



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

APLICACION DE LA TELEDETECCION
A UN ESTUDIO DE INGENIERIA
GEOAMBIENTAL DE UN SECTOR
DE LA SIERRA DE GUADARRAMA
Y DEL VALLE DEL JARAMA

TOMO I - MEMORIA



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

01132

I N D I C E

	Pag
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>ENCUADRE DE LA ZONA ESTUDIADA</u>	2
2.1. SINTESIS GEOLOGICA	2
2.2. HIDROLOGIA	5
2.3. HIDROGEOLOGIA	9
3. <u>APLICACION DE LA TELEDETECCION AL ESTUDIO GEOAMBIENTAL.- METODOLOGIA</u>	12
3.1. MATERIAL EMPLEADO	12
3.2. CONSIDERACIONES SOBRE LOS DATOS DE SATELITE	13
3.3. PROCESO DE IMAGENES	14
3.4. PROCESAMIENTOS ADICIONALES	17
3.5. PRESENTACION DE LOS RESULTADOS ...	17
4. <u>MAPAS DE USOS DEL SUELO</u>	19
4.1. DIVISIONES REALIZADAS	19
4.2. RESULTADOS OBTENIDOS	21
4.3. LAS MASAS ARBOREAS	24
4.3.1. Pisos bioclimáticos: Comuni dades vegetales cambiantes en función del clima	25
4.3.2. Corología	28
4.3.3. Descripción de las especies arbóreas	28
4.3.4. Localización de las distintas especies de árboles	45

	Pag
5. <u>MAPA GEOMORFOLOGICO</u>	47
6. <u>MAPA DE PENDIENTES</u>	54
7. <u>MAPA DE LINEAMIENTOS</u>	55
8. <u>MAPA DE PELIGROSIDAD GEOLOGICA</u>	61
8.1. FACTORES DE PELIGROSIDAD GEOLOGICA .	62
8.2. PROCESOS DIFERENCIADOS EN LOS MAPAS	65
8.3. ZONAS DE PELIGROSIDAD	65
8.3.1. Zonas estables con riesgo nu- lo y/o escaso	66
8.3.2. Zonas con peligrosidad baja y elevada saturación en agua.	66
8.3.3. Zonas con peligrosidad modifi- cada y con dudas sobre los factores	68
8.3.4. Zonas con peligrosidad alta y con presencia de factores ...	68
8.3.5. Zonas inestables con peligrosi- dad muy alta	70
8.4. ARCILLAS EXPANSIVAS	71
8.5. ACTIVIDADES MINERAS	71
9. <u>ZONAS PILOTO</u>	73
9.1. <u>MAPA DE PELIGROSIDAD GEOLOGICA DE LA</u> <u>SIERRA DE LA CABRERA</u>	74
9.1.1. Contexto geológico y fisiográ- fico	74
9.1.2. Comentarios	75
9.2. <u>MAPA DE PELIGROSIDAD GEOLOGICA DEL SEC-</u> <u>TOR DEL RIO JARAMA ENTRE ARGANDA Y SAN</u> <u>MARTIN DE LA VEGA</u>	77

	Pag
9.2.1. Contexto geológico y fisiográfico	77
9.2.2. Comentarios	78
9.3. CLASIFICACION DE DETALLE (USOS DEL SUELO). ZONA DE ARGANDA	81
9.4. APLICACION DE LA TELEDETECCION AL ESTUDIO DE LA EUTROFIZACION DE AGUAS EMBALSADAS	84
9.4.1. Conclusiones	90
10. <u>MAPA DE CONDICIONANTES AL USO DEL SUELO Y SUBSUELO</u>	91
11. <u>RESUMEN Y CONCLUSIONES</u>	95
12. <u>AGRADECIMIENTOS</u>	99
13. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	100

1. INTRODUCCION

Para que los planificadores puedan llevar a cabo una adecuada ordenación del territorio, tienen que partir de una serie de estudios previamente elaborados. Un conjunto de ellos se designan con la denominación de ingeniería geoambiental, e incluyen mapas de usos del suelo, geomorfológicos, de pendiente de lineamientos, de peligrosidad geológica, etc.

Las técnicas que se utilizan para llevar a cabo estos estudios son muy variadas. Al ser una ciencia relativamente moderna, la estructura del cuerpo metodológico que la sustenta incluye, progresivamente, nuevos campos: Uno de los más recientes es el de la teledetección, cuyos resultados son cada vez más prometedores.

Uno de los objetivos principales de este estudio es, precisamente, el de evaluar la importancia que puede tener la aplicación de la teledetección en un estudio de ingeniería geoambiental desarrollado, como zona piloto, en una franja norte-sur localizada en el extremo oriental de la comunidad de Madrid.

En esta memoria se describen los resultados obtenidos. En la realización han intervenido por el ITGE D. Angel García Cortes como Director del Proyecto y por AURENSA D. Luis López Vilchez como responsable del Proyecto, D. Francisco Igualada Delgado y D^a Cristina Caturra Montero en el estudio de teledetección, D. Félix Fernández Gonzalo y D^{ña}. María V. Alonso Arriaga en el estudio de usos del suelo y D. Jorge Fleta Pastor en los estudios geomorfológicos, de lineamientos y peligrosidad geológica.

2. ENCUADRE DE LA ZONA ESTUDIADA

La zona estudiada se localiza entre los meridianos que pasan, aproximadamente, por Leganés y por Alcalá de Henares; toda ella se incluye en la comunidad de Madrid. Abarca una superficie de unos 4.800 km², pertenecientes, casi íntegramente, a la cuenca hidrográfica del río Jarama.

Los núcleos de población más importantes son Madrid, Getafe, Alcobendas, San Sebastian de los Reyes, Alcala de Henares, Coslada, Aranjuez y Arganda.

En el sector central y desde Alcalá de Henares a Leganes-Getafe la atraviesa el importante eje industrial Guadalajara-Toledo.

2.1 SINTESIS GEOLOGICA

La cuenca del río Jarama se extiende de norte a sur desde el extremo noreste de la cordillera Central (sistema Central),- que incluye un sector de las sierras de Guadarrama y Somosierra-, hasta el ámbito de los depósitos continentales miocenos y cuaternarios de la fosa del Tajo.

En el área de estudio pueden diferenciarse seis sectores con características geológicas diferentes:

1. **Sector de las sierras de Guadarrama y Somosierra.** Ocupa la parte más septentrional del área. Está formado por los materiales graníticos y gneisicos de la cordillera Central. En el borde oriental del sector estudiado aparecen materiales metamórficos del Paleozoico.

2. **Franja cretácica y Terciario detrítico de la vertiente sur de la sierra de Guadarrama.** El borde meridional de la sierra tiene una orientación suroeste-noreste, está jalonado por una franja de materiales cretácicos en franca discordancia sobre las rocas cristalinas y paleozoicas. Apoyados sobre los materiales cretácicos, y siempre en relación con estos, existe una serie de depósitos detríticos correspondientes al Paleógeno (Oligoceno) cuyos afloramientos se inician al sur de El Molar y se continúan a lo largo del borde del macizo granítico.

3. Inmediatamente al sur, se extienden los depósitos del Terciario Continental que se caracterizan, en este sector, por el predominio de facies detríticas. Comienza por los sedimentos lacustres y detríticos de edad paleógena. El Terciario superior (Mioceno) integra una serie formada por elementos detríticos procedentes de la erosión de granitos y gneises de las sierras de Guadarrama y Somosierra. Este Mioceno en facies detrítica se extiende hasta el área metropolitana de Madrid y se le denomina facies Madrid.

Existe una transición gradual de esta facies, tanto lateralmente como en profundidad de modo que, al alejarse del sector cristalino, los tamaños de los constituyentes litológicos son de menor tamaño.

4. **Terciario margoso y yesífero.** Hacia la parte sur de Madrid el Mioceno presenta un importante cambio de facies; pasa a estar formado, predominantemente, por materiales evaporíticos (yesos y margas yesíferas grises), margas y calizas, propios del centro de la cuenca de sedimentación. Este sector del área de estudio se extiende hacia el sur, prácticamente hasta

la desembocadura del Jarama en el río Tajo.

5. **Calizas de los páramos y serie basal detrítica.** El extremo suroriental del área de estudio se caracteriza por la aparición de una serie de edad Pontiense, constituida por la formación de las calizas de los páramos y su serie basal detrítica.

6. **Aluviales de los ríos.** Por último, dentro de los materiales que rellenan la fosa del Tajo se encuentran los depósitos cuaternarios, que en el área de estudio se distribuye, básicamente, a lo largo de los tres sistemas fluviales más importantes que la recorren: Manzanares, Jarama y Henares. Están constituidos por arenas, gravas, limos y arcillas. En conjunto raramente sobrepasan los 10 ó 15 m de potencia.

El primer sector, formado principalmente por materiales cristalinos, presenta una topografía muy variada y accidentada, con cotas comprendidas entre 800 m y superiores a 2.000 m. Las mayores elevaciones se localizan en los terrenos gnéisicos, en la línea de crestas prolongación de las cumbres que de Peñalara (fuera del área) parten hacia el NE hasta Somosierra.

El valle del Lozoya forma en este sector un profundo surco, al pie de las elevaciones anteriores y representa el único valle de verdadero desarrollo que se puede encontrar en la sierra de Guadarrama.

La sierra de La Cabrera, de orientación prácticamente E-O, está formada por granitos que tienen en toda su corrida, de unos 4 km de longitud, unas paredes casi verticales. Alcanza altitudes de 1.564 m en el Cacho Gordo. La hidrografía de esta zona está determinada por los ríos Lozoya y Jarama.

En las proximidades de la desembocadura del Lozoya, existe un fuerte encajamiento del río en los granitos, gneises y pizarras. Existen sedimentos detríticos gruesos, de probable edad pliocena, que han quedado "colgados" en relación a este encajamiento del río.

En el segundo sector diferenciado, los materiales cretácicos quedan levantados, en un complicado pliegue formando una serrezuela de calizas cretácicas, que dan origen a un resalte de considerables dimensiones en la dilatada llanura que forma el resto del área sedimentaria de la fosa del Tajo.

El Terciario presenta una morfología subhorizontal con ligeras pendientes hacia el sur.

La superficie de las calizas de los páramos está prácticamente horizontal. Los páramos se encuentran separados en dos grandes unidades: la mesa de Chinchón al sur del río Tajuña y la de Morata de Tajuña al norte.

2.2. HIDROLOGIA

El área de trabajo se incluye prácticamente en la cuenca hidrográfica del Jarama y en muy pequeña proporción en la del Tajo.

Las aportaciones de estos ríos están muy distorsionadas por las obras y aprovechamientos hidráulicos existentes. Si se "reconstruye" la situación anterior a la construcción de todas estas obras se tendría la aportación natural media y que resulta ser la siguiente*, para el conjunto Jarama, Lozoya, Guadalix, Henares, Manzanares y Tajuña:

* Según el Centro de Estudios Hidrográficos (1.971). Tomado de El Agua en Madrid, Diputación de Madrid, Diputación de Madrid.

Tramo de cuenca	hm ³ /año
. Aportación media a la entrada de la comunidad	890
. Aportación a la salida	1.559

Se tiene, por tanto, que en la comunidad se generarían unos 669 h³/año.

Dentro de la cuenca del Jarama, la aportación natural de la cuenca del Lozoya se ha evaluado en 264 h³/año, la del Manzanares en 204 h³/año, la del Henares en 566 y la del Tajuña en 150 h³/año.

Por otra parte existen notables diferencias entre los datos de aforo y los de aportaciones naturales. Así se tienen los siguientes resultados:

Tramo de cuenca aforado	hm ³ /año
Río Jarama en desembocadura Tajo	1.687
Tajuña a la entrada en la comunidad	211
Henares en desembocadura Jarama	364
Jarama a la entrada en comunidad	205
Lozoya en desembocadura Jarama	264
Manzanares en desembocadura Jarama	294

Las diferencias en las aportaciones naturales y dado que son mayores las aforadas, debe achacarse a errores de cálculo de las primeras. De hecho se han realizado nuevas estimaciones que han permitido construir obras de regulación que no serían viables con los cálculos iniciales.

En la zona de estudio las obras de regulación más importantes son las siguientes:

- . En el río Guadalix el embalse de El Vellón que tiene una capacidad acumulada de 41 hm³ y regula 29,5 hm³/año.
- . En el Lozoya el embalse de Riosequillo con 49 hm³ de capacidad parcial, el de Puente Viejas con 54, el de El Villar con 23 y el de El Atazar con 426. La capacidad acumulada de la cuenca es de 590 hm³ y puede regular 338,8 hm³/año.

Se comprende que con este conjunto de obras de regulación el caudal del Jarama está muy modulado, por lo que las inundaciones son poco previsibles, a no ser que, por causas totalmente imprevistas, se produzca un desembalse anómalo, fundamentalmente de El Atazar.

En cuanto a las características física de los ríos y sus cuencas se han estudiado solamente para cuatro subcuencas, incluidas íntegramente en la zona de estudio. Son las siguientes: arroyo de Valdemoro, del Bedonal, de Torrelaguna y Montejo de la Sierra. La primera subcuenca se sitúa en el Terciario margo-yesífero del centro de la cuenca de sedimentación, la segunda en el Terciario detrítico próximo a la sierra, la tercera se extiende parcialmente por las calizas de Torrelaguna y la cuarta se localiza íntegramente en la sierra. En el cuadro siguiente se señalan las características más importantes de cada una de ellas:

		Valdemoro	Bedonal	Torrelaguna	Sierra Montejo
Longitud río más largo		13.957 (1)	25.100 (2)	16.053 (3)	15.177 (4)
Longitud total de cauces		83.267	167.431	194.333	128.105
Superficie cuenca		61.892.536	115.611.693	112.982.798	172.502.933
Diferencia cotas		30	130	300	350
Pendiente media (%.)		2,1	5,2	19	23
Perímetro		31.819	58.758	45.937	54.072
Alejamiento medio		1,77	2,33	1,51	1,15
Densidad de drenaje (2)		1,35	1,45	1,72	0,74
Índice de compacidad		1,13	1,53	1,21	1,15
Rectángulo equivalente	LC	9.048	24.823	15.732	16.722
	l	6.826	4.553	7.254	10.249

NOTA. Longitudes en metros, superficies en m².

(1) Arroyo de La Cañada; (2) Arroyo de Las Cañas más arroyo Viñuelas; (3) Arroyo San Vicente; (4) río de La Puebla.

(2) Dimensión: km⁻¹

Se entiende en el cuadro anterior por:

- Alejamiento medio a la relación de la longitud máxima del río respecto a la raíz cuadrada de la superficie. Es adimensional.
- Densidad de drenaje a la relación entre la suma de las longitudes de ríos y arroyos respecto a la superficie.

. Índice de compacidad a la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo con igual superficie.

. Rectángulo equivalente, a un rectángulo que tuviese de lado mayor $L_c = \frac{I_c \cdot S}{1.12} \left[1 + \sqrt{\left(1 - \frac{1.12}{I_c} \right)^2} \right]$

y lado menor $l = \frac{I_c \cdot S}{1.12} \left[1 - \sqrt{\left(1 - \frac{1.12}{I_c} \right)^2} \right]$ siendo I_c

el índice de compacidad y S la superficie.

Los resultados obtenidos evidencian la topografía más suave del Terciario, con pendientes medias inferiores al 10%.

El arroyo de Valdemoro presenta un índice de compacidad y de alejamiento medio que muestran la cuenca estudiada más circular y el rectángulo equivalente con la relación L_c/l más pequeña.

El menor índice de compacidad lo presenta el arroyo Bedomal que, por otra parte tiene el mayor índice de alejamiento y la relación de lados del rectángulo equivalente (L_c/l) más grande.

El menor índice de alejamiento lo muestra el arroyo de Montejo que presenta, además, una relación de lados de rectángulo equivalente como la del arroyo Bedonal y la menor densidad de drenaje.

2.3. HIDROGEOLOGIA

Dentro de la zona estudiada se incluyen, parcialmente, el sistema acuífero nº 14: Terciario detrítico de Madrid-Toledo-Cáceres, el sistema nº 15: Caliza del Páramo de La Alcarria

y el nº 17: Reborde mesozoico del Guadarrama. El resto, salvo los cuaternarios de los ríos, debe considerarse impermeable en el sentido clásico del término.

El sistema nº 14 se extiende, aproximadamente al norte de la carretera N-II, hasta las calizas de Torrelaguna. Está formado por lentejones de arena incluidos en una matriz arcillo-limosa. En conjunto forma un único acuífero de funcionamiento hidrogeológico complejo.

El sistema nº 15 forma una serie de acuíferos libres colgados, que se recargan a partir de la infiltración del agua de lluvia y descargan por los manantiales que lo circundan.

Las calizas de Torrelaguna (sistema nº 17), forman, igualmente, un acuífero libre que se recarga de la infiltración del agua de lluvia y de la escorrentía superficial de los cauces que las atraviesan a cotas superiores a la del nivel piezométrico. La descarga se produce, fundamentalmente, en las calizas, en los cauces de Guadalix, Lozoya y Jarama. Cuando las calizas quedan cubiertas por el Terciario, funcionan como un acuífero semiconfinado.

Los aluviales de los ríos Jarama y Tajuña presentan cierta importancia. Presentan potencias de hasta 10-15 m y están conectados hídricamente con los ríos respectivos.

El resto se considera impermeable. Sin embargo, las rocas competentes fracturadas que forman la sierra, permiten la circunvalación del agua subterránea, por las fracturas abiertas. Este agua subterránea se recarga en las partes altas de las montañas y se descarga en los valles.

Quizás la zona más impermeable la constituyen los Terciarios yesíferos infrayacentes al páramo de Chinchón y los localizados al sur de las calizas de Torrelaguna.

3. APLICACION DE LA TELEDETECCION AL ESTUDIO GEOAMBIENTAL. **METODOLOGIA**

El trabajo se ha estructurado en base a dos etapas metodológicas diferentes.

- En la primera se ha llevado a cabo un proceso de imágenes con el fin de obtener la mezcla de las procedentes de dos sensores diferentes.
- En la segunda se ha utilizado e interpretado ese producto. En esta etapa se han empleado también herramientas convencionales, tales como fotos aéreas y recorridos de campo.
- Como resultado se ha obtenido una serie de mapas temáticos.

3.1. MATERIAL EMPLEADO

Las imágenes empleadas proceden del satélite SPOT y del Landsat.

Del primero se dispuso de dos escenas en modalidad pancromática y que tienen pixeles con 10 m de resolución. Las coordenadas de identificación son 034-269 en toma vertical y 034-268 con un ángulo de 17,5°.

La primera es de fecha 11 de marzo de 1.988 y la segunda del 25 de Marzo de 1.989.

Como se indica después, esta segunda escena ocasionó algunos problemas al integrarla en la Landsat-TM debido a su pronunciado ángulo de inclinación.

La imagen Landsat-5 (TM) empleada tiene una densidad de grabación de 6.250 b.p.i. Corresponde a la órbita y pasada 201-32 del 16 de junio de 1.990. Se seleccionó una imagen de verano pues en éstas las zonas de regadío están más realzadas y porque se minimiza cualquier efecto debido al ángulo solar que es mayor en las imágenes de invierno y que distorsionan la información cuando se trabaja en zonas de considerable relieve.

En el gráfico de la página siguiente se indican las bandas que cubren ambos sensores y se correlacionan con las longitudes de las ondas electromagnéticas.

