

Análisis de las posibilidades de las imágenes TM en la detección de áreas degradadas en sectores montañosos

Ll. Solé, N. Clotet, F. Gallart e I. Sala

Institut de Geologia "Jaume Almera" (C.S.I.C.), c/ Martí i Franquès s/n,
08028 Barcelona

1 - INTRODUCCION

Las áreas degradadas de montaña, a pesar de que usualmente presentan poca superficie, tienen un gran interés en la dinámica del medio, tanto por la pérdida de recursos edáficos e hídricos que comportan, como por ser las principales fuentes de suministro de sedimentos a la red de drenaje. El estudio de estas áreas comporta no simplemente su identificación y cartografía sinó, y de forma muy importante, su seguimiento a lo largo del tiempo para determinar su grado de estabilidad. Algunas de estas formas presentan un desarrollo continuo, relativamente uniforme, sin embargo, muchas de ellas sólo evolucionan de forma notable durante las lluvias torrenciales de baja frecuencia o crecidas extraordinarias. Por ello es de gran importancia el uso de técnicas de percepción remota en su estudio, ya que facilita los estudios temporales comparados y disminuye considerablemente los costos de seguimiento de su evolución.

El objeto del presente trabajo es analizar si la resolución y la gama espectral del sensor TM son suficientes para detectar este tipo de áreas y distinguirlas de otras con escasa vegetación pero geomorfológicamente menos activas. La experiencia adquirida mediante los sensores MSS de los satélites LANDSAT, ponía claramente de manifiesto la limitación de

la teledetección en los estudios de geomorfología dinámica en sectores montañosos, ya que la mayor parte de las formas quedaban por debajo del nivel de resolución del sensor y además estaban, extraordinariamente mediatizadas por los cambios de iluminación provocados por el fuerte relieve. La mayor resolución del sensor TM así como la incorporación de nuevos canales espectrales tanto en el rango visible como en el infrarrojo próximo y térmico, permitían suponer que sería posible abordar los problemas de identificación, medición y cartografía de las formas de erosión y degradación de las vertientes, así como su seguimiento evolutivo a lo largo del tiempo.

Se han seleccionado dos áreas test, de litología y relieve semejantes, en el Pirineo oriental: la cuenca de Vallcebre, en el Alto Llobregat, y la Conca de Tremp en el Noguera Pallaresa. Estas dos áreas corresponden a dos cuartos de imagen 198-31-1 y 198-32-3 del 28 de Julio de 1984.

2 - TECNICAS Y METODOS UTILIZADOS

El tratamiento digital de los productos CCT-TM ha sido realizado íntegramente en el Instituto Jaime Almera del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, utilizando el software de análisis de imagen de KONTRON BILDANALYSE Gmb. y software propio desarrollado por el equipo de teledetección del mismo Instituto.

El instrumental utilizado en los trabajos de teledetección consta de un miniordenador VAX 11/730 de Digital Eq. Co., provisto de lector de cintas magnéticas, trazador (plotter) vectorial y tablero digitalizador, así como de diversos terminales gráficos (Tektronix 4107, "color printer" 4602, VS-11). A este ordenador se ha conectado un analizador de imágenes IPS-2000 de KONTRON BILDANALYSE Gmb., gobernado por un microprocesador de 128 Kbytes, con disco fijo de 20 Mbytes y disco flexible de 5.25". Este microprocesador está conectado vía DMA con el "Memory Image Array

Processor" (MIAP) de 4 Mbytes de memoria de acceso directo y que es totalmente programable para manipular imágenes de tamaño y profundidad variables. Un controlador carga los programas en el MIAP, efectuándose todas las operaciones matriciales en un coprocesador tipo "pipe-line" de 10 MIPS. La visualización de las imágenes se realiza a través de un monitor de color de 19" (860 x 640 pixels). El analizador consta además de impresora matricial, terminal alfanumérico y cámara videocón BOSCH de alta resolución para la adquisición directa de imágenes en blanco y negro con 256 niveles de gris.

El analizador IPS dispone de software IBAS para el análisis de imagen, el cual ha sido completado con algunas funciones específicas para tratamiento multiespectral y teledetección. En el Instituto Jaime Almera se ha desarrollado el paquete de programas JARS, específico para teledetección, que asegura las comunicaciones entre el VAX y el IPS, así como la lectura de los productos CCT, manipulación de imágenes, correcciones radiométricas, análisis estadístico multivariante, clasificadores multispectrales y cartografía de los objetos identificados en las imágenes con la correspondiente corrección geométrica.

Debido a la variabilidad de las formas que se pretenden analizar, así como a su pequeño tamaño (los badlands en el área de Vallcebre tienen una superficie media de 2.300 m^2) y al poco porcentaje de superficie ocupada respecto al total de la imagen analizada (3.7% del total de la superficie de la cuenca), no se han podido utilizar los clasificadores automáticos no supervisados basados en las técnicas de clustering. Por ello se han diseñado sistemas de clasificación de tipo supervisado, basados en la caracterización de áreas de entrenamiento y asignación de clases por técnicas de máxima probabilidad.

Las áreas de entrenamiento se han identificado y aislado interactivamente en el monitor a partir de imágenes realzadas o de combinaciones de

color adecuadas para resaltar algunos detalles. En algunos casos, para aislar grupos de áreas de entrenamiento pertenecientes a una misma clase, se ha utilizado un discriminador que actúa por segmentación interactiva directamente sobre los tres planos utilizados para una composición color.

Con las áreas de entrenamiento seleccionadas y agrupadas por clases, se construye una imagen máscara en la que se asigna un valor fijo para cada clase, dejando a cero todos los pixels que no pertenecen a ninguna área de entrenamiento. Esta máscara se emplea para calcular la signatura espectral de cada una de las clases seleccionadas (valor medio en cada canal), desviación estándar, número de pixels e histograma de frecuencias. Para cada canal se calcula el poder discriminatorio del mismo para las clases definidas. Se ha considerado como poder discriminatorio de un canal el sumatorio de las distancias entre los centros de gravedad de las distintas clases, ponderadas por las desviaciones estándar (criterio Fischer).

