de los "Cingles de Vallcebre". Previamente a la explotación existía un torrente importante que atravesaba todo el área. Al no haber previsto desagües al rehabilitar la zona, se ha provocado la instalación de una nueva red de drenaje, que deja sentir sus efectos al haber creado importantes incisiones en la superficie de la escombrera, resultado de procesos erosivos muy acelerados, que son uno de los objetivos de estudio.

La hidrología subterránea ha sido afectada por la explotación y, al no haberse previsto ninguna canalización de tales aguas, se observan filtraciones y surgencias en la base de algunos barrancos. Anteriormente a la explotación a cielo abierto el área había sido objeto de minería subterránea, por lo que el drenaje subterráneo era facilitado por la existencia de galerías, vías de circulación que actualmente han desaparecido.

4.4. Vegetación.

La naturaleza de los materiales geológicos que afloran en el "Alt Berguedà", predominantemente calcáreos, al igual que en la mayor parte del Prepirineo, condicionan el tipo de vegetación. En estado natural, habría dos pisos de vegetación: el montano, comprendido entre 800(900)-1300(1600)m y el subalpino, por encima de 1600(1800)m y alcanzando los 2200(2300)m. Tanto uno como otro están caracterizados por comunidades vegetales permanentes de carácter forestal.

En el piso subalpino, la comunidad climácica sobre materiales calcáreos sería el bosque de pino negro (*Pinus uncinata*), concretamente la asociación *Pulsatillo-Pinetum uncinatae*. Los pinares acidófilos de pino negro (*Rhododendro-Pinetum uncinatae*) aparecen muy localmente en la zona; mientras que el enebro rastrero (*Juniperus communis* subsp. *alpina*) puede llegar a ser frecuente en los claros del pinar. En el límite inferior del piso subalpino también pueden aparecer

comunidades de transición entre los bosques de pino negro y albar, conviviendo ambos en el *Hylocomio-Pinetum sylvestris pinetosum uncinatae*. En el piso montano, la mayor parte de la zona, en condiciones naturales, estaría ocupada por el robledal con boj (*Buxo-Quercetum pubescentis*).

Actualmente sin embargo, las comunidades vegetales más extendidas son los pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*), la mayoría de las cuales podrían incluirse en el *Buxo-Quercetum pubescentis* subas. *hylocomio-pinetosum*, comunidad resultante de la degradación del robledal y caracterizada por la presencia en el sotobosque de un gran número de especies típicas de estos habitats y con estrato arbóreo dominado por *Pinus sylvestris*. A veces, resulta difícil diferenciar esta subasociación del pinar de pino albar con musgos (*Hylocomio-Pinetum catalaunicae*), caracterizado por un estrato muscinal muy desarrollado y con una gran cantidad de especies acidófilas en el sotobosque. Excepcionalmente, los pinares podrían ser comunidades naturales localizadas en umbrías frescas y húmedas situadas a cierta altitud. Dentro también del piso montano, los bosques son frecuentemente sustituidos, sobre todo en los lugares más o menos frescos, por prados bastante densos, encuadrables dentro de la alianza *Mesobromion*.

En la zona de Cercs, el tipo de prados más frecuente es el *Plantagini-Euphrasietum pectinatae*, formado por hemicriptófitos de unos 10 cm de altura media y donde abundan *Plantago media*, *Bromus erectus*, *Lotus corniculatus*, *Onobrychis supina*, etc; estos prados requieren una humedad elevada, aunque rehuyen los suelos encharcados y son utilizados normalmente como prados de diente, especialmente por el ganado bovino, con un alto rendimiento. En los lugares donde la humedad del suelo es mayor, aparecen unos prados más altos y tiernos de la alianza *Arrhenatheretalia*; están relacionados con los prados de siega (a menudo abonados y regados), predominando en ellos las gramíneas.

Finalmente, existen otros tipos de prados en el piso montano, relacionados en unos casos con condiciones de relativa sequía y en otros con una frecuentación intensa por el ganado, aunque su representación en la zona es baja y siempre puntual. En los lugares con clima más o menos continental están los prados de la alianza *Aphyllanthion*, que presentan un recubrimiento bajo, debido a que aparece el suelo desnudo entre las plantas. En los márgenes de caminos, lugares transitados o muy frecuentados, el suelo se enriquece con aportes orgánicos y la vegetación presenta un carácter ruderal y nitrófilo.

4.5. Suelos.

No fue posible estudiar los suelos preexistentes en el emplazamiento de la explotación por haber iniciado la investigación años después de finalizada la extracción del carbón. Con el fin de conocer las características y la tendencia evolutiva general de los suelos en la zona, así como para poder inferir propiedades y características futuras de los suelos misceláneos de la escombrera, se ha realizado una caracterización de suelos del área circundante. Se trata de suelos

formados a partir de materiales calizos, calizas duras en unos casos dando localmente Rendolls líticos y Hapludolls líticos o enticos y en otros calcilutitas a partir de las cuales se forman Udorthents; en lugares más elevados donde el régimen de temperatura es crioic aparecen Cryorthents típicos. Los perfiles son del tipo A-R, A-C y A-AC. Los horizontes A tienen entre 20 y 35cm de espesor, se trata de epipedones mollicos y ochricos. (Cuadro nº 11 a 12). Los Udorthents típicos y Udorthents líticos (SSS, 1975, 1987) corresponde en general a Rendzinas, Regosoles y Litosoles como Unidades de Suelos de FAO (1971).

Según el sistema de Clases de Capacidades Agrológicas (Klingebiel & al, 1961), se trata de suelos de clase VII, sin interés agrícola, debido a la excesiva pendiente y a su poco espesor, pasando a la clase VI allí donde la pendiente es inferior al 30%, sus posibilidades de uso son forestales, como reserva natural y en algunas posiciones como pastos. Existen áreas fuertemente erosionadas por procesos naturales que, junto con aquellas de paredes verticales, pertenecen a la clase VIII, sin posibilidades silvo-pastorales. Las áreas con suelos de la clase IV con posibilidades de un uso agrícola ocupan muy poca extensión. El índice de productividad de Riquier-Bramao es muy bajo en todos los casos, excepto en aquellas áreas más llanas, cuyos suelos de mayor espesor alcanzan valores mejores del índice, aunque en cualquier caso el nivel de productividad es bajo (Cuadro nº 13). El índice de Paterson que permite evaluar la productividad forestal tiene un valor de 235.8 y la productividad forestal potencial correspondiente a suelos de este tipo es de 6,3 m³ de madera/ha y año (Cuadro nº 14).

Cuadro nº 11 .- Descripción del pedión C-1 CER
Pedión C-1 CER

Localización: Cercs, Entitat menor: Sant Corneli.

Cartografía topográfica: 1:50.000, hoja nº 36-11 M. Defensa zona D.G.
coordenadas X = 047, Y = 704 altitud 1030 m.

Descrito por Rosa Mª Poch, C.E. ETSIA Lleida, 16-SET-87

Régimen de humedad: údico. Régimen de temperatura: méxico.

Geomorfología: escala de observación, decámetros; forma del relieve, rellano; dinámica de la forma, estable; pedregosidad superficial, ligeramente pedregoso; fragmentos calcáreos; afloramientos rocosos, inexistentes.

Material original: calcilutita.

Vegetación: fisonomía, bosque aciculifolio; densidad, comunidad poco densa.

Usos del territorio: tipos de uso, forestal; uso, bosque de *Pinus pinaster*.

00-25 cm máx A - SINEDARES. Estado de humedad, seco. Color de la matriz (húmedo) 10 YR 3/3 (marrón oscuro). Manchas, no hay. En estado de oxidación. Elementos gruesos, pocos, de 0,2 a 6 cm aumentando en profundidad, de caliza, poco alterados. Estructura, grado de desarrollo fuerte, granular. Textura, Franco limosa. Compacidad, poco compacta. No cementada. Materia orgánica, abundante, bien incorporada. Actividad biológica de la fauna, deyecciones de insectos pocas. Sistema radicular afectado por contacto lítico. Raíces, muy abundantes, finas, muy finas, verticales, distribuidas regularmente, vivas y muertas. Porosidad, muy alta. No hay grietas. Reacción de la matriz al HCl 11% baja. Contacto lítico. Mullido. Epipedión mollico.

> 25 cm R Caliza dura.

Clasificación S.S.S. 1975,87: Lític Rendoll

Cuadro nº 12 .- Descripción del pedión C-1-SAL

PediónC-1 - SAL

Localización: Saldes, Paraje: Coll de Pradell.

Cartografía topográfica: 1:50.000., hoja nº 254, Lat. 39° 84' 50"N Long. 5° 30' E
OZ=1740m

Teledetección: Aérea blanco y negro, S.c.D., 1:15.000., Jun-82

Descrito por Aran M.A., C.E. ETSIA, Lleida, 06-Sep-83. Restauración del paisaje promotor D.P.T.O.P., BTR SINEDARES-CATALUNYA.

Geomorfología: escala de observación, varios hectómetros; forma del relieve, ladera cóncava; dinámica de la forma, erosión, moderada; longitud de la pendiente, 300m, simple, perfil situado en un área rectilínea, en la mitad inferior de la forma; pendiente general del 30%, local del 20% y orientación N. Pedregosidad superficial y afloramientos rocosos, moderadamente pedregoso, fragmentos de caliza en un 1%; sin afloramientos rocosos.

Material original: Rocas detríticas terrígenas.

Vegetación: bosque aciculifolio, con *P. uncinata*.

Usos del territorio: Uso agrícola limitado por escaso espesor, y pendiente excesiva.

00- 0/4 cm O(SINEDARES), ligeramente húmedo. Manchas, no hay. Elementos gruesos muy pocos. No coherente, friable, débil. Materia orgánica muy abundante, restos y residuos, acículas, débilmente descompuesta. Actividad de la fauna, galerías. Sistema radicular normal, raíces de diámetro menor de 10 mm, muy abundantes, discontinuas, verticales, interestructurales, intersticiales. Pruebas de campo, en el conjunto del horizonte, con HCl(11%) respuesta nula. Límite abrupto, plano.

0/4-15/23 cm A. Húmedo; color de la matriz, en húmedo 5YR3/4, pardo rojizo oscuro. En estado de oxidación. Elementos gruesos, pocos; caliza, heterométricos, gravilla y grava gruesa, subangular-tabulares, sin orientación definida, distribución irregular, poco alterados. Franco grueso. Poco compacto, ligeramente adherente, no plástico, friable, duro. Materia orgánica abundante, no directamente observable, bien descompuesta, bien incorporada. Actividad de la fauna, galerías. Raíces de diámetro menor de 10 mm frecuentes, de muy finas a gruesas, horizontales, de distribución irregular, vivas, raíces de diámetro mayor de 10 mm frecuentes, horizontales vivas. Porosidad global moderada; poros finos, frecuentes, discontinuos, sin orientación. Pruebas de campo, en el conjunto del horizonte, con HCl (11%) respuesta baja. Límite neto, plano. Ochrico.

15/23-150 cm C. Húmedo. En estado de oxidación. Elementos gruesos, muy abundantes; calizas heterométricas, de gravilla a bloques; subangulares-tabulares, sin orientación definida, distribución irregular, poco alterados. Compacto. Materia orgánica inapreciable, no directamente observable. Raíces de diámetro menor de 10 mm muy pocas, raíces de diámetro mayor de 10 mm no hay. Porosidad global baja. Pruebas de campo, en el conjunto del horizonte, con HCl(11%) respuesta media.

Clasificación según S.S.S., 1975, 87: Typic Cryorthent.

Cuadro nº 13.- Parámetros del índice de productividad de Riquier-Bramao en suelos de la zona.

| FACTORES | SIMBOLO ESTIMADO | VALOR |
|------------------------------|------------------|----------|
| Régimen Hídrico | H | 90 |
| Drenaje | D | 100 |
| Profundidad efectiva | P | 20 |
| Materia Orgánica | A | 100 |
| Textura y estructura | T | 80 |
| Grado de saturación de bases | V | 80 a 100 |
| Minerales en reserva | M | 80 |
| Tipo de arcilla | A | 95 |
| Relieve | R | 5 a 70 |

Cuadro nº 14.- Productividad potencial en Sant Corneli según el índice de Paterson.

| PARAMETROS | SIMBOLO | VALOR |
|----------------------------------|---------|------------------------------|
| Temperatura media del mes cálido | V | 20,45° C |
| Intervalo anual de temperaturas | f | 0,457 |
| Precipitación media anual | P | 944,8 mm |
| Factor de insolación | A | 28,06° C |
| Duración del período vegetativo | G | 9 meses |
| Valor del índice | I | 235,8 |
| Coefficiente litológico | CL | 1,22 |
| PRODUCTIVIDAD FORESTAL | Y | 6,3 m ³ /ha y año |

4.6. Procesos erosivos.

Las distintas formas de erosión son muy patentes en las áreas circundantes a las afectadas por actividades mineras. Particularmente visibles resulta la erosión en cárcavas y las áreas de badlands. La explotación agrícola del territorio ha ido ligada a la adopción de medidas de conservación de suelos, como lo ponen de manifiesto las terrazas que existen en los alrededores de la escombrera.

5. IMPACTOS DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD MINERA.

Las explotaciones a cielo abierto resultan muy espectaculares por el impacto visual que producen mientras dura la explotación. En el caso de la explotación estudiada, el marco que la envuelve aumenta el contraste.

El conjunto de impactos provocados puede ser más o menos reversible en un período de tiempo que varía de unos a otros. En una rehabilitación controlada los efectos de la explotación deben ir desapareciendo de forma progresiva. No obstante, en este caso, a pesar de contar con un clima favorable al establecimiento de la vegetación, los impactos no se han amortiguado a una velocidad aceptable. Ello se debe a los problemas derivados de los procesos erosivos no suficientemente controlados y a las dificultades encontradas por la vegetación para instalarse. Todo ello puede conducir a unos plazos de rehabilitación excesivamente largos. Se realiza una evaluación de impactos en la hipótesis de una situación previa a la explotación y se contrasta con la situación de después de la construcción de la escombrera.

5.1. Tipología de los impactos.

a. Impacto visual

El impacto visual resulta inherente a este tipo de explotaciones. No obstante la zona sólo es visible desde el pueblo minero de Sant Corneli, y no es atravesada por vías de comunicación, por lo que el impacto visual resultaría poco aparente. La evaluación del impacto visual realizada atendiendo a cinco criterios de sensibilidad: posición, población, proximidad, vías de comunicación y vegetación (Cuadro nº 15) permite una cuantificación relativa de este impacto. De este modo se pueden comparar los efectos visuales de diversos emplazamientos de igual o análogo interés económico y tomar decisiones sobre localizaciones de menor impacto visual. La suma de los valores de cada uno de los criterios de sensibilidad da un valor de 9 para el impacto visual en los años que duró esta explotación.

En la etapa post-explotación este impacto se mantiene parcialmente, debido a la lentitud de la rehabilitación.

Cuadro nº 15.- Tipología y evaluación de impactos: Criterios de sensibilidad.

| TIPO DE IMPACTO | CRITERIO | EVALUACION |
|----------------------|---|------------|
| Posición | Visible desde zonas frecuentadas | 3 |
| Población | Visible sólo desde Sant Corneli (pequeña población minera). | 1 |
| Proximidad | Las poblaciones se hallan a más de 200 m | 1 |
| Vías de comunicación | La zona no es atravesada por vías de comunicación | 1 |
| Vegetación | La vegetación natural debe ser eliminada en su totalidad. | 3 |

b. Impacto acústico.

