



T
1.026

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA**



**CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS
E HIDROGEOLÓGICOS PARA EL
EMPLAZAMIENTO DE VERTEDEROS DE
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS A ESCALA
REGIONAL**

Tesis Doctoral

**Ana Jacqueline Pividal Escriche
1999**

**Director:
Juan de Dios Centeno Carrillo**



R. 11.444

T
1.026

Esta Memoria es presentada por Ana Jacqueline Pividal Escriche para optar al grado de doctor en Ciencias Geológicas. Ha sido realizada bajo la dirección del Dr. Juan de Dios Centeno Carrillo, en el Departamento de Geodinámica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid.

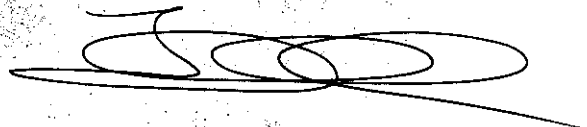
Madrid, 1999

La Doctoranda,



na J. Pividal Escriche

El Director de la Tesis,



Juan de Dios Centeno Carrillo

AGRADECIMIENTOS

En el transcurso de este trabajo quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a :

- Juan Centeno, mi Director de Tesis y amigo. Su contribución durante estos años puede resumirse en una frase: "hacer posible lo que a menudo era imposible". Especialmente quiero agradecerle su constante optimismo y su peculiar forma de transmitírnoslo. De todas las cosas que me ha enseñado quisiera que ésta constituyera un principio ineludible en mi vida.
- Una parte importante de este trabajo se ha realizado dentro del proyecto financiado por la Universidad Complutense de Madrid, Proyecto PRE 161/93-4769. En él han colaborado Fermín Villarroya y Javier Temiño, a los que agradezco enormemente su especial dedicación y todo lo que me han enseñado en hidrogeología y método de trabajo. También a Mayte Gómez con quien he trabajado con enorme comodidad.
- A mis compañeras y amigas María Otero y M^a Jesús Fraile por estar siempre ahí y por concederme esos agradables ratos de "desconexión". En especial han contribuido a que sea más rigurosa conmigo misma y a tabajar con orden y limpieza.
- A mis profesores y compañeros de Departamento por escuchar mis quejas y lamentos y animarme durante el desarrollo de esta Tesis. A Pedro Emilio Martínez Alfaro por contribuir a mis formación como Especialista en Hidrogeología y confiar en mi para realizar mi primer trabajo en geología.
- A Miguel Angel Sanz y a Nuria por hacer que la informática, la Tesis y yo fuéramos compatibles.
- A Agustín Blanco por su inestimable trabajo de delineación. Al personal de la biblioteca de la Facultad de Ciencias Geológicas por ayudarme a conseguir en todo momento la información que he precisado. A Lidia Bartolomé, por mantenerme informada de los plazos y entregas burocráticos.
- A mis padres, Paco y Amelia, por absolutamente todo. Quisiera agradecerles de forma especial que no hayan insistido en que finalizara esta Tesis cuando por circunstancias no he podido trabajar en ella de forma continuada y ya veían perdidas sus esperanzas.
- Una parte importante de "ánimo" en la continuación de este trabajo se lo debo a mis suegros y cuñados, cuya pérdida de Fe en algunos momentos ha contribuido a que resurgiera en mí un mayor esfuerzo. Entre todos ellos mi especial agradecimiento a Manuel García, patriarca de esa estupenda familia, y a Mayte, escéptica número uno.
- A mis amigos, por ser la "chispa de mi vida" y por interesarse en el día a día del transcurso de los acontecimientos.
- A mis hijos, Lucas y Elda, por ser tan buenos y permitirme tener ese tiempo que he necesitado para concluir este trabajo.
- A Manuel García, (Mano) mi marido, por su valiosísima ayuda en el trabajo de campo y gabinete, por aportarme sus conocimientos hidrogeológicos, por ser tan práctico y positivo, y sobre todo por entender, sufrir y compartir -por partida doble- los esfuerzos y dedicación que requieren las Tesis Doctorales.

ÍNDICE

Capítulo I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Capítulo II: PLAN DE TRABAJO

Capítulo III: ANTECEDENTES

3.1. PARÁMETROS UTILIZADOS EN LA SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS

3.1.1. Parámetros del medio físico

3.1.2. Otros parámetros del medio físico

3.1.3. Aspectos infraestructurales y sociales

3.1.4. Directiva 97/156/CEE relativa al vertido de residuos

3.2. MÉTODOS DE SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS

3.3. CLASIFICACIÓN DEL RELIEVE

Capítulo IV: ZONA DE ESTUDIO

4.1. GENERALIDADES

4.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

4.2.1. El Sistema Central

4.2.2. La cuenca terciaria del Tajo

4.3. CLIMATOLOGÍA

4.4. FORMACIONES VEGETALES

4.5. HIDROGEOLOGÍA

Capítulo V: PROPUESTA DE MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO PARA LA INSTALACIÓN DE V.R.S.U.: MÉTODO DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (U.GMF)

5.1. PLANTEAMIENTO

5.2. PARÁMETROS

5.2.1. Elección y valoración de los parámetros empleados y de sus clases

5.2.2. Parámetros utilizados en el paisaje

5.2.3. Parámetros utilizados en la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas superficiales

5.2.4. Parámetros utilizados en la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas

5.2.5. Obtención de los valores de vulnerabilidad

Parte I: Propuesta de método de ubicación de V.R.S.U.

5.3. MÉTODO DE EVALUACIÓN PAISAJÍSTICA

5.4. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

5.4.1. Generalidades

5.4.2. Cálculo de la escorrentía

5.4.3. Cálculo del drenaje a cauces permanentes

5.4.4. Cálculo del uso potencial de los cauces permanentes

5.5. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

5.5.1. Cálculo de la infiltración

5.5.2. *Cálculo de la capacidad de autodepuración de la zona no saturada*

5.5.3. *Cálculo del uso potencial del agua subterránea*

Parte II: Aplicación del método de las U.GMF

5.6. UNIDADES DE TRABAJO

5.7. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

5.8. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL PAISAJE A LAS U.GMF

5.8.1. *Toma de datos*

5.8.2. *Aplicación del método de vulnerabilidad del paisaje a las porciones de U.GMF*

5.8.3. *Síntesis de los resultados por parámetros en las distintas U.GMF*

5.8.4. *Vulnerabilidad del paisaje para la ubicación de V.R.S.U. Conclusión*

5.9. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES A LAS U.GMF

5.9.1. *Toma de datos*

5.9.2. *Aplicación del método de vulnerabilidad de las aguas superficiales a las porciones de U.GMF*

5.9.3. *Síntesis de los resultados por parámetros en las distintas U.GMF*

5.9.3.1. *Escorrentía superficial*

5.9.3.2. *Drenaje a cauces*

5.9.3.3. *Uso potencial*

5.9.4. *Vulnerabilidad de las aguas superficiales para la ubicación de V.R.S.U. Conclusión*

5.10. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS A LAS U.GMF

5.10.1. *Toma de datos*

5.10.2. *Aplicación del método de vulnerabilidad de las aguas subterráneas a las porciones de U.GMF*

5.10.3. *Síntesis de los resultados por parámetros en las distintas U.GMF*

5.10.3.1. *Infiltración*

5.10.3.2. *Zona no saturada*

5.10.3.3. *Uso potencial*

5.10.4. *Vulnerabilidad de las aguas subterráneas para la ubicación de V.R.S.U. Conclusión*

Parte III: Conclusiones sobre el método de las U.GMF

5.11. CONCLUSIONES

5.11.1. *Conclusiones sobre el método de planificación mediante U.GMF*

5.11.2. *Carácter predictivo de la U.GMF*

Capítulo VI: MÉTODO DE REFERENCIA: MÉTODO DE SUPERPOSICIÓN CARTOGRÁFICA

6.1. INTRODUCCIÓN

6.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE SUPERPOSICIÓN CARTOGRÁFICA

6.2.1. *Generalidades*

6.2.2. *Fases en la subdivisión de los mapas*

6.3. VULNERABILIDAD DEL PAISAJE

6.3.1. *Mapas informativos*

6.3.2. *Mapa de síntesis de información*

6.3.3. *Mapa de diagnóstico de la vulnerabilidad del paisaje*

6.4. VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

- 6.4.1. *Mapas informativos*
- 6.4.2. *Mapa de síntesis de información*
- 6.4.3. *Mapa de diagnóstico de la vulnerabilidad de las aguas superficiales*
- 6.5. VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
 - 6.5.1. *Mapas informativos*
 - 6.5.2. *Mapa de síntesis de información*
 - 6.5.3. *Mapa de diagnóstico de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas*
- 6.6. VULNERABILIDAD DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO
 - 6.6.1. *Introducción*
 - 6.6.2. *Mapas informativos*
 - 6.6.3. *Mapa de síntesis de información*
 - 6.6.4. *Mapa de diagnóstico socioeconómico*
- 6.7. CONCLUSIONES SOBRE EL SISTEMA DE SUPERPOSICIÓN CARTOGRÁFICA
- 6.8. COMPARACIÓN DEL MÉTODO DE SUPERPOSICIÓN CARTOGRÁFICA CON EL MÉTODO DE LAS U.GMF

Capítulo VII: MÉTODO MIXTO: APLICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MÉTODO DE SUPERPOSICIÓN A LAS U.GMF

- 7.1. INTRODUCCIÓN
- 7.2. ELABORACIÓN DEL MÉTODO MIXTO
- 7.3. COMPARACIÓN DEL MÉTODO MIXTO CON EL MÉTODO DE LAS U.GMF
- 7.4. CONCLUSIONES

Capítulo VIII: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LAS U.GMF A LOS ESCENARIOS GEOMORFOLÓGICOS

- 8.1. INTRODUCCIÓN
- 8.2. OBJETIVOS DEL EMPLEO DE ESCENARIOS
- 8.3. FICHAS DE ESCENARIOS
- 8.4. VARIABILIDAD DE ESCENARIOS: FICHAS E INTERRELACIONES ENTRE CRITERIOS DE EMPLAZAMIENTO DE V.R.S.U. Y ESCENARIO PREDEFINIDOS
- 8.5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE VERTEDEROS REALES Y RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO DE PLANIFICACIÓN
 - 8.5.1. *Vertedero de residuos sólidos de Lobocojo (Collado-Villalba)*
 - 8.5.2. *Vertedero de residuos de Colmenar Viejo*
 - 8.5.3. *Vertedero de residuos sólidos urbanos de Alcalá de Henares*
 - 8.5.4. *Vertedero de residuos sólidos de Torrejón de Ardoz*
 - 8.5.5. *Vertedero de residuos sólidos de Autocampo (Rivas-Vaciamadrid)*
 - 8.5.6. *Vertedero de residuos sólidos de Pinto*
- 8.6. CONCLUSIONES

Capítulo IX: RESUMEN Y CONCLUSIONES

- 9.1. RESUMEN
- 9.2. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

ANEJOS

Anejo I: Los residuos sólidos urbanos

Anejo II: Encuestas

Anejo III: Balances hídricos

Anejo IV: Índice ISQA

CARTOGRAFÍA

Mapas A1 y A2: Vulnerabilidad del paisaje para acoger vertederos de R.S.U. en el área de la sierra y cuenca respectivamente.

Mapas B1 y B2: Vulnerabilidad de las aguas superficiales para acoger vertederos de R.S.U. en el área de la sierra y cuenca respectivamente.

Mapas C1 y C2: Vulnerabilidad de las aguas subterráneas para acoger vertederos de R.S.U. en el área de la sierra y cuenca respectivamente.

Abreviaturas empleadas

V.R.S. U. Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos

U.GMF Unidad Geomorfológica

Z.N.S. Zona No Saturada

Z.S. Zona Saturada

ETP Evapotranspiración potencial

ETR Evapotranspiración real

EXC. Excedentes

E.S. Escorrentía Superficial

I Infiltración

Ie Índice de escorrentía

CAM Comunidad Autónoma de Madrid

ISQA Índice Simplificado de Calidad del Agua

Id Índice de dispersión

ICG Índice de Calidad General

ID Índice de Drenaje

Pm Precipitación media

Q Caudal

k Permeabilidad

m Pendiente

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Parámetros más utilizados en la selección de emplazamientos de residuos.

Tabla 3.2. Parámetros utilizados por el método DRASTIC (Aller et al., 1987).

Tabla 3.3. Categorías fisiográficas según Godfrey(1977), (en Pedraza, ed.; 1982).

Tabla 3.4. Clasificación fisiográfica del relieve según Gallardo y Pérez González (1978).

Tabla 3.5. Clasificación del relieve según Pedraza et al. (1986).

Tabla 3.6. Unidades geomorfológicas definidas por Pedraza (1978).

Tabla 4.1. Acuíferos definidos en Madrid, según ITGE(1991); CAM(1985) y González Yélamos(1991).

Tabla 5.1. Pesos para la valoración del paisaje.

Tabla 5.2. Intervalos de vulnerabilidad del paisaje.

Tabla 5.3. Obtención del valor de visibilidad.

Tabla 5.4. Pesos para la valoración de las aguas superficiales..

Tabla 5.5. Intervalos de vulnerabilidad de las aguas superficiales.

Tabla 5.6. Permeabilidades en materiales detríticos sedimentarios.

Tabla 5.7. Permeabilidades en materiales ígneos o metamórficos.

Tabla 5.8. Permeabilidades de rocas consolidadas.

Tabla 5.9. Intervalos de pendientes.

Tabla 5.10. Proporción de escorrentía.

Tabla 5.11. Valoración de la escorrentía superficial.

Tabla 5.12. Densidad de drenaje.

Tabla 5.13. Distancia a cauces.

Tabla 5.14. Obtención del valor del índice de drenaje.

Tabla 5.15. Valoración del drenaje a masas de agua permanente.

Tabla 5.16. Calidad del agua superficial.

Tabla 5.17. Pesos para la valoración de las aguas subterráneas.

Tabla 5.18. Vulnerabilidad de las aguas subterráneas.

Tabla 5.19. Proporción de escorrentía.

Tabla 5.20. Valoración de la escorrentía subterránea.

Tabla 5.21. Impacto por degradación del lixiviado en la zona no saturada y uso potencial en el macizo.

Tabla 5.22. Obtención del impacto parcial del interés del agua subterránea.

Tabla 5.23. Resumen de los parámetros y sus clases que intervienen en el método de las U.GMF propuesto.

Tabla 5.24. Unidades geomorfológicas empleadas para el área de la cuenca.

Tabla 5.25. Unidades geomorfológicas empleadas para el área de la sierra.

Tabla 5.26. Resumen de los usos del suelo principales de las unidades geomorfológicas tipo.

Tabla 5.27. Resumen de las condiciones generales de "presencia de agua" en las unidades geomorfológicas tipo.

Tabla 5.28. Resumen del tipo de relieve más frecuente en cada unidad geomorfológica tipo.

Tabla 5.29. Resumen de las condiciones generales de visibilidad de las unidades geomorfológicas.

Tabla 5.30. Intervalos de puntuación de la vulnerabilidad del paisaje por unidades geomorfológicas.

Tabla 5.31. Síntesis de los balances hídricos realizados.

Tabla 5.32. Principales características químicas de los ríos considerados.

Tabla 5.33. Caudales medios de los ríos permanentes considerados.

Tabla 5.34. Resumen de los parámetros de escorrentía para las unidades geomorfológicas.

Tabla 5.35. Impactos por escorrentía superficial en las unidades geomorfológicas tipo.

Tabla 5.36. Resumen de la densidad de drenaje por unidades geomorfológicas tipo.

- Tabla 5.37. Resumen del impacto por drenaje en las unidades geomorfológicas tipo.*
- Tabla 5.38. Valores de los parámetros de uso potencial en las aguas superficiales.*
- Tabla 5.39. Impacto de las aguas superficiales por unidades geomorfológicas tipo.*
- Tabla 5.40. Impactos parciales por infiltración.*
- Tabla 5.41. Resumen de los parámetros de la zona no saturada para las unidades geomorfológicas tipo.*
- Tabla 5.42. Impacto parcial por degradación en la zona no saturada.*
- Tabla 5.43. Resumen de los parámetros del uso potencial para las unidades geomorfológicas tipo.*
- Tabla 5.44. Impacto parcial por uso potencial del agua subterránea.*
- Tabla 5.45. Resumen de las características hidrológicas en las distintas unidades litoestratigráficas consideradas.*
- Tabla 5.46. Impacto total de las aguas subterráneas en las unidades geomorfológicas tipo.*
-
- Tabla 6.1. Cuadro de valoración de la calidad del paisaje.*
- Tabla 6.2. Cuadro de valoración de la fragilidad del paisaje.*
- Tabla 6.3. Datos considerados para la obtención del mapa informativo de lluvia útil.*
- Tabla 6.4. Indicadores de los distintos usos del agua de los ríos.*
- Tabla 6.5. a y b. Cuadro de valoración de la escorrentía superficial. a) cuenca, b) sierra.*
- Tabla 6.6. Cuadro de valoración de la afección por concentración del contaminante.*
- Tabla 6.7. Cuadro de valoración del interés potencial del agua superficial.*
- Tabla 6.8. a y b. Cuadro de valoración de la infiltración. a) cuenca, b) sierra.*
- Tabla 6.9. a y b. Cuadro de valoración de la depuración del contaminante. a) cuenca, b) sierra.*
- Tabla 6.10. a y b. Cuadro de valoración del uso potencial. a) cuenca, b) sierra.*
- Tabla 6.11. Incidencias que ocasionan los V.R.S.U.*
- Tabla 6.12. Información referente a los vientos de Madrid.*
- Tabla 6.13. Cuadro de valoración de los riesgos geológicos.*
- Tabla 6.14. Cuadro de valoración de la productividad del suelo.*
-
- Tabla 7.1. Resultados de vulnerabilidad del paisaje por el método de las U.GMF y el método Mixto.*
- Tabla 7.2. Resultados de vulnerabilidad de las aguas superficiales por el método de las U.GMF y el método Mixto.*
- Tabla 7.3. Resultados de vulnerabilidad de las aguas subterráneas por el método de las U.GMF y el método Mixto.*
-
- Tabla 8.1. Mejores condiciones teóricas para ubicar V.R.S.U.*
- Tabla 8.2. Peores condiciones teóricas para ubicar V.R.S.U.*
- Tabla 8.3. Características de los vertederos comparados.*
- Tabla 8.4. Valores de los elementos del vertedero de Lobocojo (Collado-Villalba)*
- Tabla 8.5. Valores de los elementos del vertedero de Colmenar Viejo.*
- Tabla 8.6. Recopilación de valores químicos según Adarve (1993) para el vertedero de Colmenar Viejo.*
- Tabla 8.7. Valores de los elementos del vertedero de Alcalá de Henares.*
- Tabla 8.8. Recopilación de valores químicos según varios autores para el vertedero de Alcalá de Henares.*
- Tabla 8.9. Valores de los elementos del vertedero de Torrejón de Ardoz.*
- Tabla 8.10. Recopilación de valores químicos según varios autores para el vertedero de Torrejón de Ardoz.*
- Tabla 8.11. Valores de los elementos del vertedero de Autocampo (Rivas Vaciamadrid).*
- Tabla 8.12. Valores de los elementos del vertedero de Pinto.*
- Tabla 8.13. Recopilación de valores químicos según Dorransoro et al. (1996), para el vertedero de Pinto.*

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mancomunidades y unidades de tratamiento de residuos existente en la Comunidad de Madrid.

Figura 1.2. Localización de los principales puntos de vertido.

Figura 2.1. Fases del estudio.

Figura 3.1. Ejemplo de unidades de trabajo empleadas en el método DRASTIC.Land System tipo.

Figura 3.2. Posiciones posibles de un vertedero en el relieve (Sendlein y Palmquist, 1975).

Figura 3.3. Sistema empírico para establecer la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación. (Foster, 1987).

Figura 4.1. a y b. Zonas de estudio: a) área de la sierra, b) área de cuenca.

Figura 4.2. Principales fases evolutivas del relieve. Esquema aproximado entre el Sistema Central y los Montes de Toledo (Según Pedraza, 1978)

Figura 4.3. Modelo de evolución de superficies en el Sistema Central en relación con los sedimentos correlativos y la actividad tectónica (según Garzón, 1980).

Figura 4.4. Facies terciarias de la cuenca de Madrid definidas por Lopez Vera (1975).

Figura 4.5. Estratigrafía del Neógeno de la cuenca de Madrid por Calvo et al. (1992).

Figura 4.6. Unidades litoestratigráficas definidas en la fase Arcósica.

Figura 4.7. Distribución de las temperaturas en la CAM.

Figura 4.8. Distribución de las precipitaciones en la CAM.

Figura 4.9. Principales formaciones vegetales en función de la cota topográfica. (Elaborado a partir de Rivas, 1982, 1987 y Orive et al, 1985).

Figura 5.1. Parámetros y clases empleadas para evaluar la vulnerabilidad del paisaje.

Figura 5.2. Obtención gráfica del índice de escorrentía a partir de la pendiente y la permeabilidad.

Figura 5.3. Obtención gráfica del índice de drenaje.

Figura 5.4. Obtención del uso potencial del agua superficial.

Figura 5.5. Obtención del impacto parcial de la capacidad de autodepuración en la zona no saturada.

Figura 5.6. Situaciones del interés potencial de acuíferos en relación con la zona no saturada en áreas de materiales ígneos y metamórficos.

Figura 5.7. Obtención del interés potencial del acuífero a partir de la permeabilidad y espesor saturado.

Figura 5.8. Comportamiento de un efluente en el acuífero.

Figura 5.9. a y b. Unidades geomorfológicas consideradas a) en el área de la sierra, b) en el área de la cuenca.

Figura 5.10. a y b. Estaciones meteorológicas consideradas a) en el área de la cuenca, b) en el área de la sierra.

Figura 5.11. Relación entre precipitación y excedentes.

Figura 5.12. Relación entre precipitación y altitud.

Figura 5.13. a y b. Mapa de límites de divisorias para los principales ríos a) en el área de la cuenca, b) en el área de la sierra.

Figura 5.14. a y b. Estaciones de aforo utilizadas a) en el área de la cuenca, b) en el área de la sierra.

Figura 5.15. Calidad del agua de los ríos principales. a) cuenca, b) sierra.

Figura 5.16. Mapa de unidades litológicas y acuíferas (ITGE, 1991).

Figura 5.17. Perfil tipo del tramo Arganda-Anchuelo.

Figura 5.18. Perfil tipo del páramo de Arganda norte.