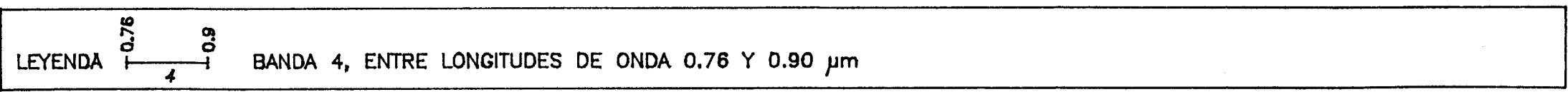
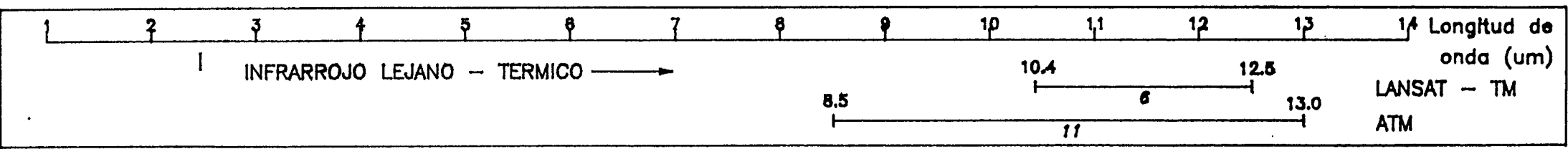
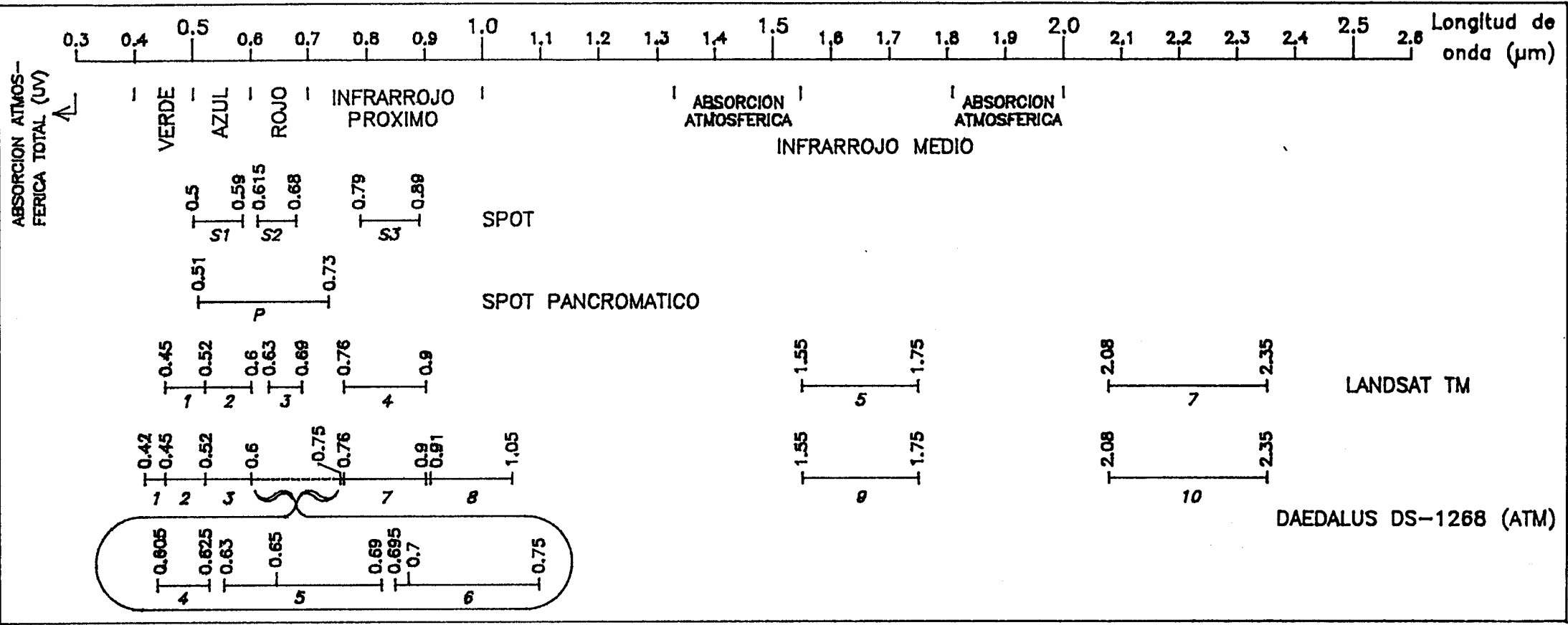
3.2. CONSIDERACIONES SOBRE LOS DATOS DE SATELITE

Antes de describir la corrección geométrica realizada, se indican las restricciones ocasionadas por el ángulo de toma. Para ello se utilizan las fórmulas publicadas por SPOT-Image.

La cantidad de desplazamientos en la zona norte de la sierra de Guadarrama, debido a las diferencias de cotas del terreno, es de 18,9 píxeles. Este valor se obtiene teniendo en cuenta que $17,5^\circ$ es el ángulo de la vertical con la dirección de toma, 600 m la diferencia de altura en metros entre la zona más alta y el valle y 10,0 la resolución espacial del satélite SPOT. El rango de desplazamiento a lo largo del área del proyecto resulta ser de 189 m ($600 \times \text{tg } 17,5^\circ$) lo que produce 19 píxeles de desplazamiento.

Como el ángulo de $17,0^\circ$ es en el punto nadir y el rango a lo largo de la imagen varía de $19,5^\circ$ a $15,5^\circ$, los desplazamientos varían entre 21,2 y 16,6 píxeles.

EQUIVALENCIA ENTRE LAS DISTINTAS BANDAS



Al ser llano el terreno en la mayor parte del área cubierta por el proyecto, este desplazamiento no se presenta, y tanto la calidad de la imagen como el registro conseguido entre la SPOT y Landsat es más que aceptable.

3.3. PROCESO DE IMAGENES

a) Corrección geométrica

Con objeto de obtener el mismo tamaño de pixel en los dos conjuntos de datos (SPOT y Landsat TM), se procedió en primer lugar a la corrección geométrica de las imágenes SPOT pancromático.

Para ello se utilizó el módulo correspondiente del software ERDAS, cuyo primer paso es la selección de puntos de control. En cada una de las imágenes se localizaron una serie de puntos claramente identificables por poseer rasgos propios. Se buscaron después sus homónimos en los mapas topográficos escala 1:50.000. Como cuanto mayor sea el número de puntos, mejor es la corrección, se tomaron bastantes más que el mínimo exigido (40) y se repartieron homogéneamente en la imagen correspondiente.

Se consiguió así un fichero de coordenadas UTM y de archivo a partir del cual se generó el polinomio de primer orden de transformación, cuyos coeficientes fueron utilizados después para indicar la transformación lineal. Como método de interpolación se utilizó el de convolución cúbica, es decir, los valores de los pixeles transferidos se calculan evaluando una terna de 16 pixeles en ventanas de 4 x 4.

Una vez realizados los registros imagen SPOT-mapa 1:50.000 e imagen TM-mapa 1:50.000 (incluyendo este último un remuestreo de los pixeles a 10 m), se llevó a cabo el registro imagen TM-imagen pancromática. Para este proceso se identificaron puntos comunes en ambas imágenes y se aprovecharon los polinomios de transformación calculados.

b) Clasificación de imágenes

Para realizar la clasificación de las imágenes se empleó el módulo de clasificación del programa ERDAS, y dentro de él, el método de clasificación supervisada.

El primer paso consiste en la selección de las bandas. En el estudio se utilizó la combinación 4-5-3 del TM ya que poseen la mayor información requerida:

- la banda número 4 cubre la porción del espectro comprendido entre 0,76-0,90 μm y es muy útil para distinguir cultivos y marcar las diferencias suelos-cultivos y agua-tierra,
- la banda 5 abarca de 1,55 a 1,74 μm y al ser un infrarrojo medio, permite diferenciar las zonas de vegetación densa con crecimiento vegetativo muy activo así como el contenido de agua en las plantas y
- la banda 3, entre 0,63-0,69 μm , discrimina distintos tipos de plantas.

Para conseguir el falso color se asignó la banda 4 al canal rojo, la 5 al verde y la 3 al azul.

La búsqueda de áreas de confrontación se realizó con ayuda de las fotografías aéreas y con trabajo de campo. Una vez marcadas estas áreas-ejemplo, se determinó la firma espectral de las clases señaladas.

c) **Análisis de las imágenes**

- **Usos del suelo.** Para la realización del mapa de usos del suelo se utilizaron imágenes del satélite 5 TM, escala 1:50.000, del SPOT pancromático y las fotografías del suelo de la CAM escala 1:18.000. La interpretación combinada de las imágenes y las fotografías dio lugar al mapa final de usos del suelo.
- **Rasgos tectónicos.** La interpretación de lineamientos se llevó a cabo empleando únicamente la imagen SPOT (sólo la banda que cubre el espectro visible). Esta solución se consideró más adecuada ya que se evitan una serie de contrastes que pueden enmascarar la delimitación de las fallas y fracturas principales.
- **Geomorfología.** El mapa geomorfológico se realizó tomando como base la combinación de imágenes Landsats y Spots. Para conseguirla se aplicó la transformación I.H.S. (Intensidad, Tono, Saturación). Se codificó cada uno de estos parámetros con los tres colores primarios (rojo, verde, azul). La intensidad la constituyó la imagen SPOT pancromática junto con la suma de las bandas 4, 5, 3 del Landsat-TM.

Este procesado constituye una innovación, desarrollada en este proyecto, que ayuda a delimitar perfectamente las redes de drenaje y, en consecuencia, el grado de erosionabilidad de determinadas formas del relieve. Por otra parte, la resolución de 10 m combinada con una información espectral

completa es un complemento para todos los tipos de mapas producidos.

- **Mapas de detalle.** Los mapas de detalle realizados se elaboraron de forma conjunta; es decir, utilizando separadamente un producto ampliado a 1:25.000 de TM + P y otro producto similar empleando solo SPOT (pancro) junto con el apoyo imprescindible de la interpretación de pares estereoscópicos de fotos aéreas y trabajo de campo.

3.4. PROCESAMIENTOS ADICIONALES

Además de los indicados se llevaron a cabo una serie de procesamientos complementarios sobre algunas zonas concretas, para así poder establecer niveles de eutrofización en aguas estancadas y distinguir entre distintos tipos de aguas superficiales.

Se empleó para ello la combinación del sensor Landsat-5 (TM), submuestreado a 10 m, junto con una imagen del sensor aerotransportado A.T.M. Daedalus 1268 que posee 12 canales que cubren prácticamente todo el espectro desde el visible al infrarrojo (cercano, medio, lejano y térmico) su resolución inicial fue de 5 m pero al corregirlo geométricamente se remuestreó a 10 m para obtener homogeneidad con los datos de satélite.

3.5. PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentan en mapas a escala 1:100.000, de modo que el área estudiada queda incluida en cuatro mapas, cada uno con el tamaño de una hoja a escala

1:50.000.

El mapa de usos del suelo se describe en el capítulo 4.

El mapa geomorfológico, descrito en el capítulo 5, incluye también el mapa hidrológico.

En el capítulo 6 se presenta el mapa de pendientes, a escala 1:50.000.

En el capítulo 7 se describe y presenta el mapa de lineamientos que a su vez incluye el de actividad minera (indicios mineros) y una síntesis litoestratigráfica de los materiales existentes (unidades litológicas). Entre las asociaciones litológicas sólo las calizas y las arcosas terciarias se consideran acuíferos.

En el capítulo 8 se describen las distintas peligrosidades geológicas del área estudiada. En los mapas correspondientes, además de las zonas de peligrosidad se presentan las áreas con actividades mineras.

En el capítulo 9 se estudian las zonas piloto seleccionadas.

Por último, en el capítulo 10, se indican las áreas de condicionantes al uso del suelo y subsuelo.

Los resultados presentados en los capítulos 4 a 9 puede considerarse que corresponden a estudios independientes. Por el contrario, los que se presentan en el capítulo 10 se han obtenido sintetizando sólo la parte de las informaciones contenidas en los mapas anteriores que condicionan potencialmente el uso del suelo y subsuelo.

4. MAPAS DE USOS DEL SUELO

4.1. DIVISIONES REALIZADAS

El área estudiada se ha dividido, en función de los usos del suelo, en las cinco grandes unidades siguientes:

- Espacios urbanos, superficies artificiales.
- Zonas agrícolas.
- Áreas de vegetación natural.
- Embalses.
- Roquedo y suelos desnudos.

A su vez cada una de estos grupos se ha dividido en los siguientes subgrupos, en los que el número indicativo hace referencia a la localización en el plano correspondiente.

1. ESPACIOS URBANOS, SUPERFICIES ARTIFICIALES

- 1.1. Nucleos urbanos, tejido urbano continuo.
- 1.2. Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas.
- 1.3. Áreas de servicios y/o industriales.
- 1.4. Canteras y/o graveras y arenales.
- 1.5. Solares, baldíos y eriales.
- 1.6. Zonas verdes urbanas y áreas de esparcimiento.

2. ZONAS AGRICOLAS

- 2.1. Tierras de labor en secano.
- 2.2. Tierras de regadío.
- 2.3. Cultivos permanentes (viñedos, olivares, frutales).

3. AREAS DE VEGETACION NATURAL

- 3.1. Bosques de perennifolias.
- 3.2. Bosques de caducifolias.
- 3.3. Coníferas (pináceas).
- 3.4. Bosque mixto (mezcla no dominante entre 3.3. y 3.1. ó 3.2.)
- 3.5. Vegetación de ribera.
- 3.6. Frondosas de plantación.
- 3.7. Matorral.
- 3.8. Prados y pastizales.
 - 3.8.1. Prados y/o pastizales
 - 3.8.2. Pastos con árboles.

4. EMBALSES

5. ROQUEDO Y SUELOS DESNUDOS

Entre las subdivisiones hechas en el grupo 1: "Espacios urbanos, superficies artificiales", en el epígrafe 1.3. ("Áreas de servicio y/o industriales") se han incluido superficies con usos diversificados: áreas industriales, complejos deportivos, instalaciones sanitarias, cementerios, complejos ferroviarios, zonas comerciales y de almacenaje y aeropuertos.

En el epígrafe 1.5. ("Solares, baldíos y eriales") se han incluido los solares urbanos interiores y aquellos espacios en el borde de las áreas urbanas en los que no existe uso agrícola ni ningún otro de los definidos en la clasificación. Se trata en este caso de eriales o barbechos sociales. Quedan incluida en este epígrafe aquellas superficies que presentan acumulaciones de escombros.

Se optó por sacar como categoría aparte los parques urbanos pues se considera que es importante reflejar la presencia de vegetación dentro de las áreas urbanas. Se han incluido, por tanto, en el epígrafe 1.6. ("Zonas verdes urbanas y áreas de esparcimiento"), junto con las áreas de esparcimiento (campos de golf, entorno del lago de la Casa de Campo, etc).

Dentro del grupo 3 ("Áreas de vegetación natural") y en la división 3.8.2. ("Pastos con árboles") se han incluido las superficies de pastizales o prados que presentan una cubierta arbórea importante; paisajes tipo dehesa y cerca de los pueblos de sierra en los que existen parcelas de prados de siega o pastizales con fresnos, rebollos o encinas.

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Los usos del suelo en la zona de estudio presentan características de homogeneidad por áreas diferenciadas. Al recorrer la provincia de Madrid de norte a sur se observan claras distinciones zonales en los usos del suelo.

En el norte, desde Prádena hasta Venturada, es decir hasta el entorno del cerro de San Pedro los usos del suelo se caracterizan por su carácter extensivo. Los suelos dominantes en estas tierras son tierras pardas meridionales y xerorankers, suelos que presentan un escaso interés agrícola.

Existen grandes pastizales con explotación ganadera. Tierras de pastos y matorral y superficies arboladas, bosques de rebollo, repoblaciones de pino y bosques de encina ocupan la mayor superficie de la zona. Dentro de las superficies cartografiadas como pastizales se han incluido los terrenos que han dejado de cultivarse, tales como los existentes en torno a los núcleos de La Cabrera, Lozoyuela, El Berrueco o

El Molar entre otros muchos.

En esta mitad norte destacan también los numerosos embalses existentes destinados a suministrar agua a la ciudad de Madrid y su entorno, así como la presencia de abundantes urbanizaciones exentas.

Hacia el sur, al alejarse de la sierra y sus estribaciones, cambian las características de los usos de suelo. Se pasa de un entorno ganadero a otro, principalmente, agrícola, tal como el de las vegas del Jarama que presentan un gran interés ya que localizan cultivos intensivos de regadío. Estas vegas cruzan la provincia de norte a sur, hasta llegar a Aranjuez donde confluyen el Jarama y el Tajo.

En el resto de tierras de la mitad sur, abundan los cultivos de secano localizados en áreas de mayor o menor capacidad agrícola.

En el oeste del área estudiada se encuentran los bosques de encinas de El Pardo, que se desarrollan al norte de Madrid capital sobre el pedimento arcósico.

En Madrid capital y su entorno los usos del suelo presentan una mayor variedad y contraste. Frente a las orlas agrícolas de su entorno hay que destacar el corredor Alcalá de Henares-Toledo, en el que se localizan numerosas industrias y zonas de servicios.

En todo el gran conjunto de Madrid ciudad y entorno, los usos del suelo no vienen definidos directamente por la forma de explotación del territorio, sino que intervienen factores muy diversos: Hay que notar que las formas de ocupación y los usos del suelo no siempre coinciden. Así, por ejemplo, la Casa de Campo si se considera como forma de ocupación sería

un encinar con zonas de pinares, mientras que en relación con los usos del suelo se incluiría en el subgrupo de zonas de esparcimiento.

En la zona de Alcalá de Henares destaca la presencia de tierras de regadío en el fondo aluvial así como la presencia de algunas canteras de arcilla, graveras y arenales. Sobre los taludes del páramo se localizan repoblaciones de pino, llevadas a cabo con objeto de frenar la erosión, y superficies de matorral.

Hacia el sur la litología cambia, si bien no los usos. Margas, arcillas y yesos aparecen hasta Aranjuez. Cultivos de secano y de regadío en las vegas son los principales usos que pueden observarse. Toda la zona de Colmenar de Oreja, Chinchón, Arganda, Morata de Tajuña y Tielmes se caracteriza por la existencia de numerosos olivares desarrollados sobre páramos calizos y margas yesíferas con una productividad media. Sobre los numerosos taludes yesíferos existentes se desarrollan superficies cubiertas fundamentalmente por matorral, tomillares y espartizales.

En conclusión, el norte de la provincia de Madrid presenta un carácter ganadero que se reflejan en la presencia de grandes superficies de pastos y dehesas boyales. Ya fuera de la sierra la superficie de usos que mayor extensión ocupa es la agricultura de secano.

Madrid capital y su entorno reflejan otro tipo de actividades bien distintas. Hacia el sur la actividad agrícola vuelve a ser la más importante. En la zona oriental destaca la presencia de grandes superficies de olivares y en menor medida viñedos.

Las vegas de los ríos presentan gran intensidad de explotación. También en las márgenes del Jarama, Tajuña y Henares pueden encontrarse numerosas graveras y arenales. Justo al norte de Morata de Tajuña existen dos grandes canteras.

4.3. LAS MASAS ARBOREAS.

En los mapas de usos del suelo se han distinguido distintos tipos de masas arbóreas. La distribución en el espacio de las especies arbóreas depende de factores ambientales del clima y de factores ambientales del suelo. Además hay que tener en cuenta las influencias que ejercen los seres vivos entre sí, es decir los llamados factores bióticos.

Entre los factores ambientales más importantes hay que señalar: La luz, la temperatura, las disponibilidades en agua del suelo y las condiciones de evaporación, el contenido en anhídrido carbónico y en oxígeno del aire y suelo, las sustancias nutritivas del suelo y factores que actúan mecánicamente (viento, nieve, arena, etc).