El nivel de potencia, que es el que se utiliza para evaluar el impacto acústico, alcanzó durante la explotación valores de 1000 CV/ha. Los ruidos han ido asociados a la explotación y rehabilitación. Durante la primera hubo explosiones de gran intensidad y corta duración, llevadas a cabo para volar las capas duras que formaban la cobertera.

La profundidad de la excavación y el efecto pantalla de la vegetación harían disminuir el impacto. El ruido habría afectado principalmente a la fauna. Al finalizar la explotación este impacto ha desaparecido.

c. Impacto atmosférico.

La explotación generó polvo, al igual que los caminos al ser transitados por camiones de gran tonelaje. Dada la elevada pluviometría de la zona este impacto se vería disminuido. Por los bajos contenidos en azufre de los carbones de esta cuenca y la ausencia de incendios en las escombreras, no es esperable una contaminación por anhídrido sulfuroso procedente de las escombreras. Al finalizar la explotación este impacto ha desaparecido totalmente.

d. Impacto biológico.

El impacto sobre la vegetación, un bosque de pinos (*Pinus sylvestris*), ha sido total, por lo que al finalizar el relleno de la fosa había que haber previsto una revegetación controlada de la escombrera y un adecuado seguimiento del nivel de implantación de la vegetación.

Después de la explotación, una revegetación natural puede requerir un período de 20 años, como mínimo. Este plazo se alarga en el caso actual, al haber realizado la rehabilitación sin capaceo. Las calcilutitas que constituyen el suelo miscelaneo son especialmente desfavorables para el crecimiento de las plantas.

La recuperación de la vegetación inicial, incluso con una rehabilitación controlada, supone un proceso a largo plazo. Un bosque maduro de *Pinus sylvestris*, requiere de 40 a 60 años. La fauna desapareció al iniciar la explotación, sin embargo, no consta un interés faunístico especial de esta zona.

e. Impacto edáfico.

La explotación a cielo abierto implicó la destrucción del suelo, su total desorganización. El impacto ha resultado máximo dado que no se realizó capaceo. El suelo quedó mezclado con los fragmentos de roca de la cobertera y se perdió. Este impacto se mantiene en la etapa post-explotación y frena las posibilidades de revegetación.

f. Impacto morfológico.

La excavación supuso un impacto total sobre la morfología de la zona. El relleno final de la fosa ha conducido a una morfología distinta de la inicial. Dos son los aspectos a considerar, que las formas sean estables frente a movimientos de masa y minimizar la erosión hídrica. El esponjamiento de los materiales se supone de 1,2 a 1,5 por lo que el volumen de carbón extraído ha quedado compensado.

g. Impacto geotécnico.

Al pasar de una zona con una determinada litología y estratigrafía a una fosa rellena de escombros, las características geotécnicas pasan de favorables a potencialmente desfavorables. Las calcilutitas dan lugar a un depósito con un ángulo de rozamiento interno bajo, de unos 20° y con poca cohesión, unas 2 Tm/m^2 y peso específico de 1,7 frente a valores de 35° , 4 Tm/m^2 y 2,4 para el terreno no excavado.

El esponjamiento del material hace aumentar la relación de huecos, con lo que disminuye la densidad aparente. La permeabilidad diferencial del terreno relleno aumenta la humedad en determinados niveles, que con ello pueden actuar de capa lubricante, con el consiguiente riesgo de movimientos de masa de tipo rotacional.

El impacto geotécnico condiciona la estabilidad de la escombrera y las posibilidades de uso futuro de la zona. Por consiguiente, resulta importante que se archive, para consulta futura, la localización exacta de las labores mineras, al suponer una servidumbre. La zona tiene un grado sísmico v, lo que hace que haya que aumentar los factores de seguridad hasta 1,5 al calcular los taludes.

En 1989 se han identificado cicatrices en el terreno resultantes de movimientos de masa de tipo rotacional múltiple, que se describen más adelante.

h. Impacto hidrogeológico.

El estudio hidrogeológico del área en su situación previa a la explotación del carbón, deducida a partir de la fotointerpretación, ha puesto de manifiesto que no había cursos de agua permanentes. La red de drenaje estaba constituida por cursos de tipo torrente, siendo el de Sant Corneli el curso más importante.

La zona forma parte de una cuenca más amplia, por lo que recibe aguas de escorrentía de aguas arriba; cuya evacuación debía haber sido controlada para evitar la aceleración de los procesos erosivos. Para evitar crear un acuífero artificial colgado en la escombrera dada la pluviometría de la zona, interesaba diseñar terrazas de desagüe y no de absorción.

i. Impacto del pastoreo.

En una zona con dificultades de revegetación como ésta debería evitarse el pastoreo hasta tanto en cuanto la vegetación llegue a estar bien establecida. En 1989 los rebaños de caballos, vacas u ovejas esquilmán la poca vegetación existente.

5.2. Matriz de evaluación de impactos.

El análisis de impactos se visualiza mejor utilizando una estructura matricial, que permite poner en evidencia las interrelaciones y comparar diferentes

situaciones alternativas. Se utilizan matrices de acciones/factores (Leopold, 1971) o matrices de elementos perturbadores/impactos/restituciones, que permiten evaluar las posibilidades de amortiguar los distintos impactos (Cuadro nº 16), por medio de medidas preventivas y medidas curativas. La evaluación del impacto y de las posibilidades de rehabilitación conlleva siempre un elevado nivel de subjetividad, no obstante, con esta metodología se facilita el análisis de diversas operaciones y situaciones.

Cuadro nº 16.- Matriz de impactos debidos a la extracción de carbón a cielo abierto: Supuesto ideal para la zona.

| Elementos perturbadores | IMPACTOS MIENTRAS DURA LA EXTRACCION | | | | | | | | | | restituciones | |
|------------------------------|--------------------------------------|----------|-------------|-----------|---------|-------------|---------|------------|----------------|------------|---------------------------|------------------------------|
| | VISUAL (vista de lejos) | ACUSTICO | ATMOSFERICO | BIOLOGICO | EROSION | MORFOLOGICO | EDAFICO | RECREATIVO | HIDROGEOLOGICO | GEOTECNICO | REHABILITACION NATURAL | REHABILITACION CONTROLADA |
| Eliminación de la vegetación | XXX | X | X | XXX | XX | 0 | X | XXX | X | 0 | * | ** |
| Capacso | X | X | XX | XXX | 0 | X | XXX | XXX | X | X | ∅ | ** |
| Excavación | XXX | XXX | XXX | XXX | 0 | XXX | 0 | XXX | XX | XX | ∅ | ** |
| Extracción | XXX | XXX | XXX | 0 | 0 | X | 0 | XXX | XX | XX | | |
| Escombros | XX | XX | XXX | X | 0 | XX | 0 | XXX | XX | X | ∅ | ** |
| Plantas de tratamiento | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Edificios auxiliares | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Transporte por caminos | X | X | XX | X | X | 0 | 0 | XX | 0 | 0 | *** | *** |

0 = Ausencias de impacto / x = impacto débil / xx = impacto medio/ xxx = impacto alto.

∅ =Rehabilitación natural imposible

Rehabilitación controlada: * difícil/ ** bastante realizable / *** fácil.

6. ESTUDIO DE LA ZONA REHABILITADA.

A partir del plano topográfico a escala 1:500 (Carbones de Berga, S.A. 1977) y de la fotointerpretación, ha sido posible conocer la morfología de la zona previamente a la explotación, así como las características de la red de drenaje. La forma de la zona era la de una vertiente convexa con pendientes del orden del 20%, una forma de este tipo estaría condicionada por procesos de creep o reptación sobre material incoherente con cubierta vegetal.

La red de drenaje estaba formada principalmente por tres torrentes, el de San Corneli con un tramo de dirección NW-SE y otro W-E y que constituyen el límite N de la zona explotada; otro torrente de dirección SW-NE de corto recorrido y que tiene un inicio dentro de la misma zona; y finalmente uno con dirección SW-NE. Este último, que es el más importante, desde el punto de vista de la escombrera, nace y atraviesa toda la zona, y tiene una longitud total de 490 m y una pendiente general del 16,3%, pudiendo diferenciarse un tramo con una pendiente del 66,7% en una longitud de únicamente 3 metros y tramos con pendientes inferiores al 10% que representan una cuarta parte de la longitud total. La sección transversal muestra que el torrente estaba encajado, que la red de drenaje estaba bien establecida y era estable (Fig. 5). La estabilidad de la red de drenaje estaba asegurada por la existencia de una masa forestal densa de *Pinus sylvestris*.

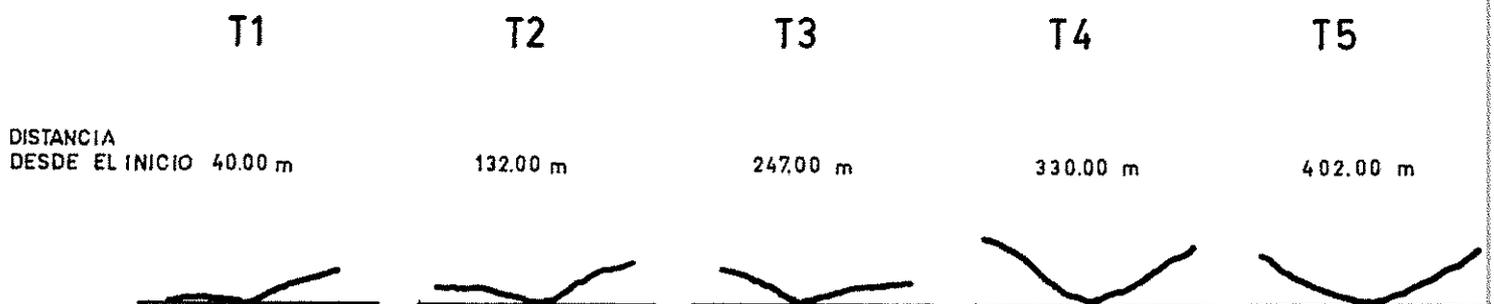


Fig. 5.- Perfiles transversales del torrente principal de la zona Sant Corneli anterior a la explotación.

6.1. Explotación del carbón.

La explotación a cielo abierto ha consistido en excavar grandes fosas para tener acceso directo a las capas de carbón (Fig. 6). Los ratios recubrimiento-carbón van de 8 a 25 y para que la explotación sea económicamente interesante la potencia de las capas debe superar los 70-100 cm.

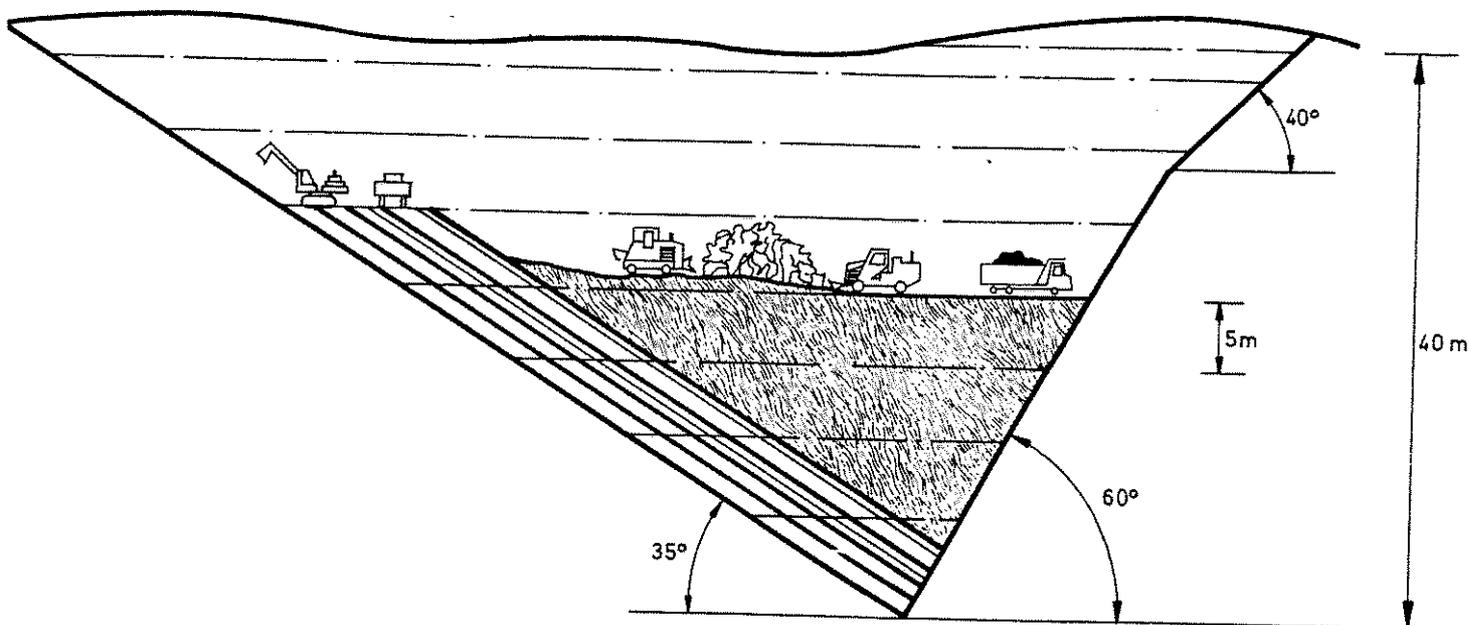


Fig 6.- Esquema de una explotación de carbón a cielo abierto en el área de Sant Corneli: El tipo de fosas da una gran estabilidad a las escombreras (cedido por Carbones de Berga, S.A.).

6.2. Morfología y red de drenaje.

La Empresa, una vez finalizada la extracción del carbón, procedió al relleno de la fosa, llegando a la morfología actual. Estas operaciones se realizaron en 1978, momento en el que la Administración todavía no exigía un proyecto de rehabilitación. A pesar de ello, se construyeron bermas con función de terrazas de absorción y se hizo una revegetación.

La morfología actual es en laderas, una parte de las cuales forman una cuenca de drenaje y constituyen una subcuenca de drenaje, orientada de W a E, con desagüe por el E en el torrente de Sant Corneli. Otra parte de la escombrera se halla integrada en otra subcuenca donde también se integran áreas no excavadas (sector del Torrente de Sant Corneli. Fig. 11). Las laderas actuales de la escombrera son de tipo complejo, principalmente en la parte E y SE, debido al abanalamiento realizado durante la rehabilitación.

Las bermas construidas no respondían a un diseño previamente calculado y proyectado sino que fueron construidas de forma empírica. En la zona Oeste predominan las vertientes mixtas, con una parte superior alomada, convexa en el eje principal de drenaje de la escombrera. En la Fig. 7 pueden observarse las pendientes en el área rehabilitada.