- Figura 6.1. Procedimiento de agrupación de la información utilizada en el método de superposición.
- Figura 6.2. Bloques temáticos utilizados en el método de superposición cartográfica.
- Figura 6.3. Ejemplo de tabla de puntuación de mapas de síntesis de información.
- Figura 6.4. Filosofía en el procedimiento de puntuación.
- Figura 6.5. a y b. Mapas informativos de la calidad paisajística de la vegetación. a) sierras, b) cuenca.
- Figura 6.6. a y b. Mapas informativos de la visibilidad del paisaje. a) sierras, b) cuenca.
- Figura 6.7. a y b. Mapas informativos de la densidad de población. a) sierras, b) cuenca.
- Figura 6.8. a y b. Mapas informativos de la fragilidad de la vegetación. a) sierras, b) cuenca.
- Figura 6.9. a y b. Mapas informativos del riesgo de incendio. a) sierras, b) cuenca.
- Figura 6.10. a y b. Mapas informativos de la accesibilidad del paisaje. a) sierras, b) cuenca.
- Figura 6.11. a y b. Mapas de síntesis de calidad del paisaje. a) sierras, b) cuenca.
- Figura 6.12. a y b. Mapas de síntesis de fragilidad del paisaje. a) sierras, b) cuenca.
- Figura 6.13. a y b. Mapa de diagnóstico de la vulnerabilidad del paisaje. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.14. a y b. Mapas informativos de pendientes del terreno. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.15. a y b. Mapas informativos de permeabilidad. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.16. a y b. Mapa informativo de lluvia útil. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.17. a y b. Mapa informativo de distancia a cauces. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.18. a y b. Mapa informativo de capacidad de dilución de ríos. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.19. a y b. Mapa informativo de caudales medios. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.20. a, b y c. Usos potenciales de los principales ríos del área de la cuenca. a) antes del PIAM,(1986); b) después del PIAM,(1986), c) según características químicas a partir de datos del MOPT.
- Figura 6.21. a y b. Mapa de síntesis de la escorrentía superficial. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.22. a y b. Mapa de síntesis de la concentración del contaminante. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.23. a y b. Mapa de síntesis del interés potencial del agua superficial. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.24. a y b. Mapa de diagnóstico de la vulnerabilidad a las aguas superficiales a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.25. a y b. Mapa informativo de profundidad del nivel freático. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.26. a y b. Mapa informativo de capacidad depuradora del sustrato. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.27. a y b. Mapa informativo de volumen de extracción potencial. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.28 a y b. Mapa informativo de calidad de las aguas subterráneas. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.29. a y b. Mapa de síntesis de infiltración. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.30. a y b. Mapa de síntesis de pervivencia del contaminante. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.31. a y b. Mapa de síntesis del interés potencial del agua subterránea. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.32. a y b. Mapa de diagnóstico de la vulnerabilidad del agua subterránea. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.33. a y b. Mapa informativo de densidad de población. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.34. Direcciones preferentes de los vientos en algunas estaciones meteorológicas.
- Figura 6.35. a y b. Mapa informativo de la dirección de los vientos. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.36. Mapa informativo de deslizamiento y hundimiento en la cuenca.
- Figura 6.37. a y b. Mapa informativo de erosión. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.38. Mapa informativo de inundabilidad en la cuenca.
- Figura 6.39. a y b. Mapa informativo de productividad agrícola y forestal. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.40. a y b. Mapa informativo de rocas industriales. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.41. a y b. Mapa informativo de productividad del suelo urbano. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.42. a y b. Mapa informativo de productividad actual del suelo. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.43. a y b. Mapa informativo de productividad potencial del suelo. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.44. Representación de las zonas de protección alrededor de una población.
- Figura 6.45. a y b. Mapa de síntesis de afección a la población. a) sierra, b) cuenca.
- Figura 6.46. a y b. Mapa de síntesis de riesgos geológicos. a) sierra, b) cuenca.

Figura 6.47. Proceso de integración de los mapas informativos en la obtención del mapa de síntesis de productividad del suelo.

Figura 6.48. a y b. Mapa de síntesis de productividad del suelo. a) sierra, b) cuenca.

Figura 6.49. a y b. Mapa de diagnóstico socio-económico. a) sierra, b) cuenca.

Figura 7.1. Obtención del método Mixto.

Figura 7.2. Representación de la vulnerabilidad por porciones. Paisaje sierra.

Figura 7.3. Representación de la vulnerabilidad por porciones. Paisaje cuenca.

Figura 7.4. Representación de la vulnerabilidad por porciones. Aguas superficiales sierra.

Figura 7.5. Representación de la vulnerabilidad por porciones. Aguas superficiales cuenca.

Figura 7.6. Representación de la vulnerabilidad por porciones. Aguas subterráneas sierra.

Figura 7.7. Representación de la vulnerabilidad por porciones. Aguas subterráneas cuenca.

Figura 8.1. Ficha modelo de presentación de los escenarios.

Figura 8.2. a y b. Mapas de localización de las mejores y peores situaciones para ubicar V.R.S.U.

Figura 8.3. Escarpe del río Jarama a su paso por Titulcia.

Figura 8.4. Valle suave de acumulación en arroyo Górrquez.

Figura 8.5. Actual V.R.S.U. de Alcalá de Henares localizado en vertiente glacis en facies detríticas.

Figura 8.6. Vertedero clausurado en las proximidades de la población de Orusco. Se localiza en relieves disectados en el páramo.

Figura 8.7. Vertederos clausurados en Guadarrama situados en laderas del puerto de Los Leones.

Figura 8.8. Vertedero controlado actual de Colmenar viejo sobre superficie de arrasamiento s.s.

Figura 8.9. Vertedero clausurado de Lobocojo (Collado-Villalba)

Figura 8.10. Vertedero clausurado de Colmenar Viejo.

Figura 8.11. Vertedero clausurado de Alcalá de Henares.

Figura 8.12. Vertedero clausurado de Torrejón de Ardoz.

Figura 8.13. Lixiviados producidos por los vertederos de Autocampo (Rivas-Vaciamadrid).

Figura 8.14. Vertedero activo de Pinto.

Figura 9.1. Esquema básico de trabajo.

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las últimas décadas de progreso económico y crecimiento de la población mundial han acabado por suponer un impacto creciente y probablemente insostenible sobre el medio ambiente general. Problemas como el efecto invernadero consecuente de la emisión de gases y la deforestación, la reducción de la variabilidad genética de muchas especies, la destrucción del suelo como medio y el agua dulce como recurso, son claras evidencias del deterioro y desequilibrio entre los sistemas ambientales y los sistemas humanos (ONU, 1972; Herrero, 1994; Toharia, 1996).

La Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992 supuso una esperanza para compatibilizar la economía de mercado de los países industrializados con el desarrollo sostenible de los recursos aunque seis años después, tras celebrarse las reuniones de Kiotto (1996) y Buenos Aires (1998), los acuerdos siguen avanzando con excesiva timidez. Ya en la conferencia de las Naciones Unidas de Estocolmo en 1972, el programa para el Medio Ambiente (PNUMA) animó a la participación de iniciativas de protección ambiental de países como el nuestro. Pero en España el despertar hacia una verdadera preocupación no surgió hasta los ochenta (MOPT, 1992).

Así, el Real Decreto Legislativo 1302/86 de 28 de junio contiene ya la legislación básica estatal sobre la Evaluación del Impacto Ambiental introducido en nuestro derecho interno en aplicación de la normativa comunitaria 85/337/CEE de 27 de Junio. Posteriormente y ya para el ámbito de la Comunidad Autónoma de Madrid (CAM) se promulga la Ley 10/1991 de 4 de abril para la protección del medio ambiente (BOCM 18-4-91).

Entre estos problemas el de los Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.) ha ido creciendo, en España y en el mundo, a la par que el desarrollo económico ha ido entrando en nuestros hogares. Los volúmenes de basura generados en la actualidad ya no pueden ser asimilados por el medio como lo eran antes, y la especulación del suelo y las incertidumbres científicas de otros sistemas de eliminación o tratamiento, obligan a evacuaciones mal controladas de los desechos que producimos.

El progresivo deterioro que se iba detectando año tras año por la producción de residuos obligó a iniciar una serie de estudios que culminaran en el desarrollo de Planes Directores de Gestión de residuos por las CC.AA., en colaboración con la Administración del Estado (Real Decreto

Legislativo 1163/1986, Artículo II.2 apartado 3; y Ley 3/1988 de 13 de octubre que regula la gestión del Medio Ambiente en la Comunidad de Madrid).

La conferencia de las Naciones Unidas de 1972 en Estocolmo propulsaba ya la participación y responsabilidad municipal en los problemas medioambientales, y la Ley de 19 de noviembre de 1975 y, posteriormente, la Ley 7/85 de 2 de abril supone un gran avance en materia de medioambiente municipal. El R.D. Legislativo 116/1986 también fomenta la asociación de municipios en mancomunidades para tramitar la gestión de los residuos sólidos urbanos.

Posteriormente, la Unión Europea ha adoptado para sus estados miembros una directiva (97/156/CEE) cuyo objetivo general es establecer medidas, procedimientos y orientaciones para impedir o reducir, en la medida de lo posible, los efectos negativos en el medio ambiente del vertido de residuos, en particular la contaminación de las aguas superficiales, de las aguas subterráneas, del suelo y del aire, así como los riesgos para la salud humana.

El estado, sin embargo, no obliga a la realización de Evaluación de Impacto Ambiental en la instalaciones de vertederos de residuos sólidos urbanos, (no así en el almacenamiento de Residuos Tóxicos y Peligrosos, BOE, 1986b y 1988). Frente a este hecho las Comunidades Autónomas exigen, en su mayoría, la realización de estos estudios en proyectos de ubicación de vertederos (Ley 10/1991 de 4 de abril).

Existen, como se verá más adelante, varias metodologías para evaluar la afección ambiental, de los vertederos, pero a nuestro juicio y al margen de la validez de cualquier método de emplazamiento, es importante mantener dos puntos clave en la filosofía del vertido que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda tener presentes: no considerar el vertedero como un sistema barato de eliminación final de basuras, y ubicar el vertedero controlado en aquellos lugares donde se contribuya con ello a mejorar el suelo.

El vertedero controlado como sistema de eliminación único, tiende a desaparecer. La Ley Básica de Residuos 10/1998 de 21 de abril establece la necesidad de diseñar el producto pensando ya en su final, dando prioridad a la reutilización, reciclado y valorización del residuo sobre cualquier otro sistema de gestión (ver anejo I). Se camina hacia un método conjugado de eliminación de los residuos que contemple las alternativas anteriores pero que precisa para el producto final, un área de vertido que tendrá, en cualquier caso, los mismos criterios de selección, la misma aptitud y el mismo resultado final que los iniciales (actuales) vertederos controlados.

En cuanto a la deposición de la basura, la CAM cuenta con un número de vertederos controlados gestionados por la Consejería de Medio Ambiente donde es llevada la mayor parte de la basura de la provincia. También cuenta con estaciones de transferencia que retienen temporalmente los desechos con el fin de acercar de forma progresiva los residuos desde su zona de generación hasta la zona de evacuación. En estas plantas se somete a la basura a un

tratamiento previo de trituración y compactación, eficaz para su posterior asentamiento en los vertederos. Cuando las plantas de transferencia están alejadas de algunos municipios éstos se plantean la rentabilidad y ahorro de contar con vertedero propio que les abarate los costes destinados a las basuras. De esto y de la insuficiente capacidad de los vertederos de la Comunidad para dar salida a toda la producción surgen los vertederos mancomunados que siguen los tratamientos pertinentes a las inversiones realizadas que, por lo general, suelen ser insuficientes para garantizar un control adecuado del vertedero y su entorno.

Aunque algo se ha avanzado, son pocas las ocasiones donde se ofrecen alternativas a las consultoras para seleccionar los emplazamientos más adecuados. Mucho menor es la posibilidad de realizar un estudio previo de la zona y proponer después las mejores situaciones. Lo cierto es que el hecho de realizar un informe de viabilidad, e incluso un proyecto sobre el vertedero supone un gran avance respecto a tiempos no muy lejanos.

Si bien es cierto, a pesar de las intenciones de los municipios de no perjudicar su entorno, son también muchas las interferencias legales y económicas que les obligan a adoptar medidas menos rigurosas. En principio, la propia asociación de municipios entraña el problema del acercamiento equitativo del vertedero, lo que ya limita en parte las posibilidades de una óptima localización. Seguidamente las protecciones del suelo, la disponibilidad de suelo municipal, y la previsión de éste en el futuro, son impedimentos relevantes en la propia selección. Si por añadidura se dispone de poco capital de inversión, no es difícil suponer que la mayor parte de los vertederos existentes presenten problemas de afección social, económica o ambiental.

Tales inconvenientes se reproducen a distintas escalas según se avanza en el proceso de selección de ubicación y los parámetros ambientales han sido tratados, hasta ahora, a nivel local y a escala de proyecto, casi nunca a nivel regional o de prospección de asentamientos con buena capacidad de acogida. Por ello se ha decidido trabajar en la elaboración de un método de evaluación que partiendo de los vacíos existentes respecto de otros sistemas empleados fuera y dentro de nuestro país, cumpla una serie de requisitos que potencien su utilización:

- 1) El método se sugiere principalmente para una escala de ámbito regional o subregional (por ello se trabaja sobre una escala de representación 1:100.000).
- 2) Para esta escala de trabajo se requiere un método de fácil aplicación y de bajo coste.
- 3) Se incorpora a los tradicionales estudios de afección hídrica una aproximación de la vulnerabilidad del paisaje frente a la acogida de un V.R.S.U.

A la escala propuesta se establece una primera aproximación a los lugares más apropiados sobre los que realizar posteriores estudios más detallados. Al incluir los estudios de paisaje se acepta la idea de considerara éste como un recurso, cada vez más apreciado y cada vez más

escaso, susceptible de ser protegido. Si se plantea un inicial diagnóstico del territorio de forma sencilla y asequible, se anima a las Administraciones a la ejecución de planes de ordenación territorial en temas ambientales. Esto supondría un primer paso a nivel municipal o supramunicipal.

Los métodos de planificación se basan en la selección de unos parámetros que actúan como indicadores, y en la subdivisión del territorio como unidades independientes de aplicación de los indicadores. Si la subdivisión territorial es previa a los resultados, las unidades de partida se obtienen mediante la división del terreno en celdas de dimensiones regulares o, mediante la utilización de unidades definidas por uno o varios criterios. Si por el contrario la subdivisión territorial es posterior a la aplicación del método de planificación, las unidades se obtienen a partir de la superposición de los distintos parámetros a evaluar.

En el método propuesto se ha optado por subdividir el territorio previamente mediante “Unidades Geomorfológicas” (U.GMF) sobre las que aplicar los parámetros considerados por el método. Estas unidades comunmente utilizadas en trabajos ambientales (ver capítulo IV) define en sí misma características intrínsecas del terreno, razón por la que se las define como “unidades homogéneas”.

Con el fin de contrastar el carácter homogéneo de la unidad geomorfológica se ha aplicado a estas mismas unidades otros sistema de evaluación del territorio diseñado para vertederos. Igualmente se ha pretendido verificar la validez del método propuesto utilizando otra escala de trabajo y contrastando las predicciones del método con los resultados obtenidos en el análisis de vertederos *in situ* realizado por otros autores.

Por tanto y a modo de síntesis, en este trabajo se plantean los siguientes objetivos:

OBJETIVO PRINCIPAL

- Elaboración de un método de evaluación de la vulnerabilidad de las aguas y del paisaje a escala regional (1:100.000), aplicable a las unidades geomorfológicas.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Aproximación al carácter predictivo de la unidad geomorfológica frente a la capacidad de acogida de V.R.S.U.

- Verificación y contrastación del método propuesto frente a otros métodos existentes y con otras escalas de trabajo.

VERTEDEROS ACTUALES EN LA CAM

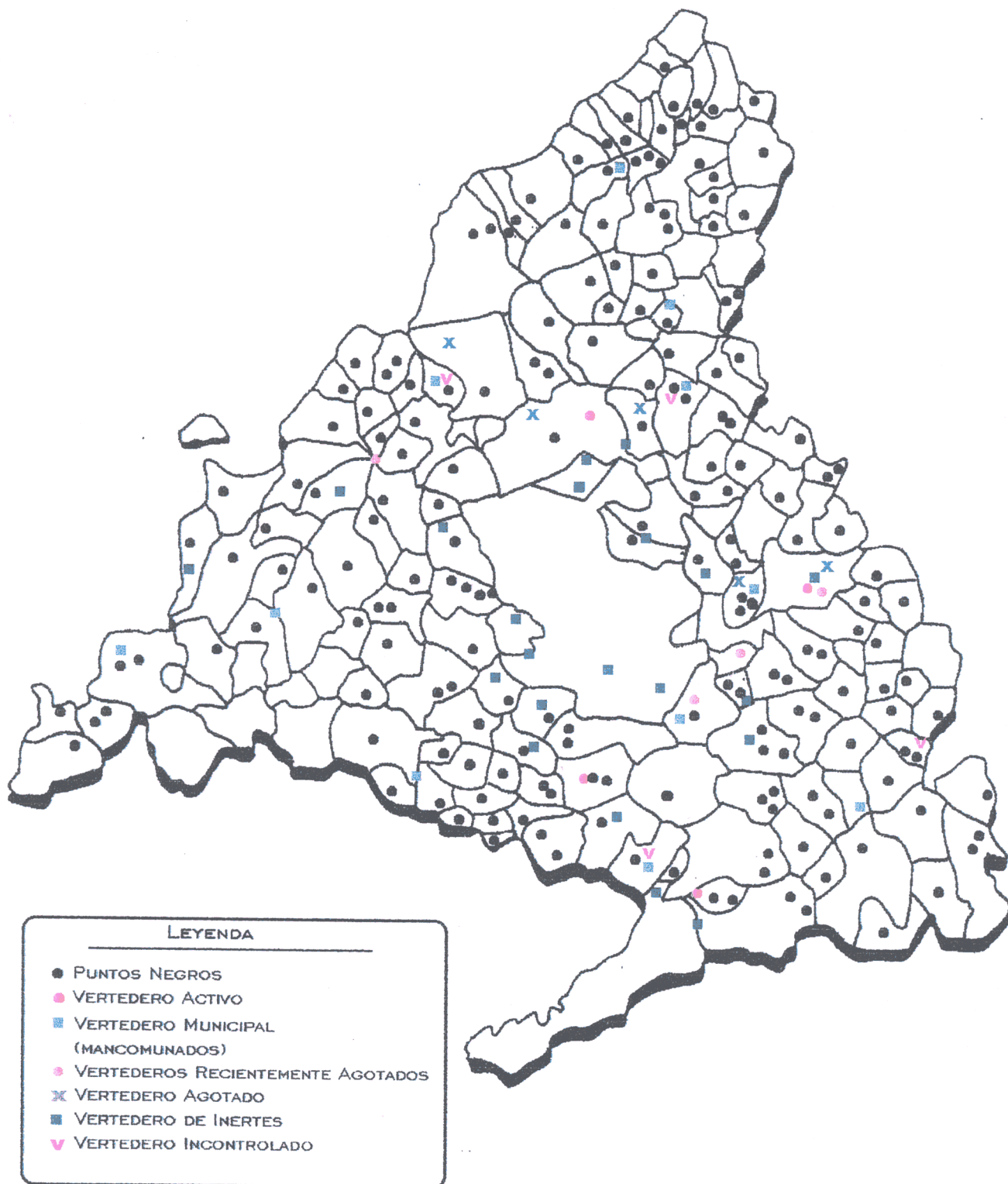


Figura 1.2. Localización de los principales puntos de vertido. Los indicados con puntos rojos pertenecen a la Consejería de Medio Ambiente y el resto son vertederos municipales. (Elaboración propia)

SITUACIÓN ACTUAL

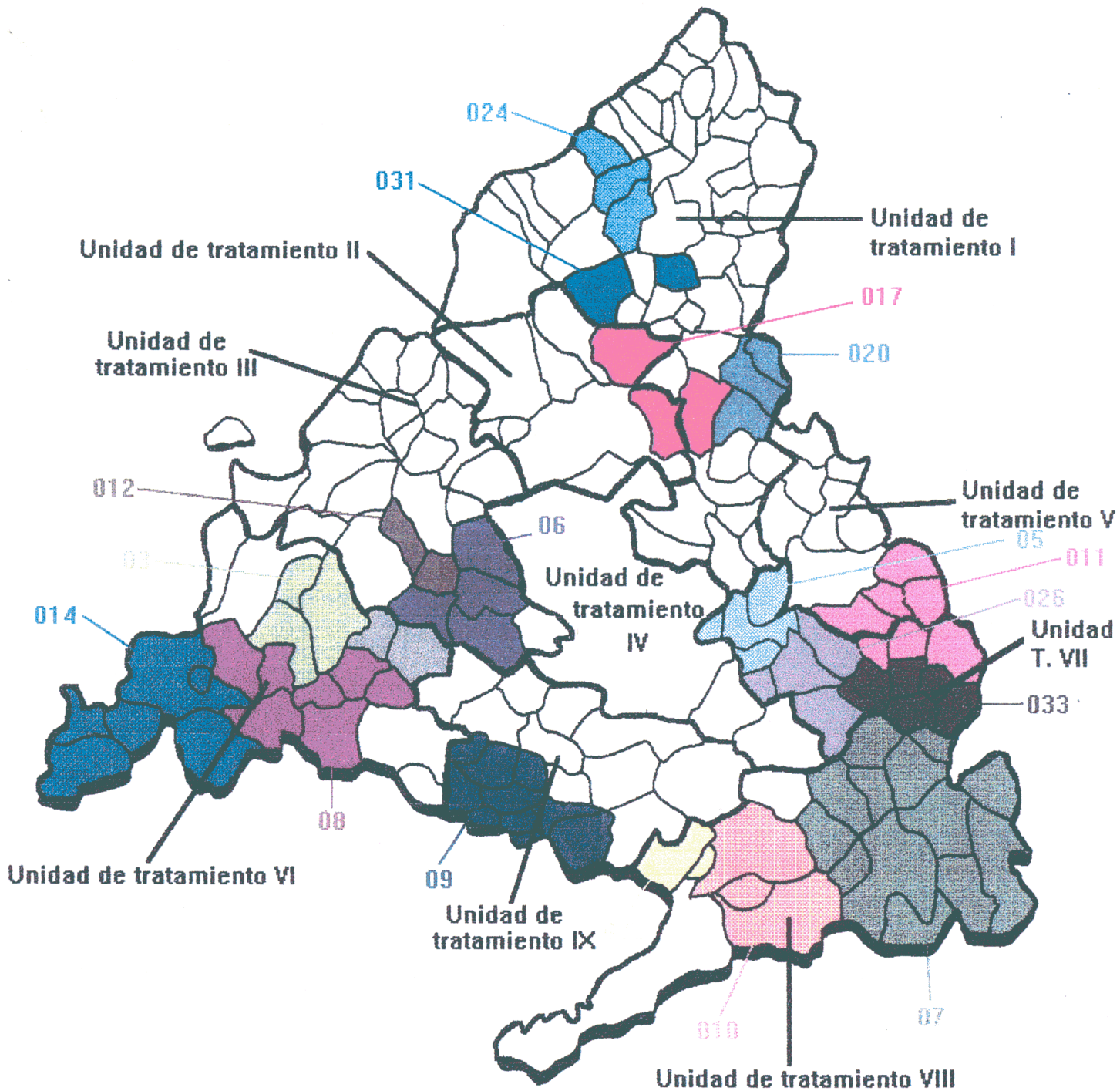


Figura 1.1. Mancomunidades y unidades de tratamiento de residuos existentes en la Comunidad de Madrid. (Información facilitada por la Consejería de Medio Ambiente. Elaboración propia).