Ahora bien, las condiciones ambientales pueden ser extraordinariamente diversas aún en los más pequeños espacios de terreno. En especial, el clima que soporta una planta en su residencia puede diferir bastante del general del país, calculado en base a los datos de observatorios metereológicos generalmente muy alejados. Lo mismo puede decirse del suelo: a distintas profundidades del mismo su contenido en sustancias nutritivas y en agua puede ser muy diferente. Tampoco puede apreciarse adecuadamente, por los experimentos fisiológicos generales, la influencia de los factores externos en los procesos vitales; para determinarla se hace precisa la observación directa en la residencia natural. En

consecuencia, la moderna fisiología adopta sus métodos de trabajo a esta necesidad y, en forma de ecología experimental, junto con las investigaciones edafológicas y climáticas contribuye a facilitar el conocimiento de las causas a que obedece la distribución de las plantas.

El análisis de la distribución de las masas arbóreas se ha llevado a cabo, en este estudio, en función de dos clasificaciones de la zona: Según los pisos bioclimáticos y a partir de criterios de asociaciones de plantas (corología). En los siguientes epígrafes se describen las principales especies arbóreas y se indican las distintas localizaciones en que aparecen, en relación con las clasificaciones indicadas.

4.3.1. Pisos bioclimáticos: Comunidades vegetales cambiantes en función del clima.

En la región mediterránea existen cinco pisos bioclimáticos basados, fundamentalmente, en la temperatura. Si se denomina t a la temperatura media anual, n a la temperatura media de las mínimas del mes más frío y t_m a la temperatura media de las máximas del mes más frío, se tiene los siguientes pisos:

Pisos	t	n	t_m
Termomediterráneo.	19 a 17	10 a 4	18 a 14
Mesomediterráneo.	17 a 13	4 a -1	14 a 9
Supramediterráneo.	13 a 8	-1 a -4	9 a 2
Oromediterráneo.	8 a 4	-4 a -7	2 a 0
Crionomediterráneo.	< 4	< -7	< 0
Temperatura en grados centígrados			

Los cuatro últimos aparecen en la comunidad de Madrid; sus características son las siguientes:

- **Piso Mesomediterráneo.** Se presentan heladas de noviembre a abril.

Ocupa la mayor parte de la provincia desde el sur hasta la falla que separa los sedimentos arenosos de los afloramientos rocosos de la sierra, llegando incluso a superar, ocasionalmente, cotas comprendidas entre los 900 y 1.000 m.

La temperatura media de las máximas del mes más frío supera los 8°C. La temperatura media de ese mismo mes se sitúa por encima de 4°C, la media de las mínimas absolutas no sobrepasa los -9°C.

La vegetación forestal potencial de este piso está formado por encinares, robollares, etc.

- **Piso Supramediterráneo.** Se presentan heladas de octubre a mayo.

Se extiende a lo largo de la faja de sierra comprendida entre las cotas mínimas de 900-1.000 m y las máximas de 1.650-1.700 m.

En ella habitan los bosques caducifolios de melojos, abedules, hayas, o sus comunidades de sustitución. Existen también sabinares. En los tramos inferiores hay encinares salpicados de árboles caducifolios como melojo, quejigo, etc. La vegetación potencial se reparte entre encinares y melojares que incluyen hayedos, abedulares y sabinares de *Juniperus thurífera*, todos éstos de localización reducida.

Es la vegetación más relacionada con la europea atlántica.

- **Piso Oromediterráneo** Existen heladas de septiembre a junio.

Se localiza por encima de los 1.600-1.700 m. El límite superior sólo se alcanza en algunas cumbres de la comunidad.

Se define como el piso de coníferas. Domina el pino silvestre y como arbustos los piornales (*Cythisus multiflorus*) con enebro rastrero. A este respecto hay que destacar que por debajo de las cotas indicadas (1.600-1.700) los pinares existentes son de repoblación. La vegetación se coloca en dos niveles altimétricos en los que los pinares ocupan el inferior y los piornales con enebros el superior.

Pinares y enebrales con piornos se distribuyen por las dos zonas de la sierra madrileña: los montes Carpetanos y Cuerda Larga desde su entronque en Navacerrada y Siete Picos hasta sus límites orientales en Somosierra y Pico Cebollero en el primer caso y en Valdemanco en el segundo.

- **Piso Criomediterráneo**

Piso de la alta montaña fría mediterránea. Se caracteriza por existir riesgo de heladas durante todos los meses del año.

Es un piso supraforestal (sólo hay césped graminoide). Se encuentra sólo en las altas cumbres de Guadarrama y Somosierra situadas por encima de los 2.100 m.

4.3.2. Corología

Trata de la distribución de vegetales y de sus comunidades, así como de las causas que las determinan. Dentro de la serie de rangos jerárquicos establecidos en la sistemática corológica se distinguen: reino, región, provincia, sector, distrito y tesela.

La comunidad se incluye en el reino holártico y, en la región mediterránea que a su vez se divide en tres provincias: Carpetano-Ibérico-Leonesa que ocupa algo más de la mitad de la comunidad de Madrid, Luso-Extremadurensis que ocupa parte de su extremo occidental y Castellano- Maestrazgo-Manchega situada en la mitad meridional-oriental. La primera se localiza en la sierra y en los sedimentos arenosos de la fosa del Tajo, la segunda no está representada en la zona de estudio y la tercera con los terrenos básicos del sector oriental meridional.

La vegetación de las dos primeras provincias está relacionada con sus apetencias acidófilas (coinciden con rocas ácidas: granitos, gneises, arenas silíceas, pizarras, micacitas, etc). La tercera provincia corresponde a territorios básicos (yesos, margas y calizas).

Debido al carácter general de este estudio no se incluye la definición y localización de los sectores, distritos y teselas.

4.3.3. Descripción de las especies arbóreas

En este apartado se describen las principales especies arbóreas de la zona estudiada. De cada una se indica :

- Necesidades para su desarrollo.
- Principales características diferenciadoras y
- Localización en la zona de estudio.

a) **PINARES:**

- **Pinares naturales de pino silvestre o albar. (Pinus sylvestris Linneo)**

El término específico "sylvestris" deriva de "sylva" selva, bosque. La denominación de albar hace referencia a las tonalidades claras de las hojas de sus copas en comparación con las tonalidades oscuras de otros pinos.

- **Suelos.** El pino albar tiene preferencia por los terrenos silíceos, frescos, sueltos y profundos, con algo de mantillo. Le perjudican los suelos muy húmedos, compactos y calizos.
- **Condiciones de vida.** En nuestro país se desarrolla mejor en las exposiciones norte y noroeste que en las restantes, es decir, en las umbrías mejor que en las solanas.

Se localizan hasta los 2.000 m de altura en la sierra de Guadarrama. Sus mejores masas se encuentran entre los 1.200 y 1.500 m de altitud. Es un árbol muy resistente al frío, que soporta bien los veranos cálidos, aunque necesita mucha luz. Tiene un crecimiento bastante rápido y es bastante longevo.

- **Características.** Es un árbol elevado, puede llegar hasta 30 ó 40 m de altura. Al principio adquiere forma cónica, variando después. Su tronco es derecho y cilíndrico con ramificación que desaparece en las partes bajas. La corteza es bastante delgada, primero tiene un color gris verdoso que después se hace asalmonado, siendo escamosa en el tercio superior. Las hojas tienen una longitud de 3 a 10 cm y viven sobre el árbol entre 2 y 3 años.

Las flores femeninas se agrupan en pequeñas piñas solitarias o en grupos de dos (4-5 cm). Piñones pequeños con un ala bastante destacada.

Florece de mayo a junio.

- **Localización.** En la zona estudiada forma extensas masas en sectores de la sierra. Las mas importantes se encuentran desde el puerto de Lozoya hasta Somosierra. Se ha extendido mucho por repoblación artificial, destacando las zonas de Somosierra, La Hiruela y Montejo de la Sierra. También hay buenas zonas de pino silvestre en las siguientes partes: En El Paular, en la margen izquierda del río Lozoya y en el puerto de Canencia.

- **Pinares o repoblación de pino negral (Pinus pinaster Aitón)**

El nombre se debe a su tonalidad, más oscura que otros pinos. También se le llama pino resinero por su principal aprovechamiento: la extracción de resina. De las dos subespecies: "atlántica" y "mediterránea"; los pinares de la región de Madrid pertenecen a la última, que es más resistente.

- . **Suelos.** Se cría en terrenos sin cal o descalcificados, sobre todo en terrenos arenosos.
- . **Condiciones de vida.** Puede vivir hasta cotas de 1.500 m de altitud. Precisa bastante iluminación y necesita más de 400 mm de lluvia anual. Resiste bastante bien las heladas.

Presenta el crecimiento más rápido que los demás pinos peninsulares. Puede alcanzar 200 ó 300 años de edad; con la edad reduce la cantidad de resina.

- . **Características.** Talla mediana, aproximadamente 20 m de altura (hasta 30 ó 40 m). Hojas de 15 a 27 cm de longitud y 2,5 mm de grosor (son las más recias y largas de todos los pinos españoles), rígidas, con una punta pinchuda y de color verde oscuro vivo.

Las piñas son más largas que en los otros pinos (hasta 20 cm de longitud). Piñones negros de 7-9 mm.

- . **Localización.** Este pino se halla en lugares donde el hombre está asentado desde antiguo, alterando el área natural. Es el pino que más extensión alcanza en nuestro país y el más utilizado en la repoblación.

Su área se ha extendido a expensas de otras de rebollo encina y quejigo.

En la región de Madrid forma masa en los sectores del centro y del suroeste de la sierra habiendo sido introducido profusamente. Ocupa una superficie aproximada de 10.500 hectáreas. En las partes altas de la sierra se mezcla con el pino silvestre y en las mesetas con el pino piñonero, formando masas puras en

el resto. Los pinares naturales más importantes se encuentran fuera de la zona estudiada: Valdemaqueda, San Lorenzo de El Escorial, Robledo de Chavela, Cadalso de los Vidrios y Ceniciento. Como zonas de repoblación artificial se pueden destacar Lozoyuela, Manzanares el Real, Buitrago, Manjirón y Collado Mediano

- **Pinares de pino carrasco, naturales o de repoblación. (Pinus halepensis Miller).**

El nombre de carrasco, que es aplicable al matorral de encina, parece indicar que se suele encontrar en muchos lugares mezclado con dicha especie, o bien que al no alcanzar gran desarrollo aparecen muchos pinos achaparrados.

La denominación específica de halepensis alude a su existencia en la ciudad siria de Aleppo.

- **Suelos.** El pino carrasco prefiere suelos básicos y es muy tolerante en suelos con alto contenido de cal - incluso muy yesosos- soportando contenidos de cal superiores a cualquier otro pino.
- **Condiciones de vida.** Es muy resistente a la sequía, pudiendo vivir hasta con 250 mm de lluvia al año. Aguanta grandes calores, perjudicándole la temperatura por debajo de -12°C. Necesita una gran luminosidad. En general viven desde el nivel del mar hasta los 1.000 m de altitud. Su crecimiento es relativamente rápido y es poco longevo.
- **Características.** Es, en general, de pequeña talla y con un porte malformado debido a las condiciones en que vive naturalmente. Cuando las características de suelo

y humedad son buenas mejora su tamaño y forma.

La copa es muy clara y da muy poca sombra debido a la poca consistencia de las hojas. Sus hojas son finas y flexibles de 6-12 cm de longitud y color verde claro. Piñas de 6 a 12 cm de longitud con un grueso pedúnculo y más o menos cónica. Las piñas una vez que han dejado caer los piñones permanecen varios años en el árbol por lo que se distingue a estos pinos por la cantidad de piñas que mantienen en sus copas.

- . **Localización.** En el sur del territorio de la comunidad de Madrid existe una masa antigua de alrededor de 200 ha, en el área calizo-yesosa del valle del Tajo en el término municipal de Villarejo de Salvanes, fuera de la zona estudiada. Parece que son naturales pues en la época de Felipe V se hacía referencia a ellos. En lugares próximos, como Colmenar de Oreja, también aparecen. En estas y otras zonas de Madrid se han realizado repoblaciones para restaurar bosques ya existentes. En la actualidad existen más de 7.000 ha de repoblación artificial debiéndose destacar los de Arganda del Rey, Valdilecha, Villalvilla, Alcalá de Henares, Colmenar de Oreja, San Martín de la Vega y Getafe.

- . **Pino laricio. (*Pinus nigra* Arnold).**

El nombre específico de "nigra" alude al color verde oscuro de sus hojas, en contraste con el color blanquecino de las cortezas de sus troncos.

- . **Suelos.** Aunque este pino se encuentra en suelos de diferente condición, parece que tiene sus preferencias por suelos profundos relativamente frescos y calizos. La forma hispánica es la que tiene mayor atracción por

la cal y la más resistente a la sequedad y a los grandes fríos invernales.

- . **Condiciones de vida.** Este pino suele encontrarse entre los 500 y 2.000 m de altitud. Es uno de los pinos de crecimiento más lento. Es muy longevo.
- . **Características.** Puede alcanzar 50 m de talla (lo corriente son 30 ó 40 m). Tronco recto, con corteza grisácea que adquiere tonalidad plateada casi blanquecina muy característica.

Hojas entre 8 y 16 cm variando su grosor y rigidez. Color verde oscuro.

- . **Localización.** Están localizados en la carretera que va del alto de Los Leones a Peguerinos y en la cabecera del valle de San Macario.

b) **ENCINARES.**

Pueden ser arbóreos y arbustivos, encinares adeshados, mezclados con enebros o sabinas e incluso con quejigos.

- . **Encina. (*Quercus ilex* Linneo).**
- . **Suelos.** Vive en toda clase de suelos, faltando en los salinos o muy yesosos.
- . **Condiciones de vida.** Presenta gran resistencia a la sequía y a la continentalidad y tolera gran sequedad del aire. Resiste fuertes calores y fríos. Prefiere las planicies y las colinas poco elevadas y terrenos secos y algo frescos. Indiferente a la exposición, prefiere las solanas en la mitad norte. Se extiende desde el

nivel del mar hasta los 2.000 m aunque sus mejores localizaciones se encuentran entre los 200 y 1.200 m. Tiene un crecimiento relativamente rápido y es uno de nuestros árboles más longevos.

- . **Características.** Arbol corpulento, que siempre tiene hojas (duran en el árbol 3 ó 4 años). Puede alcanzar 25 m de altura. A veces arbustivo. Copa redondeada. Hojas entre 3 y 7 cm son gruesas y coriáceas, formas variables y color verde oscuro y envés claro a grisáceo. Fruto en bellota.

- . **Localización.** En la comunidad es abundante, puede formar masas desde los niveles más bajos hasta altitudes moderadamente altas en la sierra. Acompaña a los robles y puede sustituir a quejigos y alcornoques, siendo a su vez el encinar degradado sustituido por el enebro. Muchas repoblaciones con pinos han ido eliminando zonas propias de la encina (aparecen matorrales de encina a pie de los pinos). Las localidades donde tiene mayor importancia son: monte del Pardo, Torrelaguna, Nuevo Baztán, Fuentidueña Tajo, de Boadilla del Monte, etc.

c) **ALCORNOCALES. (Quercus suber Linneo).**

- . **Suelos.** Requiere suelos exentos de cal, situándose sobre areniscas silíceas, rañas, graveras cuarcíticas.
- . **Condiciones de vida.** Prefiere terrenos frescos y sueltos y algo profundos, con una precipitación media anual superior a los 400 mm, aunque sus mejores masas requieren de 600 a 1.000 mm precisando una ligera humedad en verano. En un árbol que soporta fuertes calores y no tolera heladas muy intensas. Precisa

luminosidad. Vive bien de 0 a 1.000 m de altitud. Presenta un crecimiento relativamente rápido y variable en función de la calidad del terreno. Es muy longevo.

- . **Características.** Arbol robusto que no suele pasar los 20 m de talla. Tronco derecho y esbelto cuando crece en masa y muy nudoso y corto cuando crece aislado. Su corteza forma corcho.
- . **Localización.** Debió de ser muy abundante en los niveles bajos y medios de la sierra así como en la zona suroeste. Hoy sólo permanecen rodales de alcornoques en los montes del norte de Torrelaguna y grupos menores en el Monte de El Pardo y algunas cuevas de los valles de los ríos del centro. En los grandes roquedos de los niveles medios está todavía presente en ejemplares esparcidos, a veces de grandes dimensiones, como en la sierra de La Cabrera y La Pedriza.

d) **MELOJARES**

Existen melojares arbóreos y arbustivos, melojares adehesados y melojares con mezcla de otras frondosas.

- . **Melojo, rebollo, roble.** (*Quercus pyrenaica* Willdenover).
- . **Suelo.** Aunque sea de distinta naturaleza, siempre ha de ser ácido.
- . **Condiciones de vida .** Sus masas cubren mesetas, páramos, laderas y vaguadas, con tendencia a situarse en zonas de relieve accidentado.

Se desarrolla entre los 400 y 1.400 m de altitud. Su crecimiento es ligeramente rápido y presenta una longevidad media. Por tener un amplio margen de adaptabilidad sus bosques se entremezclan con muchos otros árboles.

- . **Características.** El aspecto es variado, aunque suele ser un árbolillo tortuoso de unos 6 ó 7 m de altura, puede ser un árbol de talla media de hasta 25 m de altura y con el tronco recto.

Las hojas presentan de 4 a 8 pares de lóbulos estrechos muy aterciopelados por ambas caras, sobre todo por el envés. Color verde por el haz y verde ceniza por el envés. Perduran en las ramas durante gran parte del invierno. De 7 a 16 cm de longitud.

Fruto en bellota. Produce muchas agallas debidas a las picaduras de insectos de determinada especie sobre los brotes jóvenes. Junto a la picadura colocan un huevo que se incrusta en el tejido. Posteriormente nace una larva que vive del almidón que contiene. El insecto perfora unos conductos en las paredes para salir al exterior.

- . **Localización.** Se encuentra en la zona media de la sierra, ocupando altitudes entre 900 y 1.600 m en zonas onduladas, fondos de valle y laderas, hasta que queda desplazado por el pino silvestre (por repoblación de éste). Como sitios típicos se pueden citar los rebollos en el valle de Lozoya y los de Miraflores de la Sierra.

e) **QUEJIGARES**

De las tres subespecies que presenta, en Madrid aparece la "Valentina".

- **Quejigo (Quercus Faginea Lamark).**
 - **Suelo.** Es indiferente en cuanto a la naturaleza del suelo, abunda en los silíceos, pero manifestando predilección por los calizos o arcilloso-calizos; vive incluso en los yesosos.
 - **Condiciones de vida.** Este árbol soporta fuertes sequías, pero siempre necesita una precipitación media anual superior a 300 mm; aguanta fuertes fríos y grandes calores y puede suspender su período vegetativo en el centro del estío. Prefiere exposiciones frescas y aireadas, laderas y orillas de arroyos. Rehuye las muy secas y las solanas. Aparece desde cotas de 1.850 m de altitud aunque su óptimo lo encuentra entre 600 y 1.200 m.
- Tiene crecimiento medio y es una especie longeva.
- **Características.** Puede alcanzar hasta 20 m de talla aunque muchas veces no pasa de ser un arbusto. Copa recogida de forma más o menos esférica apuntada.

Hojas pequeñas, verde lustrosas por el haz y verde pálido por el envés, planas y algo rizadas en el margen, coriáceas con bordes dentado-aserrados o sinuado-dentados. Hojas de forma variable. Fruto en bellota. Producen muchas agallas.