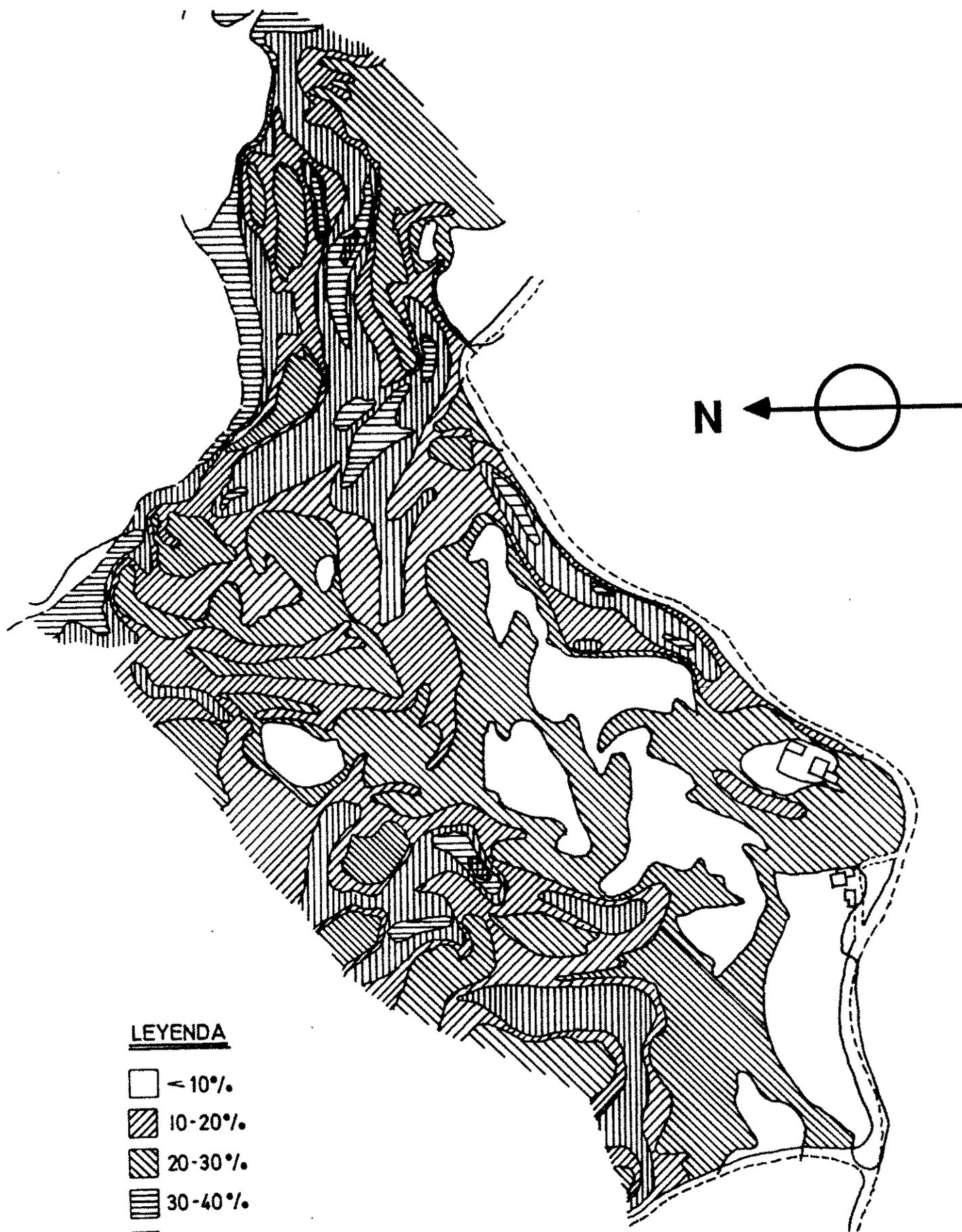
El hecho más destacable de la red de drenaje es la falta de control debido a la ineficacia de las bermas. Ello se evidencia por haberse desarrollado una red de cárcavas y barrancos que disectan el terreno incluso allí donde hay bermas. La red de cárcavas y barrancos orientada E-W sigue aproximadamente el recorrido de los torrentes existentes en la zona antes de la explotación. La falta de una base de cálculo y diseño basados en los conocimientos de conservación de suelos se hace pues muy notoria.

6.3 Suelos misceláneos.

a. Materiales originarios.

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 bloques muy grandes). Aparecen a veces cristales de yeso de tamaño macroscópico. Los materiales están dispuestos al azar, sin que sea posible identificar ningún tipo de orden en su colocación.

La elevada heterogeneidad de estos materiales se refiere tanto a su granulometría y composición, como al grado de compactación. La parte superior de la escombrera presenta las mismas características que el resto, dado que la explotación rehabilitación se realizó sin capaceo.



LEYENDA

- < 10%.
- ▨ 10-20%.
- ▩ 20-30%.
- ▧ 30-40%.
- ▦ 40-50%.
- ▤ > 50%.

Fig. 7.- Mapa de pendientes

b. Características de los suelos misceláneos.

Los suelos misceláneos de la escombrera presentan unas características muy semejantes a las de los materiales originarios a partir de los cuales se forman, por el poco tiempo transcurrido, por la riqueza en carbonatos, así como por su baja conductividad hidráulica, lo que hace que sea un medio más bien confinado.

Como características más destacables de los suelos misceláneos del conjunto de la escombrera cabe indicar, en nomenclatura SINEDARES (C.B.D.S.A. 1983):

- Régimen de humedad del suelo (SSS, 1975, 1987): údico.
Régimen de temperatura del suelo (SSS, 1975, 1987): méxico.
- Clase de drenaje: imperfectamente drenado.
- Clase de 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 gravas 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.

Las principales características analíticas de estos suelos se incluyen en el Cuadro nº 17 y Fig. 8 y los valores de conductividad hidráulica y velocidad de infiltración en el Cuadro nº 18. 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. Ello es debido principalmente 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.

Las propiedades físicas del material de la escombrera impiden el lavado del yeso, debido a que sólo una cantidad muy pequeña de agua se infiltra .

Desde un punto de vista de capacidad agrológica se trata de suelos de clase VIII, si bien pasarían a clase VI si se aplicasen unas medidas adecuadas de conservación y se fomentase la implantación de una cubierta vegetal. Su productividad agrícola es muy baja.

Cuadro nº 17.- Características analíticas de los suelos misceláneos de la escombrera.

| Ref. | Prof. cm | pH 12,5H ₂ O | C.O. % | m.o. % | Ca CO ₃ equiv. % | Granulometría USDA | | | | Textura USDA | Contenido de agua | | P Olsen ppm | K ppm | CE dS/m 25° C | |
|------|----------|-------------------------|--------|--------|-----------------------------|--------------------|--------------|--------|-----------|--------------|-------------------|------------|-------------|-------|---------------|----------|
| | | | | | | Arena gr % | Arena fina % | Limo % | Arcilla % | | -33KPa % | -1500KPa % | | | 1/5 | ext p.s. |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 53 | 0-15 | 7,8 | - | - | 33,8 | 5,0 | 15,0 | 45,0 | 35,0 | Fa | - | - | 5 | - | 1,59 | - |
| 54 | 0-15 | 7,9 | - | - | 25,3 | 2,0 | 9,0 | 73,0 | 16,0 | FL | - | - | 2 | - | 0,96 | - |
| 55 | 0-15 | 8,2 | - | - | 31,7 | 6,0 | 17,0 | 37,0 | 40,0 | Fa | - | - | 2 | - | 0,51 | - |
| 57 | 0-15 | 7,8 | - | - | 30,4 | 3,0 | 13,0 | 67,0 | 17,0 | FL | - | - | 2 | - | 2,06 | - |
| 58 | 0-15 | 8,6 | - | - | 21,1 | 2,0 | 10,0 | 53,0 | 35,0 | FaL | - | - | 4 | - | 0,21 | - |
| 59 | 0-15 | 7,8 | - | - | 25,0 | 11,0 | 16,0 | 40,0 | 33,0 | Fa | - | - | 3 | - | 1,82 | 2,83 |
| 60 | 0-15 | 8,7 | - | - | 23,7 | 2,0 | 30,0 | 36,0 | 32,0 | Fa | - | - | 2 | - | 0,19 | 0,87 |
| 62 | 0-15 | 7,9 | - | - | 19,0 | 3,0 | 10,0 | 47,0 | 40,0 | FaL | - | - | 2 | - | 1,67 | - |
| 63 | 0-15 | 7,8 | - | - | 34,0 | 4,0 | 15,0 | 67,0 | 14,0 | FL | - | - | 21 | - | 1,82 | - |
| 64 | 0-15 | 7,7 | - | - | 24,0 | 4,0 | 17,0 | 65,0 | 14,0 | FL | - | - | 2 | - | 2,20 | 2,79 |
| 65 | 0-15 | 8,7 | - | - | 37,2 | 1,0 | 5,0 | 56,0 | 38,0 | FaL | - | - | 2 | - | 0,20 | - |
| 66 | 0-15 | 7,3 | - | - | 31,7 | - | - | - | - | - | - | - | 3 | - | 0,26 | - |
| 67 | 0-15 | 8,1 | - | - | 29,0 | 2,0 | 16,0 | 62,0 | 20,0 | FL | - | - | 20 | - | 0,53 | - |
| 2077 | Sup. | 8,2 | 0,5 | 0,9 | 39,5 | - | - | - | - | - | 19,8 | 9,0 | 8 | 140 | 0,24 | - |
| 2078 | Sup. | 8,1 | 3,9 | 6,7 | 33,9 | - | - | - | - | - | 24,0 | 12,9 | 6 | 190 | 0,75 | - |
| 2079 | Sup. | 8,8 | 0,7 | 1,2 | 35,9 | - | - | - | - | - | 21,2 | 9,7 | 15 | 253 | 0,31 | - |
| 2080 | Sup. | 8,9 | - | - | 25,6 | - | - | - | - | - | - | - | 5 | 184 | 0,25 | - |
| 2081 | Sup. | 8,8 | - | - | 95,6 | - | - | - | - | - | 27,7 | 14,6 | 3 | 82 | 0,13 | - |

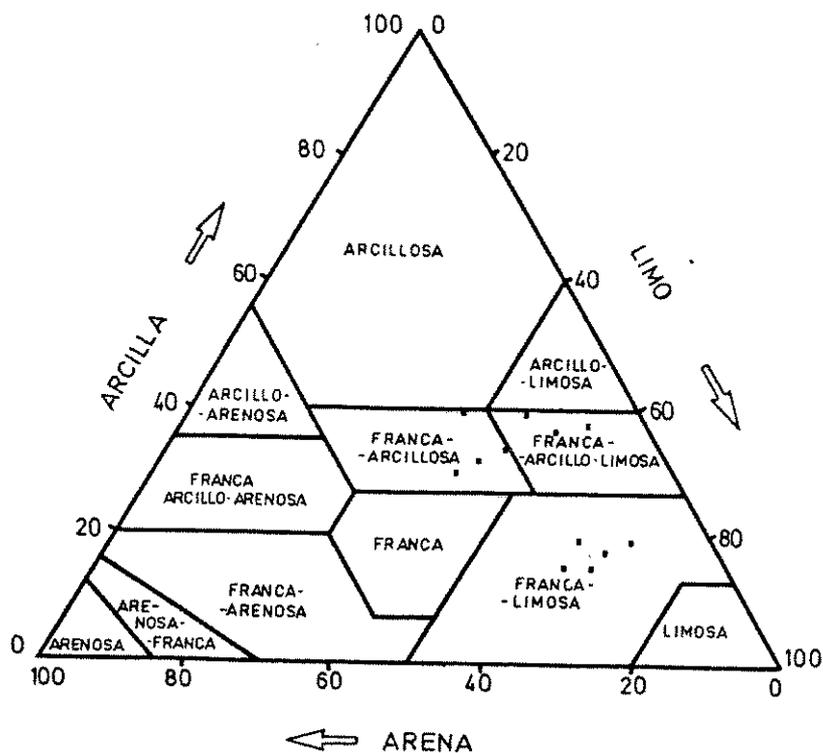


Fig. 8.- Distribución de las clases de textura (USDA) de los suelos misceláneos de la escombrera.

Cuadro nº 18.- Características hídricas de los suelos misceláneos de la escombrera.

| | Puntos | valor | Evaluación SINEDARES |
|--------------------------------|--------|-------|----------------------|
| Conductividad hidráulica m/día | 1 | 0,270 | mediana |
| | 2 | 0,002 | muy baja |
| | 3 | 0,012 | baja |
| | 4 | 0,017 | baja |
| | 5 | 0,062 | baja |
| Velocidad de infiltración mm/h | 1 | 1,3 | insuficiente |
| | 2 | 2,4 | insuficiente |
| | 3 | - | - |
| | 4 | 11,5 | med-alta |
| | 5 | 0,001 | insuficiente |

La baja velocidad de infiltración de los suelos misceláneos, evaluada como insuficiente (Cuadro nº 18) provoca la rápida aparición de escorrentía superficial. Después de 24 h de una lluvia intensa (>50 mm) la cantidad de agua disponible que el suelo retiene era de 24 mm en los primeros 20 cm y de 3 mm de 20-40 cm. La escorrentía había sido del orden del 50% y la falta de agua el principal responsable de los problemas de revegetación.

c. Mineralogía de arcillas.

El análisis semicuantitativo de la fracción arcilla realizado a partir de los diagramas de difracción de rayos X indica el predominio de los minerales laminares (86%), seguidos de un 10% de cuarzo, un 4% de feldespato y un 1% de goethita. Los minerales arcillosos predominantes son la caolinita (39%) cuya naturaleza ha sido comprobada por espectrofotometría infrarrojos (Fig. 9) y la ilita (35%). Es de destacar además, la presencia de un 12% de esmectita.

La meteorización física debida a los procesos de expansión-retracción de los minerales hinchables es muy activa en las paredes de las cárcavas y barrancos. La fragmentación de las partículas al secarse favorecen su posterior arrastre en las siguientes lluvias, siendo una de las causas del crecimiento tan acelerado que presentan los canales de cárcavas y barrancos.

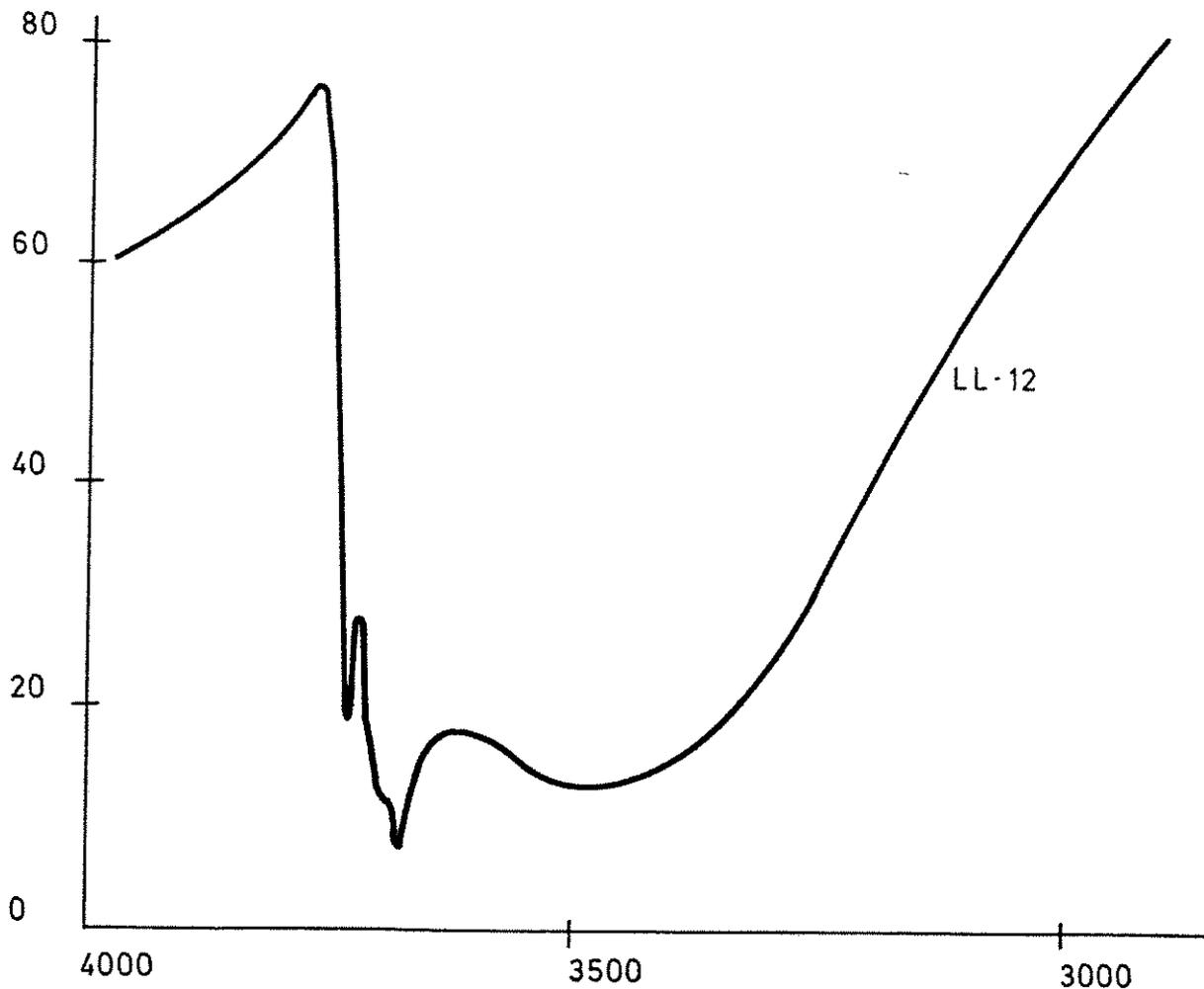


Fig. 9.- Espectro infrarrojo para comprobar la existencia de caolinita.