Además de los canales del TM se ha calculado el poder discriminatorio de diversos pseudocanales contruidos por técnicas de componentes principales, por fracciones entre canales o por simples combinaciones lineales entre dos o varios canales. Los análisis de resultados han mostrado que algunos de estos pseudocanales se muestran mucho más eficaces para discriminar las clases seleccionadas que los canales naturales TM. Uno de los sistemas más útiles, tanto por la rapidez del cálculo como por los altos poderes discriminatorios que proporciona, ha sido el de substracción de las imágenes de dos canales, previo reescalado de los mismos (uno de 0 a 128 y el otro de 128 a 255) para evitar los valores negativos y la necesidad de normalización de las imágenes resultantes. Los valores medios de las distintas clases en estas imágenes diferencia se presentan relativamente agrupados en torno a los valores centrales (128),

pero las desviaciones estandard son muy pequeñas, lo que aumenta considerablemente su poder discriminatorio.

Los mejores resultados se han obtenido utilizando un sistema de clasificación supervisada, o asignación de pixels a clases preseleccionadas, basado en la mínima distancia euclidiana en un espacio multidimensional, ponderada por la desviación estandard de cada canal para aquella clase. El clasificador permite introducir un factor de rechazo, de modo que los pixels que presentan una distancia superior a la de aquel no son asignados a ninguna clase.

Por último un programa de comparación establece la tabla de aciertos entre la asignación de pixels a clases realizadas por el anterior clasificador y las áreas de comprobación seleccionadas e identificadas interactivamente de forma independiente.

3 - AREAS DE ENTRENAMIENTO Y CLASIFICACION

El análisis que presentamos, se localiza fundamentalmente, en la cuenca de Vallcebre de unos 20 km² de superficie aunque el total de la imágen es de 59 km², en la que se han establecido las áreas de entrenamiento, puesto que se trata de un área estudiada, detalladamente, por parte del equipo de autores, en la que se han llevado a cabo estudios sobre los procesos geomorfológicos actuales, sus implicaciones en la evolución de las áreas degradadas originadas por estos fenómenos, y en la dinámica de sedimentos de la cuenca. Las parcelas de entrenamiento establecidas en esta cuenca trataban especialmente de discriminar los sectores de roca incoherente sin cobertera vegetal (Badlands), que presentan tasas de erosión muy elevadas (9.3 mm/año) del resto de afloramientos rocosos (Clotet, 1984; Clotet y Gallart, 1986; Clotet, Gallart, Balasch, 1986).

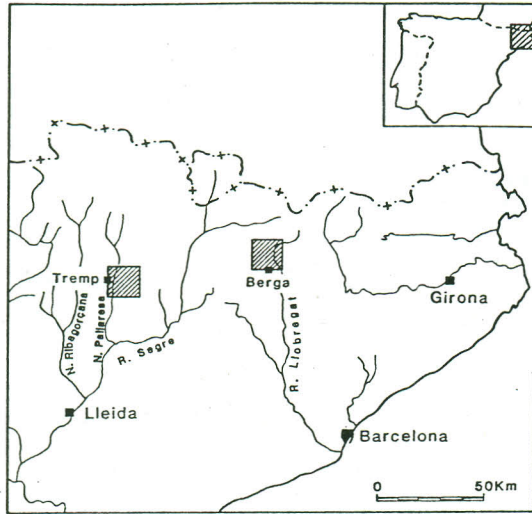


Fig. 1.- Esquema de situación de las áreas estudiadas: Alto Llobregat, Conca de Tremp.

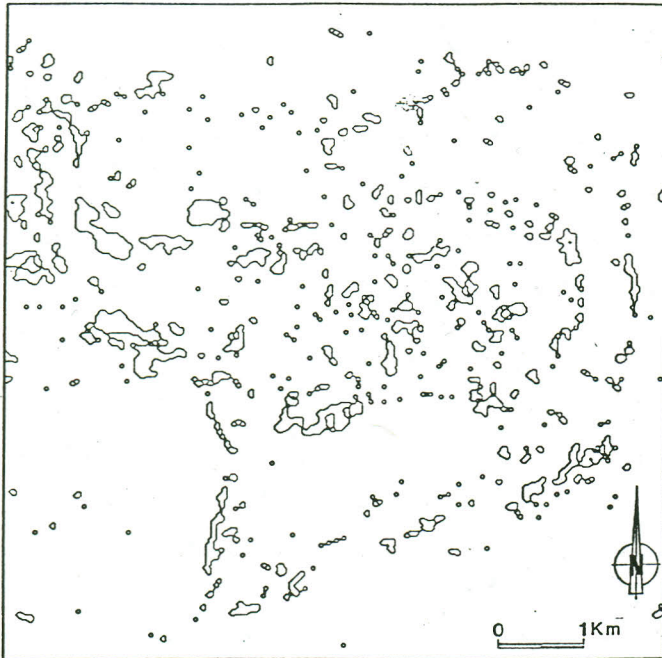


Fig. 4.- Sectores degradados (Badlands) extraídos de la clasificación con 11 clases representativas en la imagen de Vallcebre.

La segunda área test, situada en la Conca de Tremp, que cubre unos 235 km² ha sido utilizada para comprobar la bondad del clasificador utilizado y la exportabilidad de los límites de las clases para sectores que, aunque litológicamente son muy semejantes, tienen características climáticas bastante diferenciadas.

Ambas áreas están formadas por amplios sinclinatorios en cuyos núcleos afloran varios centenares de metros de espesor de arcillas y margas versicolores, con intercalaciones más o menos importantes de calizas, de facies garumniense. Estos materiales arcillosos pueden contener niveles de lignitos en su base, que son explotados tanto en minas subterráneas como a cielo abierto en la cuenca de Vallcebre, y descansan sobre calizas del Cretácico superior, las cuales forman el basamento de las zonas estudiadas. En la Conca de Tremp, y en menor grado en la de Vallcebre, sobre los materiales arcillosos garumnienses se encuentran conglomerados finieocénicos o oligocénicos, que forman parte de la molasa pirenaica. Dichos conglomerados se comportan desde el punto de vista geomorfológico de manera muy similar a las calizas cretácicas, sin embargo, son de coloraciones pardas y rojizas, semejantes a la de los materiales plásticos garumnienses. Las acumulaciones de materiales aluviales cuaternarios son muy escasas en las dos áreas estudiadas, y sólo ocupan extensiones muy reducidas junto a los cauces del Llobregat o del Noguera.