- **Localización.** En la región de Madrid aparece solo o junto con el rebollo. Constituye masas en los niveles bajos de la sierra, a su pie y en la formación alcarreña, quedando actualmente más en las cuestas que en el páramo. Gran parte de su área primitiva ha sido transformada por el cultivo y demás actividades del hombre. Aparece en Valverde de Alcalá, Griñón, Guadalix de la Sierra, Navalafuente, Redueña, Torrelaguna, Venturada, Valle de Lozoya, Valdilecha, Colmenar de Oreja, Monte de El Pardo, Morata de Tajuña, Robledillo de la Jara, El Berrueco, Cabanillas de la Sierra, Miraflores de la Sierra, Soto del Real, Garganta de los Montes, Navarredonda y Nuevo Baztán.

f) **ENEBRALES**

- **Enebro (*Juniperus oxycedrus* Linneo).**
- **Suelo.** Es indiferente en cuanto a la naturaleza del suelo, aunque prefiere los arenosos, sueltos ligeros, pedregosos o cascajosos, incluso calizos, a los arcillosos, fuertes y compactos, rehuyendo los suelos pantanosos.
- **Condiciones de vida.** Es muy resistente al frío y a la sequía, puede vivir en lugares de 300 mm de lluvia anual. Necesita luminosidad, se desarrolla mejor en laderas y colinas soleadas que en umbrías y valles húmedos. En España vive desde el nivel del mar hasta los 1.500 m de altitud en las tres variedades que presenta.
- **Características.** Es un arbolillo cuya talla está comprendida entre 3 y 5 m. A veces es un arbusto. Su tronco es derecho y fuerte. La corteza grisácea,

desprendiéndose en placas o tiras. La copa tiene forma piramidal o esférica. Las hojas son aciculares, pinchudas, de 5 a 25 mm de longitud por 2 a 2,5 mm de ancho. Salen en grupos de tres, formando entre sí un ángulo de 120°. Son acanaladas.

Flores masculinas y femeninas en distintos árboles. El cono femenino es primero verdoso y luego rojizo, carnoso con tres semillas. Se utilizan para preparación de licores.

- . **Localización.** En la región de Madrid abunda en las partes altas de la sierra. Forma masas claras en granitos, gneises, calizas y pies de monte. Aparece en la sierra de Las Machotas en Zarzalejo, en Redueña, La Pedriza, Sierra de la Cabrera, etc. En general en sitios donde abundan los roquedos.

g) SABINAR

- . **Sabina albar (*Juniperus thurifera*)**
- . **Suelos y condiciones de vida.** En las altas parameras y laderas expuestas, principalmente sobre suelos ricos en cal, pero también en los silíceos, desde los 800 ó 900 m hasta cerca de los 1.500, entrando frecuentemente en competencia con la encina y pino.

Resistió las fuertes heladas y veranos secos y calurosos. En sus límites alterna a veces con el pino silvestre y el quejigo.

- . **Características.** Talla entre 4 y 12 m. Tronco corto y grueso algo retorcido en los ejemplares viejos. Corteza pardusca cenicienta fibrosa y agrietada

longitudinalmente. Hojas escuamiformes e imbricadas de 1 a 2 cm.

- . **Localización.** No hay desarrollo en masa, presente solo en las solanas de El Chaparral, cerca del pueblo de Lozoya y en testimonio cerca de Torrelaguna.

h) HAYEDO (Fagus sylvática Linneo).

El nombre castellano se deriva de la denominación que le daban los romanos "fagus" que tenía su procedencia en el vocablo griego "phegos" (comestible), aludiendo a su fruto. El nombre específico de "sylvática" se refiere a formar bosques, selvas.

- . **Suelo.** Este árbol se encuentra en lugares de variada naturaleza y litología y es exigente en fertilidad del suelo.
- . **Condiciones de vida.** Necesita humedad de suelo y ambiente. Es muy resistente a los intensos fríos invernales, pero le producen daños las heladas tardías que destruyen sus brotes tiernos.

Se encuentra entre los 1.000 y 1.700 m de altitud. En los hayedos es típica la abundante cubierta sobre el suelo, por la gran riqueza de hojas de este árbol que forma una especie de colchón que enriquece el suelo, conociéndose con el nombre de "nodriza de los montes".

- . **Características.** Talla elevada que alcanza fácilmente los 30-45 m. Aspecto distinto si está aislado o formando bosques. En el primer caso, las ramas salen hacia la mitad del tronco y van horizontales, en el segundo, las ramas son ascendentes y aparecen más

arriba de la mitad del tronco.

Tronco derecho con corteza grisáceo-cenicienta, lisa hasta edades avanzadas, frecuentemente recubierta de musgos y líquenes.

Las hojas tienen entre 4 y 9 cm de longitud y son ovaladas. Produce mucha sombra. Crece lentamente en los primeros años, siendo más activo a partir de los 10 ó 12 años. Dura alrededor de 3 siglos.

- . **Localización.** Se encuentra localizado cerca del extremo norte de la comunidad, en la cabecera alta del río Jarama, en el paraje denominado "El Chaparral" de Montejo de la Sierra, en la umbría de una ladera que bordea el río, en la linde con la provincia de Guadalajara.

Por su valor ornamental se planta en parques y jardines.

i) ACEBO (*Ilex aquifolium* Linneo).

- . **Suelo y condiciones.** Se localiza sobre suelos silíceos o poco calizos, fértiles y frescos, en las umbrías con cierta predilección por los barrancos y al pie de los tajos.
- . **Características.** Porte variado según esté aislado o en masa. Talla pequeña (entre 2 y 5 m). Tronco recto y corteza lisa grisácea con tonos verdosos más nítido en las ramas.

Crecimiento relativamente lento. Hojas simples brillantes, alternas, persistentes, agudas, coriáceas, lampiñas, terminadas en espinas en el ápice y con el borde más o menos ondulado y espinoso. Color verde oscuro en el haz y más pálido en el envés. Llegan a durar en el árbol de 12 a 14 meses y nunca se caen todas a la vez.

Fruto globuloso, carnoso de tamaño de un guisante grande y color escarlata que persiste en el árbol durante meses. Es un árbol ligado a muchas tradiciones por lo que debido a cortes indiscriminados, la Consejería de Agricultura de la comunidad de Madrid dictó normas para su protección en todo el territorio. Se utiliza como árbol ornamental.

- . **Localización.** En la comunidad de Madrid abunda salpicado en los pinares de pino silvestre y en los melojares, así como en el hayedo, sobre todo en los tramos centrales y septentrionales de la sierra de Guadarrama. En el extremo norte de la región llega a formar rodales en dehesa. Abunda en arroyo de Canencia, dehesa de Robregordo, Dehesa de Somosierra, Pedriza de Manzanares, valle de la Fuenfría y Montejo de la Sierra.

- j) **FRESNEDAS Y DEHESAS CON FRESNOS** (*Fraxinus angustifolia* Vahl).

- . **Suelo y condiciones de vida.** Es muy exigente en cuanto a humedad del suelo, pues vive como árbol de ribera, soto y en las márgenes de los ríos y arroyos. Es indiferente en cuanto a la naturaleza minerológica de los suelos, con tal que sean fértiles y sueltos.

Las mejores fresnedas se presentan entre los 600 y 1.200 m de altitud. Tiene un crecimiento rápido. No es muy longevo.

- . **Características** (familia de las oleáceas). Es un árbol de 10 a 15 m de talla pudiendo alcanzar los 20 m. Tronco derecho, corteza lisa y verdosa en los árboles jóvenes que luego se vuelve grisácea y se resquebraja. Al aprovecharle las ramas, para el ganado, toman aspecto muy peculiar (troncos de pequeña longitud. y copa muy ensanchada).

Pierde las hojas en invierno. Estas con color verde muy oscuro, muy reluciente, se disponen una enfrente de otra y compuestas de dos o tres pares de hojitas estrechas, con una de non en el ápice.

- . **Localización.** Es común en Madrid, se presenta en ríos, arroyos y vaguadas de toda la comunidad, salvo en los niveles más altos de la sierra. Es abundante en la presierra, en los llanos, zonas húmedas y laderas frescas. Son muy numerosos los sitios donde aparece , incluso ha pasado a la toponimia en algunas zonas.

k) ABEDULARES

- **Abedul.** (*Betula celtibérica* Rothmaler y Vasconcellos).
- . **Suelo y condiciones de vida.** El abedul es un árbol que tiene pocas exigencias, siempre y cuando disponga de un mínimo de humedad. Prefiere los suelos sueltos, ácidos y silíceos, tolerando los terrenos no excesivamente pantanosos. Resiste muy bien el frío. Necesita luz.

- . **Características.** En España no alcanzan grandes tallas, lo corriente es una talla entre 10 y 15 m. Lo más característico es el colorido blanco-lechoso de sus lisas cortezas. Cuando el árbol es viejo la parte baja de su derecho tronco se resquebraja y adquiere unas tonalidades pardo-negruczas. Sus hojas son caedizas, entre 3 y 6 cm y de forma romboidal.

- . **Localización.** Se encuentra en bosques de riberas y zonas húmedas. Sus localizaciones más notables son: sierra de La Puebla de la Sierra, el hayedo de Montejo de la Sierra, gargantas del alto Lozoya, Puerto de Somosierra y Puerto de Canencia.

4.3.4. Localización de las distintas especies de árboles

En el cuadro siguiente se indican las distintas localizaciones en la que aparecen las especies arbóreas en la zona estudiada.

	PISOS BIOCLIMATICOS				COROLOGIA	
	Mesomediterráneo	Supramediterráneo	Oromediterráneo	Criomediterráneo	Carpetano-Ibérico-Leonesa	Castellano-Maestrazgo-Manchega
Pinares			X		1-2-4	3
Encinares	X	X			5	5
Alcornocales		X			6	
Melojares	X	X			7	7
Quejigares		X			8	8
Enebrales			X		9	
Sabinares		X			10	
Hayedos		X			11	
Acebedos	X	X			12	
Fresnedales	X	X			13	
Abedulares		X			14	

1. *Pinus sylvestris* Linneo.
2. *Pinus pinaster* Aiton.
3. *Pinus halepensis* Miller.
4. *Pinus nigra* Arnold
5. *Quercus ilex* Linneo.
6. *Quercus suber* Linneo.
7. *Quercus pyrenaica* willdenow.
8. *Quercus fagínea* Lamarck.
9. *Juníperus oxycedrus* Linneo.
10. *Juníperus thurífera*.
11. *Fagus sylvática* Linneo.
12. *Ilex aquifolium* Linneo.
13. *Fraxinus angustifolia* Vahl.
14. *Betula celtibérica* Rothmaler y Vasconcellos.

5. MAPAS GEOMORFOLOGICOS

El objetivo perseguido en esta serie de mapas consiste en encuadrar el medio fisiográfico y en definir las principales unidades geomorfológicas de la zona estudiada.

En los mapas se presentan:

- Los principales rasgos geomorfológicos que están claramente contrastados en las imágenes satélites y
- las distintas litologías, agrupadas en unidades más o menos homogéneas, y tomadas de la documentación disponible.

Los rasgos geomorfológicos reflejan aspectos que se deben a diferentes procesos: acción de las aguas, de la gravedad, a formas estructurales existentes, etc. La litología, obviamente, configura esa morfología.

En la zona estudiada se han definido dos unidades geomorfológicas principales: Sierra y Depresión. Esta última se puede subdividir en los Páramos y el resto del Terciario.

Los rasgos geomorfológicos y las unidades litológicas permiten diferenciar una serie de ámbitos, tal como el de actuación de los procesos y factores de peligrosidad geológica. Como estos fenómenos están influenciados por los distintos tipos litológicos en que se asienta el modelado, se puede dividir la zona estudiada en subzonas, en función de los tipos de peligrosidad geológica que cabe esperar.

En el área de estudios se encuentran los espacios protegidos de El Monte de El Pardo y Cuenca Alta del Manzanares, además de otros de menores dimensiones, citados en el nuevo

inventario (GALLEGO et al, 1.987; ITGE, 1.989.

Dado el elevado número de urbanizaciones existentes, se ha considerado conveniente incluir en los mapas los principales núcleos de población, así como las zonas residenciales.

En las unidades definidas se han obtenido los siguientes resultados:

La sierra, está constituida por divisorias o cuerdas desprovistas de vegetación (entre 1.900 y 2.000 m de altura) y por bloques y fosas, que han modelado diferentes niveles de erosión. Existen pastizales y esporádicos cultivos de secano (valle alto de Lozoya) entre los 1.000 y 1.200 m.

Se caracteriza por una orografía vigorosa como lo demuestra el elevado número de embalses que se encuentran en la cabecera del río Jarama. En los gneises las divisorias de agua son en general abruptas.

El trazado de la red fluvial, formada por los valles encajados en "V", está condicionado por la estructura y fracturación de los macizos. Un ejemplo de éstas características lo presentan los ríos y arroyos de los alrededores de La Cabrera, donde los cursos de agua tienen una dirección predominantemente NO-SE. Esta orientación condiciona también la trayectoria de los meandros del Jarama y el límite de la zona inundada de los embalses.

La estructura de la sierra, que está constituida por fosas y "horsts", está modificada por una superficie de erosión o peneplana situada sobre los 1.000 m de altura y que está ligeramente basculada hacia el sur. Comprende una extensa región entre La Cabeza de Piñuécar y el embalse de El Atazar que incluye las poblaciones de Gargantilla de Lozoyuela y

Lozoyuela.

Los gneises situados al norte de Torrelaguna presentan unas divisorias muy bien definidas, como lo indican las capas subverticales representadas.

En los granitoides se han generado rellanos, producto de la erosión. La Cabeza de Arcón y La Cabrera con 1.834 m constituyen unos buenos ejemplos. Todas sus vertientes presentan paisajes en bolas y los procesos gravitatorios adquieren una importancia singular, como se refleja en el mapa de peligrosidad geológica.

El predominio de las formas de erosión en la sierra queda patente con la escasa representación de materiales cuaternarios. Estos solo aparecen en algunos fondos de valles muy abiertos, como el que linda por el oeste con el embalse de El Vellón.

En las vertientes colindantes con la depresión se encuentran los "inselbergs" y las rampas. Los primeros constituyen relieves residuales (cerro de San Pedro) y están tapizados por matorrales y arbolado de coníferas y frondosas y las rampas, presentan una gran diversidad vegetativa de pastizales, arbolados y matorrales, con un paulatino aumento de las áreas de cultivo de secano (entre los 600 y 1.000 m).

El último contrafuerte de la sierra con la depresión está constituido por los relieves monoclinales de las calizas mesozoicas de Torrelaguna. Estos forman cuestas estructurales que presentan la altura máxima en el punto de La Chimenea (938 m). En estos materiales las capas dibujan los escarpes al norte, mientras que hacia el sur se van solapando y horizontalizando poco a poco las diferentes superficies estructurales. La red fluvial atraviesa estos relieves con

angostos valles cortados, siempre con la dirección predominante NO-SE.

A partir de esta línea de contacto se desarrolla la depresión. El estilo de la red fluvial se hace más tupido, dependiendo de la litología donde tiene asiento, y alcanza su máxima expresión en las zonas acarcavadas de los depósitos yesíferos de las partes centrales de la cuenca. La depresión está atravesada por las importantes arterias fluviales constituidas por los ríos Jarama, Manzanares, Henares, Tajuña y Tajo. El valle principal del río Jarama se ensancha dando cursos meandriformes y meandros abandonados; en él se desarrollan sucesivas terrazas fluviales con los depósitos de glaciares colgados.

Las principales unidades geomorfológicas de la depresión están constituidas por:

- altas superficies,
- terrazas,
- llanura de inundación,
- glaciares de erosión y acumulación,
- abanicos y conos aluviales,
- coluviones y
- fondos semiendorreicos.

Esta diversidad geomorfológica ha sido controlada, fundamentalmente, por la dinámica fluvial del río Tajo durante el Cuaternario (Roquero et al, 1990).

El rejuego de fallas, en su mayoría tardihercínicas, ha determinado que existan en el zócalo umbrales y depresiones que han condicionado los espesores y distribución de las unidades litológicas terciarias que rellenan la depresión. Este rejuego, que ha sido también eficaz durante el

Cuaternario, ha condicionado direcciones preferentes de los ríos mayores y zonas de levantamiento o subsidencia con influencia, sobre todo en los procesos erosivos y deposicionales de los sistemas fluviales (Pérez et al, 1.989).

Dentro de la depresión, las altas superficies están cubiertas principalmente por cultivos de secano. Se distinguen:

- las rañas (900 m) y
- las mesas de los páramos (700-800 m).

Los relieves intermedios comprenden tres tipos de morfologías:

- Las divisorias, que son cuerdas estrechas y largas de orientación N-S que corresponden a diferentes superficies de erosión; predominan cultivos de secano, aunque también existen coníferas, pastizales y matorrales (600-800 m).
- Las plataformas que rodean las mesas del páramo, a una altura 20 m por debajo de éstos. Los cultivos de secano, el matorral y algunas masas puntuales de arbolado son sus formas de vegetación más comunes.
- Las cuestas estructurales : Los materiales calcáreos desarrollan relieves en cuestas con masas de arbolado de coníferas y matorrales.

Los valles o vegas y fondos endorreicos, con formaciones superficiales aluviales y coluviales, son las zonas más llanas; presentan cultivos de regadío y vegetación de ribera.

En estas zonas se da el mayor impacto ambiental pues presenta importantes masas de desechos y el paulatino asentamiento de polígonos industriales.

En la zona estudiada hay que destacar lo siguiente:

En la zona de conexión con los valles, denominada de los relieves intermedios, se dan cerros aislados, plataformas y cuestras estructurales. Los cerros aislado de San Pedro (1.422 m), Los Angeles (670 m) y El Viso (780 m) constituyen buenos ejemplos de formas residuales. Las plataformas tienen lugar principalmente en las formaciones carbonatadas y yesíferas de Pinto-Valdemoro, norte de Chinchón y SE de Morata de Tajuña. Las cuestras se localizan sobretodo en la zona de Aranjuez (cuestras de Ocaña) y sus bordes están más o menos definidos por escarpes de menor salto.

El techo de la depresión corresponde a altas superficies, representadas por los páramos, las rañas y las divisorias.

Los páramos se sitúan, principalmente, en el borde suroriental de la zona estudiada, y están representados por las mesas de Chinchón (751 m) y Arganda (717 m). Sus bordes están perfectamente resaltados, puesto que a su pie se generan con suma facilidad desprendimientos puntuales que localmente pueden haber estado asistidos por dolinas.

Las rañas tienen una escasa representatividad, y se encuentran únicamente al NE de Algete, a 900 m de altura; los cultivos que se asientan sobre ellas facilitan su delimitación, dándose además un escarpe muy característico sin un salto de altura muy brusco.

Las divisorias son formas muy aplanadas y estrechas que se extienden desde los 800 a los 600 m de altura al norte de Alcalá de Henares, están orientadas de norte a sur y corresponden a antiguas superficies de erosión.

6. MAPA DE PENDIENTES

Los mapas de pendientes se han realizado aplicando algoritmos que transforman las curvas de nivel y las distancias que las separan en mapas de pendientes.

Independientemente de la representación, que en parte esta influenciada por la coincidencia o no de las curvas de nivel con los cambios de pendiente natural, las pendientes mayores, que son prácticamente verticales se presentan en:

- Bordes de los páramos. Al estar éstos constituidos por calizas y localizarse debajo rocas blandas, las "cuestas" que los limitan son prácticamente verticales.
- Sierra de La Cabrera. Al estar constituidas por granodioritas de grano fino, es más resistente a la erosión y queda limitada por bordes igualmente muy verticalizados.

El resto de la sierra presenta relieves y pendientes típicos de las zonas montañosas, con grandes zonas con pendientes superiores al 40%.

En el Terciario detrítico no se presentan pendientes acusadas.

No se dispuso de las cintas con las curvas altimétricas digitalizadas de las hojas topográficas n^{os} 19-18 y 20-18, por lo que no se ha presentado esa zona. En el resto se han incluido las hojas topográficas 1:50.000 completas, dibujando en los mapas correspondientes el límite de la zona estudiada.