6.4. Estudio de la revegetación.

La fisonomía de la vegetación es la de suelo desnudo en un elevado porcentaje de la superficie, estando formado el resto por un prado bajo muy degradado. Las especies vegetales sembradas y que persisten son la alfalfa (*Medicago sativa*) y la esparceta (*Onobrychis viciifolia*), junto a ellas se han instalado ruderales tales como *Pastinaca sativa* subsp. *sylvestris* y *Cirsium arvense*. En los lugares con algo de humedad hay restos de comunidades hidrófilas con *Agrostis stolonifera* y *Cirsium monspessulanum*, y también plantas de prados subhúmedos como *Dactylis glomerata* y *Carex flacca*.

El recubrimiento en la zona llana o con poca pendiente puede llegar al 75%, pudiéndose instalar entonces unos "prados" incipientes dominados por gramíneas y leguminosas; pero ya con pendientes del 30% el recubrimiento puede ser inferior al 25%, dependiendo, evidentemente, de los materiales que afloran, aunque este recubrimiento puede aumentar ligeramente si consigue instalarse la uña de caballo (*Tussilago farfara*), una compuesta rizomatosa de hojas grandes y que prefiere suelos arcillosos con una cierta humedad. Bordeando la escombrera, pero ya fuera, se han conservado pequeños pinares donde conviven pino albar (*Pinus sylvestris*) y pino negral (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*), con presencia en el sotobosque de enebro común (*Juniperus communis* subsp. *communis*) y boj (*Buxus sempervirens*) y con estrato herbáceo de *Brachypodium phoenicoides* y dátilo (*Dactylis glomerata*). Otros pinares pastoreados de la zona presentan en el sotobosque una comunidad dominada por *Plantago media* y *Euphrasia pectinata* (asociación *Plantagini-Euphrasietum pectinatae*) y que pueden considerarse, desde el punto de vista fitocenológico, como prados con árboles; en la zona N también hay algún rodal de bosque caducifolio, dominado por *Quercus pubescens* y *Acer opalus*.

6.5. Valoración de la rehabilitación desde el punto de vista de la evaluación de tierras.

La adopción de un enfoque de evaluación de tierras, empleando los conceptos propuestos por FAO (1976), debe ayudar a fijar los objetivos deseables a alcanzar en la fase de rehabilitación, ayudando a planificar las distintas fases de la explotación del carbón a cielo abierto integrándolas con el plan de rehabilitación (Fig. 10). El primer paso para establecer los objetivos a alcanzar en la rehabilitación consiste en determinar los tipos de uso de las tierras (LUT) que se consideren aceptables para los futuros usuarios de la zona. En el caso de la escombrera de Sant Corneli, el tipo de utilización de las tierras (LUT) era los pastos y el bosque. Ambos LUT permiten una minimización de los impactos producidos por la explotación minera y que han sido descritos en el apartado 5.

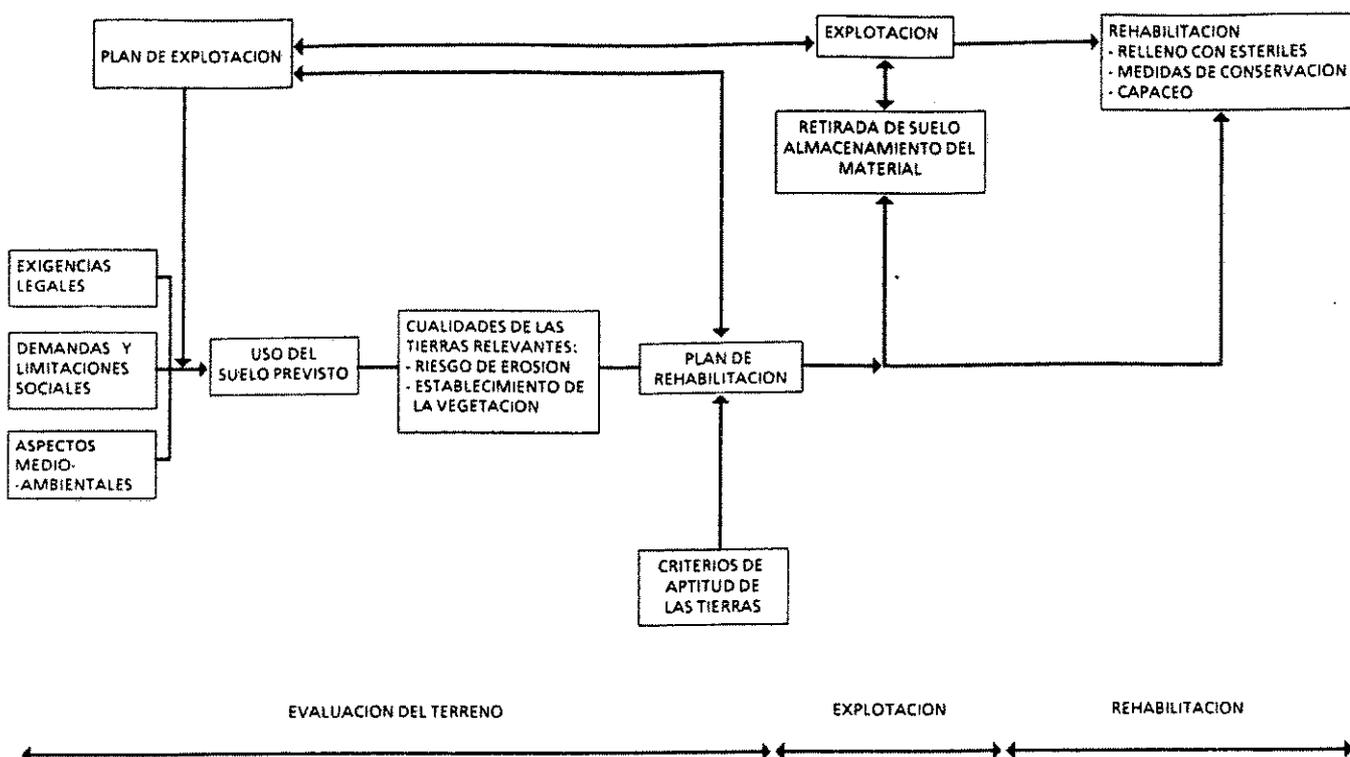


Fig. 10 .- Evaluación de tierras y conservación de suelos en planificación integrada de minería a cielo abierto y rehabilitación.

Como criterio de diagnóstico hay que usar la cantidad total de material erosionado y que se exporta al embalse de La Baells. Otros criterios a tener en cuenta serían la velocidad con que el área se recupera de los impactos producidos por la explotación minera, principalmente impactos visuales, biológicos, edáficos y morfológicos. Las cualidades de la tierra (LQ) más importantes para los tipos de uso (LUT) propuestos son la posibilidad de establecer la vegetación y el riesgo de erosión (Cuadro nº 19).

La rehabilitación realizada no ha alcanzado sus objetivos y ello puede atribuirse, entre otras razones, a la falta de un esquema conceptual claro, tal como el que facilita la evaluación de tierras.

El desconocimiento de las exigencias de los distintos usos que se desee implantar, lleva a olvidar que las tasas de erosión que se podían permitir eran muy bajas. Aún cuando las bermas construidas pretendían aminorar la erosión, al no aplicar los conocimientos referentes a los procesos relacionados con la erosión y conservación de suelos se llegó a la ineficacia con dichas medidas.

Cuadro nº 19. Principales cualidades y características de las tierras a considerar en la rehabilitación de áreas de minería a cielo abierto en El Bergadá.

| Cualidades de las tierras | Características de las tierras |
|--|--|
| Posibilidades de establecimiento de la vegetación. | Disponibilidad de agua: Textura Profundidad del suelo. Infiltración Lluvia Pendiente. Ausencia de toxicidades: Contenido de azufre. Sales Acidez Disponibilidad de nutrientes: Materia orgánica Fósforo Potasio |
| Riesgo de erosión | Características de la lluvia. Longitud de la ladera y pendiente. Infiltración. Escorrentía superficial. Capacidad de retención de agua. Medidas de conservación de suelos existentes. Pedregosidad superficial. |

La EUPS puede ser empleada como predictor de la erosión, pero como ya se ha señalado, hay que tener en cuenta que no considera la erosión por cárcavas y barrancos, siendo éstos especialmente importantes en las escombreras.

La benignidad del clima llevó a estimar que la revegetación debía ser un proceso muy rápido. Se olvidó que en este caso la unidad de tratamiento, la, escombrera, que puede asimilarse a una unidad de evaluación de tierras (LEU), no reunía los requisitos mínimos para la revegetación (Cuadro nº 19).

Algunas de las características, especialmente las relacionadas con la disponibilidad de agua, no alcanzan los niveles mínimos. Lograr estos niveles mínimos de calidad de la tierra (LQ) compatibles con los usos (LUT) propuestos sólo es posible si se actúa en el momento adecuado de explotación/rehabilitación, tal como se sugiere en la Fig. 10 .

7. PROCESOS EROSIVOS EN ESCOMBRERAS: Descripción y cuantificación.

La escombrera presenta en su superficie morfologías que evidencian la acción de procesos erosivos muy activos. Esta pérdida de suelo supone una degradación progresiva del área. En la escombrera se han identificado procesos de erosión por salpicadura (splash erosion), erosión por escorrentía superficial difusa (sheet erosion) y erosión por escorrentía superficial concentrada en arroyaderos (rill erosion) y en cárcavas y barrancos (gully erosion).

7.1. Protocolo experimental.

El protocolo experimental empleado ha perseguido un triple objetivo, cuantificar los procesos erosivos pasados, estimar la erosión esperable, mostrar desde un punto de vista didáctico las posibilidades que existen para cuantificar la erosión.

El protocolo experimental incluye:

- . Pluviómetros y pluviógrafos.
- . Simulador de lluvia.
- . Cajas Gerlach.
- . Miniparcelas de erosión.
- . Aforador de caudales tipo "Parshall".
- . Levantamiento topográfico.
- . Cubicación del material perdido por erosión concentrada.
- . Seguimiento de la evolución de las cárcavas y barrancos.
- . Parcelas experimentales de revegetación.
- . Seguimiento de la revegetación.

7.2. Erosión por salpicadura.

a. Identificación y descripción del proceso.

La erosión por salpicadura es el resultado del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo. Se pone de manifiesto por la presencia de pedregosidad superficial, raíces y otros elementos protectores del impacto de las gotas de lluvia. En la escombrera el mejor indicador del proceso lo constituyen pequeñas "dammes coiffées" de magnitud centimétrica que aparecen con frecuencia. Otros indicadores son de escasa utilidad en este caso, dada la pedregosidad inicial del material.

La erosión por salpicadura provoca la individualización de las partículas que forman los agregados poco estables, que salen despedidas por el impacto de las gotas de lluvia (desplazamiento máximo de 150 cm) o colmatan los poros superficiales, dando lugar a la formación de costra. En toda la superficie de la escombrera es común observar la presencia de una costra de varios mm de espesor, que disminuye notablemente la capacidad de infiltración de los suelos misceláneos y dificulta la germinación en la revegetación.

b. Cuantificación del proceso

b.1. Medida directa:

De los distintos dispositivos propuestos en la bibliografía se ha adoptado el diseñado por Morgan (1987).

b.2. Estimación indirecta:

Mirstkhulava (1970) propone una expresión para estimar la cantidad de suelo que puede verse afectado por impacto de gotas de agua, para una lluvia de una intensidad determinada. Para las lluvias habidas a lo largo de 1985, la cantidad total de material afectado por salpicadura en la escombrera de Sant Corneli ha sido de 2558 Mg/ha (Cuadro nº 20).

Cuadro nº 20.- Cálculo de la cantidad de suelo afectado por erosión por salpicadura según la expresión de Mirstkhulava (1970) para las lluvias del año 1985 de Sant Corneli.

| Fecha | Cantidad de suelo Mg/ha | Fecha | Cantidad de suelo Mg/ha | Fecha | Cantidad de suelo Mg/ha |
|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|
| 22- 1 | 36,24 | 10- 2 | 8,59 | 2- 3 | 14,05 |
| 15- 3 | 17,43 | 5- 4 | 24,00 | 6- 4 | 71,30 |
| 21- 4 | 82,51 | 3- 5 | 82,51 | 6- 5 | 277,12 |
| 12- 5 | 18,98 | 14- 5 | 6,24 | 16- 5 | 89,70 |
| 17- 5 | 99,84 | 18- 5 | 43,07 | 19- 5 | 29,69 |
| 20- 5 | 17,46 | 25- 5 | 16,44 | 27- 5 | 24,05 |
| 28- 5 | 167,22 | 6- 6 | 10,45 | 16- 6 | 227,63 |
| 21- 6 | 6,24 | 26- 6 | 163,29 | 7- 7 | 12,91 |
| 8- 7 | 49,68 | 30- 7 | 23,10 | 1- 8 | 24,95 |
| 5- 8 | 105,55 | 25- 8 | 44,55 | 15- 9 | 176,85 |
| 25- 9 | 117,67 | 28- 9 | 44,5 | 24-10 | 50,43 |
| 13-11 | 335,67 | 5-12 | 12,48 | 22-12 | 53,28 |

c. Importancia del proceso: Discusión.

El principal efecto de la erosión por salpicadura consiste en la movilización de partículas, el sellado y posterior encostramiento del suelo. La dificultad en obtener medidas directas hace que haya que recurrir a estimaciones indirectas. Dado que en la escombrera el suelo está prácticamente desnudo, a excepción de la pedregosidad superficial, que en este caso actúa como elemento protector, se puede suponer que la expresión propuesta por Mirstkhulava (1970) puede dar cantidades que estén próximas a los valores reales.