II. PLAN DE TRABAJO

Este trabajo consta de cinco fases en las que se elaboran métodos de evaluación de emplazamientos para vertederos de residuos sólidos urbanos y se contrastan entre sí. El procedimiento a seguir y los resultados a obtener aparecen en la Figura 2.1., comenzando por una primera Fase (Fase I) en que se plantea el objetivo principal de esta tesis: proponer un método de evaluación de emplazamientos a escala regional aplicable a Unidades Geomorfológicas.

- Fase I (Capítulo V)

Esta fase se inicia con la elección de unos parámetros de evaluación obtenidos a partir de la bibliografía existente y a partir de encuestas realizadas a distintos colectivos de expertos, sobre la afección de vertederos a varios aspectos del medio físico: aguas superficiales, aguas subterráneas y paisaje. Una vez seleccionados los parámetros y valorados según su afección potencial, se aplican a porciones de U.GMF de dos zonas piloto de la provincia de Madrid, obteniendo una cartografía de áreas de distinto grado de aptitud para acoger residuos, diferenciadas en cinco intervalos de afección.

En esta primera fase se obtiene como resultado, una predicción sobre la capacidad de acogida del territorio para vertederos. También se estima a grandes rasgos la capacidad de diagnóstico en las U.GMF para ubicar V.R.S.U. e incluso, se extraerán algunas conclusiones sobre las ventajas e inconvenientes de la utilización del método.

- Fase II (Capítulo VI)

El siguiente paso es elaborar una cartografía de aptitud del territorio para acoger vertederos de residuos sólidos basado en algún método de evaluación de impacto de V.R.S.U. ya experimentado. Este nuevo sistema, escogido de la bibliografía y aplicado a las mismas zonas piloto que en la Fase I, supone un método de referencia sobre el que efectuar una comparación con los resultados de la fase I. El método elegido para esta fase se basa en la superposición de mapas temáticos y, por tanto, no precisa de la unidad geomorfológica como unidad de evaluación.

- Fase III (Capítulo VII)

Consiste en realizar un cruce entre ambos métodos de evaluación. Como ambos utilizan parámetros diferentes y están valorados de distinta forma también se realizará un cruce entre parámetros. Por tanto, se trata de usar los parámetros del método de superposición (Fase II) en

el método de evaluación de U.GMF (Fase I). A este sistema se le ha denominado "método Mixto"

Servirá principalmente, para verificar o evaluar la capacidad de diagnóstico de la Unidad Geomorfológica para ubicar V.R.S.U., puesto que ya se tienen dos evaluaciones que utilizan la U.GMF.

- Fase IV (Capítulo VIII)

Hasta aquí se ha realizado una comparación entre sistemas de evaluación. En la Fase IV se pretende validar el método propuesto en la Fase I a otra escala de aplicación. Esta escala viene a corresponder aproximadamente con los "elementos geomorfológicos" existentes dentro de las U.GMF. En este trabajo se denominan "ESCENARIOS" porque representan situaciones potenciales distintas dentro de cada U.GMF y, consecuentemente, contienen las posibles variaciones en la evaluación de la capacidad de acogida de éstas. Estos "escenarios" han sido tratados como situaciones "tipo", no cartografiables a la escala empleada (1:100.000), y suponen ejemplos de ubicación de vertederos a escala local, que es la escala utilizada una vez seleccionada el área más favorable por procedimientos de selección regional.

Una vez definidos los escenarios para cada Unidad Geomorfológica se les aplican los parámetros del método de las U.GMF (Fase I) con el fin de validar el método a otra escala de trabajo y obtener un catálogo de todas las posibles ubicaciones para vertederos y sus repercusiones en el medio.

Dentro de esta misma fase y dentro del Capítulo VIII, se comparan los valores obtenidos en la fase I para una determinada zona, con los resultados obtenidos por otros autores que han estudiado la afección producida por vertederos reales, actuales o clausurados, en cualquier aspecto del medio (generalmente el subterráneo). Se obtiene así una contrastación de los valores predichos por el método con los obtenidos en un análisis sobre el terreno. Se analizarán las causas que justifiquen el grado de acierto o de fracaso con cada zona.

De todo este proceso se obtienen una serie de productos principales...:

- Un método de evaluación a escala regional de ubicación de vertederos de residuos sólidos de bajo coste.
- Un análisis de la capacidad predictiva de la Unidad Geomorfológica como unidad de diagnóstico para V.R.S.U. a escala regional.

... Y unos subproductos de variada aplicación:

- Una cartografía general de afección potencial de paisaje, aguas superficiales y aguas subterráneas para dos zonas piloto de la CAM, comprendidas en el ámbito de la sierra y cuenca de Madrid (6 mapas).
- Una colección de mapas temáticos para las zonas piloto a partir de datos geocientíficos

previos (64 mapas).

- Un catálogo de Escenarios naturales con diagnóstico sobre capacidad de acogida de vertederos.

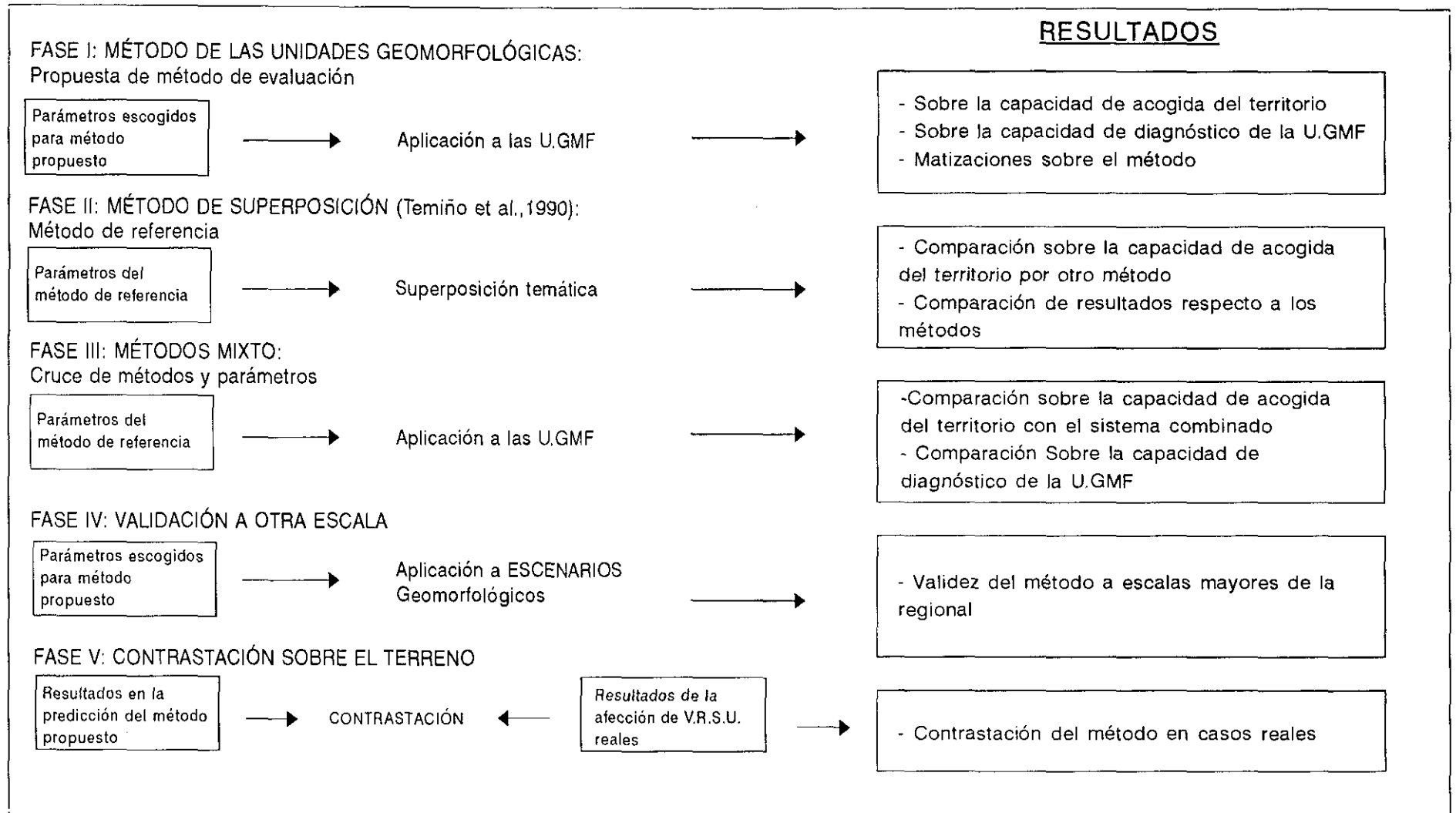


Figura 2.1. Fases del estudio

III. ANTECEDENTES

3.1. PARÁMETROS UTILIZADOS EN LA SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS

3.1.1. *Parámetros del medio físico*

El enfoque del estudio de la selección de emplazamientos de V.R.S.U. puede ser muy variado y abordarse de varias maneras según la escala a la que se quiera trabajar o según los medios ambientales que se pretendan valorar. A escala local, suelen ser empleados en la evaluación, los rasgos geológicos del terreno en todas sus facetas, tanto los aspectos morfológicos y topográficos de la superficie, como las características del subsuelo, de la zona saturada como de la no saturada.

En este sentido la OMS (1963); Cendrero (1975), y actualmente la Directiva 97/157/CEE entre otros, exponen una serie de parámetros geológicos o indicadores que estudiados en detalle y siguiendo sus recomendaciones sobre normas de seguridad, reducen el impacto derivado de la ubicación de un V.R.S. en lo referente a las características geológicas del terreno.

Siguiendo con esta escala puntual Nieto y Cucurull (1987), proponen la elección de la zona en función de las siguientes variables: permeabilidad, funcionamiento hidrogeológico, existencia de vasos naturales del terreno, estabilidad geotécnica del vertido, importancia botánica y forestal de la zona, distancia a poblaciones, normas urbanísticas y la viabilidad de los accesos e infraestructuras. Esta información se complementa con una cartografía temática que contribuye a la toma de decisiones. Se compondría de un mapa hidrogeológico y geológico, una cartografía meteorológica, otra de vegetación y cultivos y un catálogo urbanístico e infraestructural del área propuesta. Este procedimiento incluye ya otros aspectos de interés en la selección de áreas, como son las aguas superficiales o los usos el suelo.

Otro ejemplo de inventario de información básica lo propone Nieto (1990), que especifica, además, los efectos que condiciona cada parámetro o aspecto del inventario, para ser tenido en cuenta en el impacto ambiental que pueden producir los residuos sólidos:

- Índices anuales de precipitación: condicionaría el proceso de fermentación de la basura.

- Temperatura: predice la capacidad de evaporación de los lixiviados.
- Vegetación, para los efectos de barrera natural y restauración paisajística.
- Topografía y geomorfología: para restitución del relieve, protección de núcleos urbanos y estudio de los procesos activos, etc.

Como se ve son muchos y variados los aspectos a considerar en la selección de emplazamientos de V.R.S.U., pero estos elementos son analizados como parte del estudio integral del vertedero ya planificado, y pocas veces se plantea la posibilidad de selección de otras alternativas de ubicación. Cuando los estudios se centran en obtener una regionalización de las áreas favorables al vertido, entonces el número de parámetros a considerar se reduce e, igualmente, el grado de detalle con que se trata la información. A esta escala son frecuentes los trabajos de vulnerabilidad de acuíferos y más escasos los estudios que abarcan otros aspectos de la ubicación de residuos. Estos trabajos serán comentados en el apartado 3.2. al tratar los métodos regionales de selección de emplazamientos.

Los parámetros o criterios comúnmente escogidos en la fase de inventario, se han agrupado en función del medio al que afectan:

A) Vulnerabilidad de las aguas subterráneas

La contaminación de acuíferos es el principal factor que se considera en todos los estudios de impacto ocasionado por cualquier tipo de vertido. Puede consultarse una buena revisión y clasificación de mapas de vulnerabilidad de acuíferos en Vrba y Zaporozec (1994). Los principales autores que han estudiado la vulnerabilidad de acuíferos respecto a la contaminación por V.R.S.U. son: Aller *et al.* (1987); LeGrand (1980); Walsh *et al.* (1981); Palmquist y Sendlein (1975); Sendlein y Palmquist (1975); Pitieva (1984); Goldberg (1993), Zektser *et al.* (1995), etc; y estos autores coinciden en utilizar tanto parámetros que definan las características físicas de los materiales (porosidad, litología, estratificación, fisuración, etc), como sobre las peculiaridades del acuífero (transmisividad, gradiente hidráulico, etc). En este sentido Struckmeier y Margat (1995), definen con exactitud cuales deben ser las características del agua subterránea (hidroquímica e hidrológicas) y las características hidrogeológicas (fisiográficas) a considerar en cualquier mapa hidrogeológico, muchas de ellas imprescindibles en los mapas de vulnerabilidad. La E.P.A.(1988), recomienda mejorar la información sobre algunos aspectos del medio subterráneo y, en especial, del acuífero afectado:

- Caracterizar de forma precisa el acuífero
- Conocer el sistema de flujo del acuífero
- Identificar los usos del suelo
- Definir la vulnerabilidad a la contaminación
- Precisar la localización de los pozos, manantiales y fuentes existentes

- Definir las zonas de protección de fuentes y manantiales
- Conocer los cambios temporales de los parámetros hidrogeológicos

Esta información requiere un buen estudio e identificación del área escogida y es viable a escala local. Sin embargo, en estudios de planificación sectorial resulta muy difícil obtener esta información detallada, aunque sí se recomienda tener nociones básicas sobre cada una de ellas. En general sería recomendable contar con alguna información que la E.P.A.(1988), considera prioritaria:

- 1º. Una cartografía detallada y un buen conocimiento de datos físicos e hidrogeológicos de los sistemas acuíferos regionales y locales.
- 2º. Las características químicas del agua de los acuíferos deben estar perfectamente valoradas.
- 3º. Se debe reunir información sobre fuentes de contaminación, uso del suelo y localización de pozos, manantiales y fuentes.

De todos los posibles parámetros, criterios o indicadores utilizados para definir la vulnerabilidad de los acuíferos, se deben escoger aquellos que sean determinantes para el objetivo y el alcance del estudio, y adaptar la información a la escala de trabajo.

Para estudiar los distintos parámetros que afectan al medio subterráneo se puede dividir éste en "zona no saturada" y "zona saturada", considerando el suelo edáfico como parte de la zona no saturada. En algunos parámetros a medir en los medios subterráneos quedan implícitos aspectos climáticos como es la precipitación, que define la recarga del acuífero o la infiltración. Igualmente, a escala local, los estudios sobre evapotranspiración potencial y real precisan de las temperaturas medias de la zona.

Zona no saturada (Z.N.S.):

El estudio de la zona no saturada permite conocer las posibilidades que tienen los lixiviados de depurarse, tanto en la reducción de la carga contaminante como en la retención total del efluente en el sustrato. La reducción del grado de toxicidad puede efectuarse por procedimientos físicos, químicos o bioquímicos, y para ello la litología es el factor determinante. Para retener el contaminante en el sustrato (parcial o totalmente) es necesario un espesor de Z.N.S. que viene indicado por la profundidad del nivel freático. Sin embargo ambos procesos están relacionados y por tanto, la litología y su potencia, esto es, el espesor no saturado, son complementarias.

Para abordar la primera cuestión, es decir, la depuración de la carga contaminante, es necesario estudiar aspectos de la litología cuya elección varía de unos métodos a otros:

- La permeabilidad del material o materiales que constituyen la Z.N.S. es interesante para establecer la velocidad de recorrido del lixiviado hasta llegar al acuífero, o lo que es lo mismo, obtener el tiempo de permanencia de éste en la zona no saturada (Aller *et al.*, 1987). Relacionado con estos aspectos se mide la proporción de arcillas de los materiales para determinar la capacidad de adsorción, reacción y dispersión de elementos contaminantes, e indirectamente, la permeabilidad del material (LeGrand, 1980; Walsh *et al.*, 1981).

- Si el material está consolidado podrán efectuarse estudios sobre sus características geológicas (diaclasado, karstificación, disolución potencial, estratificación) para determinar la eficacia de la depuración (Vrba y Zaporozec, 1994).

- Las características edáficas también son importantes en la autodepuración, ya que el contenido en materia orgánica determina las posibilidades de reacciones bioquímicas con los componentes del efluente, y la oxidación del contaminante por el oxígeno presente en los poros (Aller *et al.*, 1987).

La determinación de la profundidad del nivel freático es un aspecto imprescindible en cualquier estudio de vulnerabilidad y a cualquier escala de trabajo (Albinet y Margat, 1970; Fenge, 1976; Zampetti, 1983; Subirana y Casas, 1984; Ostry *et al.*, 1987; Aller *et al.*, 1987; Foster, 1987; Civita, 1990). Es importante conocer cuál es su posición pero también su variación estacional, así como el tiempo de respuesta del acuífero en elevar su nivel saturado (Custodio y Llamas, 1984; Sotomikova y Vrba, 1987). Como se ha mencionado, sirve para predecir el grado de afección del acuífero tanto por la autodepuración de su recorrido como por el tiempo de presencia dentro del subsuelo (Aller *et al.*, op. cit.).

Si bien la litología es importante para definir una potencial depuración del contaminante, también lo es el caudal de lixiviado que se va a producir (LeGrand, 1980; Temiño y Rebollo, 1994). Para ello los datos de precipitación, la acumulación de los residuos, las infraestructuras de evacuación del vertedero sirven para conocer el caudal que se va a poder infiltrar en el subsuelo, pero también conviene estimar la toxicidad, concentración, persistencia y movilidad del contaminante en el acuífero (Adarve, 1993), para predecir su peligrosidad (LeGrand, 1980), aunque esta estimación requiere de unos amplios conocimientos químicos.

Zona Saturada (Z.S.)

El interés de su estudio en los vertidos se centra en tres aspectos fundamentales:

1. Determinar la movilidad del contaminante
2. Conocer la posible dilución del contaminante
3. Establecer el interés real y potencial del acuífero

1.- La movilidad del contaminante en el interior del acuífero permite predecir el alcance del efluente así como la repercusión que puede ocasionar en captaciones próximas y en zonas de descarga (Palmquist y Sendlein, 1975). La movilidad del contaminante puede condicionar una cierta posibilidad de atenuación de su carga al atravesar con mayor o menor dificultad los materiales que constituyen el acuífero (Aller *et al.*, 1987).

Puesto que ambos aspectos, movilidad y depuración, son recíprocos (si avanza mucho y deprisa es poco probable un proceso eficaz de depuración), la movilidad se analiza bajo parámetros que, de nuevo, están relacionados con la litología:

- Dirección y velocidad del flujo subterráneo; definido a partir del estudio de algunos parámetros hidrodinámicos del acuífero: gradiente hidráulico, transmisividad, conductividad hidráulica, porosidad eficaz, permeabilidad (Aller *et al.*, 1987; Freez and Cherry, 1979; Custodio y Llamas, ed., 1983; Vrba y Zaporozec, 1994).
- Composición litológica del acuífero y características geológicas. Los criterios citados al hablar de la Z.N.S. sirven para la Z.S.

2.- El conocimiento de la posibilidad de que los efectos tóxicos del efluente contaminado se reduzcan por dilución no debe suponer una falta de protección del entorno ni una situación favorecedora de un determinado emplazamiento. Significa que la concentración del contaminante se dispersa pero no que desaparece. Esta dilución viene determinada por la recarga del acuífero (Fenge, 1976) que a la vez, está influida por otros elementos tales como: coeficiente de infiltración, aportes laterales, lluvia útil, pendiente del terreno (E.P.A., 1977).

3.- El interés del acuífero como recurso es utilizado en las evaluaciones ambientales para conocer cuál es la incidencia que se va a producir si el lixiviado o contaminante llega a alcanzar el nivel de saturación. Si el acuífero no posee una calidad natural aceptable, es un acuífero de escaso interés o no hay usos asociados a él, puede asumirse que el impacto o su afección potencial va ser menor (Aller *et al.*, 1987; LeGrand, 1980; Walsh *et al.*, 1981; Temiño *et al.*, 1990; Gómez Orea, 1994). El interés acuífero se determina desde varios puntos de vista:

- Uso potencial: atendiendo a la calidad natural, espesor de acuífero, permeabilidad suficiente como para producir caudales mínimos utilizables (ITGE, 1991).
- Uso actual: inventario de captaciones y aprovechamientos existentes (Walsh *et al.*, 1981).
- Tipo de acuífero y límites: si es confinado o libre, si se trata de un acuífero multicapa, determinar las unidades hidroestratigráficas (Walsh *et al.*, op.cit.).

B) Vulnerabilidad de las aguas superficiales

En los estudios de emplazamiento de vertederos y en general, de cualquier foco contaminante, se suelen introducir frecuentemente al menos dos parámetros que evalúan la posibilidad de llegada de un contaminante a las masas de agua superficial. Estos parámetros son: la proximidad a estas masas y la posibilidad de que llegue a ellas. Esto último puede expresarse mediante la pendiente del terreno o bien mediante el cálculo de la escorrentía superficial.

La bibliografía sobre este tema es más breve, y generalmente los estudios se centran en la capacidad de dilución o depuración de un contaminante en contacto con el río, lago, etc (Civita, 1990; Schmidt, 1987; Temiño *et al.*, 1990).

La vulnerabilidad de los cauces superficiales suele ser más fácil de controlar ya que los lixiviados que salen del vertedero son visibles y pueden ser recogidos en canales de conducción dispuestos en torno al vertedero para tal fin, reduciendo al mínimo su evacuación al exterior (Jaramillo, 1992). Sin embargo no todos los vertederos cuentan con un sistema eficaz de recogida de lixiviados y además pueden producirse infiltraciones en el vaso del vertido, que primero actúen como un drenaje subsuperficial, pudiendo aparecer aguas abajo en forma de descargas laterales en manantiales (Custodio y Llamas, ed., 1984).

El estudio de la afección de la hidrología superficial puede abordarse a partir de la valoración de la escorrentía superficial y del estudio de las masas de agua superficiales próximas.

La Escorrentía Superficial (E.S.): representa la cantidad de lixiviado que puede salir del vaso de vertido para fluir sobre el terreno hasta alcanzar una masa de agua próxima. También se incluyen caudales que han circulado subsuperficialmente durante un tramo del recorrido y afloran a la superficie con cierta carga contaminante procedente del vertedero.

En el cálculo del volumen de la E.S. potencial a evaluar por el vertedero intervienen varios aspectos a considerar (E.P.A., 1977):

- Se consideran aportes al caudal total de lixiviado a la cantidad de E.S. que puede llegar del terreno colindante al vaso de vertido. Esta E.S. es la parte de lluvia útil que no se infiltra.
- Es posible que parte de la lluvia útil infiltrada en el área próxima a vertedero, drene al vertedero y contribuya a generar lixiviados de salida. Es agua procedente de aportes laterales del vertedero, en ocasiones difícilmente controlables.
- El cuarto aporte de caudal de lixiviado lo genera la lluvia que incide directamente sobre el vaso de vertido y sobre la propia basura. Una vez realizadas las correcciones de

evaporación y retención en los poros del residuo se podrá conocer el volumen introducido por precipitación directa.