7. MAPA DE LINEAMIENTOS

La confección de los mapas correspondientes se ha llevado a cabo aplicando los siguientes criterios. Los principales lineamientos obtenidos de la interpretación de las imágenes se han contrastado con las estructuras tectónicas conocidas de la zona y se han determinado sus órdenes (primero, segundo y tercero). Estos se han establecido mediante criterios prefijados. Para el primero, se han tenido en cuenta alineaciones de gran continuidad, relacionadas o no con diferentes materiales y/o geomorfologías, y que coinciden con estructuras tectónicas cartografiadas conocidas o deducidas de datos geofísicos. Los de segundo orden, corresponden a rasgos menos definidos, de menor extensión y coinciden con rasgos deducidos a partir del análisis de la red fluvial, contrastes y/o cambios en los usos del suelo, etc, con posible o no significado estructural. Por último, en los de tercer orden se incluyen pequeños lineamientos con menor representatividad y de asignación tectónica discutible. A partir del estudio de la distribución y estilo de los lineamientos se representan los principales grupos litológicos.

Las actividades antrópicas tan desarrolladas, principalmente en el entorno metropolitano de Madrid, han dificultado e incluso han podido introducir multitud de modificaciones que asemejan lineamientos, y que en realidad no corresponden a tales.

Los principales objetivos de la serie de mapas realizada han sido los siguientes:

- Reconocimiento de las fallas de supuesta actividad tectónica reciente, coincidentes con los lineamientos observados.

- Determinación de las diferentes distribuciones dentro de cada grupo litológico diferenciado.
- La identificación de lineamientos no coincidentes con fallas conocidas (de origen desconocido) y el caso opuesto, constituyen dos aspectos metodológicos importantes a destacar (Del Potro y Payás, 1.990).
- Localización de las fallas activas y determinación de la densidad de fracturación para posibles futuras ubicaciones de estructuras que deben ser preservadas.

En estos mapas se han representado los lineamientos obtenidos a partir de la interpretación de las imágenes. Figuran también las principales estructuras tectónicas, además de una base geológica simplificada y los principales indicios mineros conocidos.

Se han establecido dos niveles de información. El primero obtenido directamente de la teledetección de los principales lineamientos observados en las imágenes Landsat más Spot y ha permitido definir los de primer, segundo y tercer orden. El segundo nivel se ha obtenido del Atlas Geocientífico de la comunidad de Madrid y de las hojas MAGNA correspondientes y ha proporcionado las alineaciones tectónicas más destacadas, fallas y contactos mecánicos.

En la zona de estudio, las estructuras alpinas del sistema Central español se han generado en tres grandes etapas (Capote et al, 1.990; De Vicente et al, 1.990). Estas etapas y sus estructuras asociadas son las siguientes:

- **Etapa ibérica o Altomira:** Se caracteriza por una compresión horizontal N45-55E con un régimen general de acortamiento, se producen en sistemas de fallas N40-60E

y N170-180E. La edad es Oligoceno-Mioceno inferior.

- **Etapa Guadarrama:** Es la más importante y forma el relieve actual. La dirección de compresión es N140-155E y provoca fallas de dirección N20-90E y N110-180 y cabalgamientos, dando lugar al máximo acortamiento. La edad es Mioceno inferior-superior (intra-Aragoniense).
- **Etapa Torrelaguna:** De menor entidad que las anteriores y de tipo neotectónico está caracterizados por una compresión de dirección N160-200 que genera fallas N150-160 y N180-120. La edad se sitúa entre el Mioceno superior y el Cuaternario.

Para una mejor interpretación de los mapas, se ha incluido un fondo litológico que agrupa en diez clases los materiales existentes en función de su comportamiento frente a las deformaciones tectónicas observadas. Son las siguientes:

- CLASE-1. Adamellitas y granodioritas, granitos y leucogranitos y cuarzdioritas.
- **PRECAMBRICO Y PALEOZOICO INDIFERENCIADO**
 - CLASE-2. Ortogneises glauculares y con bandeados biotíticos.
 - CLASE-3. Esquistos y paragneises con intercalaciones cuarcíticas.
- **ORDOVICICO**
 - CLASE-4. Pizarras negras con alternancia de cuarcitas.
- **CRETACICO**
 - CLASE-5. Areniscas, microconglomerados, calizas y dolomías.

- **PALEOCENO-EOCENO**
 - CLASE-6. Lutitas, yesos, arenas, gravas y fangos variolados.
- **TERCIARIO**
 - CLASE-7. Arcosas (incluye la facies Madrid), conglomerados (Serie detrítica basal) y niveles de sepiolita.
 - CLASE-8. Arcillas y yesos, calizas, dolomías y niveles de sílex, costras calcáreas, yesos detríticos y margas yesíferas.
 - CLASE-9. Calizas y margocalizas (Serie del páramo).
- **CUATERNARIO (Incluye el Plio-Cuaternario)**
 - CLASE-10. Conglomerados silíceos (raña), gravas poligénicas con arenas y limos yesíferos (glacis); gravas, arenas y limos (aluviones y coluviones antiguos y modernos).

El estudio de los lineamientos del sector estudiado del sistema Central y cuenca de Madrid. denota estilos diferentes para la sierra y para los depósitos más recientes del relleno de la fosa neógena. En el primer caso, se da una mayor concentración de lineamientos; esto se debe a que afloran materiales competentes que reflejan bien la tectónica a que están sometidos. En el segundo caso las litologías blandas hacen disminuir los contrastes y por tanto los lineamientos tienen una peor definición.

La sierra se caracteriza por una deformación intensa y por la existencia de fallas de direcciones preferentes NE-SO y N-S. Algunas de éstas tienen una respuesta geomorfológica clara en las imágenes, con un salto de altura diferenciada (alrededores de Montejo de la Sierra). Esta fracturación, que ha configurado la sierra en bloques y zonas deprimidas, determina la posición de la superficie de erosión de Lozoyuela.

La mayor concentración de fallas y lineamientos de primer orden se localiza en los granitos y en las zonas de contacto con los gneises. También en éstas zonas se producen una coincidencia mayor con las fallas conocidas y existe un predominio de lineamientos de primer orden con orientación NE-SO. Lo pone de manifiesto la estructura de las calizas cretácicas en contacto con los granitos y las pizarras ordovícicas al norte de Torrelaguna. Estas últimas litologías presentan una mayor distribución radial de los lineamientos, llegando a ser prácticamente N-S en las inmediaciones del embalse del Atazar. Existen coincidencias con fallas conocidas como las de Lozoyuela, Gargantilla de Lozoya y Colmenar Viejo, entre otras.

Los lineamientos de segundo orden tienen una orientación NO-SE y están muy desarrollados en los relieves graníticos de La Cabrera. Dado su elevado número, presentan coincidencia con las fallas conocidas, y hacen que en ésta zona todo el conjunto de la red fluvial se reoriente según esa dirección. En los gneises adquieren la dirección NE-SO, similar a las fallas, principalmente en el cerro de San Pedro y en la zona de contacto entre las calizas cretácicas y las facies yesíferas paleocénicas de las inmediaciones de Torrelaguna.

El tercer orden apenas aparece representado en la zona montañosa debido al elevado grado de cubierta vegetal que hace que sus posibles rasgos queden camuflados. No obstante, los representados tienen una orientación preferente E y NE-SO.

La depresión, en líneas generales, se caracteriza por una menor fracturación y la presencia de fallas conocidas se restringe considerablemente, dada la menor cobertura geológica de las hojas MAGNA.

Los lineamientos de primer orden tienen dos direcciones preferentes NO-SE y NE-SO, que son coincidentes con los valles fluviales de las principales arterias fluviales.

En el primer caso se encuentran los ríos Manzanares y Jarama (tramo Algete-Arganda), mientras que en el segundo los ríos Henares y Tajuña son los mejores ejemplos. También el tramo del río Jarama (tramo Arganda aguas abajo hasta el límite de la zona de estudio), está condicionado por esta nueva orientación. No obstante en las inmediaciones de los Montes de Toledo, en Aranjuez se encuentran las orientaciones O-E con la aparición del valle del río Tajo.

Los lineamientos de segundo orden tienen la dirección preferente O-E, sobretodo en las partes centrales de la cuenca como San Martín de la Vega, Chinchón y al norte de Torrejón de Ardoz; mientras que en los bordes predominan las NE-SO. Tienen su mayor desarrollo en las altas superficies de las series yesíferas y carbonatadas del Terciario, principalmente al NE de Algete y en los parámos de Arganda y Chinchón.

Los lineamientos de tercer orden tienen una orientación de NE-SO, y su mayor ubicación se encuentra principalmente en las plataformas estructurales de las altas superficies.

8. MAPA DE PELIGROSIDAD GEOLOGICA

Para la realización de la serie de mapas de peligrosidad geológica se ha partido de las cartografías geológicas existentes, así como de la vegetación, geomorfología, pendientes, etc.

Por un lado se han cartografiado los procesos y/o factores de riesgo y después se han agrupado en áreas de características similares. Por último se ha superpuesto la zonificación del territorio por arcillas expansivas, obtenida a partir de la documentación existente I.T.G.E. (1.988). De esta manera la peligrosidad geológica en un punto determinado será mayor donde coincidan los procesos geológicos definidos y la acción vertical de expansividad de las arcillas.

En el presente estudio no se ha tenido en cuenta la peligrosidad por sismicidad, puesto que se considera secundaria (Gallego et al , 1.987), ya que esta región se sitúa en el centro de la península y tiene una sismicidad escasa; los seísmos históricos se localizan principalmente en el sustrato paleozoico, mientras que los de registro instrumental se sitúan, fundamentalmente, en la cuenca terciaria. Además la base metodológica ha consistido en la interpretación de las imágenes LANDSAT + SPOT, y por lo tanto, sólo se reflejan los procesos y las formas del relieve originadas por la geodinámica externa.

Los objetivos del estudio de peligrosidad geológica son variados y establecen una primera aproximación a la cuantificación areal de las áreas inestables, ya sea por las inestabilidades de ladera, la inundabilidad, por la acción de las aguas subterráneas dando formas verticales de colapsos y/o hundimientos, y por aquellas debidas a la expansión y contracción de las arcillas. Así como también por las

modificaciones que puede introducir el hombre.

8.1. FACTORES Y PROCESOS DE PELIGROSIDAD GEOLOGICA

Los terrenos de la comunidad de Madrid son relativamente estables, de modo que la posible peligrosidad geológica se presenta de forma puntual y se corresponde con movimientos del terreno por inestabilidad gravitatoria, con la presencia de arcillas expansivas, inundabilidad y por sismicidad (ITGE 1.988). Además hay que considerar el riesgo de erosión. Los factores de riesgo a considerar se agrupan en las cuatro categorías siguientes:

- caídas
- colapsos
- inundabilidad
- arcillas expansivas

En los siguientes párrafos se describen cada uno de ellos y se indican las zonas en que se localizan.

- **Caídas.** En esta categoría se incluyen los desprendimientos localizados principalmente en el dominio de la sierra y en particular en la zona de La Cabrera, los desplomes al pie de los escarpes de las calizas de los páramos y los despegues en las vertientes de los valles fluviales excavados en materiales yesíferos. Por último, los deslizamientos situados principalmente en los materiales metamórficos y calcáreos de la sierra.

Los movimientos del terreno están condicionados en general por la litología, la estructura, las pendientes, el grado de cobertura vegetal y los

factores climáticos.

- **Colapsos.** Constituyen movimientos con una importante componente vertical originada por acción de las aguas subterráneas que desarrollan en la superficie formas embudiformes y dolinas producto de la disolución de los materiales infrayacentes. Estas morfologías se dan sobre todo en los sedimentos yesíferos de la cuenca neógena de Madrid.
- **Inundabilidad.** La peligrosidad por este factor es, en general, baja debido a la gran regulación de los cauces principales. Únicamente existen tres zonas con problemas de este tipo: vegas de los ríos Jarama, Henares y Manzanares, rañas y depresiones de la sierra en épocas de deshielo, dado que en el resto del año los cursos son muy esporádicos.
- **Arcillas expansivas.** En general es mayor la probabilidad de que el grado de expansividad sea elevado cuando sea mayor el contenido mineralógico en montmorillonita de las rocas o suelos, mayor el contenido en arcilla, menor la edad del sedimento y el clima más árido. Es un riesgo a tener en cuenta en la planificación de las áreas urbanizables.

El proceso más importante dentro de la peligrosidad geológica lo constituye la erosión, dada la tipología de las litologías neógenas de la cuenca de Madrid, las pendientes, el clima y el grado de cobertura vegetal. La acción de arroyada de las aguas se ha representado en los mapas de dos formas distintas, concentrada (paredes de los valles fluviales) y difusa (en zonas planas de divisorias),

Las actividades extractivas pueden conllevar determinada peligrosidad geológica, tales como contaminación de acuíferos, modificaciones en las llanuras de inundación de los ríos principales, localmente a fenómenos de inestabilidad gravitatoria, etc. Además, constituyen actividades con gran incidencia en la antropización del paisaje.

Las modificaciones producidas por las industrias extractivas son de índole diversa (ITGE, 1.988). En la sierra corresponden principalmente a alteraciones del paisaje y en la depresión se localizan en los fondos de los valles y en las mesas de los páramos. En los primeros se da un mayor impacto ambiental con el desarrollo de decantación de lodos y modificación del cauce, formación de grandes huecos, lagunas, pérdida de suelo fértil y depresión de acuíferos. En las mesas ocasionan alteración del paisaje, formación de grandes huecos, posibles corrimientos de materiales arcillosos y desprendimientos en frentes de canteras.

Otras alteraciones que produce esta actividad antrópica son las siguientes: pérdida de vegetación y fauna, deterioro de la calidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas con los consecuentes problemas sanitarios, emisión de partículas al aire que modifican el metabolismo en la vegetación y emisión de ruidos.

Como se ha indicado, los principales riesgos geológicos en el área de estudio se deben a fenómenos de colapsos, deslizamientos y/o desprendimientos de masas rocosas, a la acción vertical de las arcillas expansivas (materiales muy extendidos en toda la cuenca de Madrid) y, por último, inundación (sobre todo cuando se produce el súbito desagüe de los embalses situados en las cabeceras de los ríos importantes).

8.2. PROCESOS DIFERENCIADOS EN LOS MAPAS

En la serie de mapas de peligrosidad geológica se han diferenciado los siguientes procesos:

- a) Dinámica fluvial, que incluye límite de llanura de inundación por avenidas (terrazas bajas con meandros abandonados y alto contenido en agua), meandros abandonados, socavaciones laterales de terrazas y taludes del valle fluvial, conos de deyección, zonas mal drenadas y edificios inundables.
- b) Erosión del suelo que incluye escorrentías concentradas (erosión activa) y escorrentías difusas (erosión incipiente).
- c) Inestabilidades gravitatorias, en donde se diferencian escarpes con desprendimientos, desprendimientos puntuales, líneas de capa dura subvertical con caídas de bloques puntuales y colapsos y/o dolinas (materiales yesíferos).
- d) Actividades extractivas, en donde se separan las canteras de gravas, arenas, yesos, calizas (del páramo y mesozoico) gneises y granitos.

8.3. ZONAS DE PELIGROSIDAD

A partir de estos procesos se definen las siguientes zonas de peligrosidad: Zonas estables con riesgo nulo y/o escaso, zonas con peligrosidad baja y con alta saturación en agua, zonas con peligrosidad moderada y con duda sobre los factores, zonas con peligrosidad alta y con presencia de factores, zonas con peligrosidad más alta, inestables.

Además, se han indicado las áreas con arcillas expansivas diferenciándolas según que su peligrosidad sea baja, moderada, alta o muy alta.

Por último se han señalado límites de las zonas de riesgo de los factores considerados, los límites de las zonas de riesgo para las arcillas expansivas, los embalses y los núcleos de población.

El mapa de peligrosidad geológica establece una jerarquía relativa de los factores de riesgo. Así de una manera gráfica, se representan áreas con los colores de la regla del semáforo cuando éstas tienen una buena extrapolación de los procesos que actúan en cada área.

8.3.1. Zonas estables con riesgo nulo y/o escaso

En las zonas estables (color blanco), la peligrosidad geológica es nula y/o escasa. En éstas, los factores no se extrapolan a zonas cartografiadas y se dan riesgos de poca entidad, como las escorrentías superficiales difusas sin incisión del Monte del Pardo, norte de Alcalá de Henares y la zona de Valdemoro-Getafe. Las zonas estables se encuentran principalmente en la sierra, en las terrazas fluviales y en las partes superiores de las superficies altas de los páramos de Arganda y Chinchón.

8.3.2. Zonas con peligrosidad baja y elevada saturación en agua

Dentro de la problemática planteada por las inundaciones, cabe destacar la alta regularización que presentan los cursos de agua de ésta zona de la cuenca del Tajo. En las cabeceras

altas existen numerosos embalses que hacen disminuir la agresividad de las aguas; tan solo se han dado casos de esporádicas inundaciones, en algunas lluvias muy copiosas, por el desaguado rápido de los embalses. De esta manera se representan zonas (coloreadas de azul en el mapa) donde se da un condicionante alto por saturación en agua, sin llegar a precisar los límites excepcionales de las avenidas fluviales. Así, éstas corresponden a zonas fluviales situadas preferentemente en la llanura de inundación, donde existe una saturación alta en agua y donde puntualmente se pueden dar zonas empantanadas como las de Torrelaguna en el río Jarama, al sur de Torrejón de Ardoz y oeste de Alcalá de Henares en el río Henares, en la confluencia del río Manzanares y el arroyo de Culebro al SE de Madrid, al NO de San Martín de la Vega y también en el arroyo de La Cañada, cerca de Cienpozuelos.

En la llanura de inundación, sobre todo en la del río Jarama, también aparecen desarrollados meandros abandonados en el tramo de este mismo río al este de Alcobendas y en la zona de San Martín de la Vega. En el Tajo al SO de Aranjuez estos meandros son de mayor dimensión y curvatura.

A lo largo de los principales cursos de agua se encuentran algunas edificaciones inundables, como en el área del aeropuerto de Barajas, Morata de Tajuña y río Manzanares, casi en la intersección con el arroyo del Culebro. La socavación lateral de la pared del valle, como otro proceso fluvial, también adquiere una importante significación en el tramo del río Jarama comprendido entre los ríos Henares y Tajo. Esta ha generado paredes verticales que facilitan la inestabilidad de las mismas.

La actividad extractiva de las gravas aluviales está muy desarrollada. Esto puede producir la consecuente modificación del cauce actual y de la llanura de inundación en caso de avenidas fluviales. La producción de balsas de estériles y escombreras, localmente va a generar un riesgo mayor en los tramos situados aguas abajo de las citadas graveras. Estas manifestaciones aparecen a lo largo de todo el curso del río Jarama, con una mayor extensión de terreno afectada por las mismas, principalmente en las proximidades de Arganda.

8.3.3. Zonas con peligrosidad modificada y con dudas sobre los factores

En el mapa, el color verde hace referencia a los fenómenos de arroyada y/o erosión difusos que no han desarrollado formas encajantes en las vertientes. Estos provocan, sobre todo, escorrentía laminar en las plataformas estructurales de las formaciones yesíferas terciarias que generan colapsos y hundimientos. En ésta área, además, se forman dolinas de disolución y/o hundimiento. Estas formas están situadas principalmente en dos zonas: al SE de Madrid, con mayor tamaño de las formas embudiformes, y al este de Pinto-Valdemoro.

Los tipos de escarpes que aparecen en las plataformas estructurales suelen ser suaves y en general no producen desprendimientos.

8.3.4. Zonas con peligrosidad alta y con presencia de factores

El color naranja del mapa caracteriza, principalmente, zonas con escorrentía concentrada, que ocasiona el desarrollo de formas más evolucionadas de cárcavas. Estas formas se originan tanto en el borde de la cuenca, por el fuerte contraste con las litologías paleógenas (debido a la brusca variación del perfil de equilibrio longitudinal que adquieren los cursos de aguas); como en el centro dada la presencia de los depósitos yesíferos fáciles de erosionar. El primer caso aparece en la margen derecha del río Jarama entre Torrelaguna y las inmediaciones de Alcobendas. El segundo, mucho más extendido, se sitúa principalmente en el tercio meridional de la zona estudiada, en las plataformas estructurales y en las paredes de los valles de los ríos Manzanares, Jarama, Henares, Tajuña y Tajo. La zona de cárcavas, de este segundo grupo, casi siempre se encuentra acotada por arriba por un escarpe bastante regularizado de las plataformas estructurales.