La individualización de las partículas tiene el efecto de proporcionar rápidamente una carga sólida al agua de escorrentía, lo que incrementa el poder abrasivo de la lámina de agua. El sellado del suelo produce un aumento del volumen de escorrentía, al disminuir la infiltración. Por consiguiente, la magnitud de la erosión por salpicadura afectará a los demás estadios del proceso erosivo que se consideran más avanzados, existiendo una relación directa entre las magnitudes de estos tipos de procesos erosivos.

7.3. Erosión por escorrentía superficial difusa.

a. Identificación y descripción del proceso.

La escorrentía superficial difusa provoca la erosión laminar, que se caracteriza por la eliminación uniforme de las partículas más finas, dejando los elementos gruesos en superficie, lavados y resaltando. La superación de la capacidad de infiltración del suelo por parte de la intensidad de la lluvia es la causa de la aparición de escorrentía superficial en la parte somital de las laderas.

b. Cuantificación del proceso.

b.1. Medida directa.

Desde un punto de vista teórico se pueden separar claramente las áreas donde tienen lugar procesos de erosión por salpicadura, de aquellos, donde haya erosión laminar, por la distancia a la divisoria de aguas y formación de una lámina de agua. No obstante, al proponerse realizar medidas en campo, tal separación resulta imposible de ser llevada a cabo, por lo que las medidas obtenidas son el resultado de ambos procesos: salpicadura y erosión laminar.

Básicamente son posibles dos metodologías de medida de la erosión laminar, el uso de simuladores de lluvia y las medidas bajo condiciones de lluvia natural. Se han empleado ambas metodologías. Se ha utilizado un simulador de lluvia desarrollado por el laboratorio de Bodemtechnick de la Universidad de Wageningen (Holanda), trabajando con intensidades de 30 a 300 mm/h sobre una parcela de 0,5 m². Para el estudio bajo condiciones de lluvia natural se emplearon parcelas de 1 m², con recogedor de sedimentos.

En ambos casos se tomaron datos sobre las variables que podrían ser explicativas de las cantidades de suelo erosionadas:

- pendiente.
- vegetación.
- pedregosidad superficial.
- textura.
- presencia/ausencia de costra superficial.
- tipo de material.
- contenido de materia orgánica.
- humedad inicial.

Se registraron asimismo el volumen total de la lluvia, la intensidad y duración de la lluvia y el volumen de escorrentía a lo largo del ensayo. Ello ha permitido calcular el volumen de escorrentía, la capacidad de infiltración del suelo en función del tiempo, la concentración de sólidos y la cantidad de material erosionado.

Respecto al empleo de lluvia natural en parcelas pequeñas, la principal limitación reside en la pequeña cantidad de datos que pueden obtenerse en períodos de tiempo relativamente largos.

c. Importancia del proceso: Discusión.

Los resultados obtenidos (Poch & al 1988) con el empleo del simulador de lluvia obligan a concluir que: las características de las lluvias simuladas (energía cinética, intensidad y duración) son muy distintas de las de la lluvia natural, por lo que su empleo para determinar la cantidad real de material erosionado es de un interés limitado. Su valor podría residir en poner de manifiesto el efecto de algunos factores (vegetación, pedregosidad, etc) pero las elevadas intensidades de la lluvia artificial hacen que se supere rápidamente la capacidad de infiltración del suelo y la erosión dependa entonces únicamente del volumen de escorrentía

De todas las formas de erosión descritas en la escombrera está es la menos importante, básicamente porque el agua se concentra muy rápidamente y la superficie afectada es muy pequeña. No obstante, en áreas profundamente disectadas por arroyaderos (inter-rill) este proceso es importante tanto por el volumen de material exportado, como por la carga sólida aportada al flujo concentrado.

7.4. Erosión por escorrentía superficial concentrada.

a. Identificación y descripción del proceso.

La superficie de la escombrera se halla disectada por numerosas incisiones con profundidades de pocos centímetros a más de 3 m. Los arroyaderos y cárcavas se observan ya a partir de muy pocos metros de las divisiones de aguas, atestiguando así la intensidad del proceso. La erosión por cárcavas y barrancos representa el último estadio de desarrollo de los procesos erosivos y su aparición significa una degradación prácticamente irreversible de las tierras.

a.1. Erosión por arroyaderos.

La erosión por arroyaderos representa el primer estadio de erosión por escorrentía superficial concentrada. En campos de cultivo el laboreo hace desaparecer estas hendiduras, pero no sucede así en una escombrera, en la que no se llevan a cabo labores de cultivo. En Sant Corneli los arroyaderos son muy frecuentes y empiezan a formarse ya a partir de 1 a 1.5 m de distancia de las divisorias de aguas. Su origen debe atribuirse, no a la saturación del suelo, sino a una muy baja velocidad de infiltración. Se observan asociados a elementos gruesos o a pies de matas que pueden haber actuado de concentradores de flujo.

En otras zonas el origen debe atribuirse a las huellas de la maquinaria empleada en los movimientos de tierra. Las rodadas paralelas a las líneas de máxima pendiente se han transformado en arroyaderos. Por último, la heterogeneidad de los materiales en superficie con distinto comportamiento frente a la erosión hace a veces que un cambio en el sustrato provoque la aparición de arroyaderos. Se observan asimismo una distinta susceptibilidad de los materiales de la escombrera en este tipo de erosión.

a.2. Erosión por cárcavas y barrancos.

Las cárcavas se originan al aumentar de tamaño los arroyaderos, bien sea por anastomosamiento de los mismos, bien porque aumenta el volumen de agua transportado. De las cárcavas se derivan los barrancos, interviniendo procesos de sofusión y movimientos de masa en las paredes de los canales. En numerosas ocasiones se pasa rápidamente al estadio de cárcavas, sin apenas existencia de arroyaderos, especialmente en los puntos de rotura de las bermas.

El estudio de cárcavas y barrancos se ha realizado siguiendo la metodología propuesta por Heede (1978). El análisis tiene por objeto determinar el tipo de red que forman, con el fin de establecer prioridades en su tratamiento. El establecimiento de una jerarquía debe permitir saber cuáles son los de mayor potencialidad de erosión y proporcionar criterios para una posible corrección, a fin de mejorar la rehabilitación de la escombrera. Según que estén o no unidas a la red de drenaje, las cárcavas se clasifican en continuas y discontinuas. Estas últimas indican que parte del flujo que se ha concentrado se vuelve a dispersar y el canal desaparece, lo que ocurre en los rellanos existentes en algunos puntos de la escombrera.

Las cárcavas discontinuas indican un estado más inmaduro, más inestable de desarrollo si se les compara con las continuas, y una evolución normal conducirá a que se unan a la red por alargamiento del canal aguas abajo. Las cárcavas pueden aumentar su recorrido por otra vía, la erosión remontante. La presencia de escarpes (centimétricos) en cabecera indica una progresión aguas arriba más activa que si la cárcava se ha originado a partir de un arroyadero. La génesis de los escarpes puede ser debida a la excavación de una zona desprotegida por el flujo superficial y posterior extensión aguas arriba de la cabecera, por sucesivos colapsos de la parte expuesta a la caída del agua (Olonce, 1972), o bien puede ser el resultado de procesos de sofusión debidos a la existencia de flujo subsuperficial por una vía de circulación preferente. La progresión aguas arriba será provocada por el colapso de los túneles. Un factor importante en las redes de drenaje es el nivel de base y la forma de la curva hipsométrica. Un descenso del nivel de base de una cárcava supondrá un rejuvenecimiento de sus tributarios, ya que éstos se verán afectados por la progresión de un escarpe aguas arriba.

a.2.1. Modelos de desarrollo del sistema de cárcavas y barrancos.

El sistema de cárcavas y barrancos que se ha instalado en la escombrera se ha analizado en el campo y a partir del mapa topográfico a escala 1:500 y equidistancia de 50 cm entre curvas de nivel (Fig. 11). El sistema es continuo y mayoritariamente sin escarpes en cabecera. Por lo general, se ha formado a partir de arroyaderos que se han ido acentuando, profundizando y ensanchando. Se han observado, no obstante, fenómenos de sofusión en algunas zonas más deprimidas, que afectan principalmente a los laterales de las cárcavas y arroyaderos poco evolucionados, en los más desarrollados se ha observado la aparición intermitente de corrientes de agua en la base.

Se observa que se han desarrollado dos sistemas de cárcavas que definen claramente dos modelos, uno en extremo NE de la escombrera y el otro en el margen NW. En la primera zona (red I) el intervalo de pendientes va del 10 al 50% y las vertientes tienen una longitud media de 150 m. Las cárcavas formadas tienen un patrón de desarrollo en líneas paralelas que tiende a anastomosarse lo que hace difícil el reconocimiento de su trazado exacto en el campo. Desembocan en el torrente de Sant Corneli en cuatro puntos distintos. El curso principal de este sistema tiene su origen en una cuneta del camino de Sant Corneli a Llobateras, que al verter en la escombrera sin ningún tipo de control está provocando un crecimiento acelerado de este canal. Ello constituye un buen ejemplo de cómo las obras públicas pueden incidir sobre la erosión de los suelos.

En el margen NW de la escombrera existe un tributario principal (red II) claramente definido que atraviesa la zona de SW a NE con una longitud de 525 m. A él confluyen una serie de cárcavas que se han desarrollado en su margen izquierda y recorren un área con pendientes del 10 al 50% y vertientes de unos 200 m.

a.2.2. Jerarquía en los cursos.

El sistema de ordenación en la red de drenaje utilizado es el propuesto por Horton (1945) en el que los tributarios periféricos tienen el orden más bajo, incrementándose hasta llegar al curso principal. Este sistema obliga a que un curso tenga un mismo orden a lo largo de todo su recorrido, por lo que en los puntos de confluencia hay que establecer quién es el tributario principal lo que a veces resulta difícil (Cuadro nº 21).

Los índices de bifurcación de las redes, que relacionan el número de cursos de un orden con el orden superior, han resultado con valores de 2 a 4 (Cuadro nº 22). Este índice es de utilidad para seleccionar cárcavas de cara a su tratamiento, cuanto mayor sea el índice de bifurcación de una cárcava mayor es el número de tributarios que dependen de ella, de ahí la prioridad en el tratamiento.

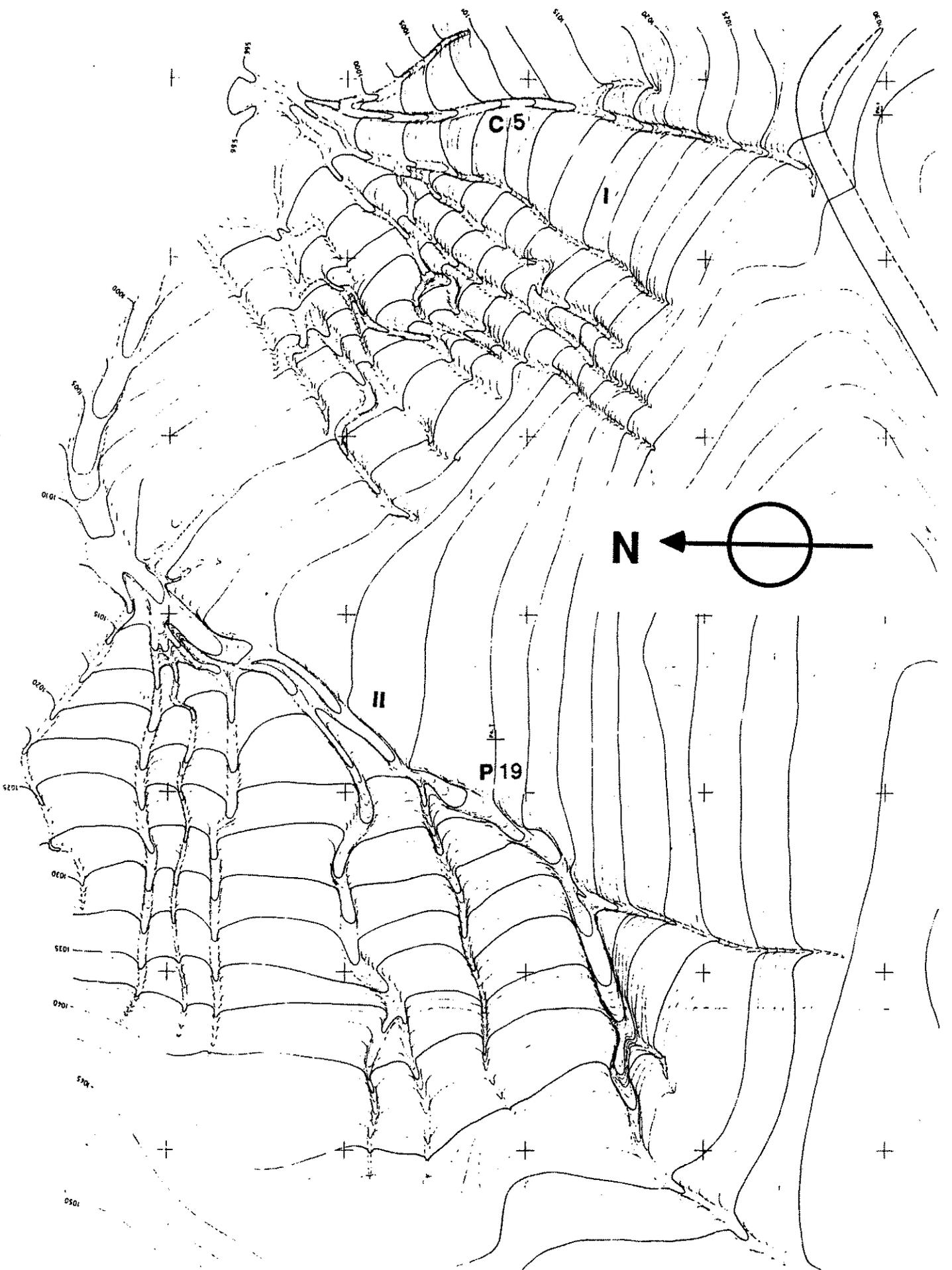


Fig. 11.- Mapa topográfico que muestra la red de drenaje desarrollada en la escombrera de Sant Corneli. Escala original 1:500 (Bravo, 1987)

Cuadro nº 21.- Orden canales de Sant Corneli y nº de tributarios dependientes.

| ORDEN | | | | |
|-------|--|-----------------|----------|-----|
| RED | 1 | 2 | 3 | 4 |
| I | A B D F H I J M N | E2 G2 K1 | O5 L3 | |
| II | O A1 R U X Y Z AA AC AD AE AF AH AG | Q1 S1 AB1 | T4 | P19 |

Cuadro nº 22.- Indice de bifurcación red de drenaje de Sant Corneli en 1987.

| ORDEN DE LOS CANALES | | NUMERO DE CANALES | INDICE DE BIFURCACION |
|----------------------|---|-------------------|-----------------------|
| RED I | 1 | 9 | |
| | 2 | 3 | 3,0 |
| | 3 | 2 | 1,5 |
| MEDIA | | | 2,25 |
| RED II | 1 | 15 | |
| | 2 | 3 | 5,0 |
| | 3 | 1 | 3,0 |
| | 4 | 1 | 1,0 |
| MEDIA | | | 3,0 |
| TOTAL | 1 | 24 | |
| | 2 | 6 | 4,0 |
| | 3 | 3 | 2,0 |
| | 4 | 1 | 3,0 |
| MEDIA | | | 3,0 |

En el caso estudiado (Cuadro nº 22) se observa que, a pesar de que las medidas son semejantes, los valores individuales varían considerablemente. El orden 2 tiene unos índices de bifurcación muy elevados, de hasta 5 en la red II que en los órdenes 3 y 4 disminuyen hasta 1,5 y 1 considerando las redes independientemente. De acuerdo con la metodología propuesta por Donker & al (1984), los parámetros para evaluar el riesgo de formación de cárcavas se recogen en los cuadros nº 23 y 24.