En la época del año a que pertenecen las imágenes analizadas, es muy acusada la diferencia de humedad entre ambas áreas, siendo mucho más seca la Conca de Tremp, donde la mayor parte de los cultivos son de secano y ya han sido cosechados, que la cuenca de Vallcebre en la que predominan claramente los pastizales y las áreas boscosas sobre los cultivos de secano.

En un primer ensayo de clasificación a partir de áreas de entrenamiento, se establecieron ocho clases, cuatro pertenecientes a diferentes litolo-

gías (calizas, escombreras de lignitos, canteras de explotación de los lignitos a cielo abierto y sectores de badlands) y otros cuatro correspondientes a diferentes tipos de cubiertas vegetales (cultivos y pastizales, monte bajo abierto, bosque de caducifolios y bosque de coníferas). Este primer intento de clasificación se basaba en la utilización de combinaciones lineales de las bandas del TM (3-1, 5-1, 3/7, 4/7, 5/7) que permitían obtener poderes discriminativos mucho mayores que los facilitados por los canales TM, puesto que los cambios cromáticos de las arcillas de facies garumniense en las que se desarrollan las áreas altamente degradadas, crean una elevada dispersión de las reflectancias de los canales TM.

En la fig. 2 y en las tablas 1 y 2, puede apreciarse el distinto poder discriminatorio que se obtiene al utilizar los canales TM o bien al utilizar pseudocanales que resultan de las combinaciones lineales simples de los canales originales TM. Las clases 1 a 4 (Fig. 2) representan los distintos tipos de suelos desnudos (calizas masivas, escombreras de mina, canteras de las explotaciones de lignitos a cielo abierto y badlands), que se utilizaron en un primer intento de clasificación, mientras que en la clase 5 se agruparon las cuatro clases restantes con distinto grado de cubierta vegetal. La fuerte correlación existente entre los distintos canales hace difícil la clasificación de estas clases a partir de la utilización directa de los canales TM, tal como puede observarse en las tablas de aciertos reflejadas en las Tablas 1 y 2. Utilizando los canales originales se producen algunos problemas de mal clasificación, sobre todo en las clases sin vegetación (clase 1 calizas masivas y clase 5 badlands), mientras que utilizando pseudocanales obtenidos por diferencias entre los canales originales, se obtienen unos niveles de aciertos muy superiores en estas clases, aunque con las combinaciones que se han utilizado se producen ciertas pérdidas de precisión en algunas clases con vegetación (clases 7, 8, correspondientes a bosque de caducifolios y

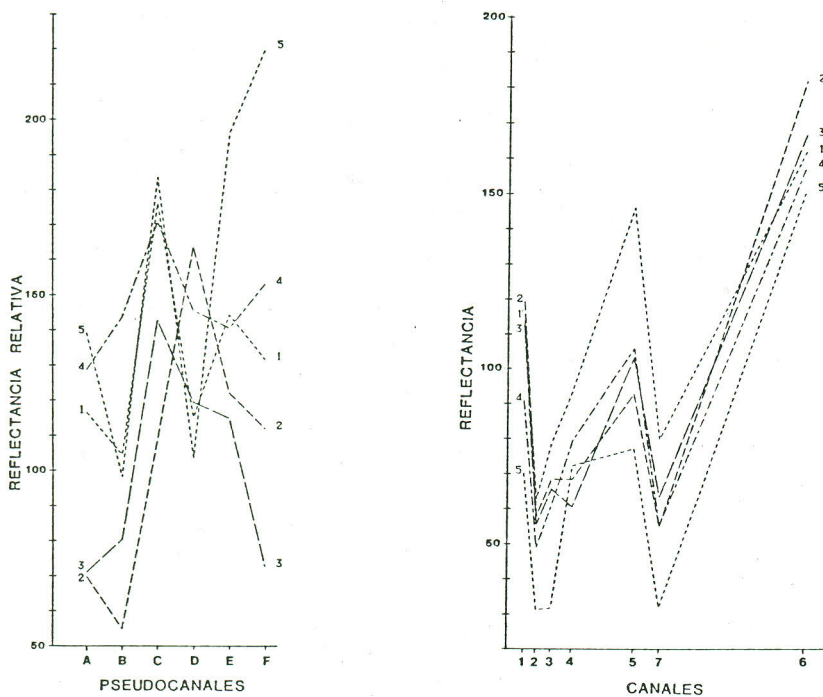


Fig. 2.- Reflectancia relativa de los canales originales TM y de los pseudocanales (3-1, 5-1, 3/7, 4/7, 5/7).

- 1 - Calizas masivas.
- 2 - Escombreras de los lignitos.
- 3 - Canteras de las explotaciones de lignitos a cielo abierto.
- 4 - Badlands.
- 5 - Agrupación de sectores con distinta cobertera vegetal.

CANALES TM

PORCENTAJES RESPECTO AL VALOR TOTAL DE PIXELS EN CADA CLASE DE LA MASCARA

MASCARA	VAR 0	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4	VAR 5	VAR 6	VAR 7	VAR 8	VAR 9
1	3	79	0	0	5	5	3	1	1	0
2	0	0	B4	4	0	7	0	1	0	0
3	0	7	11	71	1	3	0	2	0	0
4	0	0	0	0	54	18	0	8	14	4
5	0	17	0	0	15	38	7	12	6	2
6	0	1	0	0	1	61	0	21	0	0
7	0	1	0	0	15	19	16	43	1	1
8	0	0	0	0	6	1	4	1	81	5
9	0	0	0	0	1	0	0	0	6	92

PORCENTAJE RESPECTO AL VALOR TOTAL DE PIXELS EN CADA CLASE EN EL FICHERO CLASIFICADO

MASCARA	VAR 0	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4	VAR 5	VAR 6	VAR 7	VAR 8	VAR 9
1	50	16	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0
3	25	31	70	0	98	1	4	2	0	0
4	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0
5	0	24	0	0	7	16	1	3	0	0
6	0	22	0	0	7	52	85	62	0	0
7	0	4	0	0	14	16	4	24	0	0
8	0	0	2	0	50	9	9	89	0	4
9	25	0	0	0	10	0	0	0	0	95

TABLA 1

PSEUDOCANALES (3-1,3-7,3,7,4,7,5/7)