El volumen total de lixiviado generado debería ser evacuado mediante una red de drenaje en el interior del vertedero y en torno a él (Jaramillo,1992). Sin embargo éste sistema no siempre es eficaz y parte del caudal producido percola en el subsuelo produciendo la afección al medio subterráneo. La afección a este medio también puede producirse si los lixiviados escapan del vertedero, discurren por la topografía y se infiltran en el suelo.

En síntesis, una vez conocidos los excedentes se tratan parámetros del tipo de los siguientes (E.P.A.,1977; Nieto y Cucurull,1987; Montalvo *et al.*,1988; Temiño *et al.*,1989;Temiño *et al.*,1990):

- Coeficiente de escorrentía
- Pendiente topográfica
- Cubierta vegetal
- Distancia de recorrido hasta la masa de agua más próxima para analizar las posibilidades de llegada del contaminante hasta un cauce próximo.

Una vez llegado el contaminante a un cauce o masa de agua más próximo se estudian las características de esta masa superficial (Temiño *et al.*, 1989 y 1990).

Masa superficial de agua: su análisis en términos de cantidad y calidad va a incidir en el grado de afección potencial de dicha masa de agua. Al igual que ocurría en los acuíferos, si un cauce no tiene ningún uso asociado por insuficiencia de caudal o por que su calidad no lo permite, puede interpretarse una vulnerabilidad menor que en otro de mejores condiciones (Temiño *et al.*,1989). Por tanto el grado de afección de un medio superficial puede estudiarse considerando:

- Uso actual: estudios de calidad, cantidad y tipo de uso
- Uso potencial: destino posible del agua con su caudal y calidad natural.

Igualmente la vulnerabilidad de una masa de agua puede referirse a la asimilación potencial de un determinado caudal de contaminación. Su estudio precisa de datos de caudal que, por tanto, relaciona este concepto con el anterior de uso potencial. En la determinación de este potencial "autodepurador" intervienen parámetros como:

- Concentración del contaminante
- Caudal de estío, caudal medio
- Calidad natural
- Tramo de afección

La información sobre la peligrosidad del contaminante que se estudiaba en la afección subterránea vuelve a ser de utilidad para este recurso.

C) Vulnerabilidad del paisaje

Recientemente los planes de ejecución de cualquier tipo de infraestructura van acompañados de un estudio paisajístico que al menos incluye valoraciones sobre la visualización exterior de la obra. El estudio de afección del paisaje pasa por el interés de proteger el área por el recurso "paisaje" en sí, por los valores ecológicos que pueden afectarse o por la propia utilización del área (González Bernáldez, 1986).

El paisaje incorpora a la ordenación territorial aspectos que implican modificaciones emocionales y/o culturales, y valores estéticos (Sancho Royo, 1973). La forma de introducir estos cambios en el análisis medioambiental ha sido muy variada y convergente hacia hacerla objetiva mediante métodos indirectos. Estos tratamientos "limpios" del paisaje serán revisados en el apartado de metodologías.

Los elementos que más problemas plantean en el tratamiento del paisaje para conservación y evaluación de impacto son los aspectos visuales y de percepción (González Bernáldez, 1986). Dificultad para evitar la carga de subjetividad, sistematizar su estudio y representar los resultados, Villarino (1993). Los elementos visuales son difíciles por su tratamiento y los de percepción, por su variabilidad. Elementos como la distancia, posición del observador, condiciones atmosféricas y de iluminación, hacen que se modifiquen las apreciaciones individuales, ya de por sí bastante subjetivas.

Las distintas metodologías que tratan el tema del paisaje han ido encaminadas en dos direcciones: una, en considerar las porciones o unidades de tratamiento, y otra en considerar las características, parámetros y conceptos en la evaluación del paisaje.

Empezando por estos últimos, los primeros trabajos sobre el paisaje fueron abordados ya en los años 40 con estudios de percepción del espacio circundante. En los años 50 se comienzan estudios sobre los "gustos" en el paisaje (Lowenthal, 1962 y Lowenthal y Price, 1965, como ejemplos antiguos). Los estudios más recientes van encaminados a uniformar las preferencias para valorar un paisaje (Shafer, 1969, Sonnenfeld, 1967, Sancho Royo, 1973, Ramos, 1980). Este último autor da un paso más y abandona elementos integradores: geología, botánica, clima, ecología, etc, y busca en la percepción criterios de tendencia hacia uno u otro paisaje. A partir de los 60 se generaliza la consolidación del paisaje como recurso y se toma en cuenta en las decisiones de planificación u otras actuaciones concretas (Villarino, 1993).

Otra línea metodológica recoge un inventario de las características primarias de un paisaje: litología, relieve, suelo, vegetación, etc, y las evalúa en función de una determinada acción (Boluda *et al.* 1984, y anteriormente Christian y Stewart, 1953, 1968). Otros sistemas establecen

la visibilidad a partir de visuales que parten desde un punto (Aguiló y Ramos, 1981).

En cuanto a sistemas de determinación de unidades de tratamiento ya en 1957 y 1968 Christian y Stewart definen el Land System como área o grupo de áreas que presentan una pauta repetitiva en topografía, suelos y vegetación subdividiéndola posteriormente por otros elementos de paisaje

Otros autores han subdividido unidades cartografiables según situaciones específicas que aproximan la realidad del territorio para ser utilizada en la planificación territorial. De estos métodos surgen conceptos como los de acogida, potencialidad, adecuación, fragilidad (ver capítulo V): McHarg (1969); Hills (1970); Gómez Orea (1975,1978); Ramos *et al.* (1976); Cendrero *et al.* (1976); Escribano *et al.* (1978).

Actualmente los avances informáticos han hecho posible pasar de la utilización de unidades irregulares, definidas con criterios de visibilidad o con criterios de homogeneidad de contenido, a unidades de división regular a partir de mallas de diferente forma y tamaño.

Del análisis de toda la bibliografía citada, cabe concluir que el grado de afección de un paisaje puede determinarse a partir del análisis de tres valoraciones:

- Visibilidad del vertido
 - Grado de modificación del paisaje
 - Valor de conservación
- Los estudios de visibilidad pueden realizarse en función de la escala, entendiendo aquella como la capacidad potencial visual de una zona, donde un área es estudiada en conjunto respecto a puntos de referencia de visualización, o sobre la visualización de un punto en una zona. Para ambas, la segmentación del territorio puede hacerse mediante celdas regulares (generalmente hexagonales por reproducir mejor las líneas de visualización o por la delimitación de cuencas visuales (Ramos, 1979).

También pueden tomarse elementos relevantes del paisaje y estudiar la visibilidad del área en función de ellos: relieve, vegetación, etc. En definitiva los elementos que determinan la visibilidad de una zona pueden ser:

- Relieve: altitud, extensión
- Vegetación: compactidad, altura, estacionalidad
- Visualización desde puntos de especial interés: cerros, carreteras, miradores, etc
- Visualización desde poblaciones y áreas de mayor frecuencia de paso.

- El grado de modificación del paisaje está en relación con la visibilidad, en tanto en cuando un paisaje modificado no visible puede considerarse como un área de menor impacto que otra visible. También está relacionado con la pérdida de calidad de los valores naturales, es decir, si la modificación causada por la ejecución de la obra hace perder de forma considerable los valores estéticos del lugar.

Resulta inevitable considerar que rara vez un vertedero es mejorante de la calidad del paisaje y por ello siempre habrá pérdida de calidad. Se valora aquí el grado de modificación de la excepcionalidad del paisaje por la ubicación potencial y real de un V.R.S.U.

- Valor de conservación del paisaje. En esta valoración se especifica si el área cuenta con otros aspectos sobresalientes que merezcan considerarse en la evaluación: ecosistemas naturales, flora y fauna en peligro o de interés, áreas de recreo, zona protegida, elementos de especial interés (aguas termales, icnitas, yacimientos de minerales, etc.).

3.1.2. Otros parámetros del medio físico

Otros parámetros a considerar en el estudio del medio natural y su posible afección quedarían incluidos como parte del estudio del "suelo" al analizar las posibilidades geológicas del lugar para acoger vertederos y sus características agronómicas (OMS, 1963).

Los aspectos geológicos a tener en cuenta se resumen en los siguientes puntos (Cendrero, 1975; Salvatierra y Cucurull, 1987; Temiño *et al.* 1989 y 1990; Nieto Salvatierra, 1990; Porras Martín, 1990; Directiva 97/156/CEE):

- Caracterizar los procesos superficiales del entorno del vertedero y los posibles efectos que puedan tener en la zona y en el propio vertedero.
- Peligrosidad geológica: movimientos sísmicos, inundabilidad, volcanismo activo, etc.
- Ripabilidad del terreno, tanto para la propia excavación del vaso de vertido como para la extracción de materiales necesarios durante la ejecución de la obra.
- Aridez del medio, a tener en cuenta como indicador del riesgo de incendio ocasionado por las combustiones espontáneas o provocadas en la basura para reducir el volumen a almacenar.
- Capacidad portante del suelo que condiciona riesgos de colapso y estabilidad superficial.
- Estudio de posición respecto al relieve: con ello se definen áreas de recarga/descarga, visibilidad de la obra, generación de escorrentía, etc.

Es importante determinar el uso potencial del suelo, su capacidad de explotación, el tipo de vegetación, su conservación; valores éstos que pueden resultar de mayor interés en la zona que

VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS			
<p>Z</p> <p>N</p> <p>S</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Características litológicas: <ul style="list-style-type: none"> * Permeabilidad * Proporción de arcillas * Fracturación * Disolución * Porosidad eficaz * Contenido en materia orgánica - Profundidad del nivel freático: <ul style="list-style-type: none"> * Posición * Variación - Caudal de lixiviado: <ul style="list-style-type: none"> * Precipitación (lluvia útil) * Volumen de residuo - Peligrosidad del contaminante: <ul style="list-style-type: none"> * Toxicidad * Concentración * Persistencia * Movilidad 		
<p>Z</p> <p>S</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Movilidad del contaminante: <ul style="list-style-type: none"> * Dirección y velocidad del flujo: gradiente hidráulico, transmisividad, conductividad hidráulica, porosidad eficaz, permeabilidad * Composición litológica * Características geológicas - Dilución del contaminante <ul style="list-style-type: none"> * Recarga del acuífero. Coeficiente de infiltración, aportes laterales, lluvia útil, pendiente. - Interés acuífero <ul style="list-style-type: none"> * Uso actual: calidad natural, espesor acuífero, permeabilidad * Uso potencia: captaciones existentes * Tipo de acuífero: confinado o libre, multicapa, unidades hidroestratigráficas. 		
VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES			
<ul style="list-style-type: none"> - Escorrentía superficial: <ul style="list-style-type: none"> * Coeficiente de escorrentía * Lluvia útil * Pendiente topográfica * Cubierta vegetal * Distancia a masas de agua próximas - Masas de aguas superficiales: <ul style="list-style-type: none"> * Uso actual/uso potencial: caudal, calidad * Asimilación potencial: peligrosidad del contaminante, calidad agua, caudal, tramo de afección. 	<ul style="list-style-type: none"> - Visibilidad: <ul style="list-style-type: none"> * Relieve: * Vegetación * Visualización - Modificación del paisaje: <ul style="list-style-type: none"> * Visibilidad * Pérdida de calidad * Grado de modificación del paisaje - Valor de conservación 		
VULNERABILIDAD DEL PAISAJE			
ASPECTOS GEOLÓGICOS			
<ul style="list-style-type: none"> - Procesos superficiales - Peligrosidad geológica - Ripabilidad - Riesgo de incendio - Capacidad portante - Área de recarga/descarga 	<th colspan="2" style="text-align: center;">ASPECTOS AGRONÓMICOS</th>	ASPECTOS AGRONÓMICOS	
<ul style="list-style-type: none"> - Usos del suelo - Capacidad de explotación del suelo - Tipo de vegetación/conservación 			

Tabla 3.1. Parámetros más utilizados en la selección de emplazamientos de residuos.

la propia ubicación de un vertedero.

3.1.3. Aspectos infraestructurales y sociales

Al margen de los criterios físicos de selección de emplazamientos existen otros que son muy importantes en la estrategia de elección y que en muchas ocasiones justifican la toma de decisiones. Son aspectos asociados a los presupuestos asignados a este tipo de infraestructuras. Los que se consideran más importantes en este sentido son la distancia a poblaciones y la disponibilidad del terreno.

- La distancia a poblaciones debe ser un factor muy tenido en cuenta ya que está en estrecha relación con el volumen de residuos generado (Directiva 97/56/CEE). En función de este volumen a transportar se ajusta el número de viajes al vertedero o bien el número de vehículos necesarios o el volumen de los mismos, lo que se traduce en coste por kilómetro esario en el transporte. Aunque el vertedero supone uno de los sistemas más baratos de eliminación de residuos (Otero, 1988) los presupuestos destinados a transporte suelen ser generalmente abordados por la asociación de municipios en mancomunidades.

La distancia a poblaciones juega también un papel primordial en la conciencia social. El fenómeno NIMBY -"Not In My Back Yard"- es un reto para el planificador que debe intentar equilibrar el aspecto económico con el social, además de evitar que el perjuicio a la población no sea también insalubre, impidiendo la llegada de olores y humos o la proliferación en las proximidades de las poblaciones de aves carroñeras, roedores o insectos.

- En cuanto al segundo aspecto referido a la disponibilidad de terreno, de nuevo el factor económico es determinante en ello. Se buscan áreas de fácil maniobrabilidad que estén próximas a carreteras que permitan el paso de los vehículos y maquinaria pesada, que cuente con materiales próximos para realizar cubriciones periódicas si se precisan. Estas premisas no siempre están presentes en los terrenos de propiedad municipal y frecuentemente se recurre a la compra de terrenos a particulares o a la expropiación de los mismos, no cumpliendo con ello la elección de la mejor de las zonas desde el punto de vista medioambiental sino el mejor desde el punto de vista económico.

3.1.4. Directiva 97/156/CEE relativa al vertido de residuos

La Comunidad Europea establece en el Anejo I de la presente Directiva los Requisitos Generales que se deben cumplir para todas las clase de vertederos. Al menos estas pautas de ubicación, control y protección de los distintos recursos en la instalación de un vertedero pueden significar una orientación sobre los parámetros a escoger en la valoración ambiental del emplazamiento.

1. Ubicación

1.1. Para la ubicación de un vertedero deberán tomarse en consideración los aspectos siguientes:

- a) las distancias entre el límite del vertedero y las zonas residencias, masas de agua, zonas recreativas, etc, serán de un mínimo de 0,5 km en el caso de vertederos de residuos municipales y de 2 km para vertederos de residuos peligrosos.
- b) la existencia de aguas subterráneas, aguas costeras o reservas naturales en la zona
- c) las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona
- d) el riesgo de inundaciones, hundimientos, corrimientos de tierras o aludes en el emplazamiento del vertedero
- e) la protección del patrimonio natural o cultural de la zona

1.2. El vertedero sólo podrá ser autorizado si las características del emplazamiento con respecto a los requisitos mencionados, o las medidas correctoras que se tomen, tras una evaluación del impacto ambiental, si ésta se exige con arreglo a la Directiva 85/337/CEE, indican que el vertedero no plantea ningún riesgo grave para el medio ambiente.

2. Control de aguas y gestión de lixiviados

Se tomarán las medidas oportunas con respecto a las características del vertedero y a las condiciones meteorológicas, con objeto de:

- controlar el agua de las precipitaciones que penetre en el vaso del vertedero,
- impedir que las aguas superficiales o subterráneas penetren en los residuos vertidos,
- recoger las aguas contaminadas y los lixiviados. Cuando una evaluación basada en la ubicación del vertedero y los residuos que se admitan muestre que el vertedero no es potencialmente peligroso para el medio ambiente, la autoridad competente podrá decidir que no se aplique esta disposición,
- tratar las aguas contaminadas y los lixiviados recogidos del vertedero de forma que cumplan la norma adecuada requerida para su vertido.

3. Protección del suelo y de las aguas

3.1. Todo vertedero deberá estar situado y diseñado de forma que cumpla las condiciones necesarias para impedir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas o de las aguas superficiales y garantizar la recogida eficaz de los lixiviados en las condiciones establecidas en el punto 2. La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas de superficie deberá conseguirse mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento inferior durante la fase activa de explotación y mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento superior durante la fase pasiva, posterior a la clausura.

3.2. Existe barrera geológica cuando las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes y de las inmediaciones de un vertedero lo dotan de capacidad suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas. Para vertederos de residuos peligrosos esta barrera es de permeabilidad menor a 10^{-9} m/s en un espesor mayor o igual a 5 m, de 10^{-8} m/s y espesor mayor o igual a 1 m para residuos no peligrosos, y de 10^{-7} m/s y un espesor mayor o igual a 1 m para residuos inertes. Cuando la barrera geológica no cumpla de forma natural las condiciones antes mencionadas, podrá completarse de forma artificial y reforzarse por otros medios que proporcionen una protección equivalente. El espesor de

una barrera geológica artificial no deberá ser inferior a 0,5 m.

3.3. Además de las barreras geológicas anteriormente descritas deberá añadirse un sistema de impermeabilización y recogida de lixiviados (...) de manera que se garantice que la acumulación de lixiviados en la base del vertedero se mantiene en un mínimo.

3.4. Si la autoridad competente decide (...) que la recogida y el tratamiento de lixiviados no son necesarios, o si se establece que el vertedero no plantea peligros potenciales para el suelo, las aguas subterráneas ni las superficiales, los requisitos de los puntos 2 y 3 anteriores podrán ser reducidos en consecuencia.

4. Control de gases

4.1. Se tomarán las medidas adecuadas para controlar la acumulación y emisión de gases de vertedero.

4.2. Los gases de vertedero se recogerán en todos los vertederos que reciban residuos biodegradables, y se tratarán y utilizarán. Si el gas recogido no puede utilizarse para producir energía, deberá hacerse explotar.

4.3. La recogida, tratamiento y uso de gases de vertedero con arreglo al apartado 2 del punto 4 se llevará a cabo de forma tal que reduzca al mínimo el daño o deterioro del medio ambiente y el riesgo para la salud humana.

5. Molestias y riesgos

5.1. Se tomarán medidas para reducir al mínimo las molestias y riesgos procedentes del vertedero en forma de:

- emisión de olores y de polvo
- materiales transportados por el viento
- ruido y tráfico
- aves, parásitos e insectos
- formación de aerosoles
- incendios

El vertedero deberá estar equipado para evitar que la suciedad originada en el emplazamiento se disperse en la vía pública y en las tierras circundantes.

6. Estabilidad

La colocación de los residuos en el vertedero se hará de manera tal que garantice la estabilidad de la masa de residuos y estructuras asociadas, en particular para evitar los deslizamientos. Cuando se construya una barrera artificial, deberá comprobarse que el sustrato geológico, teniendo en cuenta la morfología del vertedero, es suficientemente estable para evitar asentamientos que puedan causar daños a la barrera.

7. Vallas

El vertedero deberá estar rodeado de vallas suficientes para impedir el libre acceso al emplazamiento. Las entradas estarán cerradas fuera de las horas de servicio

3.2. MÉTODOS DE SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS

Los métodos que reúnan varios aspectos del medio natural en la evaluación de vertederos a escala regional son muy escasos. Recientemente, en los trabajos locales de vertederos se incluyen evaluaciones del impacto ambiental que originan los vertidos en el paisaje en las aguas superficiales y, en algunos casos, también se hacen estudios de vulnerabilidad de flora y fauna. Por el contrario para las aguas subterráneas se llevan desarrollando metodologías desde los años 60, que empezaron siendo para afecciones ocasionadas por hidrocarburos en los países del Este (en Sovremennoe Sostoyanie, 1977) pero que en la actualidad se realizan para cualquier afección potencial. En España, las primeras experiencias en esta materia se realizaron en 1976 (IGME) subdividiendo el territorio nacional en seis categorías principales de peligro de contaminación de aguas subterráneas, a escala 1:200.000.

La mayoría de los métodos están basados tanto en elementos cualitativos como cuantitativos para considerar los efectos de la vulnerabilidad (Zektser *et al.*, 1995). En trabajos cualitativos se utiliza muy amenudo, el espesor y litología de la zona no saturada (Z.N.S.) para determinar el grado de absorción y su relación con la permisibilidad del paso de agua. La mayoría de los autores que utilizan elementos cualitativos potencian los efectos de la autodepuración del agua contaminada a través de la zona de aireación (Pitieva, 1984; Rogovskaya, 1976; Jobe and Grossens, 1990) más que valorar el grado de protección del acuífero.

Pitieva (1984), define ocho categorías de protección usando un esquema que considera la capacidad de las rocas de reducir la carga contaminante del agua subterránea como resultado de la adsorción, cambio iónico, sedimentación, descomposición de la materia orgánica por oxigenación y microorganismos. Estas categorías se establecen en función de las características litológicas y mineralógicas, permeabilidad y espesor de la roca en la Z.N.S.

Jobe y Gossens (1990), utilizaron para el mapa de vulnerabilidad de agua subterránea de Flandes datos sobre el espesor y litología de la Z.N.S. y el comportamiento del agua en la roca. Por ejemplo, un acuífero constituido por alta permeabilidad intensamente fracturado y de poco espesor se considera muy vulnerable.

En los métodos semicuantitativos o también denominados "paramétricos" (Vrba y Zaporetec, 1994) se opera con tablas de valoración de varios parámetros, y la suma de sucesivos valores obtiene una gradación de la vulnerabilidad (Goldberg, 1993). En relación con estos métodos cuantitativos se encuentran metodologías de evaluación y valoración del grado de afección de un emplazamiento por la instalación de un V.R.S.U.: (Aller *et al.*, 1987; Legrand, 1980; Walsh *et al.*, 1981) en los que hemos basado este estudio y que se explican más abajo.

En la actualidad las tendencias van hacia métodos cuantitativos o de relaciones analógicas y

modelos numéricos (Vrba y Zaporetz, 1994) cada vez más sofisticados que requieren el uso de ordenadores. Las evaluaciones cuantitativas utilizan índices temporales (t), por ejemplo: el tiempo requerido por un contaminante para alcanzar el nivel freático, o la máxima concentración de contaminante permisible en el acuífero; y requieren la solución de complicadas ecuaciones diferenciales. Goldberg (1993), recomienda que el valor de "t" se compare con la decadencia del contaminante, ya que "tiempo de recorrido" y "atenuación del contaminante" puede ser una primera aproximación al papel detoxificador en los procesos de protección.

Lemme *et al.* (1990), sugiere una fórmula para calcular la vulnerabilidad a partir de índices que miden los datos sobre geología, estructura, composición y permeabilidad del suelo, capa confinante y acuífero. En esta fórmula se consideran los efectos de la adsorción por la presencia de parámetros sobre el espesor de suelo y el contenido de materia orgánica de éste.