Cuadro nº 23.- Características morfométricas de los canales de Sant Corneli (medidas realizadas en 1987).

| RED | CANAL | ORDEN | PENDIENTE | | LONGITUD m | |
|-----|-------|-------|-----------|--------|------------|-------------|
| | | | MEDIA | MAXIMA | total | restringida |
| I | A | 1 | 26,4 | 44, | 40,9 | 6,8 |
| | B | 1 | 21,5 | 37,5 | 24,7 | 2,4 |
| | D | 1 | 28,4 | 34,7 | 90,7 | 26,5 |
| | F | 1 | 30,8 | 37,1 | 96,7 | 29,9 |
| | H | 1 | 38,7 | 200,0 | 34,3 | 26,1 |
| | I | 1 | 13,2 | 32,8 | 60,7 | 16,4 |
| | J | 1 | 21,9 | 52,4 | 68,9 | 13,3 |
| | M | 1 | 21,3 | 30,2 | 42,3 | 26,2 |
| | N | 1 | 25,9 | 26,4 | 43,3 | 22,7 |
| | E2 | 2 | 24,7 | 43,2 | 124,3 | 9,5 |
| | G2 | 2 | 25,5 | 34,2 | 152,1 | 37,8 |
| | K1 | 2 | 24,3 | 38,1 | 59,6 | 47,4 |
| | C5 | 3 | 21,5 | 38,1 | 163,6 | 118,1 |
| | L3 | 3 | 20,1 | 35,4 | 110,2 | 75,1 |
| | II | O | 1 | 9,1 | 20,8 | 114,5 |
| R | | 1 | 32,2 | 61,7 | 19,9 | 17,0 |
| U | | 1 | 22,9 | 37,0 | 57,2 | 25,1 |
| V | | 1 | 29,3 | 52,7 | 67,5 | 53,5 |
| X | | 1 | 16,4 | 50,0 | 22,5 | 18,9 |
| Y | | 1 | 20,6 | 26,5 | 76,3 | 54,6 |
| Z | | 1 | 18,2 | 70,0 | 97,2 | 18,5 |
| AA | | 1 | 11,1 | 17,1 | 51,4 | 47,7 |
| AC | | 1 | 19,2 | 20,9 | 129,5 | 61,8 |
| AD | | 1 | 18,7 | 23,9 | 128,1 | 86,7 |
| AE | | 1 | 21,9 | 25,6 | 11,5 | 27,3 |
| AF | | 1 | 16,9 | 28,3 | 128,7 | 95,7 |
| AH | | 1 | 7,4 | 80,0 | 21,7 | 18,5 |
| AG | | 1 | 4,3 | 7,3 | 40,1 | 34,9 |
| Q1 | | 2 | 22,2 | 47,6 | 77,9 | 30,0 |
| S1 | | 2 | 21,7 | 34,5 | 81,2 | 40,5 |
| AB1 | | 2 | 13,7 | 20,1 | 173,6 | 74,8 |
| T4 | | 3 | 26,3 | 34,4 | 46,0 | 24,6 |
| P19 | | 4 | 12,0 | 28,8 | 525,4 | 235,3 |

Cuadro nº 24.- Valores medios de las características morfométricas en cada red de canales 1987.

| RED | ORDEN DE LOS CANALES | PENDIENTE | | LONGITUD (m) | |
|-------|----------------------|------------|-------------|--------------|------------------|
| | | MEDIA X | MAXIMA X | TOTAL X | RESTRINGIDA X |
| I | 1 | 25,3 | 55,0 | 55,8 | 18,9 |
| | 2 | 24,8 24,6 | 38,5 48,9 | 112,0 79,4 | 31,6 32,7 |
| | 3 | 20,8 | 36,7 | 136,9 | 96,6 |
| II | 1 | 17,7 | 37,3 | 76,1 | 43,4 |
| | 2 | 19,2 18,1 | 34,1 36,2 | 110,9 103,4 | 48,4 53,3 |
| | 3 | 26,3 | 34,4 | 46,0 | 24,6 |
| | 4 | 12,0 | 28,8 | 525,4 | 235,3 |
| TOTAL | 1 | 20,7 | 44,2 | 68,2 | 33,8 |
| | 2 | 22,0 20,9 | 36,3 41,6 | 111,4 93,4 | 40,0 44,6 |
| | 3 | 22,6 | 36,0 | 106,6 | 72,6 |
| | 4 | 12,0 | 28,8 | 525,4 | 235,3 |

a.2.3. Morfología de las secciones de los canales.

Las morfologías que adquieren las secciones de los canales se ven fuertemente influenciadas por la naturaleza de los materiales. En aquellas áreas en las que aflora una lutita gris las secciones tienden a ser en V, mientras que las lutitas de color claro (sin carbón) dan lugar a secciones en U. Las formas en V se forman allí donde las capas profundas son más resistentes a los efectos del agua que las superficiales, mientras que si todo el material presenta igual resistencia en profundidad las secciones tienden a ser en U.

La variación del tamaño de la sección se ve favorecida por la meteorización física de las lutitas ligada a la presencia de esmectitas que al favorecer la fragmentación acelera el transporte. La diferente respuesta de los materiales a la humectación afecta también a la distribución y simetría de los canales (Imeson & al. 1988). El desmoronamiento de las paredes se ve afectado además por deslizamientos de tipo rotacional.

La evolución asimétrica de las secciones se debe a los efectos solana-umbría. En las paredes S los materiales se desprenden más fácilmente al verse más afectados por procesos de hielo-deshielo, lo que favorece por un lado la fragmentación de las lutitas y, por otro, el que estén más húmedas y puedan ser más susceptibles por ello a deslizamientos.

De acuerdo con los criterios de Heede (1978) (Cuadro nº 25) el grado de desarrollo de la red de drenaje debe considerarse entre bajo y muy bajo (Cuadro nº 26).

Cuadro nº 25.- Criterios seguidos para la clasificación de cárcavas.
(Heede 1978).

| | CRITERIOS OBJETIVOS | CRITERIOS SUBJETIVOS |
|----------|---|---|
| JUVENTUD | <p>Presencia de escarpes no protegidos en el recorrido.</p> <p>Nivel de base muy diferenciado del canal principal.</p> <p>Lados con pendientes pronunciadas.</p> | <p>Alto grado de rugosidad en la base.</p> <p>Poca cobertura vegetal.</p> |
| MADUREZ | <p>Ausencia de escarpes y ajuste gradual al nivel de base por pendientes constantes.</p> <p>Obtención de un sustrato compacto no erosionable.</p> <p>Lados con pendientes suaves.</p> | <p>Base no rugosa.</p> <p>Alto grado de cobertura vegetal.</p> |

Cuadro nº26 .- Clasificación de las cárcavas según criterios de Heede (1978).

| CANAL | ORDEN | CRITERIOS OBJETIVOS | | | CRITERIOS SUBJETIVOS | | |
|-------|-------|---------------------|------------|--------------|----------------------|--------|-----------------|
| | | PEND. BASE % | A MEDIA M2 | PEND. LADO % | RUGOS. | VEGET. | GRADO DE DESAR. |
| C5 | 3 | 21,5 | 1,6 | 207 | 0 | 2 | M.BAJO |
| P19 | 4 | 12,0 | 8,1 | 155 | 2 | 1 | M.BAJO |
| Z | 1 | 18,2 | 1,7 | 149 | 3 | 1 | BAJO |
| AB1 | 2 | 13,7 | 5,6 | 117 | 2 | 2 | BAJO.M |
| AC | 1 | 19,2 | 3,3 | 122 | 1 | 2 | BAJO |

Criterios: Rugosidad 0 = muy alta / 1 = alta / 2 = media / 3= baja / 4 = muy baja / 5 = nula.

Vegetación 0 = nula / 1 = muy baja / 2 = baja / 3 = media / 4 = alta / 5 = muy alta.

b. Cuantificación del proceso.

b.1. Erosión por arroyaderos.

b.1.1. Medida directa.

Las pérdidas de suelo por arroyaderos se han medido a lo largo de transectos marcados con varillas de hierro clavadas en el suelo (Fig 12). La intensidad del proceso condiciona la precisión necesaria en los métodos de medida. En la escombrera estudiada la intensidad de los procesos es tal que se hacen innecesarias técnicas de medida muy precisas. Se puede recurrir a técnicas sencillas y rápidas como la indicada, que permiten realizar eficazmente gran número de medidas.

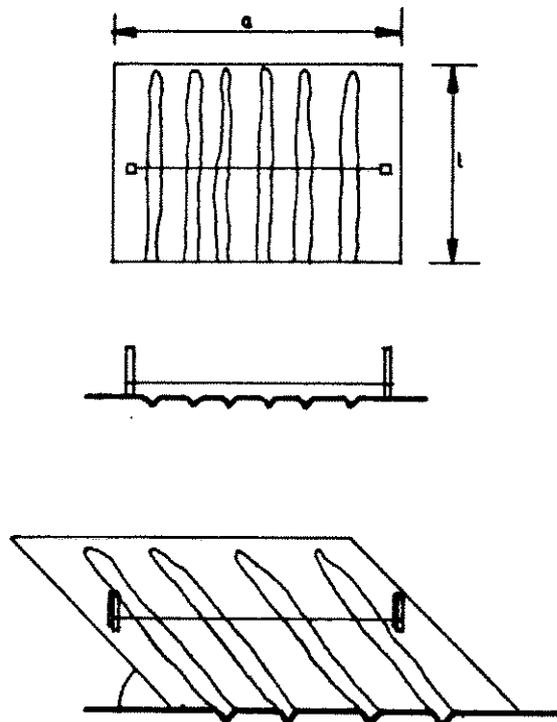


Fig. 12.- Erosión por arroyaderos: Técnica para el control y medida de las pérdidas de suelo a lo largo de transectos marcados con varillas de hierro.

Si x es el área vertical interceptada por el arroyadero, el volumen erosionado por unidad de superficie es: $V = (x \cdot l) / (a \cdot l)$.

En el Cuadro nº 27 se presentan los resultados obtenidos en 1987 en la escombrera de Sant Corneli. La erosión por arroyaderos en los 8 años de existencia de la escombrera fue - en las áreas afectadas - entre 556 y 2313 m³/ha. Suponiendo que la erosión hubiera actuado uniformemente a lo largo de los 8 años la pérdida media habría sido de 200 Tm/ha equivalente a 12 mm de altura de suelo si dicha erosión hubiera sido uniforme sobre toda la superficie afectada. En tal caso el análisis del porcentaje de material perdido en los cuatro meses que duraron las medidas (22-03-87 - 21-07-87) revela que el proceso está lejos de hallarse en régimen permanente.

Cuadronº 27.- Características y resultados de vertientes afectadas por erosión por arroyaderos: medidas a lo largo de transectos marcados con varillas de hierro.

| Punto | Pendiente % | Cubierta vegetal % | Area vertical interceptada m ² /m | | Incremento 22/3-21/7 | | | Material erosionado | | | Tasa media anual de material erosionado. % |
|-------|----------------|--------------------------|--|-------|-------------------------|------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|--|
| | | | 22/3 | 21/7 | m ² /m | % | m ³ /ha | m ³ /ha total | m ³ /ha anual | Mg/ha anual | |
| 1 | 34 | 30 | 0,199 | 0,219 | 0,020 | 10,0 | 211 | 2.313 | 289 | 507 | 73 |
| 2 | 25 | 40 | 0,059 | 0,063 | 0,004 | 7,5 | 41 | 649 | 81 | 138 | 51 |
| 3 | 23 | 25 | 0,053 | 0,067 | 0,014 | 27,1 | 144 | 687 | 86 | 146 | 140 |
| 4 | 43 | 20 | 0,214 | 0,216 | 0,002 | 1,1 | 22 | 2.351 | 294 | 500 | 7 |
| 5 | 32 | 40 | 0,035 | 0,053 | 0,018 | 51,0 | 189 | 556 | 70 | 119 | 270 |
| 6 | 32 | 0 | 0,040 | 0,070 | 0,030 | 75,3 | 315 | 735 | 92 | 156 | 350 |

b.1.2. Estimación de la susceptibilidad a la formación de arroyaderos.

La susceptibilidad de la zona a la formación de arroyaderos permite validar los criterios propuestos por diversos autores para estimar la susceptibilidad a la formación de arroyaderos.

El modelo propuesto por Boon & al (1981), tiene en cuenta el valor de la pendiente, el tamaño medio de partículas, el contenido de arcilla, la precipitación horaria, la temperatura del agua y la longitud de la ladera.

Utilizando en las condiciones de la escombrera los nomogramas propuestos por estos autores se llega a la conclusión de que lluvias de intensidad igual o superior a 40 mm/h provocarán siempre la formación de arroyaderos en laderas de 20m de longitud (Cuadro nº 28).

Cuadro n° 28.- Riesgo de formación de arroyaderos (M = nunca, S = siempre).

| MATERIAL | DIAMETRO MED. D μm | CONTENIDO DE ARCILLA T% | PENDIENTE | I MAX | RIESGO | |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------|-------|--------|------|
| | | | % | mm/h | 3°C | 16°C |
| Calclutita | 13 | 4 | 10 | 1 | M | M |
| | | | | 5 | M | M |
| | | | | 10 | M | M |
| | | | | 40 | S | S |
| | | | 15 | 1 | M | M |
| | | | | 5 | M | M |
| | | | | 10 | M | M |
| | | | | 40 | S | S |
| | | | 20 | 1 | M | M |
| | | | | 5 | M | M |
| | | | | 10 | M | M |
| | | | | 40 | S | S |

b.2. Erosión por cárcavas y barrancos

La cuantificación de las pérdidas de suelo por cárcavas y barrancos se ha realizado midiendo en campo secciones interceptadas por los canales. Si el canal es uniforme se puede optar por medir una sección considerada media, mientras que si el canal aumenta progresivamente de volumen, se toma la media de las secciones extremas. A partir de la sección de cada tramo y conociendo la longitud medida en el talweg, se calculan los sucesivos volúmenes de material perdido.

Las pérdidas de materiales calculadas a partir de las medidas realizadas en agosto 1986, 1987 y 1989 permiten determinar las pérdidas expresadas en m^3/m de canal. Determinando la longitud total de cárcavas y barrancos a partir del plano topográfico 1:500, se puede estimar que la pérdida hasta agosto de 1987 fue de $2712 \text{ m}^3/\text{año}$ ($4611 \text{ Tm}/\text{año}$).

Si se compara la pérdida media anual en estos primeros ocho años de existencia de la escombrera ($1693 \text{ m}^3/\text{año}$) se observa que es menor que la actual lo que indica una intensificación de los procesos de erosión por cárcavas y barrancos.

c. Importancia del proceso. Discusión.