PORCENTAJES RESPECTO AL VALOR TOTAL DE PIXELS EN CADA CLASE DE LA MASCARA

MASCARA	VAR 0	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4	VAR 5	VAR 6	VAR 7	VAR 8	VAR 9
VAR 1	0	82	0	0	0	17	0	0	0	0
VAR 2	12	4	71	10	0	0	0	0	0	0
VAR 3	5	4	7	82	0	0	0	0	0	0
VAR 4	2	0	0	0	97	0	0	0	0	0
VAR 5	9	0	0	0	0	89	0	0	0	0
VAR 6	3	0	0	0	0	0	87	8	0	0
VAR 7	0	0	0	0	0	0	17	81	0	0
VAR 8	3	0	0	0	0	0	3	0	77	15
VAR 9	9	0	0	0	1	0	0	0	17	71

PORCENTAJE RESPECTO AL VALOR TOTAL DE PIXELS EN CADA CLASE EN EL FICHERO CLASIFICADO

MASCARA	VAR 0	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4	VAR 5	VAR 6	VAR 7	VAR 8	VAR 9
VAR 1	0	42	0	0	0	2	0	0	0	0
VAR 2	0	2	34	0	0	0	0	0	0	0
VAR 3	5	43	65	99	0	0	0	0	0	0
VAR 4	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0
VAR 5	3	0	0	0	0	96	0	0	0	0
VAR 6	12	0	0	0	1	0	90	32	0	0
VAR 7	0	0	0	0	0	0	3	66	0	0
VAR 8	17	0	0	0	12	0	5	0	77	14
VAR 9	60	9	0	0	50	0	0	0	22	85

TABLA 2

perennifolios).

Al comprobar el resultado de esta primera clasificación sobre una superficie cuatro veces mayor a la seleccionada para las áreas de entrenamiento, pudo observarse que un número excesivo de pixels quedaban sin clasificar o correspondían a interferencias entre las clases preseleccionadas que eran demasiado amplias. Por este motivo, y a partir del análisis de los datos proporcionados por esta primera clasificación se procedió por un lado a añadir tres nuevas áreas de entrenamiento (calizas poco masivas con intercalaciones de areniscas cubiertas por matorral muy disperso, prados de tipo alpino y zonas cultivadas). Con estas once áreas de entrenamiento y utilizando las combinaciones lineales 3-1, 4-1, 5-1, 3-7, 4-7, 5-7, previo reescalado de los mismos, como ya se ha comentado en el capítulo anterior, para la clasificación, en el área del Alto Llobregat, sobre una superficie de 236 km^2 solo quedaron por clasificar 85 pixels (sobre los 262.144 totales) aplicando un factor de rechazo de más menos una desviación estandar. (Fig. 3 y tablas 3, 4)

La clasificación resultante en el área del Alto Llobregat, puede considerarse plenamente satisfactoria por lo que se refiere a las clases establecidas de tipo litológico y excepcional si observamos tan solo las áreas degradadas que tratábamos de detectar (badlands y escombreras de las minas y explotaciones a cielo abierto de los lignitos), mientras que en las clases establecidas en función de la cobertura vegetal, ha habido detrimento de las clases 9, 10, 11 correspondientes a monte bajo abierto, bosque de caducifolios y bosque de perennifolios, detrimento que se ha reflejado en una sobrevaloración de las clases 7 y 8 correspondientes a cultivos y pastizales y sectores de prado.

A fin de poder establecer una buena correspondencia entre realidad terreno y clasificación de la imagen correspondiente a la cuenca de Vallcebre, (1/4 de imagen de la del Alto Llobregat), en la que se habían preselec-

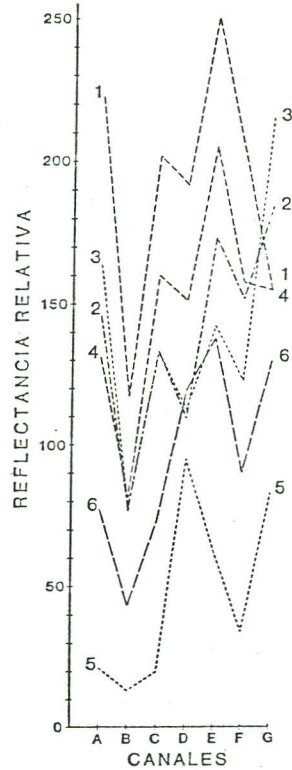
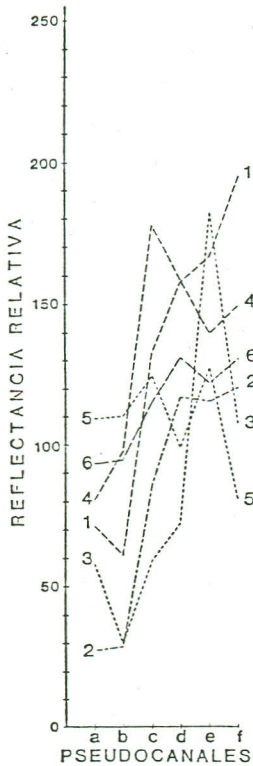


Fig. 3.- Reflectancias relativas de los canales TM y de los pseudocanales utilizados en la clasificación con 11 clases significativas correspondientes a: 3-1, 4-1, 5-1, 3-7, 4-7, 5-7.

1 - Calizas masivas.

2 - Canteras explotaciones de lignito a cielo abierto.

3 - Escombreras de las minas de lignitos.

4 - Badlands.

5 - Calizas con intercalaciones de areniscas.

6 - Bosque tupido de coníferas.