Los estudios en los que más hemos apoyado la metodología propuesta en el Capítulo V son los siguientes:

1) El método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) se diseñó para identificar y determinar áreas de diferente vulnerabilidad frente a la contaminación de aguas subterráneas. Este método se expresa a partir de una serie de parámetros (Tabla 3.2.) que son relevantes y suficientes cuando se cumplen unas condiciones mínimas: a) el contaminante se introduce desde la superficie; b) el contaminante se introduce en el acuífero por efectos de la precipitación; c) el contaminante tiene movilidad en el agua; d) el área a evaluar es de 400 km² ó más. Con esta escala se consigue el objetivo de seleccionar regiones de mayor o menor vulnerabilidad ya que el método no es válido para subdividir superficies menores.

El método consiste en evaluar la vulnerabilidad potencial de porciones del territorio previamente definidas. Las unidades de trabajo son los Land Systems de extensión subregional (< 400 km²) y cartografiables (Fig.3.1). La evaluación de cada unidad se hace mediante la adición de los valores ponderados de los parámetros de la tabla 3.2. hasta conseguir una puntuación final que se denomina "índice DRASTIC". Una vez obtenido este índice es posible identificar áreas que son más susceptibles que otras. Se trata por tanto de una valoración relativa. Contempla las variaciones de cualquier tipo de acuífero que podamos encontrar en la naturaleza: acuífero multicapa, acuíferos confinados o cautivos, acuíferos kársticos, etc. También posibilita la evaluación de áreas ya contaminados por labores agrícolas. El método ofrece una tabla de variación de los pesos, ajustados a circunstancias de contaminación por pesticidas, manteniéndose iguales las tablas de valoración de cada uno de los parámetros. Una vez obtenida la suma total de los valores según la expresión (1), se le hace corresponder un color según intervalos ya previstos por el método, y de esta forma se determina la vulnerabilidad potencial de la zona para una posible contaminación. Este método también contempla la posibilidad de obtener resultados a partir de superposición cartográfica de los mismos parámetros anteriores. El resultado no se registra como unidad geomorfológica, sino como unidades de síntesis.

Expresión (1):

$$V_D \cdot P_D + V_R \cdot P_R + V_A \cdot P_A + \dots = \text{Contaminación Potencial}$$

(94-204 puntos)

D,R,A...= Parámetros

V = valor

P_x = peso de cada parámetro

PARAMETRO	EXPRESIÓN	PESO	PARAMETER	INICIAL
Prof. N.F.	Pies	5	Depth of water	D
Recarga	Pulg/año	4	Net Re-charge	R
Medio Acuif.	Litología	3	Aquifer media	A
Suelos	Litología	2	Soil media	S
Pendiente	%	1	Topography	T
Impacto Z.V.	litología	5	Impact of the vadose zone media	I
Conductividad	gpd/FT ²	3	Hidraulic conductivity	C

Tabla 3.2. Parámetros utilizados por el método DRASTIC (Aller et al., 1987)

NORTHEAST AND SUPERIOR UPLANDS

(9C) Mountain Flanks

This hydrogeologic setting is characterized by moderate topographic relief and moderately dipping, fractured, consolidated sedimentary rocks. Soil cover is usually thicker than on the mountain slopes and typically has weathered to a sandy loam. Although precipitation can be significant, ground-water recharge is moderate due to the slope. Water levels are typically moderately deep, although they are extremely variable. The mountain flanks serve as the recharge area for aquifers which are confined in adjacent lowland areas. Ground water is obtained from the permeable sedimentary rocks or from fractures and bedding planes in the sedimentary rocks. The sedimentary rocks may be underlain by fractured bedrock of igneous, metamorphic or sedimentary origin which yield little water.

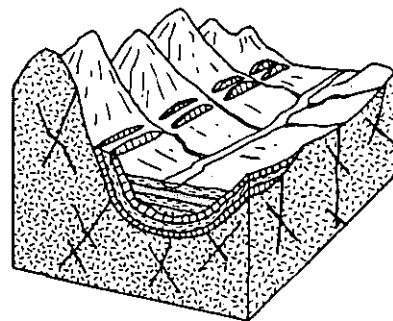


Figura 3.1. Ejemplo de unidades de trabajo empleadas por DRASTIC

2) El método de LeGrand (1980), se utiliza para estimar la afección subterránea en la evaluación de emplazamientos para residuos de cualquier tipo. El método puede aplicarse para realizar estimaciones sobre zonas ya contaminadas y determinar el grado de severidad de la contaminación, o estimar la probabilidad de que se contamine una captación de agua determinada.

El método consta de 10 pasos agrupados en 4 estadios. En el primero se hace una descripción hidrogeológica del lugar. En el segundo se evalúa el grado de seriedad de la contaminación. En el tercero se obtiene la probabilidad de contaminación y el grado de aceptación. En el cuarto se

evalúa la probabilidad de contaminación y el grado de aceptación pero en emplazamientos modificados por obras de ingeniería.

En el primer estadio se hace la caracterización hidrogeológica de cada emplazamiento hasta determinar su pertenencia a alguna de las posibles categorías que el método define previamente. Para ello los pasos 1 al 4 hacen una evaluación numérica, los pasos 5 y 6 una clasificación en grados de confianza de los datos y tipo de emplazamiento y, por último, en el paso 7 se integran los pasos anteriores y se asigna la categoría del emplazamiento.

Paso 1. Distancia entre el foco de contaminación y el punto de uso del agua.

Paso 2. Profundidad del nivel freático

Paso 3. Gradiente hidráulico del acuífero

Paso 4. Permeabilidad-sorción del emplazamiento en función del espesor de suelo y su composición

Paso 5. Grado de confianza que ofrecen los datos utilizados

Paso 6. Carácter del emplazamiento

Paso 7. Suma total de puntos. El valor obtenido no puede sobrepasar unos valores de distancia y de permeabilidad-sorción máximos.

En el estadio 2 se utiliza una matriz de "Riesgo Potencial" para determinar la "seriedad"¹ de la contaminación. La matriz presenta una doble entrada: una para severidad del contaminante y otra para sensibilidad del acuífero. En la primera se tienen en cuenta el tipo de vertido y en el segundo interviene las características del acuífero.

Estadio 3. En el paso 9 se utiliza la misma matriz de doble entrada (seriedad de la contaminación potencial y sensibilidad del acuífero) para determinar la probabilidad de contaminación y el grado de aceptación mediante la comparación de una situación potencial de ambos parámetros con el valor máximo aceptable

Estadio 4. El paso 10 repite el proceso del estadio 9 para condiciones modificadas por cualquier tipo de actuación sirve sobre todo para evaluar la eficacia de cualquier actuación correctora de los problemas potenciales detectados anteriormente.

Las aportaciones que supone uno u otro método en la evaluación de vertederos así como las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos pueden verse en Pividal,(1995).

3) Sendlein y Palmquist (1975), añaden la topografía a estos criterios. La topografía predice, a grandes rasgos, algunas condiciones hidrogeológicas y en ocasiones, los materiales presentes en un emplazamiento (Fig.3.2.).

¹ en función de la severidad del contaminante y sensibilidad del acuífero

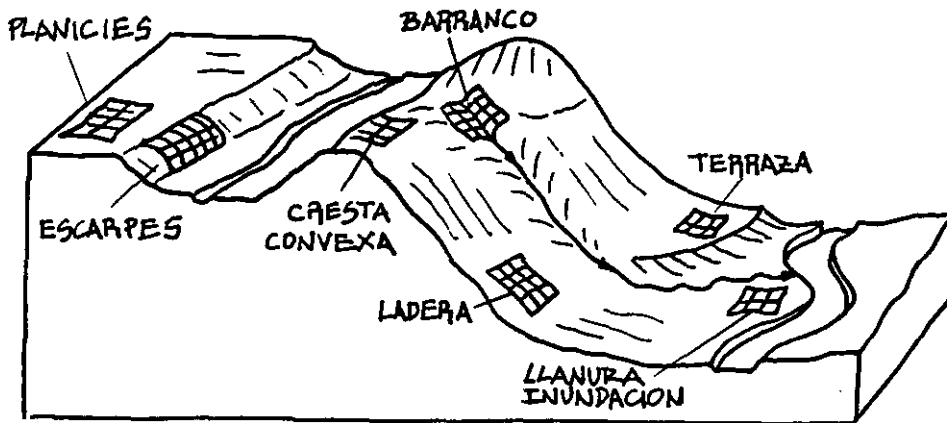


Figura 3.2. Posiciones posibles de un vertedero en el relieve (Sendlein y Palmquist, 1975)

Las características físicas de una determinada posición topográfica son: los materiales, el régimen de agua subterránea y superficial. El régimen del agua subterránea está en función de la permeabilidad de los materiales y la topografía. El régimen de agua superficial depende de la capacidad de infiltración de los materiales y de la pendiente topográfica. Esta relación entre litología y topografía significa que en un área homogénea debería ser posible predecir, dentro de unos límites, la configuración del agua subterránea y la permeabilidad relativa en una determinada posición topográfica. Estos autores establecen varias relaciones con la topografía. Por ejemplo, describen la morfología probable de cada litología, zonas topográficas en función de la litología, líneas de flujo en función de la permeabilidad, competencia de la roca según el tipo de relieve, tipo de recarga respecto a cada permeabilidad. Con todo ello determinan que es posible intuir la forma y medida de la zona contaminada o lo que potencialmente podría formarse. Describen cómo es la pluma de contaminación para cada zona topográfica considerando dos premisas de partida:

- a) el material es homogéneo y saturado, por lo que se desarrolla un patrón de flujo determinado, y
- b) la densidad del agua contaminada es próxima a la no contaminada.

Concluyen que las mejores zonas topográficas para ubicar vertederos de residuos sólidos urbanos son la de topografía alta (zona 3 y 4) siendo las peores las zonas 2 y 7 (Fig.3.2.)

4) Foster (1987), basándose en el método diseñado por LeGrand (1965, 1983), elaboró uno de los más simples e interesantes métodos de valoración de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas. Se estructura en tres parámetros que constituyen la palabra GOD (Groundwater occurrence, Overall aquifer class, Depth to groundwater table) (Fig.3.3.).

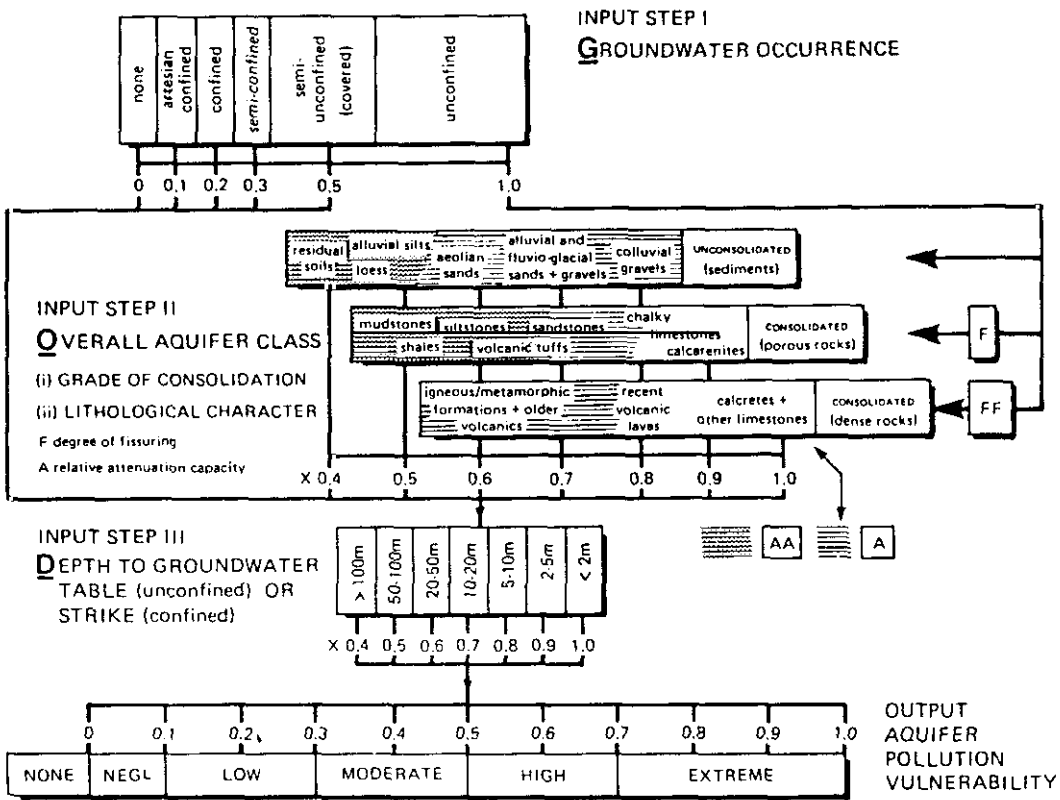


Figura 3.3. Sistema empírico para establecer la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación (Foster, 1987)

5) Walsh *et al.* (1981), pusieron en práctica en Indiana un método de caracterización de las afecciones que producían los mas de 2500 puntos de vertido en este estado. El objetivo era establecer un plan de protección para residuos. El método está basado en seis pasos: evaluación de la Z.N.S., disponibilidad de agua, calidad de la misma, riesgo potencial del vertido, contaminación potencial y el peligro que supone para las captaciones de agua próximas. Está basado en datos bibliográficos y algunas observaciones de campo, lo que lo convierte en un método barato y asequible en ordenación del territorio.

Como metodologías llevadas a cabo en España se han seleccionado dos efectuadas para el área cántabra y el mapa de orientación al vertido realizado para Madrid.

6) Temiño *et al.* (1990), proponen un método semicuantitativo a partir de unos criterios que establecen la capacidad de acogida del medio natural y social para V.R.S.U. de forma cartográfica a escala 1:25.000 -1:50.000. Puede ser aplicada tanto para estudios de localización de nuevos emplazamientos como para instalaciones ya existentes. Se trata de un sistema de

superposición cartográfica sucesiva de distintos aspectos del medio natural y social hasta conseguir cuatro mapas finales que representan la potencialidad de afección socioeconómica, al medio biológico y el paisaje, a las aguas superficiales y a las subterráneas. Cada mapa se gradúa en tres valores de afección: alto-medio y bajo, en función de unos criterios que vienen definidos en tablas. Este método ha servido de modelo de referencia en este estudio, para estimar las variaciones producidas por la utilización de distintos procedimientos de selección de emplazamientos. Su metodología puede seguirse en el Capítulo VI y en Temiño *et al.*, (1990).

7) Montalvo *et al.* (1988), realizaron un informe sobre la localización óptima de vertederos controlados de residuos sólidos en Cantabria utilizando aspectos naturalístico-biológicos, culturales, geológicos e hidrogeológicos y logísticos. El informe consta de dos fases. En la primera se realiza un diagnóstico general de la zona y se considera la variabilidad ecológica del territorio, aspectos que sirven para evaluar la calidad ambiental de numerosos sectores en que se ha dividido el territorio, así como para estimar su pérdida de valor ante la instalación de un V.R.S.U.

En este informe el impacto se indicó a través de modelos numéricos de análisis (análisis de componentes principales) que permiten obtener unas propuestas de localización óptima. Los parámetros empleados fueron:

a) Aspecto naturalístico-biológico y estético-cultural

- * Tipología de la vegetación y usos del suelo. Consideraciones sobre la integración del paisaje rural y su valor cultural
- * Estado potencial de la fauna
- * Potencialidad agraria de los suelos

b) Aspecto naturalístico geológico-hidrogeológico

- * Caracterización hidrogeológica: permeabilidad, contenido en arcillas, calidad del agua subterránea, zona de recarga y descarga de acuíferos kársticos.
- * Caracterización hidrológica superficial: distancia al medio receptor según la dirección de flujo, tipo de medio receptor, calidad del agua superficial.
- * Procesos y riesgos geológicos: procesos geodinámicos que comporten riesgo geológico, problemas geotécnicos y grado de sismicidad de la región.

c) Logísticos

- * Visibilidad: potencial visual, incidencia visual
- * Densidad de urbanización
- * Distancia al núcleo principal generador de desechos.

La segunda fase consiste en un estudio de alternativas analizadas a una escala de detalle diferente. En esta fase se emplean nuevos parámetros que tienen que ver con el análisis de

costes de funcionamiento de instalaciones y reciclaje de agua de lixiviado de los residuos, etc.

8) Siguiendo con el esquema clásico de selección de alternativas y evaluación posterior de los impactos, es frecuente utilizar las matrices de impacto como herramientas que la Evaluación del Impacto ambiental utiliza comúnmente para cualquier tipo de actividad. Estas matrices utilizan el inventario ambiental y las características de la actividad a implantar para identificar los impactos y definir los problemas. Barretino y Gallego (1990), utilizan esta metodología en la selección de emplazamientos para un V.R.S.U. en Málaga, empleando factores condicionantes principales y de segundo orden que una vez ponderados y valorados obtienen un índice de viabilidad que identifica el área más favorable.

Este sistema integra las características técnicas de la ubicación de V.R.S.U. pero descuida la caracterización y valoración de los impactos al medio físico.

9) El mapa de Orientación al Vertido de Residuos Sólidos Urbanos (IGME, 1982) tiene, como su nombre indica, un carácter orientativo y su criterio de elaboración está basado en la protección de la calidad de las aguas subterráneas. Por ello se diferencian zonas donde las aguas subterráneas aprovechables corren riesgo de afección, zonas donde no existe acuífero y zonas donde el riesgo de contaminación es menor por tratarse de acuíferos protegidos de forma natural. Se trata más bien de un mapa de vulnerabilidad de los mantos acuíferos (IGME, 1982) definido en función a la calidad del agua.

El mapa de orientación va acompañado de tres esquemas que indican el funcionamiento hidrogeológico de la provincia, la profundidad del nivel freático y la calidad química. La superposición de las zonas más apropiadas para la ubicación de vertederos en cada una de las características anteriores no determinan ninguna zona recomendable al vertido. La información se completa con datos sobre los vertederos existentes, las principales captaciones de agua y las zonas de protección de embalses.

El mapa general de orientación al vertido está realizado en función de la peligrosidad que presentan los posibles emplazamientos, y con ello divide la provincia en dos grandes zonas: zonas desfavorables al vertido y zonas relativamente más favorables. Dentro del grupo recomendado como "zonas desfavorables" se incluyen:

- Zonas permeables en superficie por porosidad (cuaternarios aluviales)
- Zonas permeables en superficie por fisuración (calizas)
- Zonas próximas a las captaciones de abastecimiento humano

Las zonas que requieren estudios complementarios incluyen:

- zonas de permeabilidad variable en superficie. Suele tratarse de zonas con acuíferos permeables por porosidad donde el agua se encuentra a más de 20 m de profundidad

con calidad del agua aceptable. Son recomendables como zonas desfavorables en principio al vertido.

- Zonas con permeabilidad nula o baja en superficie, o zonas de mala calidad del agua. También se incluyen zonas donde la permeabilidad en superficie es muy baja y la profundidad del agua en los lentejones permeables existentes es, en general, mayor de 20 m. Son recomendables como zonas en principio favorables al vertido.

3.3. CLASIFICACIÓN DEL RELIEVE

Desde las primeras divisiones del territorio de Powell (1876), seguidas de las de Salisbury (1907); Fenneman (1928); Bourne (1931); Wooldrige (1932); Veatch (1933); Unstead (1933); hasta los trabajos más recientes, Christian y Steward (1968); Mabbutt (1968); Pedraza (1978); Van Zuidam (1979); Aguiló *et al.* (1992); Martín Duque (1997), se han sucedido una amplia diversidad de clasificaciones del relieve cuyos objetivos son comunes: buscar simples regularidades significativas que permitan compartimentar el territorio, para dos fines principales:

- a) Para describir el medio
- b) Para diferenciarlo según patrones de comportamiento.

Si el primero de estos objetivos se ajusta más a los trabajos de investigación o de catalogación de las características del territorio, -independientemente de que pueda ser utilizado para posteriores confrontaciones de usos del suelo-, el segundo de ellos responde directamente a los intereses de la planificación puesto que, en función de su respuesta ante determinadas modificaciones o introducción de actividades en el territorio, se van a obtener unas divisiones de terreno de características homogéneas que, como decimos, van a responder de forma predecible. Por tanto, las unidades de trabajo serán homogéneas en cuanto a sus características cuando se precise definir el medio en sí, y homogéneas en respuesta cuando se trate de establecer un diagnóstico a la acogida de una actividad o introducción activa en el territorio (presumiblemente también serán homogéneas sus características descriptivas).

Identificado el objetivo de la clasificación como punto de partida se busca, seguidamente, el método de compartimentación del territorio. Los métodos de división son básicamente dos:

- partir de celdas regulares que se unen en unidades siguiendo uno o varios criterios comunes,
- partir de unidades previas definidas con criterios geológicos o geográficos y, a partir de ellas, seguir dos tipos de procedimientos: la subdivisión progresiva de la unidad inicial (Hills, 1961), -en la que los límites de la unidad final están incluidos en la unidad inicial, por ejemplo, la unidad geomorfológica-, o superponer varios tipos de unidades previas para obtener una unidad final, que reúne factores comunes pero cuyos límites son

diferentes a los originales (González Bernáldez, 1973).

Si el objetivo es la mera diferenciación física o genética del territorio, se podrá trabajar a varias escalas y con pocos elementos de identificación, mientras que si el objetivo se ajusta a la acogida de actividades, la división territorial ya estará condicionada por valores "aptos" o "no aptos" concretos para acoger esas actividades. Es decir, los parámetros de evaluación deberán estar predeterminados para un fin. Si los territorios homogéneos o de respuesta homogénea se buscan siguiendo varios indicadores, cuanto más afines sean las actividades entre sí o más coordinada esté una actividad con el medio, se requerirán menos indicadores para el diagnóstico o la toma de decisiones (Gómez Orea, 1994; Pedraza y Garzón, 1978). Sin embargo, cuando la división del relieve se realiza para analizar la acogida de actividades muy diferentes entre ellas, las incompatibilidades serán muy numerosas y se precisará de subdivisiones más frecuentes y, por tanto, serán menos operativas (Gómez Orea, op.cit).

Siguiendo con los parámetros de identificación de unidades, como ya hemos mencionado, éstos pueden basarse en criterios geográficos o geológicos o bien, que sean individualizados en función a una actividad (Ramos y Ayuso, 1974; Mc Harg, 1969; Johns, 1973). En este caso ya no son extrapolables a otras actividades, pero su base es igualmente geográfica o geológica.