La inestabilidad gravitatoria, como casos aislados puntuales, difícilmente cartografiables, se agrupa en zonas de características similares del terreno como vegetación, substrato y pendiente. Estas zonas se han representado en la sierra, alrededor de La Cabrera, al oeste de Montejo de la Sierra, y muy localmente, en las plataformas estructurales situadas al norte de los páramos de Arganda.

Dentro de esta categoría de zonas de riesgo también se engloban algunos conos de deyección que pueden interceptar en su trayectoria final la llanura de inundación actual, como los que se encuentran en Torrelaguna y en las inmediaciones de San Martín de la Vega.

8.3.5. Zonas inestables con peligrosidad muy alta

En el mapa se representan coloreadas de rojo. Indican zonas de riesgo elevado, debidas principalmente a la acción gravitatoria que produce inestabilidades de ladera. Los relieves graníticos de La Cabrera, el cerro Cerounal y la Cabeza del Arcón, que están muy fracturados, y algunas áreas puntuales del cerro de San Pedro, corresponden a zonas de numerosos desprendimientos puntuales que han sido agrupados en unidades de peligrosidad homogénea.

En algunos sectores donde existe un alto condicionante estructural de las litologías, como cuestas estructurales y capas subverticales, la gravedad tiene una mayor actuación. Los alrededores del embalse de El Atazar y las calizas cretácicas de Torrelaguna, que desarrollan un relieve monoclinal, presentan un mayor número de movimientos en masa dentro del ámbito de la sierra.

En la cuenca de Madrid, se dan zonas preferenciales en los taludes de las plataformas estructurales de los valles fluviales, como los del río Jarama al oeste y NO de Arganda y en el río Tajuña, al SO de Morata de Tajuña. También actúa la erosión concentrada formando profundas cárcavas e importantes torres en los materiales yesíferos terciarios, como las que se encuentran al este de Morata de Tajuña.

El Viso, con 780 m de altura máxima, representa un cerro testigo residual de las altas superficies. En este lugar, además de localizarse caídas y desprendimientos de bloques, la erosión de las aguas ha desarrollado numerosas cárcavas que se encuentran al pie del escarpe de las calizas superiores.

Dentro de las zonas de mayor peligrosidad, además se representan las paredes verticalizadas de los valles, donde la acción de socavación lateral de las aguas es importante, principalmente al NE de Arganda.

8.4. ARCILLAS EXPANSIVAS

En el mapa de riesgos geológicos se presenta las arcillas expansivas con un fondo que hace referencia a la peligrosidad asociada a su expansividad. Estas zonas están íntimamente ligadas con el contenido en ciertos minerales arcillosos de los materiales neógenos de relleno de la cuenca de Madrid. Las zonas de mayor peligrosidad se sitúan principalmente en la zona centro de dicha cuenca, donde se sedimentaron mayoritariamente arcillas y yesos. Las facies de arcosas de borde de la fosa representan las zonas más estables dentro de este capítulo de los riesgos geológicos.

8.5. ACTIVIDADES MINERAS

Las actividades extractivas, por cuanto se refiere a las modificaciones que introducen en el paisaje y en los factores geoambientales que condicionan su entorno más inmediato, se han representado también en el mapa de peligrosidad geológica. Su importancia real es notable y en dichas áreas los factores de riesgo, como inestabilidad de laderas y/o taludes y variaciones en el comportamiento hidrodinámico de los cursos fluviales, pueden inducir a una mayor espectación de determinada peligrosidad geológica.

Las actividades extractivas son muy variadas y comprenden prácticamente todos los tipos litológicos que se encuentran en la zona estudiada:

- **Cuaternario:** principalmente gravas, corresponden a las zonas extractivas de mayor extensión (río Jarama desde la zona sur de Torrelaguna hasta los alrededores de Aranjuez).
- **Terciario:** Calizas de los páramos (Arganda y Chinchón), arcosas de las facies Madrid (principalmente entre Colmenar Viejo y Alcobendas), yesos (las de mayores dimensiones se sitúan en los alrededores de San Martín de la Vega y SE de Madrid; existen además numerosas extracciones sobre todo en las plataformas estructurales, pero su representación cartográfica es más dificultosa debido a su reducido tamaño) y arcillas especiales (Vicálvaro).
- **Cretácico:** Calizas, de dimensiones reducidas dado el alto condicionante estructural. Se encuentran exclusivamente al norte de Torrelaguna.
- **Paleozoico:** Gneises s.l. y granitos, son de tamaño reducido y se distribuyen muy dispersas a lo largo de la sierra. Las explotaciones de gneises se sitúan principalmente al este de Colmenar Viejo. En los granitos se da una mayor concentración en torno a la loma de La Cabrera y a la Cabeza del Arcón.

Las explotaciones en las calizas cretácicas y de los páramos, junto con las graveras instaladas en el río Jarama, constituyen las áreas que pueden inducir a una mayor acentuación de los factores de riesgo.

9. ZONAS PILOTO

Dentro del presente estudio de ingeniería geoambiental, se ha realizado el análisis detallado de unas zonas piloto a escala aproximada de 1:20.000. Estas zonas han sido elegidas para resaltar diferentes aspectos tratados en el proyecto. Son las siguientes:

- Sierra de La Cabrera en donde coinciden amplias zonas de peligrosidad geológica con un rápido crecimiento del asentamiento humano.
- Río Jarama, entre Arganda y San Martín de la Vega, como manifestación de las múltiples e innumerables actividades que el hombre puede desarrollar en el dominio fluvial, modificando tanto el entorno ecológico como la propia dinámica del río; constituye una de las zonas fluviales más degradadas.
- Entorno de Morata de Tajuña, en relación con la clasificación de los usos del suelo, ya que en ese sector se encuentra una buena variedad de estos usos.

En los mapas de peligrosidad geológica se han reflejado los procesos geomorfológicos de fácil identificación a partir de la interpretación de las imágenes (tales como la acción de las aguas y la gravedad), lo que permite una rápida estimación cualitativa de las zonas de riesgo geológico dentro de los estudios de ingeniería geoambiental.

9.1. MAPA DE PELIGROSIDAD GEOLOGICA DE LA SIERRA DE LA CABRERA

9.1.1. Contexto geológico y fisiográfico

El macizo granítico de La Cabrera está situado en el sector central de la sierra y constituye un bloque elevado. Sus materiales paleozoicos se componen de rocas adamellíticas y granodioríticas, además de granitos y leucogranitos tardíos y cuarzodioritas.

Este macizo, como parte del sistema Central, ha sufrido importantes movimientos verticales durante la orogenia alpina y constituye un retazo de una antigua penillanura. Sus límites corresponden a lineamientos de primer orden, de dirección aproximada NE-SO probablemente antiguas fallas tardihercínicas reactivadas durante la orogenia alpina (etapa Ibérica o Altomira). En su interior se sitúa una densa red de fracturas de dirección NO-SE, que coincide con el segundo orden de lineamientos (etapa Guadarrama) y es la responsable del relieve actual.

Geomorfológicamente, está ubicado en el dominio de la sierra y constituye una forma residual de monte-isla o "inselberg" enrasada en su techo por una superficie de erosión lo que le da un carácter de "llanura colgada". Este a su vez está limitado al norte por la superficie de erosión de Lozoyuela, y al sur por las superficies de erosión o "rampas" que sirven de zonas de enlace con las zonas de la Depresión. La orografía de la sierra se caracteriza por unos bordes asimétricos, el septentrional es suave, mientras que el meridional es escarpado y abrupto. Dada la elevada tectonización del substrato, la morfología se caracteriza por un relieve constituido por montículos y promontorios rocosos de dimensiones variables. Se encuentran además formas de

pináculos, castillos y torres rocosas y gendarmes, así como los inconfundibles paisajes en bolas característicos de los relieves graníticos. Todos estos hechos hacen que la sierra de La Cabrera constituya un sector dentro de la sierra madrileña de gran interés didáctico de cara al estudio de los relieves graníticos.

En esta zona de estudio se localizan las poblaciones de La Cabrera y Valdemanco.

9.1.2. Comentarios

En la zona estudiada son de destacar los siguientes rasgos geomorfológicos y zonas de riesgo.

- La escorrentía concentrada se localiza en las formaciones de vertiente de la ladera de solana al oeste de Valdemanco; dada su elevada pendiente se ha agrupado en zonas de riesgo alto.
- Los corredores de aludes y conos de derrubios se desarrollan mayoritariamente en el sector antes mencionado, aunque también se dan en la vertiente de umbría de la sierra de La Cabrera. Su localización hay que buscarla allí donde se da un fuerte salto de altura y donde la acción crioclástica (siempre debida a la altura relativa del macizo con respecto a la permanencia en el dominio glacial-periglacial Cuaternario) facilita el aporte de detritos a los corredores de aludes y canales de avalancha.
- La inestabilidad gravitatoria tiene un gran desarrollo en este macizo, principalmente en su vertiente meridional, Pico de la Miel (1.392 m), Gancho Gordo

(1.563 m), El Mojón y Las Cabreras (1.177 m). Otra fenómeno gravitacional importante a destacar consiste en la solifluxión y/o gelifluxión que se encuentra desarrollado principalmente en el collado del puerto del Medio Celemín.

- Las principales vías de comunicación y núcleos de población (Valdemanco 1.128 m y La Cabrera 1.038 m, así como las esporádicas actividades extractivas (Puerto de la Miel) se sitúan principalmente en las zonas más llanas o rampas.
- Las zonas de riesgo se han agrupado en alto (que a su vez incluye muy alto y alto, en las otras clasificaciones utilizadas dentro de éste mismo proyecto), moderado y bajo.

Dada la fuerte tectonización del macizo; se ha considerado que las zonas más elevadas deben ser consideradas como de riesgo alto -con pináculos y montículos, etc.- dada su frágil estabilidad superficial, las zonas con menor pendiente, pero con el substrato granítico aflorando, se consideran como de riesgo moderado. Las zonas de riesgo bajo corresponden a aquellas que están ocupadas por las formaciones superficiales en las áreas deprimidas (Valdemanco y La Cabrera).

Como referencia final hay que mencionar que aunque toda la zona de estudio de La Cabrera esté incluida en áreas de riesgo esto no excluye que existan algunas zonas estables puntuales. Estas se deberían delimitar, a partir de un estudio más detallado, que incluyera el análisis estereoscópico de las fotografías aéreas disponibles de menor escala.

9.2. MAPA DE PELIGROSIDAD GEOLOGICA DEL SECTOR DEL RIO JARAMA ENTRE ARGANDA Y SAN MARTIN DE LA VEGA.

9.2.1. Contexto geológico y fisiográfico.

Esta zona se localiza en el dominio de la depresión terciaria de Madrid. Los materiales que aparecen son exclusivamente neógenos y cuaternarios. Se encuentran representadas las tres unidades sedimentarias neógenas de relleno de la cuenca, con un mayor predominio de la intermedia. Las litologías de mayor a menor representatividad corresponden a:

- Arcosas y conglomerados (U. inferior).
- Arcillas y yesos, calizas, dolomías con sílex, costras calcáreas, yesos detríticos y margas yesíferas (U. intermedia).
- Calizas y margocalizas (U. superior), arealmente muy restringidas.

Los materiales neógenos presentan una estructura en domos que evidencian una actividad tectónica reciente. Las estructuras reactivadas a partir de los accidentes alpinos originan una serie de fracturas importantes, lineamientos de primer orden, NE-SO principalmente, que son aprovechados por las principales arterias fluviales. Esta actividad se manifiesta por la presencia de decalajes o anomalías topográficas en los materiales cuaternarios aluviales y el movimiento vertical de estas fallas (valles colgados, movimientos en masa asociados al talud, disposición de la red de drenaje, etc.).

Las formas más frecuentes que aparecen están constituidas por vegas y vertientes, así como por fragmentos de plataformas estructurales de los relieves intermedios de los páramos de Arganda. Estas últimas, presentan un borde escarpado en el margen derecho del río Jarama como lo indica la localización de la falla activa. En el valle se sitúan varios niveles de terrazas y lateralmente se interconectan a importantes sistemas de glaciares de acumulación (extremo NE de la zona, Arganda) y conos de deyección (este de San Martín de la Vega, prácticamente desmantelados por la actividad extractiva humana).

En este tramo del río Jarama se encuentran las poblaciones de Arganda (polígono industrial) y San Martín de la Vega.

9.2.2. Comentarios

En relación a los rasgos geomorfológicos y zonas de riesgo extrapoladas, así como a las zonas de riesgo por arcillas expansivas, cabe hacer las siguientes observaciones y comentarios:

- El límite de la llanura de inundación constituye un límite excepcional de avenidas. Se ha deducido a partir del grado de saturación en agua del terreno, interpretado en las imágenes SPOT + LANDSAT. El límite real producido por las avenidas fluviales debería realizarse con un estudio más detallado, con la realización de campañas de campo y de consulta en fondos de documentación hidrográfica que permitieran dibujar las avenidas máximas conocidas en la zona, teniendo en consideración la regulación artificial que presenta actualmente la cuenca.

- Los meandros abandonados se localizan a lo largo del curso del río Jarama, principalmente en su margen derecho.
- La socavación lateral se sitúa principalmente en el margen derecho del río Manzanares en el talud de los materiales neógenos de la unidad intermedia (tramo que discurre paralelo al río Jarama).
- Como zona mal drenada fuera de la influencia del río Jarama, hay que mencionar la zona de la presa de mampostería próxima a la localidad de Gozquez de Arriba.
- Los únicos edificios inundables representados corresponden a los situados en San Martín de la Vega, cercanos a un meandro abandonado.
- La escorrentía concentrada se ha representado con una mayor identidad en el borde norte de la zona de estudio, dada la litología que facilita estos procesos erosivos.
- La inestabilidad gravitatoria, con desprendimientos asociados a escarpes, se encuentra muy extendida principalmente en los taludes del valle fluvial del río Jarama. Su mayor predominio se sitúa en el margen derecho, en el área de Arganda a Gózquez de Abajo, mientras que desde ésta última localidad hasta San Martín de la Vega, predomina en el izquierdo. Los escarpes ruñiformes (de salto de altura mayor de 20 m), con una línea de escarpe múltiple y con la presencia incluso de voladizos, están muy desarrollados en la zona del trazado paralelo de los ríos Manzanares-Jarama (promontorio de Coberteras, 649 m) y en el

margen izquierdo del río Jarama en el sector próximo a San Martín de la Vega.

Este mismo tipo de escarpe, pero con una mayor inestabilidad, y con la presencia de grietas de extensión y desescamación del escarpe del talud, se localiza en el margen derecho del río Jarama al este de Piul (642 m) y al sur de Coberteras.

- Las actividades extractivas están ampliamente extendidas en los terrenos aluviales del río Jarama en ésta zona.

Las posibles variantes producidas por la actividad antrópica son innumerables. En la cartografía se han representado las que ocupan un área mayor. Se han representado canteras y/o graveras activas, de próximo cierre, de próxima apertura, escarpes de los frentes de avance, explotaciones restauradas con uso agrario, plantas de clasificación de áridos, diques de protección contra avenidas, el nivel freático y el relleno parcial de las cavidades donde aparece el primero, etc. Todas estas modificaciones afectan enormemente al ecosistema fluvial (con la destrucción de zonas pantanosas preexistentes) y a la dinámica sedimentológica del río, donde, debido a un mayor aporte de carga al caudal, en caso de avenida se producirá un mayor efecto erosivo aguas abajo.

La doble clasificación de las zonas de riesgo se ha realizado en función de los factores/rasgos geomorfológicos utilizados y de la presencia de las arcillas expansivas.

El riesgo muy alto corresponde a las zonas de mayor acción de la gravedad (taludes del valle fluvial).

El riesgo alto corresponde a los terrenos ocupados por yesos y arcillas terciarias donde la erosión es el factor más importante. La respuesta de estos materiales a la erosión (tipo de modelado) es la que condiciona el grado de riesgo considerado.

No aparecen zonas con riesgo moderado en éste área, puesto que las zonas de colapsos y/o hundimientos se sitúan más al N y O.

Las zonas de riesgo bajo constituyen la parte elevada en la saturación por agua de los terrenos aluviales de los ríos Manzanares y Jarama (su implicación areal en las inundaciones, ya ha sido comentado anteriormente). El riesgo nulo o escaso se sitúa en los terrenos aluviales, fuera de la influencia de las inundaciones, principalmente en el área de San Martín de la Vega y plataformas estructurales del páramo de Arganda.

En relación a la peligrosidad por arcillas expansivas, solo aparecen zonas de riesgo muy alto (la práctica totalidad de Terciario) y zonas de riesgo nulo o escaso (terrenos aluviales y mesas de los páramos).

9.3. CLASIFICACION DE DETALLE (USOS DEL SUELO). ZONA DE ARGANDA

La morfología de la zona cartografiada es ondulada, la altitud varía entre 759 metros del vértice geodésico de Valdesemorial, al norte de la hoja, y los 520 metros, de la vega del Tajuña, para alcanzar los 774 en el SE junto al

barranco de la Tijonera.

El río Tajuña, atraviesa la zona y es, transversalmente al valle, donde se presentan las mayores pendientes y desniveles, ya que los arroyos que confluyen en el río tienen su cabecera en el nivel elevado de las calizas de los páramos, que es menos erosionable que el de las margas y yesos infrayacentes.

La mayor parte de los terrenos están formados por calizas pontienses y margas yesíferas vindobonienses. Los terrenos cuaternarios y aluviales se encuentran en las terrazas y las vegas.

Los usos del suelo de la zona presentan las siguientes características: explotación intensiva del territorio en las vegas y usos no tan intensos fuera de esta zona a excepción de las canteras existentes. Se ha seguido la misma leyenda que la utilizada para el mapa 1:100.000, descrita en el capítulo 4.

Los usos más importantes que se han cartografiado se indican a continuación. Conviene indicar de nuevo que la organización de la zona presenta una estrecha relación con la estructura geológica: cultivos intensivos en la vega y grandes superficies de olivar sobre las margas yesíferas. Además existen extensas superficies de matorral y pastizal en las margas yesíferas que indican unas menores posibilidades de explotación agrícola.

- **Tierras de labor en secano.** La superficie cartografiada no es muy extensa localizándose las mayores extensiones en el NE del área cartografiada. Se trata de cultivos de trigo y cebada.

- **Tierras de regadío.** Se han cartografiado dos áreas de regadío. La primera y más importante corresponde con la vega del Tajuña. La segunda con la de los regadíos del arroyo de la Vega al E de la hoja. Los cultivos desarrollados son cereales en regadío (trigo y cebada), maíz, hortícolas, alfalfa y algunas parcelas de frutales.
- **Cultivos permanentes.** Han sido cartografiadas extensas superficies de olivar y vid. Existen también algunas pequeñas parcelas de almendros pero con muy escasa superficie. El olivar está extendido en las zonas de menor productividad y en las laderas difíciles de explotar para otro tipo de cultivos. Los viñedos se encuentran repartidos por toda la zona aunque se desarrollan principalmente sobre terrazas arcillo-margosas o en depresiones donde aparecen materiales finos de margo-calizas, yesos y además existe un buen drenaje. Olivo y vid representan la mayor superficie cartografiada llegando al 60% de la hoja.
- **Prados y/o pastizales.** Se trata de pastizales desarrollados sobre antiguas tierras de labor hoy abandonadas y zonas en las que se ha desarrollado una flora herbácea natural constituida fundamentalmente por gramíneas.
- **Matorral.** Se han incluido como matorral las zonas en las que el suelo presenta menos de un 50% de cubierta herbácea. Las especies más abundantes son la coscoja, muy frecuente en la provincia de Madrid en los suelos básicos de su mitad meridional, retama, tomillo y carrascas.