CANALES TM

PORCENTAJE RESPECTO AL VALOR TOTAL DE PIXELS EN CADA CLASE DE LA MASCARADA

MASCARA	VAR 0	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4	VAR 5	VAR 6	VAR 7	VAR 8	VAR 9
1	3	79	0	4	5	5	3	1	1	0
2	0	0	84	0	0	9	0	1	0	0
3	0	7	11	71	1	3	0	2	0	0
4	0	0	0	0	54	10	0	8	14	4
5	0	17	0	0	15	38	7	12	6	2
6	0	1	0	0	1	12	61	21	0	0
7	0	1	0	0	15	19	16	43	1	1
8	0	0	0	0	6	0	4	1	81	5
9	0	0	0	0	10	0	0	0	6	92

PORCENTAJE RESPECTO AL VALOR TOTAL DE PIXELS EN CADA CLASE EN EL FICHERO CLASIFICADO

MASCARA	VAR 0	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4	VAR 5	VAR 6	VAR 7	VAR 8	VAR 9
1	50	16	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0
3	25	31	70	98	1	4	0	2	0	0
4	0	0	0	0	7	2	0	0	0	0
5	0	24	0	0	7	16	1	3	0	0
6	0	22	0	0	7	52	0	0	0	0
7	0	4	0	0	14	16	4	24	0	0
8	0	0	2	0	50	6	9	6	89	4
9	25	0	0	0	10	0	0	0	9	95

TABLA 3

PSEUDOCANALES (3-1,4-1,5-1,3-7,4-7,5-7)

PORCENTAJE RESPECTO AL VALOR TOTAL DE PIXELS EN CADA CLASE DE LA MASCARADA

MASCARA	VAR 0	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4	VAR 5	VAR 6	VAR 7	VAR 8	VAR 9
VAR 1 I	0	82	0	0	0	17	0	0	0	0
VAR 2 I	12	4	71	10	0	0	0	0	0	0
VAR 3 I	5	4	7	82	0	0	0	0	0	0
VAR 4 I	2	0	0	0	97	0	0	0	0	0
VAR 5 I	9	0	0	0	0	89	0	0	0	0
VAR 6 I	1	0	0	0	0	0	98	0	0	0
VAR 7 I	3	0	0	0	0	0	3	83	8	0
VAR 8 I	0	0	0	0	0	0	2	14	81	0
VAR 9 I	6	0	0	0	1	0	0	1	0	90

PORCENTAJE RESPECTO AL VALOR TOTAL DE PIXELS EN CADA CLASE EN EL FICHERO CLASIFICADO

MASCARA	VAR 0	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4	VAR 5	VAR 6	VAR 7	VAR 8	VAR 9
VAR 1 I	0	42	0	0	0	2	0	0	0	0
VAR 2 I	0	2	34	0	0	0	0	0	0	0
VAR 3 I	5	43	65	99	0	0	0	0	0	0
VAR 4 I	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0
VAR 5 I	3	0	0	0	0	96	0	0	0	0
VAR 6 I	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0
VAR 7 I	11	0	0	0	1	0	40	90	32	0
VAR 8 I	0	0	0	0	0	0	7	3	66	0
VAR 9 I	78	9	0	0	63	0	0	6	0	99

TABLA 4

cionado las 11 áreas de entrenamiento, se utilizó el analizador de imágenes IPS-2000 KONTRON BILDAVALYSE Gbh. Haciendo uso de las conexiones internas y externas que posee el sistema, pudimos sobreponer la imagen clasificada con los estereogramas de Junio de 1983, minuciosamente cartografiados del mismo sector, previo ajuste de las escalas. De este modo hemos podido comprobar que: La clase 1 correspondiente a las calizas masivas de facies garumnienses, que ocupan un 4% de la superficie total de la imagen, quedan perfectamente situadas sobre sus afloramientos aunque tienden a cubrir superficies mayores a las que en realidad poseen dichos afloramientos, asimismo algunos tramos de la pista forestal que va de Sant Corneli a Fumanya quedan englobados en esta clase.

Las clases 2 y 3 correspondientes a escombreras antiguas de las minas de lignito y canteras de explotación de los lignitos a cielo abierto que cubren un 2.8% de la superficie total, quedan perfectamente ubicadas aunque cabe remarcar una subestimación de la superficie de la clase 3.

La clase nº 4 correspondiente a afloramientos de calizas con frecuentes intercalaciones de areniscas y en algunos casos con pequeños niveles de microconglomerados que cubre un 7% de la superficie total de la imagen ha sido sobrevalorada tanto por lo que respecta a la superficie que ocupa en realidad, como por haber absorbido algunos campos abandonados, así como algunos pixels correspondientes a las canteras de explotación de las explotaciones de lignitos a cielo abierto.

La clase nº 5 correspondiente a áreas constituidas por arcillas versicolores de facies garumnienses totalmente desprovistas de vegetación y en las que los procesos erosivos provocados por las aguas pluviales adquieren gran importancia, dando lugar a áreas totalmente degradadas en forma de bad-lands, han sido las estudiadas más detalladamente. Estas áreas cubren aproximadamente un 2% de la superficie total de la imagen de la cuenca de Vallcebre y corresponden a 5.243 pixels. Solo han quedado por

detectar 4 de dichas formas por estar por debajo del poder resolutivo del TM, mientras que las restantes han quedado perfectamente ubicadas. De hecho para cubrir totalmente la superficie de estos sectores degradados, faltan tan solo 402 pixels mientras que del total de 5.243, 274 han quedado mal situados y se han atribuido a algunos sectores de las canteras de explotación de los lignitos, a 2 campos arados sobre substrato de conglomerados y por tanto con suelos rojizos y el resto corresponden al núcleo minero de Vallcebre (Fig. 4).

Las seis clases restantes, todas ellas correspondientes a distintas coberteras vegetales han sido controladas con menor rigor y en síntesis podemos concluir que ha habido ciertas confusiones entre cultivos y pastizales con sectores de bosque tupido y que ambas clases están sobrevaloradas en detrimento de la clase correspondiente a monte bajo con vegetación abierta.

4 - POSIBILIDADES DE GENERALIZACION DE LAS CLASES OBTENIDAS

Al exportar al sector de la Conca de Tremp, área muy similar desde el punto litológico a la analizada anteriormente, las clases obtenidas en el área de Vallcebre y a pesar de la problemática que representa la no existencia en la Conca de Tremp de algunas de las clases significativas en Vallcebre, (todas las referidas a la minería de lignitos y prados de tipo alpino) así como la existencia de una nueva clase representada por el embalse de Talarn que ocupa una superficie relativamente alta del total de la imagen (3,8%), los resultados obtenidos han sido valorados como satisfactorios.