Al comparar los datos de pérdida de suelo hasta agosto de 1986 con las pérdidas hasta agosto de 1989, se observa que los barrancos principales (C-5 y P-19) de las dos redes de drenaje han sufrido crecimientos considerablemente mayores que los demás canales (Cuadro n° 29). En el caso del C-5, el desmesurado crecimiento, más de un 1000%, es debido a que en este canal desagua una cuneta, sin ningún tipo de protección, hecho que, como queda patente, debería haberse evitado.

Sin menospreciar la importancia de los otros procesos resulta evidente que es la erosión por escorrentía superficial concentrada la que produce efectos mayores, tanto en lo referente a la cantidad de material exportado, como por las incisiones que produce sobre el terreno.

La degradación provocada por cárcavas y barrancos debe considerarse irreversible, en el sentido de que para anular sus efectos se requieren obras de infraestructura de realización siempre costosa.

Cuadro nº 29.- Cuantificación de las pérdidas de suelo por erosión por cárcavas y barrancos: ejemplos de algunos de los canales medidos.

| Canal | Ref. | 86/87 | | 8/89 | | ΔV 86/89 m ³ | % respecto 1986 |
|-------|------|---------------|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | longitud m | volumen m ³ | longitud m | volumen m ³ | | |
| C-5 | 2 | 163,5 | 254,5 | 179,4 | 522,6 | 268,1 | 1.053,4 |
| P-19 | 1 | 525,4 | 2403,9 | | 3103,0 | 699,1 | 290,8 |
| Z | 14 | 97,2 | 104,1 | 171,7 | 139,6 | 35,5 | 34,1 |
| AB1 | 13 | 173,6 | 677,7 | 170,2 | 944,5 | 266,8 | 39,36 |

7.5. Predicción de la erosión según la ecuación universal de pérdida de suelo.

a. Parámetros de la EUPS.

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) ha sido aplicada ampliamente como el mejor estimador del material perdido por erosión en suelos agrícolas. Su aplicación en escombreras tiene el interés de permitir una valoración de sus posibilidades.

La aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) a un área rehabilitada tiene una serie de restricciones que interesa destacar:

- la ecuación fue propuesta a partir de datos procedentes de tierras de cultivo, desconociéndose el grado de idoneidad para zonas de minería a cielo abierto rehabilitadas.

- la EUPS evalúa las pérdidas de suelo por salpicadura, por erosión laminar y por erosión por arroyaderos. No tiene en cuenta la formación y erosión por cárcavas ni barrancos.

- la EUPS fue propuesta inicialmente para suelos sin pedregosidad superficial. La presencia de elementos gruesos en superficie, típica de una escombrera como la estudiada, interceptan las gotas de lluvia, afectan la erosión laminar e interfieren en la formación de arroyaderos.

- la EUPS sólo es aplicable en pendientes del 20% inferiores, y en otros casos deberán introducirse variaciones en el método de cálculo del factor LS.

b. Cálculo de los distintos factores.

b.1. Erosividad de la lluvia (R).

El factor R de erosividad de la lluvia alcanza en la zona un valor de 1794 MJ.mm/ha y año.

b.2. Erodibilidad del suelo (K).

De acuerdo con las características de los suelos de la escombrera, el factor K tiene un valor en unidades SI de 0,097 Mg/mm.MJ.

b.3. Factor pendiente y longitud de la ladera (LS).

Según Wischmeier (1978):

$$L = (x/22,13)^m$$

$$S = 0,065 + 0,045 s + 0,0065 s^2$$

Para pendientes de más del 18% se ha utilizado la expresión desarrollada por Singer (1982) para suelos de California. (Cuadro nº 30).

Cuadro nº 30.- Cálculo del factor LS.

| LADERA | LONGITUD (m) | PENDIENTE (% s) | L | S | LS |
|--------|--------------|-----------------|------|------|-------|
| 1 | 150 | 14 | 2,60 | 1,97 | 5,13 |
| 2 | 70 | 20 | 1,78 | 2,92 | 5,20 |
| 3 | 450 | 20 | 4,51 | 2,92 | 13,17 |
| 4 | 300 | 10 | 3,68 | 1,16 | 4,29 |
| 5 | 160 | 28 | 2,69 | 4,29 | 11,54 |

b.4. Factor prácticas de cultivo (C).

El factor C se calcula aplicando los criterios de estimación propuestos por Ross et al (1980), resultado un valor de 0,1516.

Ross et al (1980), resultado un valor de 0,1516.

b.5. Factor prácticas de conservación (P).

En una parte de la escombrera se construyeron vermas con el fin de controlar la erosión. A pesar de que en la mayoría de los casos no son funcionales, se asocian a terrazas para el cálculo del factor, que tiene un valor de 0.73 (Cuadro nº 31).

Cuadro nº 31.- Cálculo del factor P.

| Proporción de la escombrera afectada | P |
|--------------------------------------|------|
| 1/3 | 0,18 |
| 2/3 | 1,00 |
| TOTAL | 0,73 |

La aplicación de la EUPS a la escombrera da una estimación de la pérdida de suelo del orden de 160 Mg/ha y año debidas a salpicadura, erosión laminar y arroyaderos. Si comparamos dichos valores con los obtenidos anteriormente por otros procedimientos vemos que en cualquier caso subestima la erosión que se produce en condiciones reales si existe erosión por cárcavas. Estas juegan un doble papel por un lado la EUPS no toma en cuenta este tipo de erosión en su cuantificación y por otro la formación de las cárcavas está en relación con los demás procesos erosivos, especialmente la erosión por arroyaderos.

8. EL AREA REHABILITADA Y SU INTERES PARA LA ENSEÑANZA EN CONSERVACION DE SUELOS.

El área rehabilitada presenta un elevado interés como campo de prácticas de conservación de suelos. La intensidad de los procesos permite mostrar al estudiante la escala temporal de los mismos, relacionándolos con otros procesos edáficos. La presencia de obras de conservación permite discutir criterios de diseño, tipo de obras, razones del éxito y del fracaso.

El planteamiento de protocolos experimentales permite al estudiante cuantificar la intensidad de los procesos, familiarizándole con las técnicas de medida y de modelización de los procesos erosivos.

8.1. Diversidad de procesos: Formas de erosión y factores de control.

La escombrera estudiada reúne en una superficie relativamente pequeña un conjunto de morfologías ligadas a procesos erosivos que, en condiciones naturales, resultan difíciles de observar o cuyo estudio exige desplazamientos importantes de unas zonas a otras.

Al estudiante de Ciencia del Suelo le resulta difícil trabajar con la variable tiempo. El hecho de que en las áreas de minería se conozca el momento en que se rehabilitó una zona determinada permite datar los procesos, además de describirlos, de forma que el estudiante integre este tipo de información en sus esquemas intelectuales.

La observación de los primeros estadios de desarrollo de los procesos erosivos resulta poco frecuente, para aquellos cuyo interés se centra en los suelos agrícolas. Ello se debe a la tenacidad de los agricultores en borrar las huellas dejadas por la escorrentía superficial. En una escombrera, el estudiante podrá observar tanto los estadios iniciales, erosión por salpicadura, erosión laminar y erosión por arroyaderos, como una amplia gama de morfologías que son el resultado de etapas menos y más avanzadas. La identificación de dichas morfologías, permite llegar a establecer una clasificación de la erosión atendiendo a sus distintas formas.

La descripción de las morfologías debe dar paso al estudio de los factores que controlan el desencadenamiento de los procesos. Los agentes climáticos e hidrológicos serán objeto de observación y medidas en campo, para facilitar la interpretación de los datos elaborados en gabinete. El pluviógrafo constituye un instrumento esencial al permitir determinar la intensidad de las lluvias y los parámetros relacionados con ella. Las características de las gotas de lluvia, principalmente el tamaño de las gotas, puede ser determinado mediante técnicas de impacto sobre papel o sobre harina.

Los factores morfológicos podrían ser estudiados en gabinete sobre un mapa topográfico detallado (Fig. 11). A pesar de que la información que se dispone en este caso es de gran calidad, resulta de gran interés y muy clarificador recurrir a la determinación en campo de la longitud, inclinación, exposición y forma de las vertientes, para poder establecer sus efectos sobre la erosión.

La erosionabilidad del suelo viene determinada por factores edáficos y geológicos. La velocidad de infiltración juega un papel clave en el desencadenamiento de los procesos erosivos. Llegar al conocimiento de los factores de control de la infiltración, entre otros existencia de costra superficial, es una parte más de las prácticas en campo. El estudio de tales costras y las medidas de la velocidad de infiltración se complementan con las de conductividad hidráulica.

La frecuencia de las lluvias en la zona permite que durante los períodos de trabajo en campo sea posible visualizar por parte del estudiante los mecanismos en acción y evaluar la importancia de los valores de infiltración en relación con la intensidad de la lluvia y la escorrentía.

La cubierta vegetal, tipo, densidad, recubrimiento, etc deberán ser estudiados para determinar sus efectos y relación con los procesos erosivos observados. Los factores técnicos, tales como la eficacia de las bermas por ejemplo, así como los factores socioeconómicos, determinan, por un lado, los métodos de manejo y por otro la voluntad y posibilidades de los usuarios actuales o futuros.

Esta forma de analizar una situación dominada por procesos erosivos resulta igualmente válida tanto para la formación de estudiantes en rehabilitación de suelos en minería a cielo abierto, como en agricultura, si bien en este último caso habrá que tener muy en cuenta que los condicionantes socio-económicos tienen un peso considerablemente mayor por lo que la aceptación de las medidas que se propongan dependerá de ellos.

8.2. Intensidad de los procesos: Cuantificación.

Después de familiarizar al estudiante con las formas de la erosión interesa que adquiera un entrenamiento en técnicas de predicción y medida, que le permitan un diagnóstico del riesgo y una cuantificación de los procesos. En campo se realizan los muestreos y medidas acordes con cada metodología.

a. Técnicas de predicción.

Los principales modelos de predicción se refieren al riesgo de formación de arroyaderos (Boon & al 1984) y a las pérdidas de suelo por erosión laminar y arroyaderos, en este último caso, por medio de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

b. Técnicas de medida.

La medida del material movilizado por **salpicadura** puede estudiarse utilizando el dispositivo en anillo diseñado por Morgan (1985).

Las medidas de **densidad de canales** (arroyaderos, cárcavas o barrancos) expresada por su longitud por unidad de superficie permite una evaluación de la intensidad de la erosión concentrada, referible a un período de tiempo conocido.

La velocidad de los procesos en una escombrera permite obtener medidas diferenciadas en períodos cortos de tiempo. El seguimiento de la evolución de la densidad de canales se realizará con ayuda de redondos de hierro, clavados en el suelo, para que sirvan de referencia para sucesivas medidas a lo largo del tiempo.

La cuantificación de las **pérdidas de suelo por erosión concentrada** se realiza cubicando el canal. Para ello se miden sucesivas secciones (Fig. 13) a lo largo del canal, una en cada uno de los tramos considerados suficientemente uniformes. En el Cuadro nº 32 se indica el listado del programa de ordenador para el cálculo de la sección y el volúmen de un tramo de canal.

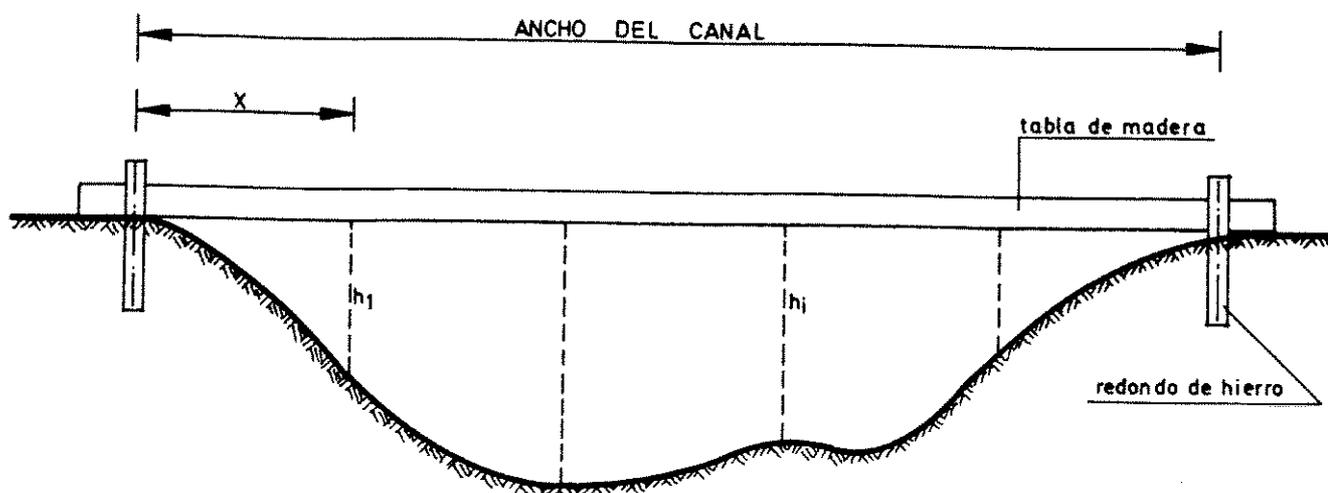


Fig 13. Pérdida de suelo por erosión concentrada: Medida de la sección de un canal.

El estudio y utilización de un **simulador de lluvia** tiene interés por las posibilidades y la problemática que representa el empleo de este tipo de equipos. En el modelo del Laboratorio Bodemtechnik de la Universidad de Wageningen, la parte principal del simulador de lluvia (Van Leewen 1985), es una plataforma de 1 x 0,5 x 0,01 dotada con capilares en los que se originan las gotas. Los orificios están dispuestos en una red cuadrada de 3 x 3 cm. El agua accede a la plataforma mediante un tubo de Mariotte alimentado con un depósito. Variando la altura del tubo interior puede variarse la intensidad de la lluvia.

Los datos que se toman en cada ensayo son:

- las características del lugar del ensayo (pendiente, pedregosidad superficial, vegetación, presencia de costra superficial, estado de humedad del suelo, etc).
- tiempo y nivel del agua en el depósito en el momento en que se inicia la lluvia, la escorrentía, y cada vez que se cambia el recipiente que recoge el líquido de escorrentía, (cada 10 mm de lluvia aprox).
- volúmen de líquido de escorrentía, medido con una probeta.