- **Coníferas.** Se trata de tres pequeñas manchas de pino carrasco al norte del núcleo de Morata de Tajuña.
- **Canteras y/o graveras y arenales.** Presentan especial importancia las canteras de caliza cartografiadas al norte de Morata de Tajuña por su extensión y por lo que supone desde el punto de vista medioambiental.

9.4. APLICACION DE LA TELEDETECCION AL ESTUDIO DE LA EUTROFIZACION DE AGUAS EMBALSADAS.

Dentro del marco del Proyecto se ha estudiado la reflectancia que presentan las aguas embalsadas de los embalses de El Atazar y El Vellón y las de unas graveras del Jarama.

En relación con la reflectancia de las aguas embalsadas, hay que señalar que la aplicación de la cartografía temática consta de las tareas básicas:

- Tratamiento y manejo de imágenes digitales y
- análisis estadístico de regresión múltiple entre los datos radiométricos de las imágenes y los datos limnológicos directos. Esta regresión hay que llevarla a cabo para obtener una extrapolación válida, a toda la superficie del embalse incluida en la imagen, de los datos de campo obtenidos para unos píxeles determinados.

En este estudio se ha realizado exclusivamente, la primera tarea. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- * **Embalse de El Vellón.** En el cuadro siguiente se indican las bandas que se han procesado en cada fotografía. Todas ellas pertenecientes al sensor TM del Landsat-5

EL VELLON							
Fotografías	BANDAS TM						
	1	2	3	4	5	6	7
1	X	X	X				
2	X	X	X	X	X[1]		X

[1] En la zona exterior del embalse (tierra) se incluye solo esta banda.

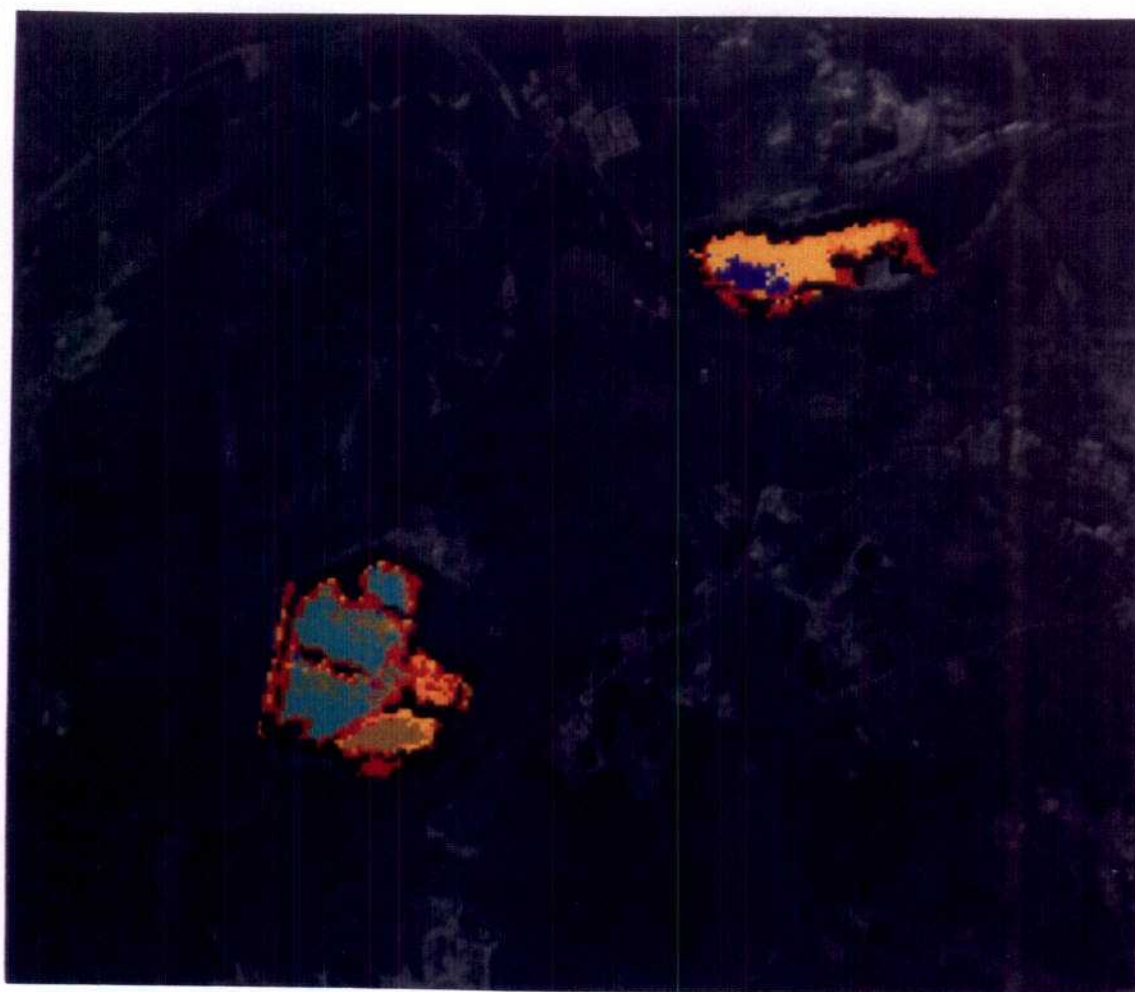
La fotografía número 1 incluye las bandas 1, 2 y 3 del TM, que prácticamente coinciden con las longitudes de ondas del verde, azul y rojo del espectro visible. En el embalse se observa una ligera diferencia en el tono de la lámina de agua en la parte central y en el noroste.

La fotografía número 2 se ha obtenido a partir de las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7.

Para obtener la imagen del terreno se ha considerado solamente la banda 5, que a su vez aparece en la fotografía con tonalidades de gris, proporcionales a la intensidad energética de los pixeles correspondientes. En el agua se han considerado las bandas 1, 2, 3, 5 y 7, es decir, las existentes entre el verde y el infrarrojo medio. El proceso seguido ha sido el siguiente: En cada banda se ha llevado a cabo un estudio estadístico de las intensidades energéticas reflejadas por los pixeles, determinándose la media, la desviación típica y la matriz de covarianzas. Posteriormente, en un espacio de seis dimensiones se han definido e identificado los "puntos" de intersección (clases) de las coordenadas de las medias, tomadas de dos en dos entre cada una de las nubes de "puntos" definidas con anterioridad y



Fotografías n^{os} 1 y 2.- Embalse de El Vellón.



Fotografía n^o 3.- Lagunas en graveras del Jarama.

asignándoles una porción de "espacio", generado por cada una de las nubes de puntos, cuyo centroide define un "radio" función de las desviaciones típicas correspondientes.

Se definen así una serie de clases y a los pixeles pertenecientes a esas clases se le asigna un color. Como ya se ha indicado, estas clases no se han supervisado, es decir, no se han muestreado en campo para evaluar cuál pueda ser su significado. Estos colores son los que figuran en la fotografía número 2.

Las clases que se observan pueden ser debidas a factores contaminantes, a diferencias en la profundidad del fondo del vaso del embalse, etc.

* **Graveras del Jarama.** En la fotografía número 3 se presenta el resultado obtenido en las lagunas formadas por la extracción de áridos en el aluvial del Jarama. Ambas se sitúan en las proximidades de la desembocadura del Manzanares. Las bandas utilizadas son las que figuran en el siguiente cuadro:

LAGUNAS DEL JARAMA							
Fotografías	BANDAS TM						
	1	2	3	4	5	6	7
3	X	X	X	X	X[1]		X

[1] En la zona exterior a la laguna (tierra), se incluye solo esta banda.

El proceso seguido ha sido igual al indicado para la fotografía 2. Las diferencias producidas pueden deberse a posibles variaciones en la profundidad del fondo de las lagunillas, a diferencias de turbidez, del grado de

eutrofización, etc.

- * **Embalse de El Atazar.** El estudio realizado se ha llevado a cabo siguiendo el mismo proceso que en el de El Vellón. Las bandas utilizadas en cada fotografía se indican en el cuadro de la página siguiente.

En las fotografías números 4 y 5 se presentan, respectivamente, las bandas 1, 2 y 3 del TM y la 2, 3 y 4 del ATM que, sensiblemente, coinciden con el verde, azul y rojo del espectro visible. En la primera se observan algunas diferencias de tonalidad que son más acusadas en la mitad oriental del embalse. En la segunda, cuyas bandas están algo desplazadas hacia la derecha (mayor longitud de onda), prácticamente no se diferencia nada.

La fotografía nº 6 corresponde con las bandas 3, 4 y 5 del TM, que se sitúan en las longitudes de onda del rojo, infrarrojo próximo e infrarrojo medio. No se obtiene, tampoco ningún resultado, quizás una ligera anomalía en la parte central, en la margen sur del embalse, que corresponde con otra observada en la fotografía número 4.

Las fotografías nº 7 y 8 resultan de la superposición de las bandas 2 y 4 del TM y 11 del ATM y de las 3, 8 y 11 del ATM, es decir, ambas en longitudes de onda del azul, infrarrojo próximo e infrarrojo térmico. En ninguna de las dos fotografías se observan en el embalse diferencias a reseñar.

EMBALSE DE EL ATAZAR

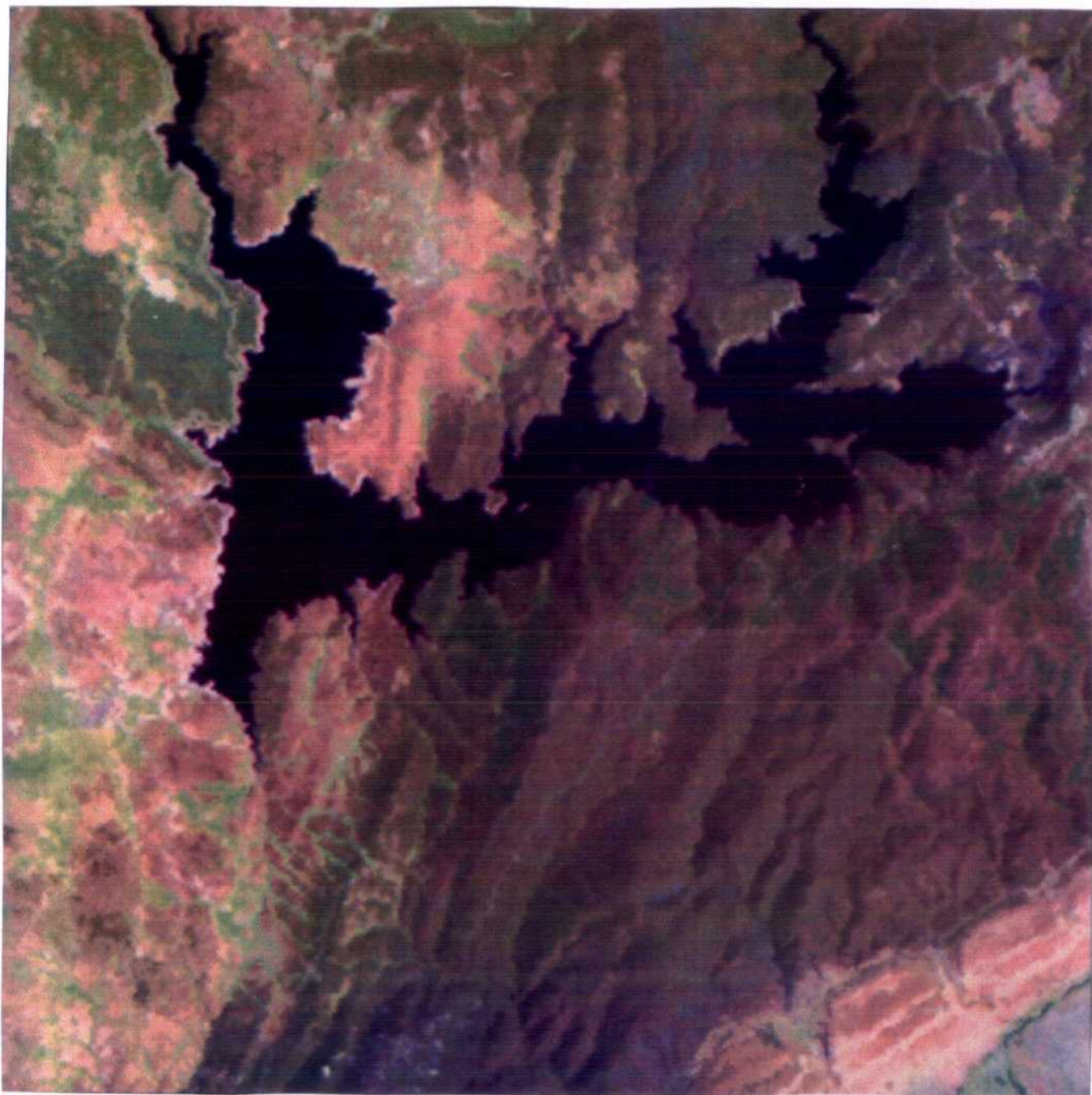


Fotografía nº 4.



Fotografía nº 5.

EMBALSE DE EL ATAZAR

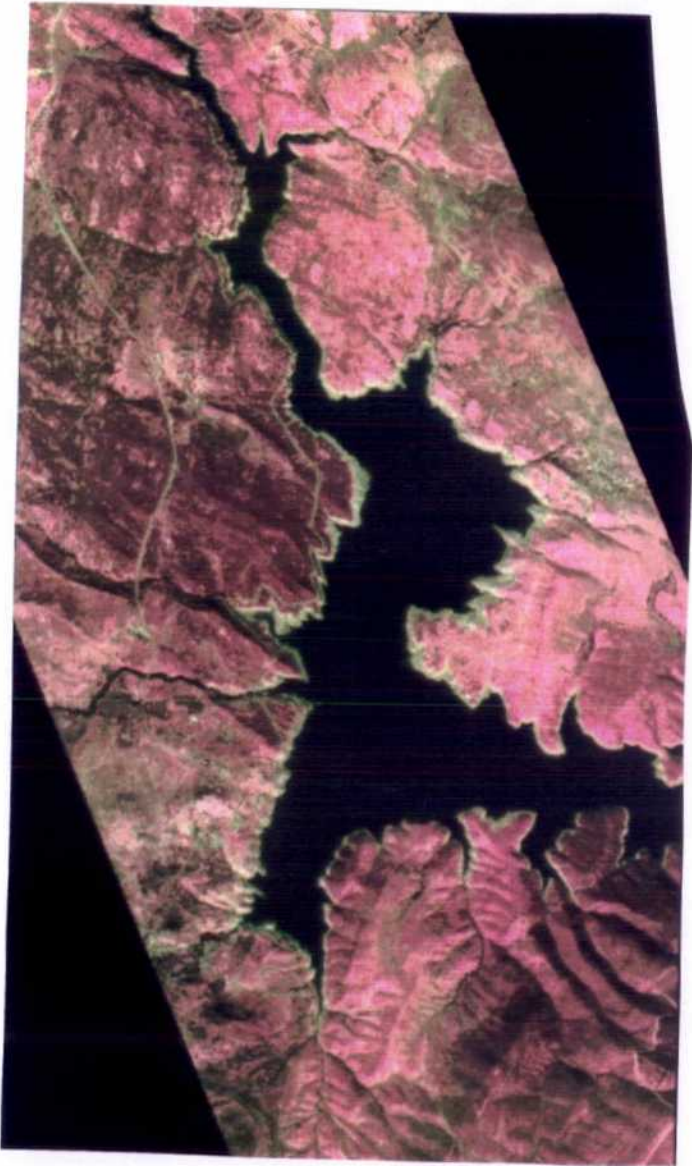


Fotografía nº 6.

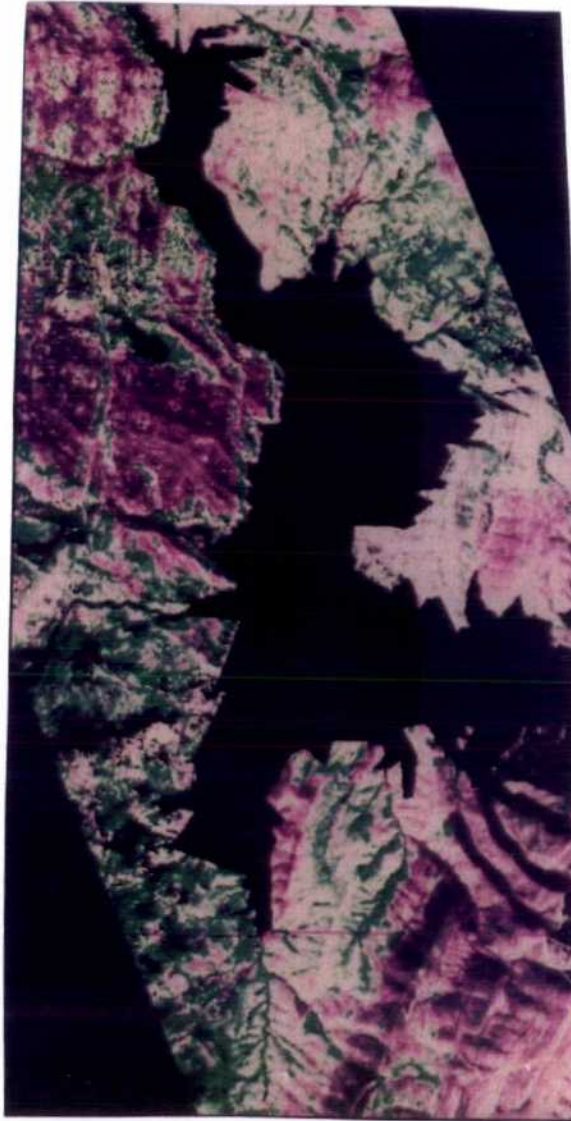


Fotografía nº 7.

EMBALSE DE EL ATAZAR



Fotografía nº 8.



Fotografía nº 9.



Fotografía nº 10.

EMBALSE DE EL ATAZAR																		
Fotografías	BANDAS ATM											BANDAS TM						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7
4												X	X	X				
5		X	X	X														
6														X	X	X		
7											X		X		X			
8			X					X			X							
9												X	X	X	X	X		X
10												X	X	X				
11			X		X		X				X							
12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X [1]							
13												X	X	X	X	X [1]		X

[1] En la zona exterior al embalse, en la tierra, se representa solamente esta banda.

En la fotografía nº 9 se ha llevado a cabo una combinación de intensidad, tono y saturación (I.H.S.) empleando bandas del satélite Landsat 5 (TM), sometidas a una transformación matemática conocida también como Martin-Taylor, se ha sustituido la intensidad (suma de bandas) por la banda 11 (térmica) del sensor ATM. No se aprecian diferenciaciones en el agua embalsada.

En la fotografía nº 10 se presenta un perfil extraído del embalse, por lo que se elimina el efecto debido a la mayor reflectancia de la tierra. Corresponde a las tres bandas visibles (1, 2 y 3 del ATM) y no se aprecia ninguna diferencia la lámina del agua.

La fotografía nº 11 corresponde también a un perfil extraído. Se trata de una imagen clasificada del embalse, obtenida con las bandas 3, 5, 7 y 11 del ATM. La banda 11 (térmica) se ha sustituido por la intensidad, se muestra el tono y la saturación. En el embalse se observan zonas con distintas tonalidades.

En la fotografía nº 12 el entorno del embalse refleja las distintas intensidades de cada pixel correspondiente a la banda 11. En el embalse propiamente dicho se ha hecho una clasificación no supervisada, empleando las once bandas de ATM. Se ha seguido la metodología indicada para la fotografía número 2 (El Vellón), aunque aquí el espacio es, lógicamente, de once dimensiones. Se observan claras diferencias que tienen formas de bandas paralelas a los límites del embalse.