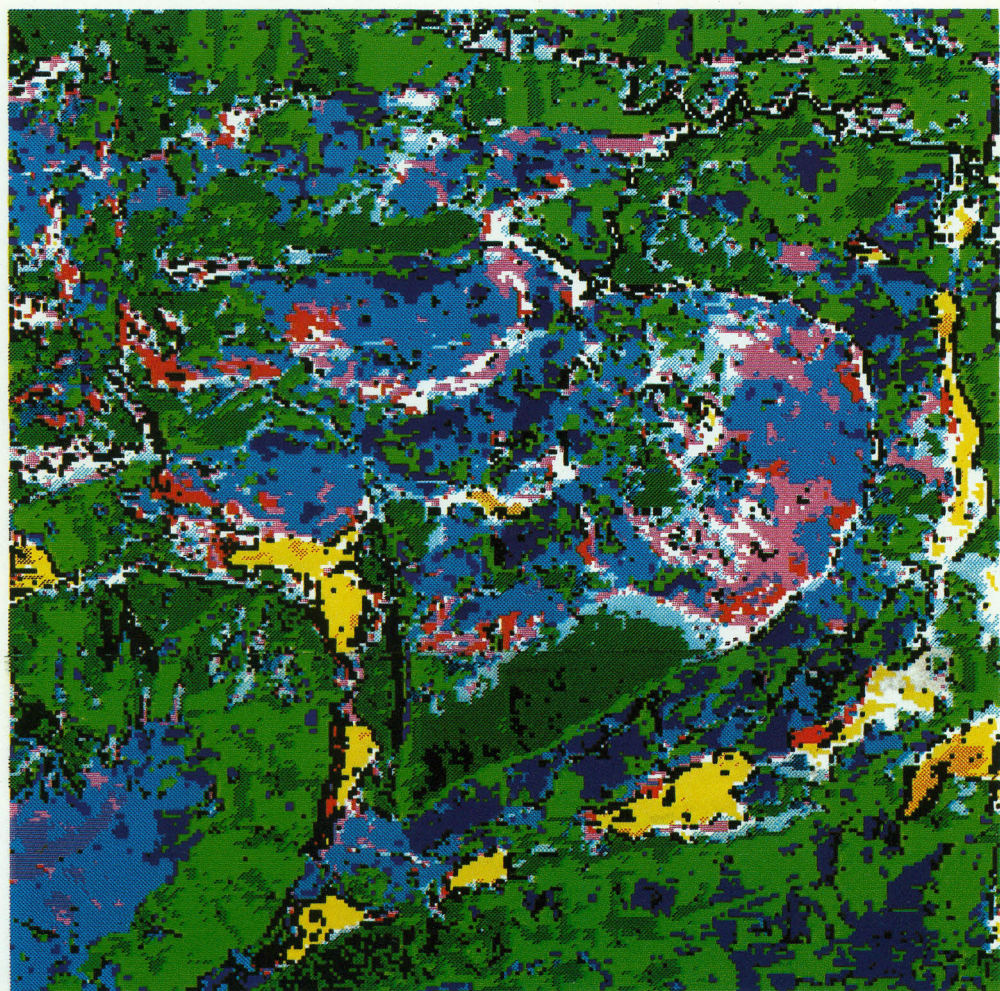
En efecto, el nivel de aciertos de la clasificación utilizando los pseudocanales creados a partir de los valores originales de reflectancia por diferencias sin normalizar, mejora extraordinariamente si se compara con los resultados obtenidos a partir de los valores originales de los cana-

les TM.













En este caso solo 1011 pixels de un total de 262,144 quedaron sin clasificar, utilizando un factor de tolerancia de más menos una desviación estandard, y a pesar de haber seleccionado, exprofeso, todas las clases en el área de Vallcebre con un clima netamente distinto y de la no coincidencia total de las clases, los niveles de pixels mal clasificados no superan el 10%.

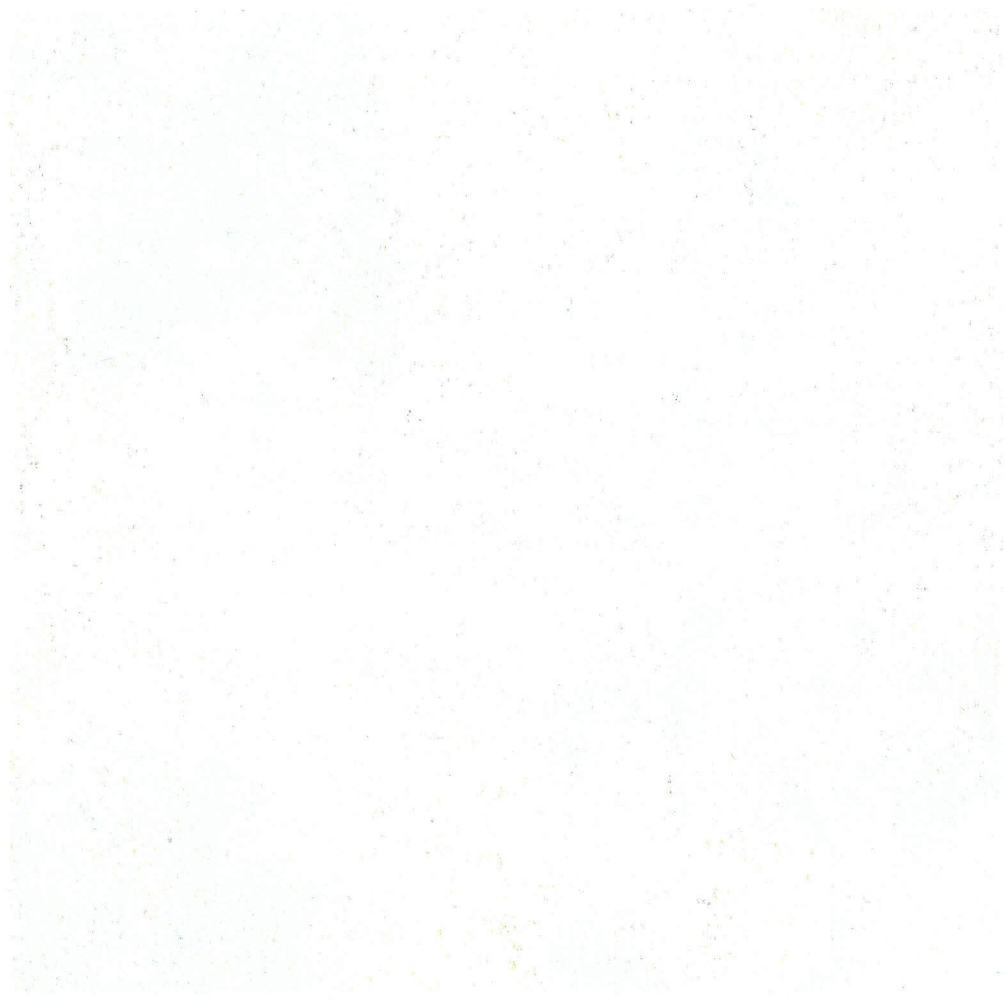
La clase 5, correspondiente a los sectores más degradados (badlands), han quedado clasificados en la clase 1 de Vallcebre (calizas masivas) ya que en el área de la Conca de Tremp estas áreas de cárcavas se desarrollan, basicamente, sobre substratos arcillosos o margosos de tonos azules claros. En la clase badlands se han agrupado 31.242 pixels que se sitúan sobre campos de cultivo desnudos ubicados sobre formaciones rojizas cuaternarias, arcillas garumnienses, y fondos de valles secundarios desprovistos de vegetación y modelados sobre la misma facies litológica.