Cuadro nº 32.- Programa "incisió" para el cálculo de la sección y volúmen de un tramo de canal. (Roca 1989)

```
10 DIM A (24), S (25)
20 CLS
30 PRINT
40 PRINT "Connecta la impressora"
50 PRINT
60 PRINT "INTRODUIR LES DADES"
70 PRINT "CANAL NUMERO ";;INPUT CAN
80 PRINT "SECCIO NUMERO";: INPUT NUM
90 PRINT "AMPLADA en metres";:INPUT A
100 A=A*100
110 PRINT "LONGITUD en metres";:INPUT L
120 L=L*100
130 PRINT "INTERVAL en centimetres";:INPUT H
140 PRINT "INTRODUIR LES PROFUNDITATS.LA ULTIMA HA DE SER 0"
150 N=1 : A(0)=0
160 PRINT "PROFUNDITAT";N;;INPUT A(N)
170 IF A(N)=0 THEN 200
180 N=N+1 : IF N>24 THEN PRINT "AVISA AL JORDI ROCA"
190 GOTO 160
200 N=N-1
210 IF A<N*H THEN PRINT "INTERVAL MASSA GRAN"
220 IF A>N*H+H THEN PRINT "INTERVAL MASSA PETIT"
230 PRINT "TOT CORRECTE? (S/N)";
240 INPUT A$
250 IF A$=" " THEN GOTO 240
260 IF A$="n" OR A$="N" THEN PRINT "TORNA A COMENÇAR":GOTO 60
270 ST=0
280 FOR I=1 TO N
290 S(I)=H*(A(I-1)+A(I))/2
300 PRINT S(I);
310 ST=ST+S(I)
320 NEXT I
330 SU=(A-N*H)*A(N)/2: PRINT SU
340 ST=ST+SU
350 PRINT "Secció ";ST;" Centimetres quadrats"
360 V=ST*L
370 PRINT "Capacitat ";V;" Centímetres cúbics"
380 VL=V/1000000!
390 PRINT "Capacitat ";VL;" Metres cúbics"
400 PRINT
410 LPRINT "CANAL ";CAN;" SECCIO ";NUM;" CAPACITAT ";VL;" M3"
420 PRINT "VOLS SEGUIR?"
430 INPUT F$
440 IF F$="n" OR F$="N" OR F$="no" OR F$="NO" THEN END ELSE GOTO 60
```

Las **cajas Gerlach** son un dispositivo para recoger sedimentos consistente en una caja que, colocada a poca distancia de la divisoria de aguas, puede recoger la escorrentía producida aguas arriba de la vertiente y la conduce a un depósito (Fig. 14).

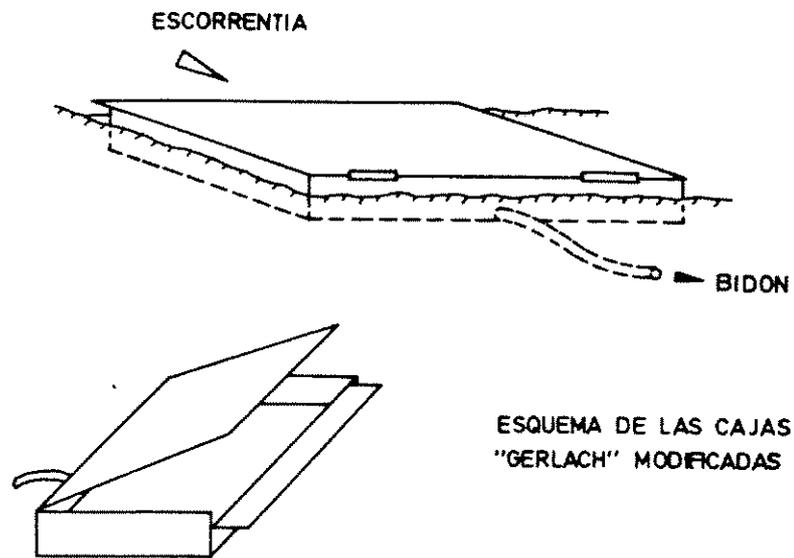


Fig. 14.- Esquema de las Cajas Gerlach (modificadas).

La medida de las pérdidas de suelo puede llevarse también a cabo mediante **miniparcelas experimentales**. Consisten en una lámina de hojalata que delimita una superficie cuadrada de 1 m², con una caja colectora provista de una tapa para evitar la entrada directa del agua de lluvia y un depósito (Fig. 15).

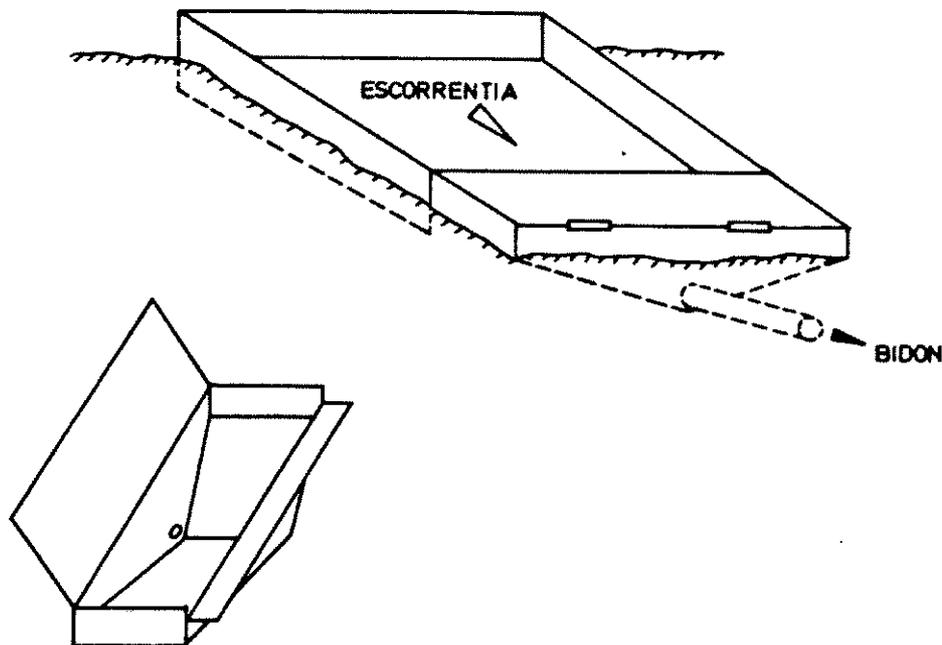


Fig. 15.- Esquema de las miniparcelas experimentales.

La medida de caudales en canales puede realizarse con un **medidor tipo Parshall**. Consiste en tres secciones, una convergente aguas arriba, que acaba en un cuello o sección constreñida y una tercera sección que es divergente aguas abajo. La base de la primera sección es plana, la constreñida se inclina hacia aguas abajo y la divergente tiene una pendiente ascendente. Las medidas de este tipo de aforadores están estandarizadas y calibradas para un amplio intervalo de caudales. Las medidas obtenidas sólo son válidas cuando el flujo es laminar y corresponden a condiciones de flujo libre o sumergido.

Un entrenamiento como el descrito complementa la formación teórica adquirida por el estudiante en el aula. Todo ello está encaminado a que, después del análisis de la problemática de la erosión en un área determinada, el estudiante sea capaz de formular recomendaciones técnicas por unidades de tratamiento, encaminadas al control de los procesos erosivos. Debe ser capaz de definir las condiciones de diseño de las obras de conservación, para una determinada situación, que posibiliten el control de la erosión, prever su eficiencia y duración, de acuerdo con los sucesos esperables, dentro de los períodos de retorno aceptados.

AGRADECIMIENTOS.

Se agradece a la Comissió Interdepartamental de Recerca i Tecnologia (CIRIT) la ayuda para el desarrollo de las investigaciones, a Carbones de Berga, S.A. por sus facilidades para realizar los trabajos de campo; a Ana Bravo por la información topográfica suministrada; a la Conselleria de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya por su ayuda en la publicación, a todas aquellas personas que han ido colaborando en los trabajos de campo y Clara Llena que ha tenido a su cargo el trabajo mecanográfico.

9. BIBLIOGRAFIA.

AGUILO, J. (1984): "Estudio de la erosión en zonas restauradas". in J.PORTA: "Curso de ordenación del territorio. Restauración de suelos en minería a cielo abierto" 199-225.

ALONSO, E. (1984): "Estabilidad de las formas en zonas restauradas: métodos de cálculo". in PORTA, J. & al (1984): "Ordenación del territorio: Restauración de suelos en minería a cielo abierto. Ordenación de zonas de montaña" E.T.S.I. Agrònoms, Lleida.

BISHOP, A.W. & N. MORGENSTERN (1960): "Stability coefficients for earth slopes". Geotechnique, 10, pp 129-150.

BOON, W. & J. SAVAT (1981): " A Nomograph for the prediction of rill erosion". in Morgan, RPC. (ed): "Soil Conservation: Problems and Prospects" John Wiley & Sons: 303-319.

BOX, J.E.; Jr & L.D. MEYER (1984): "Adjustment of the Universal Soil Loss Equation for cropland soils containing coarse fragments". SSA Special Publication N. 13, 83-90.

BRAVO, A. (1987): "Estudio Topográfico de una área rehabilitada de minería a cielo abierto en Sant Corneli (Barcelona)". Treball Fi de Carrera, EUETA. Lleida.

CALVO, R. (1984): "Regeneración de la cubierta vegetal en áreas afectadas por la minería en el Norte de España" in PORTA, J & al (1984): "Ordenación del territorio: Restauración de suelos en minería a cielo abierto - Ordenación en zonas de montaña" ETSEA. Lleida.

C.B.D.S.A. (1983): SINEDARES: "Sistema de información edafológica y agronómica de España". Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. M.A.P.A., 137 pp.

DONKER, N.H.W. & M.C.J. CAMEN (1984): "Gully system development and an assessment of gully initiation risk in Miocene deposits near Daroca (Spain)" Z. Geomorph. N.F. Suppl. -Bd. 49, 37-50.

FAO (1971): " Key to Soil Units for the Soil Map of the World". FAO. Roma, 16 + 10pp.

FAO (1976): "A framework for Land Evaluation". Roma.

FOSTER, G.R., D.K. McCOOL, K.G. RENARD & W.C. MOLDENHAUER (1981): "Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units". J. of Soil and Water Conservation: 355-359.

GERASIMOV, I.P. & M. A. GLAZORSKAYA (1960): "Fundamentals of Soil Science and Soil Geography". Transl. from Russ by I.P.S.T., Jerusalem.

GROENEWOLD, G.H. & B.W. REHM (1982): "Instability of contoured surface mined landscapes in the Northern Great Plains: Causes and Implications". Reclamation and Revegetation Research, 1, 161-176.

HEEDE, B.H. (1982): "Gully Control: Determining Treatment Priorities for Gullies in a Network". Environmental Management, 6, 5: 441-451.

HEEDE, B.H. (1978): "Designing gully control system for eroding water-sheds". Environmental Management 2, 6: 509-522.

HOEK, E. & J.W. BRAY (1981): "Rock slope engineering". Institution of Mining and Metallurgy". London. (2^a ed.).

IMESON, A.C. & J.M. VERSTRATEN (1988): "Rills on badland slopes: A physico-chemically controlled phenomenon". Catena Supl. 12: 139-150.

ISRAELSEN, C.E. & E.K. ISRAELSEN (1982). "Controlling Erosion on Surface Mining Sites". Symposium on Surface Mining Hydrology, Sedimentology and REclamation, Univ. of Kentucky: 329-337.

JARDON, S. (1985): "Criterios básicos seguidos en la restauración de las zonas afectadas por la minería a cielo abierto del Grupo Aller" in "El impacto ambiental y la restauración de terrenos en Minería a cielo abierto", Des. 1985, fundación Gómez-Pardo. Madrid.

KENT-MITCHELL, J.W.C. MOLDENHAUER & D.D. GUSTAVSON (1983): "Erodibility of Selected REclaimed Surface Mined Soils". Trans. of the ASAE, vol 26 n.5, 1413-1417 & 1421.

KINGLEBIEL, A.A. & P.H. MONTGOMERY (1961): "Land Capability Classification". Agricultural Handbook 210, USDA, S.C.S.

MAGISTER, M (1979): "Conservación de Suelos". ETSIA. Madrid. 253 pp.

McKENZIE, G.D. & J.R.J. STUDLICK (1979): "Erodibility of Surface-mine spoil banks in southeastern Ohio: An approximation". Journal of Soil and Water Conservation, vol 34, n. 4 187-190.

MORGAN, R.P.C. (1986): "Soil Erosion and Conservation". Longman Sci & Technical. Essex, 198 pp.

POCH, R. M^a. (1987): "Projecte de correcció d'un runam en una zona afectada per mineria de carbó a cel obert al T.M. de Cercs (El Berguedà)" Projecte Fi de Carrera, ETS d'Enginyers Agrònoms de Lleida.

PORTA, J. ed.(1984): "Restauración de suelos en minería a cielo abierto". 2º Curso Ordenación del Territorio. E.T.S.I.A. & C.O.I.A.C. 446 pp.

- PORTA, J. R. M^a POCH. J. BOIXADERA (1989): "Land evaluation and erosion control practices on mined soils in NE Spain". Soil Technology. Series 1: 189-206.
- PORTA, J., E. SERRA , M. ARAN i R.M. MASALLES (1983): "Projecte de rehabilitació de sòls a l'explotació a cel-obert de Coll de Pradell". Carbones de Berga, S.A.
- REDENTE, E.F. & N.E. HARGIS (1985): "An Evaluation of Soil thickness and manipulation of Soil And Spoil for Reclaiming Mined Land in Northwest Colorado". Reclamation and Revegetation Research, 4, 17-29.
- ROJIANI, K.B., K.A. TARBELL, V.O. SHANHOLTZ & F.E. WOESTE (1984): "Probabilistic Modeling of Soil Loss from Surface Mined REgions". Trans. of the ASAE, vol 27, n.6, 1798-1804.
- ROQUERO, C.(1964): "Estudio sobre la conservación y mejora de suelos en España". Anales INIA. XIII, 1, 2, 3, 4.
- ROSS, J.J., W.R. DETAR & R.L. CUNNINGHAM (1980): "Estimating the C factor in the Universal Soil Loss Equation for Landscape Slopes: A Field Rating System". J. of Soil and Water Conservation 35 (1), 42-44.
- SARFIELD, B.J., I.D. MOORE & R.G. WILLIAMS (1979): "Prediction of sediment yield from surface mined watersheds" in Symposium on Surface Mining and Reclamation, U. of Kentucky, Lexington, Kentucky, 1979.
- SCHAEFER, M., D. ELIFRITS & D.J. BARR (1979): "Sculpturing reclaimed land to decrease erosion" in Symposium on Surface Mining Hydrology. Sedimentology and Reclamation, Lexington, USA, Des 79. 99-109.
- SIDERIUS, W. (ed) (1986): "Land evaluation for Land-Use Planning and Conservation in Sloping Areas". ILRI Publication n. 40, Wageningen, The Netherlands, 334 pp.
- SINGER, M.J. (1982): "Slope angle-interrill soil loss relationships for slopes up to 50%" Soil Science Society of America Journal, 46 (6), 1270-1273.
- SMITH, R.E. & D.A. WOOLHISER (1977): "Some Applications of Hydrologic Simulation Models for Design of Surface Mine Topography". in Symposium on Reclamation of disturbed Arid Lands. Denver.
- S.S.S. (1975): "Soil Taxonomy". USDA, 754 pp.
- S.S.S. (1987): "Keys to Soil Taxonomy". SMSS Tech. Monograph 6, 280 pp.
- STOCKING, M.A. (1977): "Raifall energy in Erosion: Some Problems and Applications" Research Discussion Paper n. 13. Dep. of Geography, U. of Edimburgh. 29 pp.

VIPULANDAN, C. R.J. KRIZEN & M.L. WILKEY (1982): "Erosion model for reclamation areas". in Symposium on Surface Mining Hydrology, Sedimentology and Reclamation. U. of Kentucky, Lexington.

WILLIAMS, J.R. (1975): "Sediment yield prediction with Universal Equation using Runoff Energy Factor" in Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. Agr. Res. Ser., USDA, Washington, D.C. ARS-S-40, 244-252.

WISCHMEIER, W.H. i D.D. SMITH (1965): "Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains". Agric. Handbook 282, 47 pp.

WISCHMEIER, W.H. i D.D. SMITH (1978): "Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conseravation Planning". USDA Agric. Handbook n. 537 Washington DC, 58 pp.

ZACHAR, D. (1982): " Soil Erosion" Elsevier, Amsterdam. 547 pp.