Por último, en la fotografía número 13, el terreno corresponde a distintas intensidades de la banda 5 del TM y el embalse (mitad occidental) a las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 empleadas en un algoritmo de clasificación. La interpretabilidad de este producto es diferente a la del

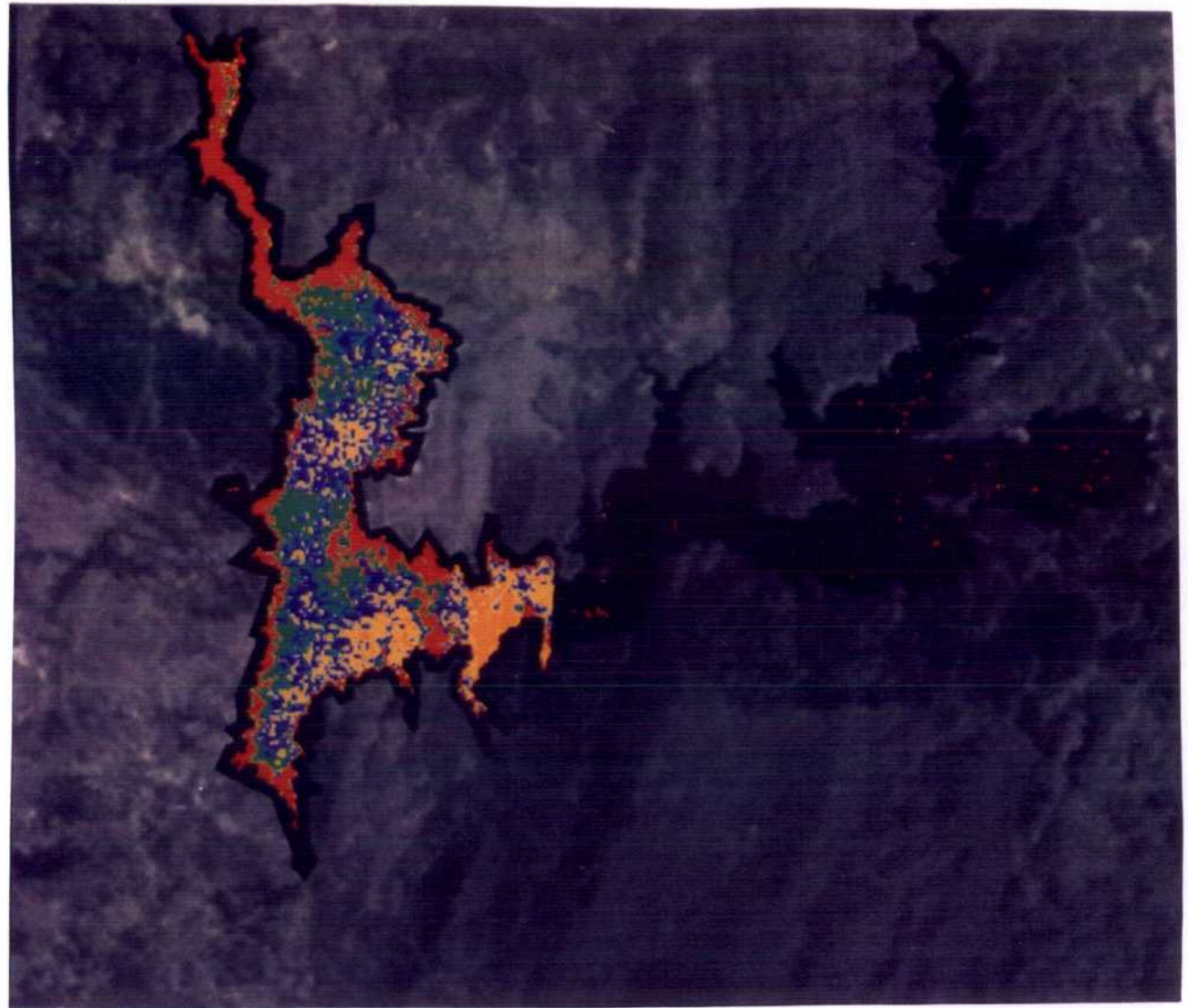


Fotografía nº 11.

EMBALSE DE EL ATAZAR



Fotografía nº 12.



Fotografía nº 13.

anterior. Como en aquél se observan clases diferentes, pero al no incluirse la banda térmica (la número 6), las diferencias no pueden ser debidas a diferencias de temperatura, lo que sí es posible en la fotografía nº 12.

9.4.1. Conclusiones

La teledetección se muestra como una técnica que permite detectar anomalías en el agua embalsada.

Estas anomalías resaltan más cuando la influencia del terreno aflorante se atenúa aplicando, por ejemplo, una sola banda, y en el agua se aplican varias bandas.

Se evidencia la conveniencia de analizar los resultados bien representado en bandas y en clases aplicando a técnicas de correlación. Para ello el trabajo debe completarse con la toma de datos en campo, llevados a cabo en la misma fecha que la toma de la imagen correspondiente. Se podrán, así, relacionar las diferencias obtenidas en el procesado de imágenes con los datos reales correspondientes a los píxeles muestreados y posteriormente extrapolar los resultados al conjunto de la zona estudiada.

10. MAPA DE CONDICIONANTES AL USO DEL SUELO Y DEL SUBSUELO.

Con el fin de dar una visión de conjunto del área estudiada, se ha representado, en un mapa a escala 1:200.000, el conjunto de ocupaciones actuales, rasgos geológicos, áreas de mayor peligrosidad, etc que, de un modo u otro condicionan zonas para usos futuros del suelo o del subsuelo.

De los mapas de usos del suelo se han tenido en cuenta los bosques, regadíos, cultivos permanentes (viñedos, olivares, frutales), canteras, zonas urbanas y embalses, es decir, aquellas áreas cuya ocupación conviene, en principio, mantener.

De los mapas de peligrosidad geológica, obtenidos a su vez de los geomorfológicos y de los de pendientes, se han extraído las zonas con mayor peligrosidad, bien debida a procesos geológicos o a la existencia de arcillas expansivas.

Por último, de los mapas de lineamientos se han considerado los de primer orden y las fallas cartografiadas.

En el mapa realizado pueden distinguirse tres grandes unidades geoambientales.

La primera incluye la zona de sierra, desde las calizas de Torrelaguna hacia el norte. Litológicamente está formada por rocas competentes. Predominan las áreas de vegetación natural. Los ríos presentan pendientes más acusadas que en las otras dos áreas, una jerarquización aceptable y una elevada regulación artificial que minimiza la peligrosidad natural debida a inundación por lluvias torrenciales, tanto de ésta zona como del resto del área estudiada.

Presenta precipitaciones medias superiores a 600 mm/año y máximas de 1.100 mm en las cumbres. Las temperaturas medias anuales son del orden de 8°C, siendo enero el mes más frío con medias inferiores a 0°C, y julio el más cálido con medidas en torno a los 18°C. La insolación es del orden de 2.200 horas/año.

Hidrogeológicamente los materiales de la zona pueden considerarse impermeables, a excepción de las calizas de Torrelaguna.

La segunda unidad geoambiental corresponde a la depresión del Tajo, salvo los páramos. Está formada por materiales detríticos (arcosas), que se localizan aproximadamente desde Madrid capital al norte y al oeste; y por materiales de precipitación química (margas, yesos) que predominan en el resto, es decir, al sur y este de Madrid. Abunda el uso agrícola y urbano del suelo, el primero localizado fundamentalmente en los valles de los ríos y el segundo en el entorno de Madrid. Los cursos de agua superficiales presentan una pendiente suave, cierta jerarquización y divisorias de cuenca muy suaves. La precipitación media anual es del orden de 500 mm, sin alcanzar los 400 en las vegas de Aranjuez. La temperatura media anual es de 14°C, siendo la media de los meses más fríos unos 5°C y las de julio algo más de 24°C. Las horas de sol son del orden de 2.800 al año.

Es la unidad de mayor interés hidrogeológico ya que las arcosas constituyen un acuífero de cierta importancia (sistema acuífero nº 14 del ITGE).

La tercera unidad es relativamente parecida a la anterior. Incluye las mesas de los páramos situadas al este de la comunidad. Litológicamente están formados por un nivel de calizas ligeramente deformadas y posteriormente erosionadas

hasta adquirir una morfología prácticamente horizontal. Debajo de las calizas, en los páramos situados al norte del Tajuña, aparece una potente formación arcillosa prácticamente impermeable, con algún nivel de arenas. Al sur del río predominan los yesos. Como usos de suelo a destacar cabe citar la agricultura y las canteras de calizas. Dada la extremada horizontalidad del terreno y la relativa permeabilidad de las calizas, no existen cursos superficiales de agua. La precipitación es prácticamente igual que en la unidad anterior y la temperatura ligeramente más fría. Las calizas de la zona estudiada constituyen un acuífero de interés local (sistema acuífero nº 15 del ITGE).

Los mayores espacios potencialmente utilizables se localizan en el Terciario detrítico. Son zonas llanas, en general bien comunicadas, con escasa vegetación arbórea y en la que la mayor limitación, para determinados usos, procede de la existencia de arcillas expansivas.

En los páramos y en el Terciario que se extiende hasta el Tajo, la mayor ocupación actual es de cultivos permanentes, en general viñedos, olivares y frutales. Es posible que algunas de estas ocupaciones no sean rentables, por lo que la extensión de las áreas que condicionan el uso futuro del suelo, pueden ser menores que las que se deducen de la observación del mapa.

Por último, en la sierra, la ocupación actual del suelo, es fundamentalmente de bosques. Existen numerosos embalses para el abastecimiento urbano, lo que a su vez condicionan el uso de su entorno inmediato ante el peligro que supondría cualquier vertido contaminante de las aguas.

Este sector constituye un área de recreo de los habitantes de la comunidad, por lo que cualquier uso potencial de suelo deberá ser compatible con esta actividad.

Los condicionantes al uso del subsuelo se han analizado, igualmente, en relación con las unidades geoambientales.

El área con menos condicionantes que limitan el uso se localizan en la sierra. En principio las zonas con mayores restricciones son las que presentan mas densidad de lineamientos y fallas.

En el Terciario, las arcosas y calizas constituyen acuíferos que limitan el uso del subsuelo para aquéllos fines que afectan a este recurso.

Por el contrario las formaciones yesíferas presentan una marcada favorabilidad para distintos usos del subsuelo.

11. RESUMEN Y CONCLUSIONES

1. El área estudiada se localiza en el extremo oriental de la comunidad de Madrid, entre los paralelos de Leganés y Alcalá de Henares. En el extremo septentrional se localiza la sierra formada por materiales mesozoicos y paleozoicos. El resto está ocupado por el Terciario que es fundamentalmente arcósico al norte y oeste de Madrid y arcilloso y químico en el resto.
2. Se incluye casi íntegramente en la cuenca hidrográfica del Jarama. Sólo el extremo meridional pertenece a la del Tajo. Los afluentes del Jarama localizados en la sierra, están muy regulados con embalses: El Atazar que tiene una capacidad de 426 hm³, Riosequillo de 49, Puente Viejas de 54 y El Villar de 23. Los cuatro están en el río Lozoya y tienen una capacidad conjunta de regulación de algo menos de 340 hm³/año. En el río Guadalix está el embalse de El Vellón. de 41 hm³ y que regula unos 30 hm³/año.
3. Hidrogeológicamente se incluyen: las calizas de Torrelaguna que forman parte del sistema acuífero nº 17, Reborde mesozoico de Guadarrama; el Terciario detrítico que se incluye en el sistema nº 14, Terciario detrítico de Madrid-Toledo-Cáceres, y los páramos que pertenecen al sistema nº 15, caliza del Páramo de La Alcarria.
4. Entre las técnicas empleadas para el estudio hay que señalar la teledetección.

Se han empleado imágenes procedentes del satélite SPOT y del Landsat. Del primero se dispuso de dos escenas en modalidad pancromática, con píxeles de 10 m de

resolución. Del Landsat se dispuso de las bandas 1 a 7, con pixeles de 30 m de resolución. Para obtener el mismo tamaño de pixel en los dos conjuntos de datos (SPOT y Landsat) se llevó a cabo una corrección geométrica de las imágenes SPOT. Para la clasificación de las imágenes se empleó el módulo de clasificación del programa ERDAS.

5. En estudios específicos se utilizaron, además, imágenes procedentes del sensor aerotransportado A.T.M. Daedalus 1268, que posee 12 canales que cubren prácticamente todo el espectro desde el visible al infrarrojo.
6. El estudio realizado de usos del suelo ha permitido definir cinco grandes grupos:
 - espacios urbanos, superficies artificiales,
 - zonas agrícolas,
 - áreas de vegetación natural,
 - embalses y
 - roquedo y suelos desnudos

que a su vez se han dividido en subgrupos, de forma que en total se han obtenido 19 clases diferentes.

En síntesis se tienen los siguientes resultados:

En el norte, en la sierra, predominan los usos extensivos, con pastizales, explotaciones ganaderas y superficies arboladas. Destaca la existencia de numerosos embalses.

En el Terciario se presentan cultivos extensivos de secano, salvo en las vegas de los ríos, en el Cuaternario, que son de regadío. En el este aparecen

numerosos núcleos de población.

- 7 El estudio geomorfológico ha evidenciado los principales rasgos claramente contrastados en las imágenes satélite. Se han definido claramente dos unidades: la Sierra y la Depresión, y dentro de esta última, los Páramos.

Entre los rasgos geomorfológicos cartografiados se han detectado los meandros abandonados, conos de deyección, glacis de erosión o acumulación, divisorias de agua, relieves monoclinales, líneas de capa, escarpes y superfisión de erosión.

- 8 El mapa de pendientes se ha realizado a partir de algoritmos que transforman las curvas de nivel digitalizadas en mapas de pendientes.

Las pendientes más acusadas se localizan en los bordes de los páramos, que son, prácticamente verticales y en La Cabrera. En el resto de la sierra son muy frecuentes las pendientes superiores al 40%. En el Terciario detrítico las pendientes son suaves. En el páramo y fondos de valle, el suelo será prácticamente horizontal.

9. El mapa de lineamientos se ha hecho a partir de los datos proporcionados por las imágenes satélite y la cartografía geológica. Se han representado los lineamientos de primer, segundo y tercer orden y las estructuras tectónicas conocidas. Se han incluido, además, los indicios minerales. Los mayores lineamientos se encuentran, como era de esperar, en el Paleozoico. En el Terciario resalta la influencia que ejercen en el trazado de los ríos.

10. El mapa de peligrosidad geológica se ha hecho a partir de las cartografías existentes, mapas de vegetación, de geomorfología, de pendientes, etc. Se han diferenciado cinco zonas con peligrosidad creciente en función de los procesos que incluye y cuatro zonas definidas también por peligrosidad creciente en función, exclusivamente, de la existencia de arcillas expansivas.

En la sierra y en el borde de los páramos abundan las zonas con peligrosidad debida a procesos y en el Terciario detrítico arcillosos, al sur de Madrid capital, domina la peligrosidad debida a la existencia de arcillas expansivas.

11. Como síntesis de las cartografías anteriores se ha confeccionado un mapa de condicionantes al uso del suelo y subsuelo y en el que se representan los principales rasgos u ocupaciones que, en principio, pueden limitar potenciales usos posteriores del medio.

En cuanto a la utilización del suelo, las mayores zonas exentas se localizan en el Terciario detrítico, mientras que para la utilización no hidrogeológica del subsuelo, las zonas de mayor interés se localizan en la sierra y bajo los páramos calizos.

Madrid, junio de 1.991

Por el ITGE

Por AURENSA

Angel García Cortés
Director del Proyecto

Luis López Vilchez
Responsable del Proyecto

12. AGRADECIMIENTOS

AURENSA agradece al Servicio Geográfico del Ejército las facilidades dadas para obtener las cintas magnéticas con la digitalización de las curvas de nivel del área estudiada y a D. Fernando Pérez Cerdán, Jefe del Sistema de Información Geográfica del ITGE por el procesado de las mismas, lo que ha permitido obtener los mapas de pendientes de este informe.

13. BIBLIOGRAFIA

CALVO, J.P.; HOYOS, M; MORALES, J y ORDOÑEZ, S. 1.990. Neogene stratigraphy, sedimentology and raw materials of the Madrid Basin *Paleot i Evol.*, Mem. Especial nº 2:61-95.

CAPOTE, R; VICENTE de, G y GONZALEZ, J.M. 1.990. Evolución de las deformaciones alpinas en el Sistema Central Español. (S.C.E.) *Geogaceta*, 7:20-22.

CONSEJERIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA. La Naturaleza de Madrid. Comunidad de Madrid.

FLETA, J; Del POTRO, R; QUEVEDO, B y PEREZ, P. 1.991. Teledetección, medio ambiente y nuevo ferrocarril. *Tecnoambiente*, 2: 73-85.

GALLEGO, E; ECHEGARAY, M; BASCONES, M y CABRA, P. 1.987. Realización de la síntesis geocientífica de la Comunidad Autónoma de Madrid. Metodología. III Reun. Nac. Geol. Amb. y Ord. Territ., Com. Vol II:1.301-1.320.

GOY, J.L.; PEREZ, A. y ZAZO, C. 1.989. Mapa Geológico de España E 1:50.000. Cartografía y Memoria del Cuaternario y Geomorfología de la Hoja 559/19-22 (Madrid). *Serv. Publ. Ministerio de Industria*.

I.G.M.E. 1.987. Atlas Geocientífico de la Comunidad de Madrid. *Serv. Publ. Ministerio de Industria*.

I.G.M.E. 1.975. Mapa Geológico de España E 1:50.000 de la Hoja 583/20-23 (Arganda) *Serv. Publ. Ministerio de Industria*.

I.G.M.E. 1.975. Mapa Geológico de España E 1:50.000 de la Hoja 582/19-23 (Getafe). *Serv. Publ. Ministerio de Industria*.

I.G.M.E. 1.989. Mapa Geológico de España E 1:50.000 de la Hoja 559/19-22 (Madrid). *Serv. Publ. Ministerio de Industria.*

LOPEZ GONZALEZ, G. Guía de Incafo de los árboles y arbustos de la Península Ibérica. *Jardín Botánico. C.S.I.C.*

LOPEZ LILLO, A. Árboles de Madrid. *Consejería de Agricultura y Ganadería. Comunidad de Madrid.*

ORIVE, L.A. y otros. Mapa E 1:200.000 Formaciones vegetales y usos actuales del suelo de Madrid. *Comunidad de Madrid.*

PEREZ, A; CABRA, P y ANCOCHEA, E. 1.989. Depresión del Tajo. En *Mapa del Cuaternario de España E 1:1.000.000. ITGE.*, pp. 175-186.

POTRO del, R y PAYAS, A. 1.990. Recherche pétrolière dans les Pyrénées Orientales Espagnoles. Etude des linéaments à l'aide d'une image SPOT. *Nouvelles de Spot*, n° 13: 24-25.

ROQUERO, E; GOY, J.L. y ZAZO, C. 1.990. Relación geomorfológica-suelos en los depósitos cuaternarios y Plio-Cuaternarios de la submeseta meridional. Sector Aranjuez-Añover de Tajo (España). *I Reun. Nac. Geomorfología*, pp. 721-732, Teruel.

STRASBURGER. *Tratado de Botánica.*

VEGAS, R; VAZQUEZ, T y MARCOS, A. 1.986. Tectónica y morfogénesis en el Sistema Central español: modelado de deformación intracontinental distribuida. *Geogaceta*, 1: 24-25.

VICENTE de, G.; CALVO, J.P. y ALONS, A.M. 1.990. Main sedimentary units and related strain fields on the Madrid Basin (Central Spain) during the Neogene. *IX R.C.M.N.S. Congress*, pp. 121-122. Barcelona.

WARBURTON, J y ALVAREZ, C. 1.989. A thruts tectonic interpretation of the Guadarrama Mountains. Spanish Central System. *AGGEP ed.*, Libro Homenaje a R. Soler, pp. 147-155.