- Los criterios geográficos dividen el territorio de forma geométrica (Pedraza y cols. 1996)
- Los criterios fisiográficos delimitan unidades en función a los aspectos configuracionales del relieve o elementos sobresalientes (Lewis, 1964): clima, hidrología, suelos, etc. Las porciones resultantes presentan fisionomías características y bien diferenciadas respecto a las de su entorno (Pedraza y cols. op.cit.). Son el punto de partida de los métodos "fisiográficos" de clasificación del relieve (Martín Duque, 1997).
- Los geológicos utilizan éstos aspectos como descriptores de las unidades pero no como definitorios de las mismas (Martín Duque, op. cit). Los criterios geológicos se basan en el análisis de las formas en relación con su génesis y procesos configuracionales del relieve. Son la base principal de los métodos "genéticos".
- Cuando a los métodos fisiográficos se les dota de aspectos genéticos además de los geométricos, el método pasa a ser "geomorfológico" (Martín Duque, op.cit).

En planificación física, la determinación de unidades homogéneas ha dado lugar a varias escuelas que asocian, en muchos casos, las unidades de territorio con "Unidades Ambientales" y que han constituido la base físico-ecológica de posteriores planificaciones sectoriales o incluso planificaciones integradas (Ramos *et al.*, 1979; Mc Harg, 1969; Tarlet, 1977; Pedraza, 1981; Gómez Orea, 1994; Martín Duque, 1997, etc).

Uno de los métodos más consolidados de división del relieve y que ha servido de punto de partida para este trabajo es el sistema de cartografía mediante "Land Systems" desarrollado por la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization en Australia (CSIRO) como

un método rápido de reconocimiento de zonas sin cartografiar o pobremente cartografiadas (Christian, 1957; Mabbutt y Stewart, 1963). El primer objetivo de esta división fue establecer una clasificación de la disponibilidad del terreno para la agricultura. Después se ha utilizado para ingeniería (Aitchison y Grant, 1967) y se ha aplicado en otros países (Land Resources Division (LRD), en Alemania).

La cartografía de "Land Systems" implica subdividir el territorio en áreas que tengan características físicas comunes que las diferencien de otras adyacentes. Sus caracteres se basan en las relaciones entre topografía, suelo y vegetación (Christian y Stewart, 1952) y geología, geomorfología y clima (Stewart and Perry, 1953). Los "Land Systems" son válidos para el estudio de grandes territorios a pequeña escala, pero para profundizar y analizar los usos potenciales del suelo hay que aumentar la escala a 1:100.000 - 1:25.000 (los "Land Systems" trabajan a escala 1:250.000).

Las "Land Units" son divisiones menores de aquéllas que presentan una forma simple y normalmente aparecen en un sólo tipo de roca o depósito superficial. Se reconocen a menudo por la geomorfología pero puede estar compuesta de dos o más elementos (Cooke and Doornkamp, op.cit).

Este sistema australiano consolida el punto de partida de otras escuelas cuyos criterios de clasificación pueden consultarse en Pedraza ed.(1982): Holandesa (ver Verstappen,1970); Alemana (ver Kugler,1975); británica (Beaven, 1976); Rusa (ver Olier, 1977). En la escuela americana destaca la propuesta de Godfrey (1977) (Tabla 3.3.) pero ya se habían iniciado los intentos de clasificación en los años 30 con Fenneman (1928) o Bourne (1931), entre otros.

"PROVINCIA" = regiones morfoestructurales (Fenneman, 1928) a los que se le ha incluido información climática, vegetación, suelo y agua.

"SECCIÓN" = incluye información sobre vegetación, clima, suelos y agua. Parte de la "provincia" diferenciada por variaciones en estos y otros elementos.

"LANDTYPE GROUP" = divisiones morfológicas de la sección ("subsección")

"LAND TYPE" = formas de morfología simple que dividen la subsección por entidad morfológica y genética propia.

"ELEMENTOS TOPOGRÁFICOS" = se definen dentro de los Land Type por la geometría de cada una de las partes funcionales desde el punto de vista dinámico.

Tabla 3.3. Categorías Fisiográficas de Godfrey (1977), en Pedraza (ed. 1982).

En España los primeros trabajos aproximan el territorio a regiones limitadas, bien por sus características botánicas (Coello *et al.*, 1859); bien por su litología y orografía (Casiano del

Prado, 1864 y posteriormente Hernandez Pacheco, F. 1934) que diferenciaron en la provincia de Madrid tres dominios naturales: Sierra, Llanura de Transición y los Páramos.

Los trabajos de sectorización fisiográfica dividían la Península en una serie de categorías territoriales jerarquizadas que van desde Regiones Naturales a Comarcas (Dantín Cerceda, 1922); o desde Zona Fisiográfica a Comarcas (Hernández Pacheco, E. 1932), en la que, por ejemplo, Madrid quedaría incluida dentro de la Zona Fisiográfica "central" y las Regiones serían la Cordillera Central y las llanuras de Castilla la Nueva. También desde una perspectiva fisiográfica Gallardo y Pérez González (1983), y Pedraza *et al.* (1986), dividen la región de Madrid obteniendo dos tipos de clasificaciones (Tabla 3.4. y 3.5.)

UNIDADES	REGIONES	
Geológico-estructurales	Fisiográficas	
SIERRA	Rampa Vertientes Cumbres	
DEPRESIÓN	Colinas (arcosas)	
	Valles:	Llanuras aluviales Terrazas medias y bajas
	Páramo	
	Yesos:	Escarpes Llanuras Depresiones
	Raña	

Tabla 3.4. Clasificación del relieve según Gallardo y Pérez González (1983) (en Pedraza y Cols., 1996)

REGIÓN	UNIDAD FISIOGRAFICA	
SIERRA	Cimas y Planicie de cumbres Planicie de Parameras Laderas	
TRANSICIÓN	Piedemonte	Tipo rampa Tipo depresión
DEPRESIÓN	Llanura intermedia	Campiña Vegas
	Páramos	

Tabla 3.5. Clasificación del relieve según Pedraza *et al.* (1986).

A partir del concepto de "Categorías Fisiográficas" de Godfrey (1977), (Tabla 3.3); Pedraza

(1978), define las unidades geomorfológicas básicas a partir de conjuntos geológicos de toda la Península (Tabla 3.6). Los "Conjuntos Geológicos" tienen una acotación geométrica y definen características generales de la zona. Los procesos y formas que los definen son variados y complejos y tienen categoría morfoestructural. Los "Conjuntos Geomorfológicos de orden Superior" son divisiones fisiográficas de los conjuntos geológicos y describen el paisaje topográfico. Los "Conjuntos Geomorfológicos de orden Inferior" están controlados por la morfoestructura y constituyen conjuntos de segundo orden pero con entidad fisiográfica (plataformas escalonadas, relieves de transición y relieves encajados en los valles). Le siguen las "Unidades Geomorfológicas" que están controladas por las formas de relieve simples, asociadas a un proceso genético sencillo (superficie de cumbres, parameras, vertientes glacis, vegas fluviales, etc). Termina la clasificación con los "Elementos geomorfológicos" propios o sobrepuestos que dividen las unidades y que suponen la base fundamental a la hora de establecer todo tipo de acciones sobre el medio natural (Pedraza y Garzón, 1978).

Esta clasificación se realizó para una parte del sistema Central Ibérico y se aplicó en trabajos específicos en Albarracín (Pedraza y Garzón, 1978) y en un trabajo de planificación de los municipios de Melgar de Fernamental, Castrojeriz y Villadiego, para la Diputación Provincial de Burgos (I.N.I.T.E.C., 1980).

Como ejemplo de trabajos realizados para Madrid desde un punto de vista medioambiental González Bernáldez y cols.(1973), utiliza la definición de "Unidad Ambiental" que integran diferentes parámetros del medio natural para definir unidades homogéneas. Estas unidades se utilizaron en el Plan Especial de Protección del Medio Físico (COPLACO) trabajando con unidades ambientales homogéneas a escala 1:25.000 (producto final a 1:100.000) con la finalidad de incorporar los valores naturales a la planificación física. El Plan utilizó como herramienta indicadores fotointerpretables (rasgos geomorfológicos, usos del suelo, tipo y distribución de la vegetación) y con ello se obtenían unidades de percepción o de paisaje hasta un total de 382 unidades ambientales, describiéndose en cada una de ellas 42 aspectos diferentes que contribuían al conocimiento de su calidad ambiental.

Las divisiones geomorfológicas determinan unidades muy útiles en trabajos de planificación física, ya que unidades del mismo tipo convergen en sus características básicas (suelos, pendientes, hidrología, etc), indirectamente en las características aspectuales o de paisaje (vegetación y usos del suelo, visibilidad, etc) y definen procesos actuales y por ende, los riesgos asociados a ellas.

CLASIFICACION DEL RELIEVE (ZONA DE ENLACE ENTRE LAS SIERRAS DE GREDOS Y GUADARRAMA) Pedraza, 1978					
CONJUNTOS GEOLÓGICOS G	CONJUNTOS GEOMORFOLÓGICOS DE ORDEN SUPERIOR M ⁵	CONJUNTOS GEOMORFOLÓGICOS DE ORDEN INFERIOR M ¹	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS	
				PROPIOS	SOBREIMPUESTOS
HERCINICOS INDIVIDUALIZADOS EN AREAS DOMINANTEMENTE GRANITICAS DE FRATURA G ¹¹ (MACIZOS ANTIGUOS ARRASADOS)	COMO ELEVACIONES DOMINANTES M ₁ ¹ (ZONAS DE MAXIMA ACTIVIDAD Y CONTINUIDAD EN LAS REACTIVACIONES) (SISTEMAS MONTAÑOSOS)	RELIEVES DE PLATAFORMAS ESCALONADAS (PLANICIES ARTICULADAS POR LADERAS ESCARPADAS) M ₁ ¹	1.-SUPERFICIE TIPO PENILLANURA (Llanura de meseta s.s.) (M ₁ de Schwenzner)	Restos de planicie original con relieves residuales tipo Monodnocks.	-Replanos de aterrazamiento mixto (fluvioperriglaciales). -Encajamientos tipo garganta. -Crestones y relieves residuales de detalle (TORS).
			2.-LADERAS	Escarpes generales.	Replanos colgados, encajamientos fluviales y formas asociadas. (Gargantas, torrenteras, cuencas de recepción, conos de deyección, coluviones, etc.)
TARDI O POSTALPIDICOS GENERALIZADOS EN INFLEXIONES DEL ZOCALO G ¹² (CUENCAS MODERNAS SUBSIDENTES)	COMO LLANURAS ENCAJADAS EN LA CUENCA M ₂ ³ (ZONAS AXIALES DE LOS PROCESOS RECIENTES Y REAJUSTES POSTUMOS) (DEPRESIONES O FOSAS)	RELIEVES DE TRANSICION. LLANURAS GENERALIZADAS -DE BASE DEL MACIZO RAMPAS -DE CULMINACION DE LOS VALLES. CAMPINAS S.S M ₂ ¹	3.-SUPERFICIE TIPO PEDIMENT (Rampa superior) (M ₂ de Schwenzner)	Resto de planicie con relieves residuales tipo Inselbergs.	-Encajamientos fluviales y formas asociadas. (Gargantas, barrancos y derrames de escarpe.) -Relieves residuales menores (TORS).
			4.-SUPERFICIE ENCAJADA EN EL PEDIMENT (Rama inferior) (M ₁ de Schwenzner)	Restos de superficie con relieves residuales tipo Inselbergs.	-Depresiones mixtas Tectoerosivos (Grabens modelados por la red hidrográfica). -Replanos lobulados de erosión fluvial. -Encajamientos fluviales y formas asociadas. (Gargantas, derrames, barrancos, terrazas fluviales, relieves residuales de detalle, etc.)
			5.-SUPERFICIE INFERIOR AL PEDIMENT DESARROLLADA EN LA CUENCA (Campña superior) (M ₁ de Schwenzner)	Restos de llanura.	Abarrancamientos fluviales.
			6.-VERTIENTES GLACIS (Campña inferior)	Replanos lobulados articulados entre si (Glacis escalonado).	Abarrancamientos. Artesos fluviales. Carcavos. Derrames y coluviones.
			7.-SISTEMA DE ATERRAZAMIENTO DEL VALLE DE ALBERCHE (VEGAS)	Replanos escalonados y articulados entre ellos o frentes de canal asociados.	Escarpes de frente de canal y formas asociadas (Carcavas, derrames, coluviones, cañas de deyección).
		RELIEVES ENCAJADOS EN LOS VALLES M ₃ ¹			

Tabla 3.6. Unidades geomorfológicas definidas por Pedraza (1978).

El método geomorfológico divide el relieve obteniendo unidades homogéneas en su fisonomía. Se trataría pues de "Unidades Fisiográficas" (Pedraza y cols.,1996) definidas a partir de la combinación entre un agente modelador, un ambiente de formación y el resultado de ambos. Los elementos que configuran la "Unidad Geomorfológica" son "propios" y por ello dentro de una misma unidad no se incluyen porciones de morfología común pero de evolución diferente.

La geomorfología aplicada a la planificación territorial se puso en marcha con Mc Harg (1969) y De Way (1973), y su utilidad se centra en su carácter globalizador de otros aspectos y características territoriales (Veatch, 1937; Wright, 1972; Pedraza et al.,1989; Martín Duque,1997). Al estar definidas por agentes y procesos concretos son fácilmente cartografiables y su subdivisión posterior permite desmembrar las unidades geomorfológicas por cualquier aspecto geométrico (pendiente, textura, etc)(Pedraza et al.,op.cit.). Igualmente al ser un compendio de otros aspectos del medio físico son una buena base para estudios medioambientales (Wright, 1972) y de paisaje (Solntsev,1962).

Todos estos aspectos nos han llevado a aceptar la unidad geomorfológica como unidad cartográfica de partida y se intentará demostrar su capacidad predictiva en el análisis del territorio para la acogida de vertederos de residuos sólidos urbanos. La posibilidad de añadir criterios numéricos que cuantifiquen la viabilidad de cada unidad (Mitchell, 1973), supone un valor añadido a la utilización de este tipo de unidades para poder establecer un orden de preferencia de unas unidades frente a otras para ubicar vertederos sin necesidad de realizar nuevos trabajos de división territorial si ya están definidas de antemano las unidades geomorfológicas.

IV. ZONA DE ESTUDIO

4.1. GENERALIDADES

Para poner a prueba y verificar el método propuesto y los métodos de referencia, se han elegido dos zonas piloto que corresponden a dos dominios diferentes dentro de la provincia de Madrid: uno ubicado en la Sierra de Guadarrama (Fig. 4.1.a) y otro perteneciente a la cuenca sedimentaria de Madrid (Fig. 4.1.b).

En estas dos zonas se encuentran representadas la mayoría de las Unidades Geomorfológicas que es posible encontrar en la Comunidad de Madrid, además de ser dos sectores con marcada tradición en asentamiento de vertederos; la localizada en la cuenca por tratarse de una zona donde los asentamientos de población eran poco frecuentes, además de poseer un paisaje poco atractivo para el ocio y por contar con materiales que en principio ocasionaban pocos problemas en la contaminación subterránea. Por su parte el área de la sierra cuenta con numerosas canteras abandonadas las cuales han servido, durante muchos años, como lugares de vaciado de escombros y abandono de basuras.

	<u>Extensión</u>	<u>Nº U.GMF</u>
SIERRA	550,7 km ²	10
CUENCA	1211,9 km ²	13

4.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

4.2.1. El Sistema Central

El Sistema Central fue individualizado con los movimientos compresivos alpinos (Alía, 1976, Alvaro *et al.*, 1979; Vegas y Banda, 1982; Portero y Aznar, 1984; Capote y de Vicente, 1989); posiblemente relacionados con los movimientos compresivos del orógeno bético causados por la convergencia entre las placas europea, ibérica y africana (Capote, 1993, De Vicente *et al.*, 1993). El resultado final de esta compresión generalizada es una estructura en bloques escalonados bien correspondientes a una estructura de horts y grabens (Hernández Pacheco, E, 1922, 23, 29; Portero y Aznar, 1984; Mejías *et al.*, 1983), o de cabalgamientos de doble vergencia

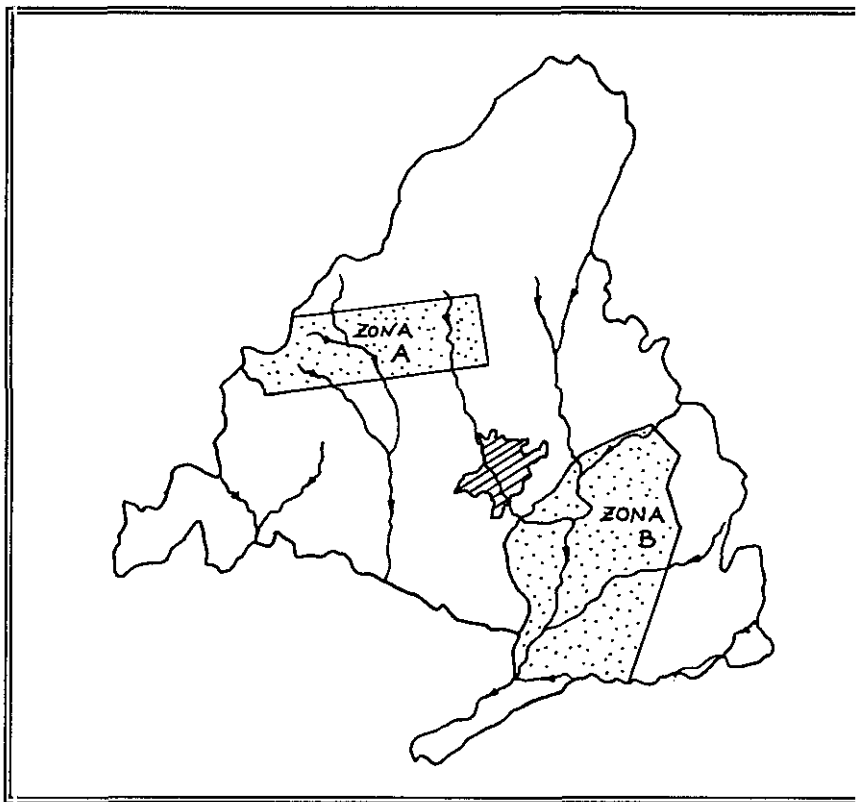


Figura 4.1. Localización de las áreas de estudio dentro de la Comunidad de Madrid.

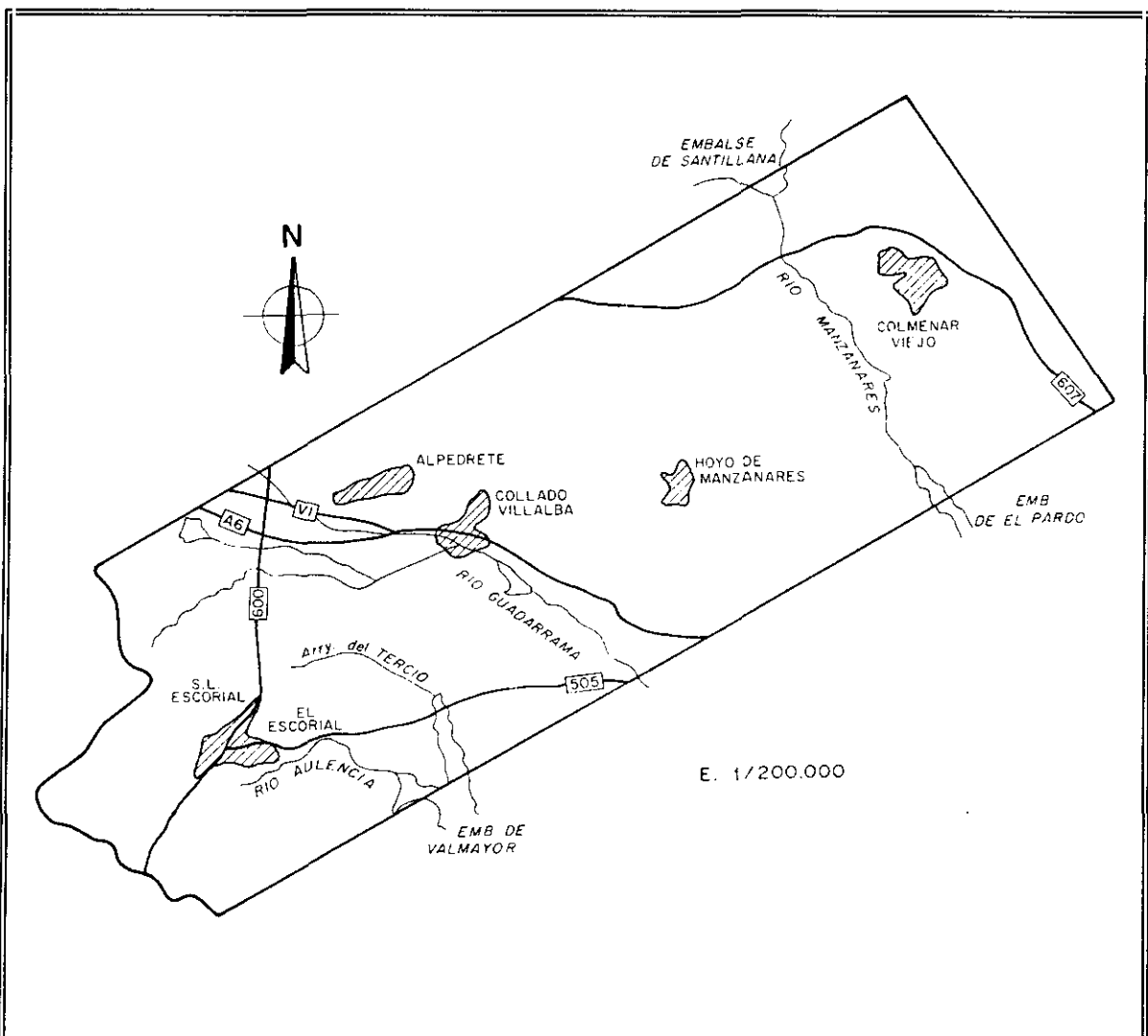


Figura 4.1.a. Zona de estudio. Área de la sierra

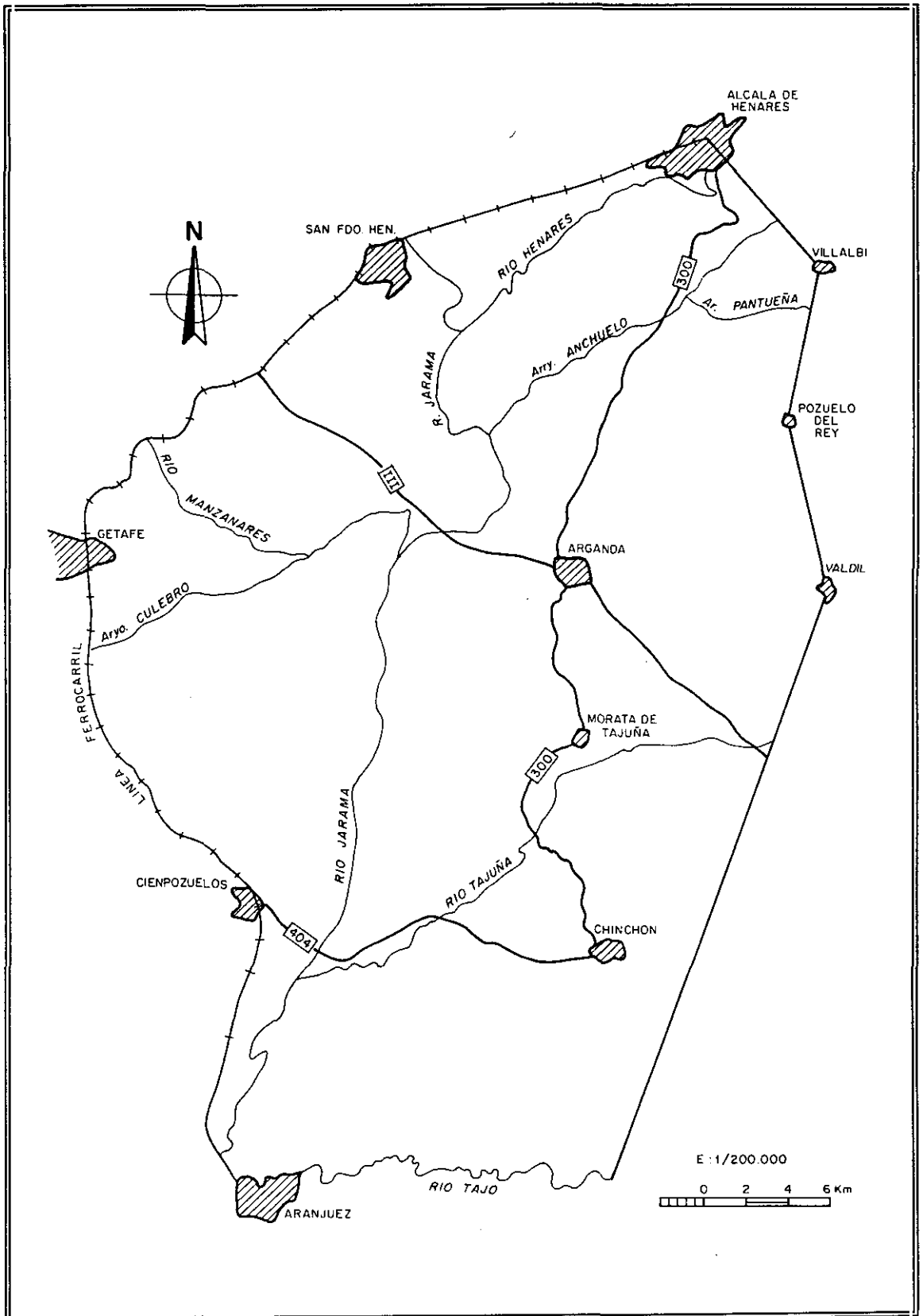


Figura 4.1.b. Zona de estudio. Área de la cuenca.