De las clases seleccionadas en la imágen de Vallcebre, sabiendo de antemano que no existían en la Conca de Tremp, podemos concluir que la clase nº 6 (Prado alpino) ha asimilado 23.650 pixels correspondientes todos ellos a superficies estructurales de calizas o areniscas con cobertera vegetal baja y dispersa, características muy similares a las definidas para esta clase en la zona exportada. Por lo que se refiere a las dos clases asociadas a la minería de los lignitos, (clases 2 y 3 de Vallcebre) han quedado clasificados 5.952 pixels que engloban gran parte de las barras aluviales del río Noguera, que aún no están colonizadas por arbustos, así como los bordes desnudos o con aguas muy poco profundas del embalse de Talarn. Estas mismas clases han asimilado parte de los campos con plantaciones de árboles con suelos bastante más pedregosos que el resto de zonas de cultivo.

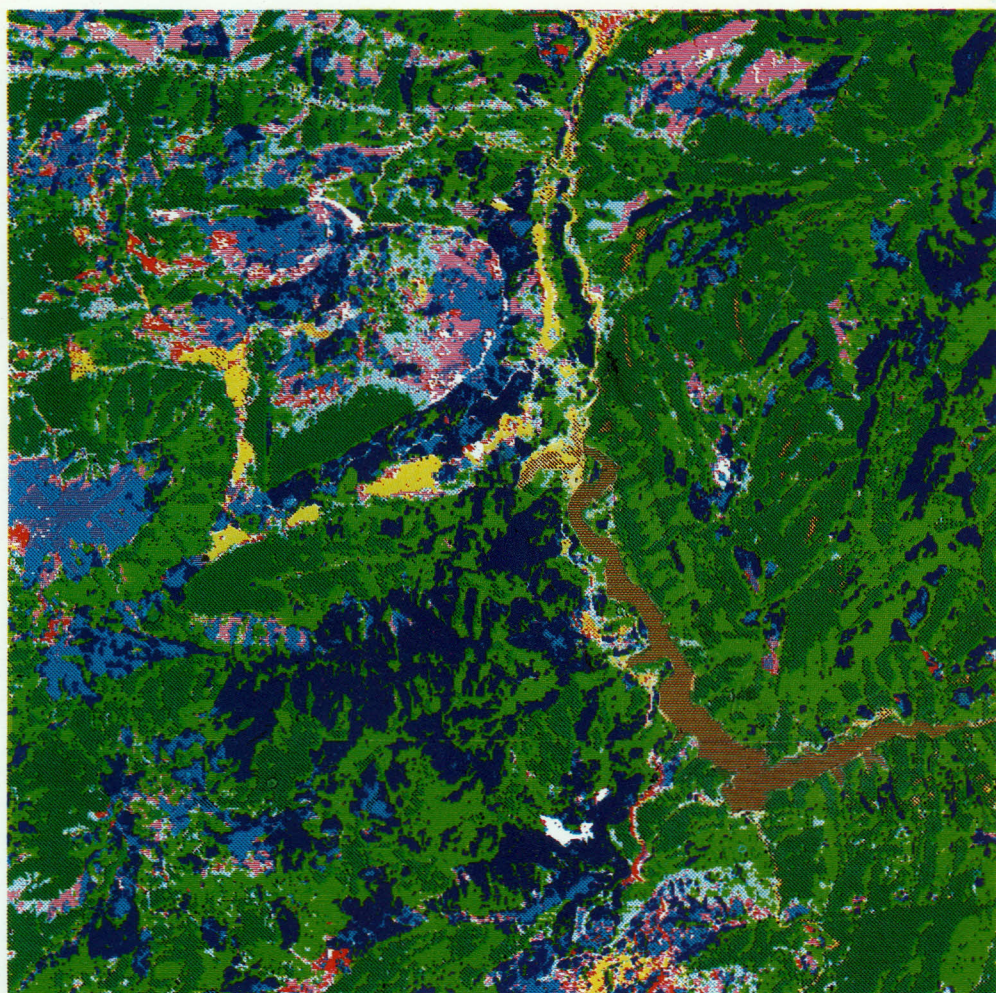


VALLCEBRE














	C1		C5		C9
	C2		C6		C10
	C3		C7		C11
	C4		C8		C12



100
100
100
100



ALT LLOBREG

	C1		C5		C9
	C2		C6		C10
	C3		C7		C11
	C4		C8		C12
					C13



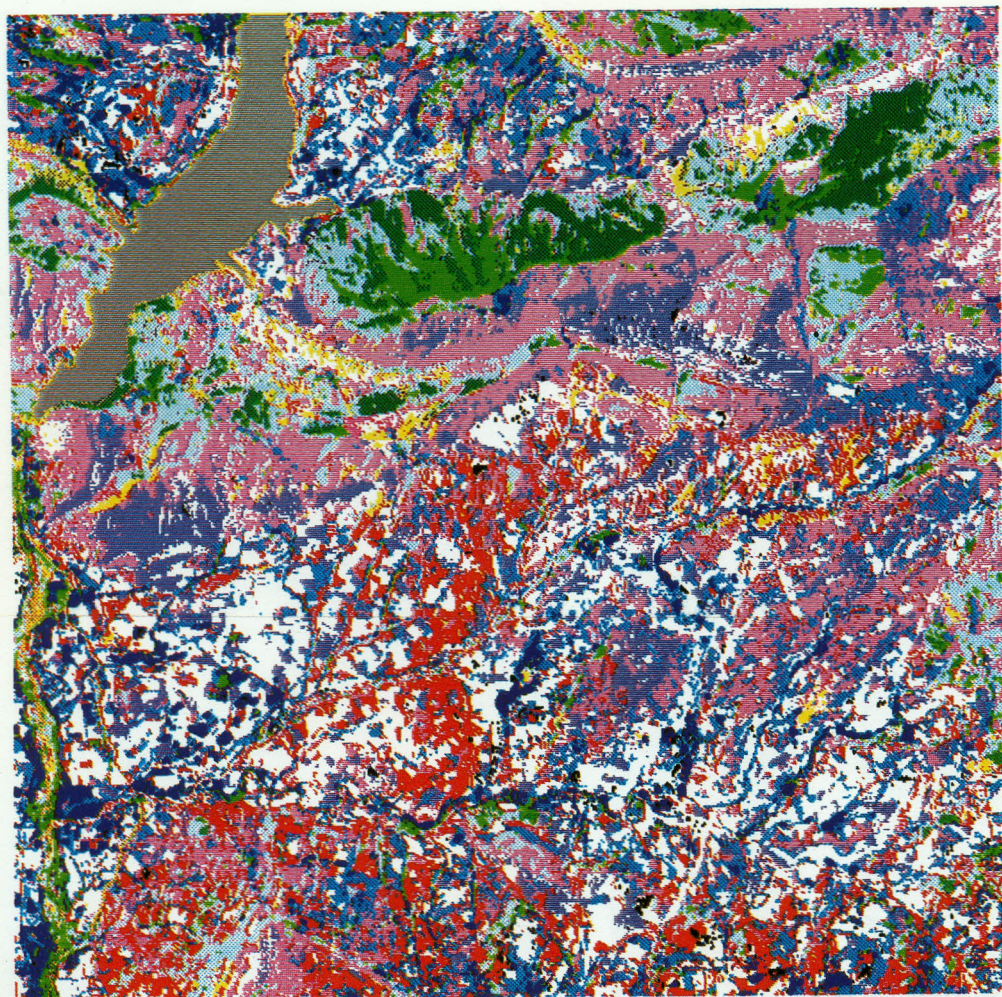
VALLCEBRE

- C 1 Calizas masivas
- C 2 Escombreras minas lignitos
- C 3 Canteras de explotación a cielo abierto
- C 4 Calizas con intercalaciones de arenisca
- C 5 Bad-lands (arcillas versicolores)
- C 6 Prado alpino
- C 7 Prados y pastizales
- C 8 Cultivos
- C 9 Monte bajo abierto
- C 10 Bosque de caducifolios
- C 11 Bosque de perennifolios
- C 12 No clasificado














ALT LLOBREGAT

- C 1 Calizas masivas
- C 2 Escombreras minas lignitos
- C 3 Canteras de explotación a cielo abierto
- C 4 Calizas con intercalaciones de arenisca
- C 5 Bad-lands (arcillas versicolores)
- C 6 Prado alpino
- C 7 Prados y pastizales
- C 8 Cultivos
- C 9 Monte bajo abierto
- C 10 Bosque de caducifolios
- C 11 Bosque de perennifolios
- C 12 Embalse
- C 13 No clasificado





TREMP . VALL

	C1		C5		C9
	C2		C6		C10
	C3		C7		C11
	C4		C8		C12
			C13		



TREMP

- C 1 Calizas masivas
- C 2 Escombreras minas lignitos
- C 3 Canteras de explotación a cielo abierto
- C 4 Calizas con intercalaciones de arenisca
- C 5 Bad-lands (arcillas versicolores)
- C 6 Prado alpino
- C 7 Prados y pastizales
- C 8 Cultivos
- C 9 Monte bajo abierto
- C 10 Bosque de caducifolios