(Warburton y Alvarez,1989; Ribeiro *et al.*,1990; De Vicente *et al.*,1991,1993), formando estructuras "pop up" para las zonas montañosas, y "pop down" para las deprimidas. En cualquiera de estas interpretaciones, las estructuras que provocan el levantamiento del Sistema Central son fallas tardihercínicas reactivadas.

A lo largo de la estructura del Sistema Central se distinguen tres unidades montañosas con diferentes características litológicas que confieren distintas orografías al paisaje de las montañas de la CAM y suponen, además, tres áreas fuente de los sedimentos de la cuenca terciaria del Tajo. La sierra de Guadarrama, la unidad que más nos interesa en este trabajo, está constituida por materiales metamórficos e ígneos. El conjunto metamórfico lo componen casi exclusivamente gneises glandulares y migmatíticos, mientras que los materiales plutónicos son, fundamentalmente, granitos y granodioritas. Estos materiales están atravesados por un enjambre de diques porfídicos, cuarcíticos y pegmatíticos, entre otros, cuyas direcciones y etapas extensivas de formación han sido estudiadas por Capote *et al.*(1987).

Las direcciones principales de fracturación tardihercínica de la Srra. de Guadarrama y, en general, de todo el Sistema Central son, por orden de importancia en el relieve actual, de dirección NE-SW, NNE, WNW-ESE, N-S y E-W (González Ubanell,1981). En ocasiones han sido reactivadas durante la sedimentación mesozoica (Pérez del Campo, 1986) y, en algunas fallas inversas, durante el Paleógeno (De Vicente *et al.*, 1993). La falla del borde sur del sistema Central ha sido reactivada ligeramente en los últimos 15 años (Giner *et al.*,1996).

En lo que se refiere a la historia erosiva, el conjunto montañoso en el que se encuadra nuestra zona de estudio se estructura en una serie de superficies escalonadas. Su origen y morfoestructura ha sido objeto de estudio por diversos autores (Schmieder, 1915; Schwenzner, 1936; Solé Sabarís, 1952; Birot y Solé Sabarís, 1954; Büdel, 1957; Pérez González *et al.*, 1971;Vaudour, 1977; Pedraza, 1978; Garzón, 1980; Centeno ,1987)

La compleja evolución del relieve se ha explicado según varios modelos que pueden seguirse en Garzón *et al.*(1982); Fdez. García (1988); González Ubanell (1993); Pedraza *et al.* (1981,1996).

Para Schmieder (1915), las superficies son partes de bloques desprendidos de una llanura inicial o "penillanura" que constituye las planicies altas de la Sierra. Schwenzner (1937), y posteriormente, Pérez González *et al.*(1971), proponen una teoría evolutiva para explicar una "escalera de piedemonte" desarrollada a partir de una superficie inicial.

Pedraza (1978), propone un modelo de evolución en tres fases: prearcósica, arcósica y postarcósica (Fig.4.2.), -que relaciona las fases de formación de la sierra con tres fases de sedimentación en la cuenca-; iniciadas a partir de una superficie de erosión tipo "penillanura" al final de la orogenia Hercínica. Esta Penillanura es sometida a unos procesos tectónicos continuos (idea del "domo en expansión" de Penck,1972), generandose una superficie de

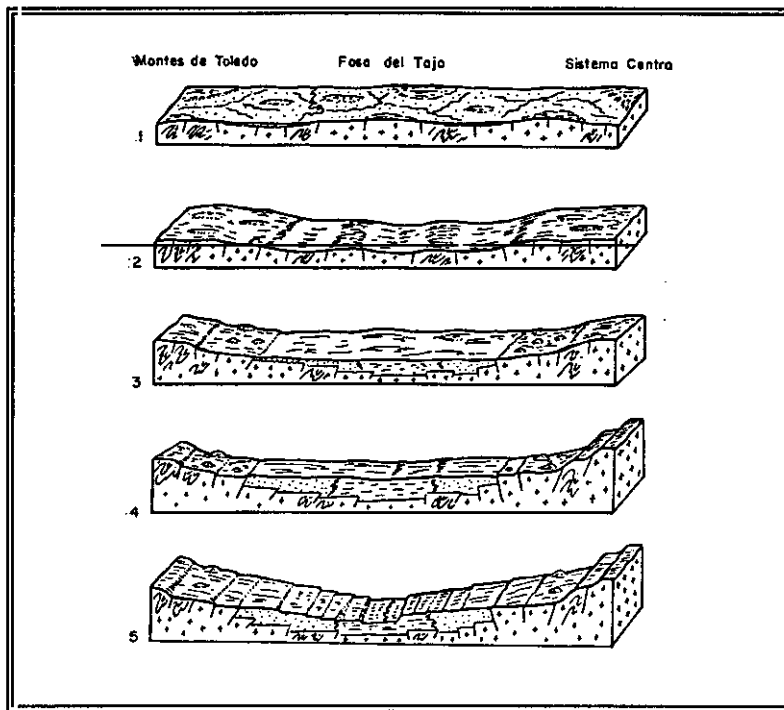


Figura 4.2. Principales fases evolutivas del relieve. Esquema aproximado entre el sistema Central y los montes de Toledo (según Pedraza, 1978). 1. fin del ciclo prearcósico-Penillanura fundamental. 2. Ciclo arcósico, delimitación de Macizos y Cuencas. 3. Ciclo arcósico, colmatación de la cuenca fundamental, formación de Pediments de lavado en los bordes del Macizo. 4. Ciclo postarcósico, delimitación de horts y grabens fundamentales, remodelado de los relieves de piedemonte (Pediment s.s.) 5. Ciclo de las redes fluviales actuales (llanuras encajadas en los valles) y fin del anterior (llanuras inferiores al pediment, consolidación de los relieves de bloques)

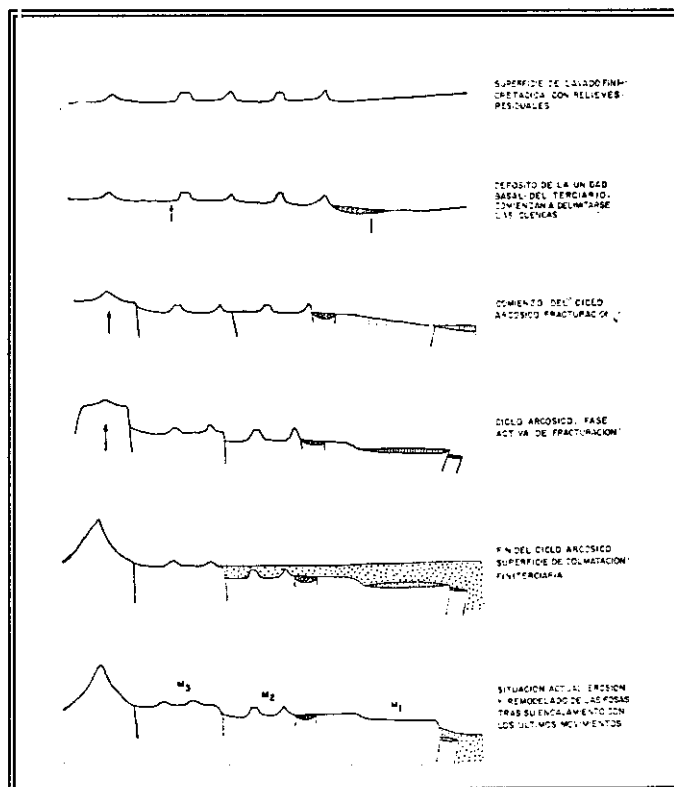


Figura 4.3. Modelo de evolución de superficies en el Sistema Central en relación con los sedimentos correlativos y la actividad tectónica (según Garzón, 1980)

cumbres y tres de meseta (M3, M2 y M1 definidas por Schwenzner) en dos etapas: una en un labrado de un pediment de sabana y otra tras una fuerte desnivelación tectónica, siguiendo el modelo clásico de pedimentación semiárida que retocaría las rampas desniveladas.

Posteriormente Garzón (1980), relaciona también la génesis de las superficies a partir de los sedimentos de las depresiones interiores y cuencas sugiriendo que algunas superficies inferiores podrían haber sido fosilizadas y exhumadas y, en contra de los modelos anteriores, ser restos de las superficies más antiguas (Fig.4.3.)

El Sistema Central, La Sierra de Altomira y los Montes de Toledo son las tres áreas fuente que rellenan la cuenca terciaria o Fosa del Tajo de materiales silíceos y carbonatados. En nuestro ámbito de estudio la sedimentación procedente de los Montes de Toledo no está representada ya que no alcanza posiciones tan septentrionales (Martín Escorza *et al.*, 1973).

4.2.2. La cuenca terciaria del Tajo

El basamento de esta depresión presenta una estructura en bloques levantados y hundidos a partir de fallas similares a las de la Sierra de Guadarrama y, separada de ésta por una gran falla inversa de dirección SW-NE. Esta estructura ha permitido la acumulación de grandes espesores de sedimentos que han sido comprobados por perfiles sísmicos y gravimetría (Cadavid, 1977; Junco y Calvo, 1983, Bergamín y Tejero, 1993) y depositados en tres fases de deformación principal (De Vicente *et al.*, 1996): Ibérica-Fase Altomira-Fase Guadarrama, correspondientes a los anteriores ciclos sedimentarios definidos previamente por Pedraza,(1978).

El principal relleno de la cuenca lo constituyen facies terciarias que han sido ampliamente estudiadas: Mejías *et al.*(1983); Junco y Calvo (1983); Alberdi *et al.*(1983); Calvo *et al.*(1984); Calvo y García Yagüe (1985); Lomoschitz *et al.*(1985); Antunes *et al.*(1987); López Martínez *et al.*(1987); Racero (1988); Alonso *et al.*(1989); Calvo *et al.*(1989 a y b), entre otros (Fig. 4.4.).

La sedimentación terciaria comienza con facies correspondientes a abanicos aluviales de clima árido de edad Paleoceno-Eoceno, apoyados bien sobre formaciones carbonatadas de edad cretácica o directamente sobre el zócalo granítico-metamórfico. Esta serie paleógena aflora de forma discontinua en los bordes de la cuenca. Corresponde a la etapa "Prearcósica" definida por Pedraza (1978), en la que comienza a delimitarse el Sistema Central.

Por el contrario, el Neógeno se encuentra ampliamente representado en la cuenca, tanto por litofacies detríticas de partes proximales de abanicos aluviales, como por facies evaporíticas de sedimentación lacustre. En este periodo se han diferenciado tres Unidades Tectosedimentarias, que encajan en un ambiente cálido que pasa a más húmedo en la unidad superior, escasamente representada en la Comunidad (Alberdi *et al.*,1983; Junco y Calvo,1983; Mejías *et al.*,1983; Hoyos *et al.*, 1985; Alonso *et al.*,1989; Calvo *et al.*,1992) (Fig. 4.5.). Estas unidades se

encuadran en el ciclo Arcósico definido por Pedraza (1978) (Fig. 4.6.).

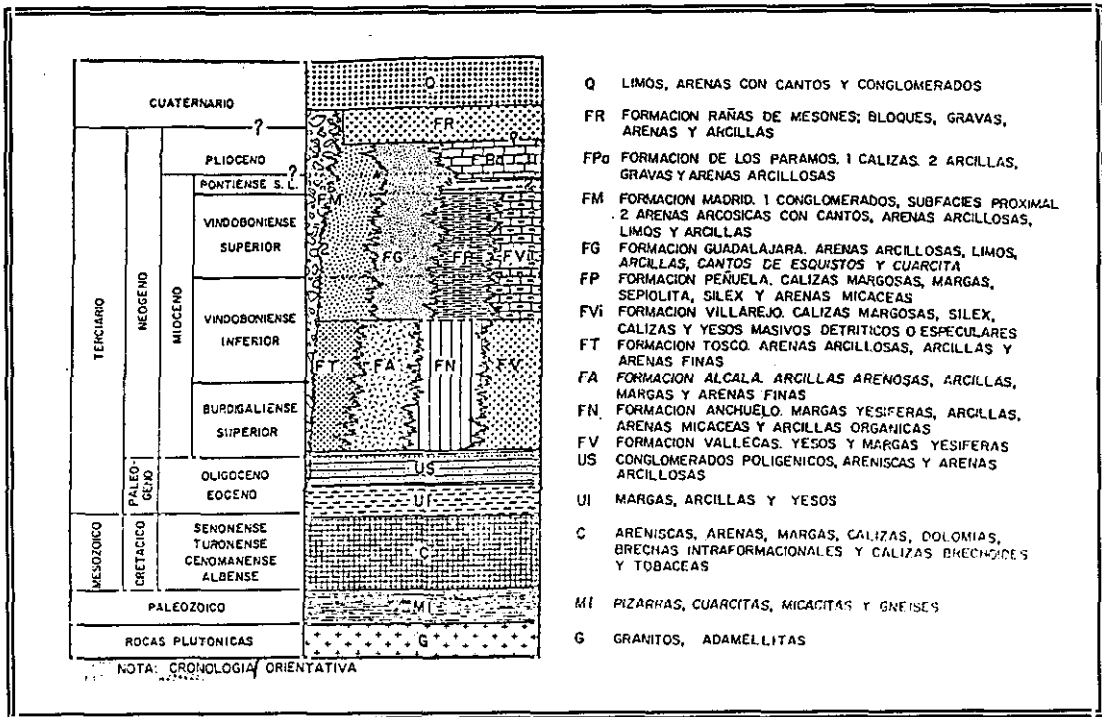


Figura 4.4. Facies terciarias de la cuenca de Madrid definidas por López Vera (1975).

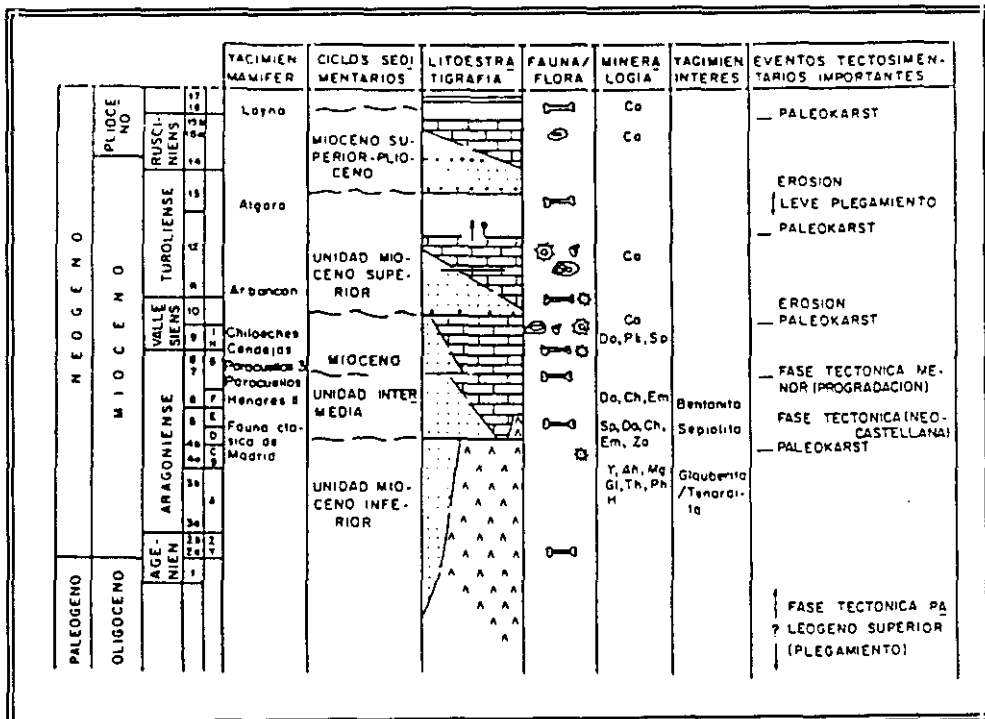


Figura 4.5. Estratigrafía del Neógeno de la cuenca de Madrid por Calvo et al. (1992).

Las tres Unidades Tectosedimentarias se han denominado: Unidad Inferior o Salina, Unidad Intermedia y Unidad Superior, y en cada una de ellas se diferencian tres tipos de litofacies de distinta naturaleza cuyas características litológicas e hidrogeológicas han sido descritas en el Capítulo V, siguiendo la nomenclatura clásica de unidades descritas para la Cuenca de Madrid:

Unidad Inferior: (Oligoceno-Mioceno inferior) está representada por facies lacustres en disposición centrípeta de carácter salino y formadas en un ambiente de cuenca endorreica. Gran parte de la sedimentación evaporítica de este lago corresponde a facies sulfatadas procedentes del desmantelamiento de la Srra. de Altomira (Calvo *et al.*, 1989).

En esta Unidad Tectosedimentaria se distinguen tres tipos de facies:

- Detrítica: correspondiente a las Unidades Tosco (al Oeste) y Alcalá (al Este), formadas por depósitos arcósicos muy inmaduros con alto contenido en arcillas.
- Intermedia: representada por la Unidad Anchuelo con litologías de enlace entre facies proximales de abanico y distales de cuenca (bandeados de arcillas y margas con silix y sepiolita, y niveles carbonatados).
- Evaporítica: corresponde a facies de lago salino efímero, denominada Unidad Vallecas.

Para la Unidad Intermedia: (Aragoniense-Vallesiense inferior) se utiliza el modelo concéntrico de distribuciones de facies, ya expuesto por Riba (1957), donde la edad de los materiales presenta una disposición centrífuga hacia el centro -donde son más modernos- al promover la idea de cambios laterales de facies en la que desde un área evaporítica de centro de cuenca, se pasa a una aureola marginal de facies detríticas poligénicas de desmantelamiento, pasando por una facies intermedia arcilloso-salina con yesos en superficie y anhidritas en profundidad.

También en ésta unidad tectosedimentaria se diferencian tres litofacies (Hoyos *et al.*, 1985):

- Facies Detrítica: similares a las anteriores pero más progradantes hacia el centro de la cuenca. Se correlaciona con la Unidad Madrid (al Oeste) y Guadalajara (al Este).
- Facies Intermedia: equivalente a la Unidad Peñuela (Unidad superior a la Unidad Anchuelo con iguales características).
- Facies Palustres-Lacustres: con posible equivalencia a la Unidad Villarejo.

La Unidad Superior (Mioceno superior-Plioceno) se inicia con un primer tramo detrítico que constituye la formación basal denominada por Capote y Carro, (1968) Red Fluvial Intramiocena.

Esta formación aparece conservada en los interfluvios que forman los ríos Henares, Tajo y Tajuña. Este hecho unido a los procesos kársticos en las zonas de depocentro, marcan el exorreísmo de la depresión (Antunez *et al.*, 1987; Cañaveras *et al.*, 1992).