- C 11 Bosque de perennifolios
- C 12 Embalse
- C 13 No clasificado

5 - CONCLUSIONES

- . La metodología de clasificación supervisada que hemos utilizado, es válida para la discriminación y cartografía automática de accidentes geomorfológicos en áreas de montaña, sobre todo los relacionados con problemas de degradación de vertientes.
- . Muy frecuentemente resulta difícil poder diferenciar entre las distintas clases de afloramientos rocosos ya que todos ellos presentan altos niveles de reflectancia en los canales infrarrojos próximos.
- . Los pseudocanales (diferencias de canales) utilizados, previo reescalado de los mismos (entre 0-128 y entre 128-255) que evita la normalización de las imágenes, son perfectamente exportables a sectores con caracteres litológicos y de relieve similares.
- . El rigor del relieve de las áreas analizadas enmascara de manera considerable los niveles de reflectancia de los distintos materiales ampliando en consecuencia su varianza. Por ello es absolutamente imprescindible la utilización de modelos digitales de terreno que permitan una buena corrección radiométrica a partir de las características topográficas. Esta corrección radiométrica a partir del modelo de terreno es aún más necesaria en el análisis de la evaluación de estas formas, ya que se requiere la comparación de imágenes multitemporales, con iluminaciones variables.
- . Hemos podido comprobar que los canales 5 y 7 presentan en las imágenes analizadas un desplazamiento de 0.5 pixels con respecto al resto de los canales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a D. Emili Hernández, Dña. Graciela Monzón y Dña. Maria Dolores Dominguez del Instituto de Investigaciones Geológicas, su colaboración en el presente trabajo.

6 - BIBLIOGRAFIA

- CLOTET PERARNAU, N. 1984: La conca de La Baells (Alt Llobregat): els processos geomorfològics actuals responsables del subministrament de sòlids i balanç previ de sediments. Acta Geol. Hisp. 19(3): 177-191.
- CLOTET PERARNAU, N. y GALLART, F. 1986: Sediment yield in a mountainous basin under high Mediterranean climate. Zeits für Geomorph. Sup. Bd. 60: 205-216.
- CLOTET PERARNAU, N., GALLART, F., BALASCH, J.C. 1986: Medium term erosion rates in a small scarcely vegetated catchment in the Pyrenees. Catena (in press).