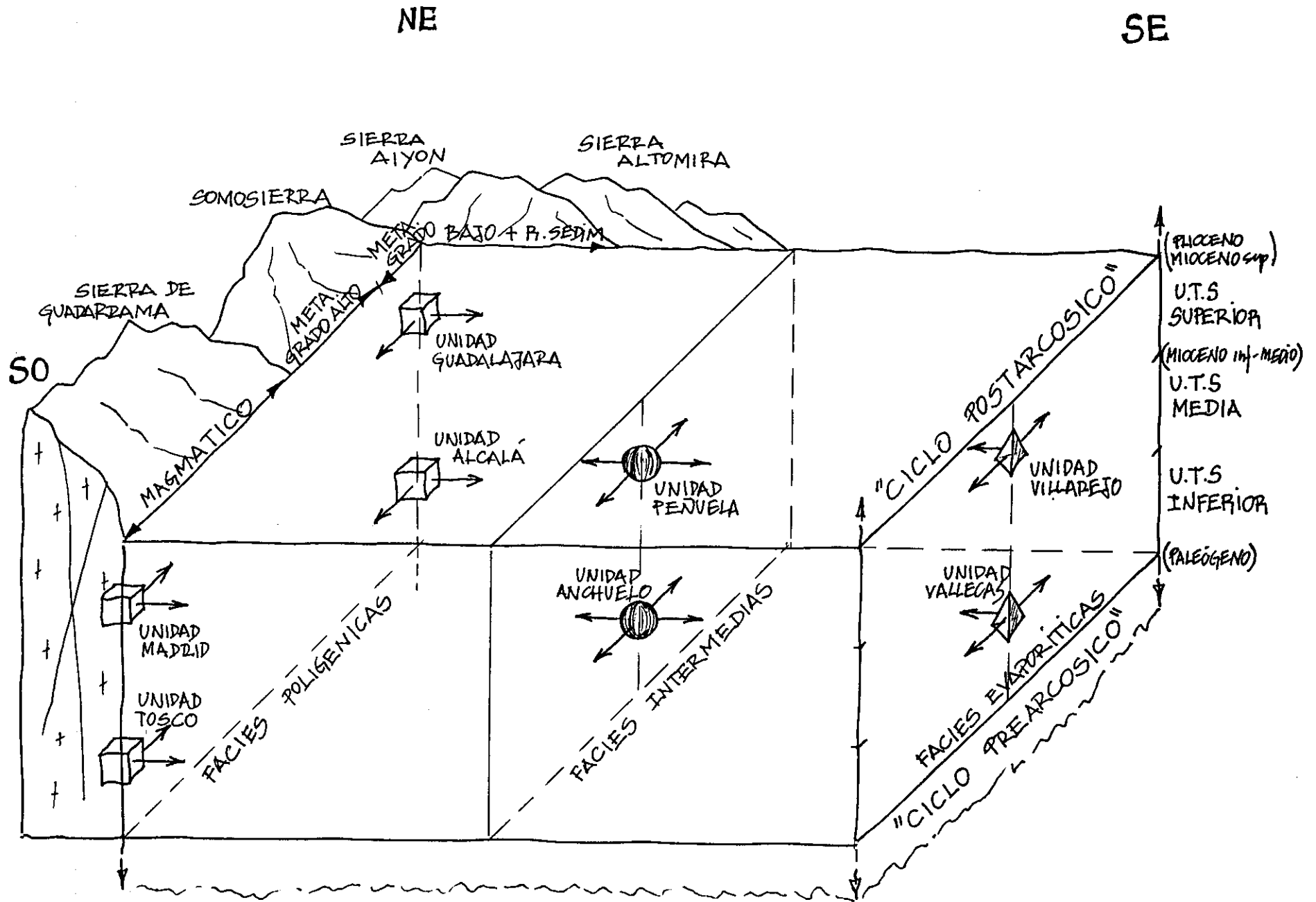


Figura 4.6. Unidades litoestratigráficas definidas en la fase Arcósica

Posteriormente se inicia una sedimentación fluvio-lacustre o palustre de agua dulce, que constituye las calizas del Páramo. Durante el Plioceno se produce, en una primera etapa, la colmatación de la cuenca mediante facies lacustres de los páramos y sistemas de abanicos en los bordes. Sigue una etapa tectónica de suaves plegamientos y fracturación del basamento y bordes de la cuenca, que desencadena una actividad erosiva de los relieves creados en el interior de la cuenca, activando los bordes y mantos de acarreo atribuidos al Rusciniense (Pérez González, 1979), originando las Rañas que hoy vemos al pie de las calizas lacustres y demás elevaciones.

La formación de las rañas se continúa hasta el Cuaternario (Pérez González, 1989), mientras que paralelamente se genera la superficie erosiva S₁ -fase Iberomanchega de Aguirre (1976), que Pérez Gonzalez (1979), la atribuye al Mioceno.

La extensión total de los materiales cuaternarios ha sido estimada en 1350 km² por Zapico y Nistal (1982), y lo constituyen las terrazas, fondos de valle, navas, conos de deyección, coluviones y morrenas glaciares. Son en general depósitos arenosos y de gravas cuarcíticas de espesores considerables.

Los elementos morfoestructurales que aparecen en la Cuenca de Madrid vienen representados principalmente por superficies de distinta naturaleza disectadas como consecuencia del encajamiento de la red fluvial durante el cuaternario.

La altiplanicie más antigua la constituye el Páramo y se trata de una sediplano parcialmente erosionado. Esta superficie se encuentra ligeramente basculada hacia el SO y está segmentada por los principales ríos de la cuenca. Presenta fenómenos de karstificación con formación de dolinas y cavidades que ocasionalmente están rellenas de terra rossa.

Las superficies divisorias de los interfluvios principales de la Comunidad, están mal conservadas tratándose de pequeños retazos desarrollados sobre la facies Madrid.

Otra superficie la constituye la Raña que se emplaza en el borde meridional de Somosierra no estando representada en nuestras zonas de estudio. La Raña se estructura en varias plataformas aluviales ligeramente encajadas entre sí (Gallardo y Pérez González, 1987), situándose por encima de las terrazas fluviales.

Otros elementos morfológicos y morfosedimentarios se describen en el Capítulo V, referente a las Unidades Geomorfológicas utilizadas en el estudio.

4.3. CLIMATOLOGÍA

Las características generales del clima Mediterráneo continental de la Península se ven afectadas en la provincia por otros factores tales como las variaciones de altitud, la orientación respecto al Sistema Central, y ciertas alteraciones del medio producidas por la actuación del relieve (De Nicolás, 1987).

Las variables "altitud y temperatura" siguen, en general, una relación inversa debido a la menor densidad atmosférica y al contenido de vapor de agua más bajo que caracteriza las capas altas de la troposfera. Las diferencias de altitud entre la Cuenca y la Sierra varían entre los 500 a 2.000 m sobre el nivel del mar registrando una diferencia térmica de 4° a 6°c entre ambas. Sin embargo en ocasiones puede ocurrir que las temperaturas mínimas se registren en zonas más bajas, cosa que suele suceder en las vegas de los ríos al producirse un enfriamiento nocturno del aire próximo al suelo.

El Sistema Central actúa de barrera para la circulación de los vientos, que se ven obligados a ascender y descender por sus laderas condicionando así la temperatura atmosférica y la pluviosidad. La disposición de los ríos paralelos a la dirección de la cordillera contribuye a canalizar los vientos, adquiriendo una dirección dominante NE-SO.

Tanto la distribución de temperaturas (Fig.4.7.) como la dirección dominante de los vientos son factores a tener en cuenta en la realización de vertederos de RSU, ya que influyen en el grado de descomposición de la basura, la afluencia de insectos y la dispersión de polvo y olores. Pero además, éstos factores condicionan la distribución de las precipitaciones, que es, sin duda, el principal factor a considerar en cualquier estudio de vertederos, al depender la producción de lixiviados de su cuantía y distribución (Fig.4.8.).

Aproximadamente el 70% de la superficie de la provincia recibe menos de 600 l/año, siendo las zonas que registran mínimos pluviométricos la vega baja del río Tajo y una pequeña extensión entre Arganda y San Martín de la Vega, en el área de la Cuenca. Las poblaciones de Peguerinos y las Navas del Marqués son, por el contrario, las que reciben máximas precipitaciones.



Figura 4.7. Distribución de las temperaturas en la CAM

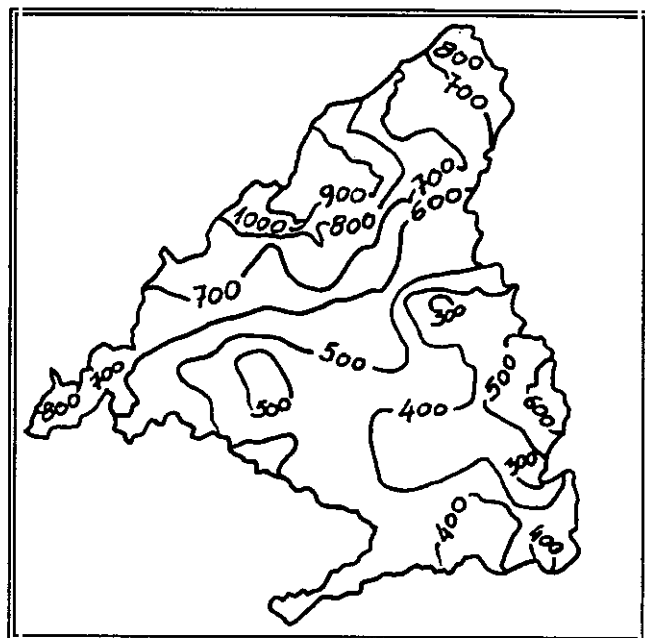


Figura 4.8. Distribución de las precipitaciones en la CAM

4.4. FORMACIONES VEGETALES

En función de sus características bioclimáticas, la litología y fisiografía, la Comunidad de Madrid presenta una sucesión de formaciones que estarían representadas de menor a mayor cota topográfica por (Rivas, 1982, 1987) (Fig. 4.9.)

A pie de las extensiones serranas, la encina es la formación más característica, aunque no la más abundante. Puede aparecer asociada a tres elementos diferentes: en dehesas sobre pastos y cultivos, acompañada por enebros en condiciones de mayor xerofilia, o asociada a fresnedas donde los suelos son más húmedos. Actualmente la degradación antrópica del suelo, ha provocado la sustitución de estas formaciones por especies de adaptación a suelos degradados tales como matorrales, cantuesos, jarales, etc.

Las laderas de altitud media, inferior a 1.600 m están ocupadas por rebollo o melojo que se presentan asociados a matas de encinas o fresnos, o bien rebollo y fresnos sobre pastos. Estos últimos precisan condiciones de suelos profundos y frescos por lo que suelen darse en fondos de valle.

El pino albar sustituye al roble melojo en cotas entre 1.600 y 1.800 m. Puede presentarse asociado a retama negra o retama blanca, asociado a piorno o asociado a jabinares.

En cotas superiores (1.800-2.000 m) el sustituto del pino albar lo componen una serie de

formaciones arbustivas de pequeño porte asociadas a prados. Estos son: matorrales, piornos, jabinares y codesares.

A más altura la cadena se finaliza con las praderas alpinas (cervunales).

Como formaciones residuales, en la Sierra de Madrid contamos con pequeñas representaciones de antiguas poblaciones arbóreas que hoy constituyen bosques relicto. Algunas de ellas son el hayedo de Montejo de la Sierra, el sabinar de Lozoya, los robles de la Hiruela, o el castañar de la Sierra de Gredos (ninguna de ellas presente en la zona muestreada).

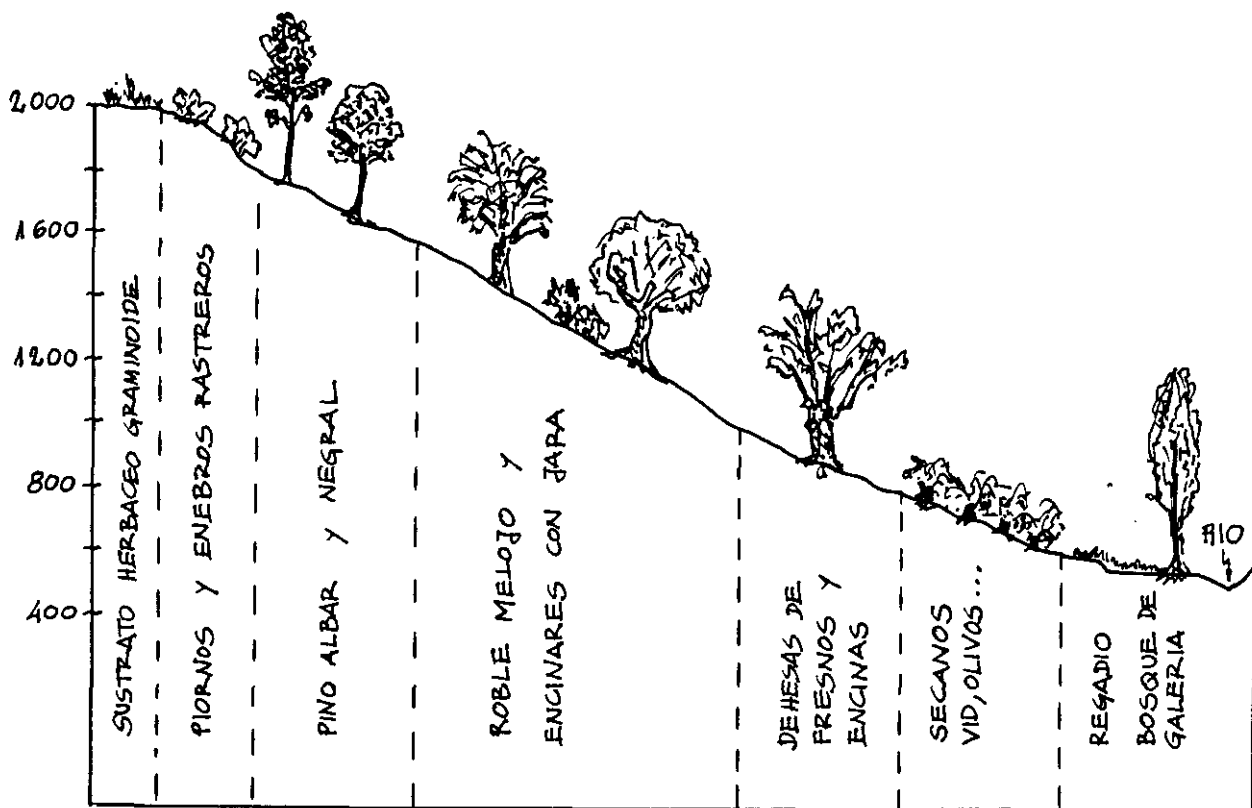


Figura 4.9. Principales formaciones vegetales en función de la cota topográfica (elaborado a partir de Rivas, 1982, 1987 y Orive et al., 1991).

4.5. HIDROGEOLOGÍA

La provincia de Madrid pertenece al sistema acuífero 03 donde se localizan las unidades hidrogeológicas 05 y 06, unidad Madrid-Talavera, y unidad La Alcarria, respectivamente (MOPU-ITGE, 1990). Estas unidades presentan unas características hidráulicas diferentes entre sí y muy heterogéneas en su comportamiento, pudiendo ser el resultado de acuíferos interconectados de tratamiento unitario, o bien acuíferos libres multicapa o con características kársticas.

En función de las características hidráulicas de los acuíferos, los distintos ámbitos geomorfológicos de la CAM podrían incluirse como (Tabla 4.1.):

<p>Acuíferos por porosidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Por porosidad primaria: detríticos de transición y vegas aluviales. * Por porosidad secundaria: facies evaporíticas <p>Acuíferos por fisuración:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Rocas ígneas-metamórficas en sierras <p>Acuíferos por karstificación-fisuración:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Facies evaporíticas * Carbonatos: cuevas estructurales y páramos. <p>Acuíferos por alteración:</p> <ul style="list-style-type: none"> * En sierras, en zonas de alteración generalizada: laderas y superficies.
--

Tabla 4.1. Acuíferos definidos en Madrid, según ITGE, (1991); CAM, (1985) y González Yélamos, (1991).

a) Hidrogeología en sierras

Los acuíferos en estas unidades de sierra son acuíferos de rocas duras muy diferentes de los que pudiera ser un acuífero detrítico de cuenca. En las sierras pueden darse dos tipos de acuíferos:

- Acuíferos por fracturación: estos acuíferos están sujetos al número de fisuras que presente el macizo rocoso pero también a su interconexión. De esta conexión entre fracturas depende el volumen de agua que puede extraerse. A mayor profundidad la densidad de fracturas desciende así como la apertura de éstas siendo, por tanto, menor la capacidad de almacenamiento. Las descargas naturales de este tipo de acuíferos se efectúa a través de manantiales y fuentes dando caudales entre 1 y 4-5 l/sg.

Frecuentemente la composición de las aguas es muy próxima a la de lluvia ya que al circular por rocas poco solubles y a través de fisuras donde la transmisividad es alta, se carga poco en sales. Precisamente por esta relativa rapidez de circulación del agua, estos tipos de acuíferos - muy vulnerables a la contaminación - son fácilmente recuperables (ITGE, 1991).

- Acuíferos en alteritas: son de pequeña extensión y se localizan en zonas planas o en valles sin drenaje definido y delimitado por fracturas. Son acumulaciones de sedimentos procedentes de la alteración de las rocas ígneas o metamórficas que dan lugar a pequeñas vaguadas y que presentan valores bajos de capacidad de almacenamiento.

Son altamente vulnerables a la contaminación pero todo depende de su carácter aislado y de

la extensión de superficie alterada. Los caudales dependen de la precipitación mensual pero oscilan alrededor de 1 l/sg. No suelen estar explotados y su descarga se realiza por manantiales. La calidad del agua es buena.

Se han diferenciado seis casos de comportamiento hidrodinámico en la sierra que puede consultarse en el capítulo V (Fig. 5.6.).

b) Hidrogeología en facies detríticas y de transición

Dentro de este conjunto litológico distinguiremos:

- Acuífero detrítico de Madrid (escasamente representado en nuestra zona de estudio)
- Acuífero evaporítico de las facies de transición.
- Acuífero de transición entre ambos.

- Acuífero detrítico de Madrid:

Lo constituye la denominada facies Madrid compuesta por la unidad Madrid de naturaleza arcósica, y la unidad Tosco más arcillosa, que funcionan como dos subunidades hidrológicas diferentes pero conectadas entre sí (Martínez Alfaro, 1977a; López Camacho *et al.*, 1986) lo que hace que se trate de un acuífero heterogéneo y anisótropo en el que aparecen canales arenosos inmersos en una matriz limo-arcillosa (Fdez. Areles *et al.*, 1983).

Estas unidades representan los tramos proximales y medios de abanicos aluviales, lo que explica la variación granulométrica lateral y vertical (causada por impulsos de un sistema Braided de canales superpuestos). La potencia oscila desde los 3.000 m en la fosa del Monte del Pardo hasta acunarse con los sedimentos de centro de cuenca. La potencia media es de 900 m (López Camacho *et al.*, op cit; Martínez Alfaro op cit) propone transmisividades entre 5-200 m²/día en tramos superficiales y transmisividades aproximadas de 100 m² día a partir de los 200 m de profundidad. López Camacho *et al.* (1986), apunta una transmisividad media de 50 m²/día y permeabilidades de 0,5 m/día.

La recarga se realiza por infiltración del agua de lluvia directamente sobre el acuífero y materiales cuaternarios suprayacentes (la recarga no se efectúa a partir de las infiltraciones del frente serrano como se ha supuesto hasta hace pocos años, (Llamas, 1982). La recarga se centra fundamentalmente en los interfluvios. La descarga se realiza en los valles por drenaje directo y por extracción de agua mediante pozos, aunque no se descarta un drenaje del acuífero mediante manantiales, evapotranspiración y arroyos efímeros.

- Acuífero evaporítico de la facies de transición:

Presenta una superficie de 47 km² aunque está cubierta por materiales cuaternarios en otros 20 km². Los primeros metros de esta unidad son transmisivos debido a fenómenos de alteración y karstificación. En profundidad pierde permeabilidad al aumentar el grado de recristalización y el carácter masivo de los yesos (López Camacho *et al.*, 1986).

Desde el punto de vista hidrogeológico la Unidad Vallecas puede constituir, junto a su suprayacente (unidad Villarejo), un acuífero independiente que por fenómenos de fisuración han producido porosidad secundaria. Este hecho junto al carácter semikarstificado en los niveles más superiores, proporcionan caudales considerables pero de baja calidad química.

- Acuífero de transición entre ambos:

Se trata geológicamente de la facies Guadalajara (compuesta por la Unidad Alcalá y la Unidad Guadalajara) y facies intermedia (compuesta por U. Anchuelo-unidad Peñuela), siguiendo la clasificación de López Vera (1975).

De este conjunto de unidades, las que presentan más interés desde un punto de vista hidrogeológico son las Unidades Alcalá y Unidad Anchuelo. Las otras dos unidades son de características intermedias y de interés acuífero escaso, si no es puramente local. La Unidad Alcalá constituye un acuitardo conectado hidráulicamente con su unidad suprayacente (Unidad Guadalajara).

Su variedad litológica le confiere un carácter heterogéneo. Las determinaciones hidráulicas (estudiadas por Villarroja, 1977 y 1981) ponen de manifiesto la anisotropía de sus formaciones. Este autor obtiene mediante curvas granulométricas valores de permeabilidad entre 40 - 8*10⁻³ m/día para los limos arenosos de la Unidad Alcalá y entre 80 - 1 m/día para las arenas y gravas de esta misma unidad. También apunta la existencia de una mayor permeabilidad horizontal que vertical. La Transmisividad obtenida señala valores de 7,2 m²/día para ambas unidades, valores inferiores a los estimados por otros autores para la Facies Madrid.

La principal característica hidrogeológica de la Unidad Anchuelo es la baja porosidad eficaz de la formaciones, lo que hace que sea considerada como acuitardo o acuícludo. No presenta interés como acuífero ya que sus caudales específicos son del orden de 0,006 l/sg/m (Villarroja, 1977). Su potencia oscila entre 20 y 50 m. En los primeros metros superficiales es más transmisiva, haciéndose prácticamente impermeable en profundidad (Lopez Camacho *et al.*, 1986).

c) Hidrogeología de los Páramos

Pertenece a la Unidad Hidrogeológica 03.06 la Alcarria, también llamado sistema Acuífero 15. Tiene una extensión de 2.200 km² de los cuales 600 km² están en la Comunidad de Madrid. Se sitúa entre los ríos Henares y Tajo, al Oeste y Este respectivamente, y las poblaciones de Jadraque al Norte y Chinchón al sur.

Hidrogeológicamente los páramos al ser formaciones colgadas con redes hidrográficas también colgadas, constituyen acuíferos libres colgados con caudales de unos 10 l/s. Se recargan mediante percolación directa del agua de lluvia a través de los materiales suprayacentes del páramo, y se descarga mediante manantiales que van a parar a los ríos que drenan el sistema, siendo el río Tajuña el principal colector. La circulación del flujo en el acuífero de los Páramos se dirige hacia los bordes de éstos, con un gradiente general de Noreste a suroeste que coincide con la inclinación general de estas formaciones hacia el centro de cuenca.

La tectónica en estas mesas no es muy acusada pero las ligeras fracturas y la textura porosa de las calizas lacustres, han favorecido la disolución de los carbonatos, aumentando así las transmisividades.

Por otra parte los yesos infrayacentes al cargarse de agua quedan sometidos a procesos de disolución, provocando subsidencias de las calizas superiores y formando así terrenos ondulados donde pueden desarrollarse navas.

Zapico y Nistal (1982), suponen una recarga de 0,077 m/año en las calizas Alcarreñas, y 0,100 m/año en las de Chinchón.

Los principales problemas que plantea este acuífero se centran en los siguientes aspectos:

- La heterogeneidad como acuífero
- su carácter colgado
- escaso espesor saturado
- parcelación en unidades acuíferas independientes
- calidad media de las aguas

d) Hidrogeología de los Cuaternarios

Solo las formaciones aluviales constituyen un acuífero propiamente dicho, que ofrecen un recurso hídrico importante para labores agrícolas. El interés de las demás formaciones Cuaternarias se centra en su permeabilidad, favoreciendo la recarga de acuíferos infrayacentes.

Aluviales y terrazas bajas son acuíferos libres conectados hidráulicamente con la red hidrográfica, y donde han proliferado los pozos de gran diámetro. En estas vegas se dan

caudales de hasta 50 l/s. La calidad natural de sus aguas es en principio, buena, pero la alta permeabilidad y el carácter superficial permite que asimilen fácilmente la contaminación de origen antrópico (ITGE, 1991).

Las vegas fluviales presentan acuíferos importantes ya no en potencia y extensión sino por la proximidad a la superficie del nivel freático (10-15 m). Pueden incluso obtenerse caudales de 50 l/s mediante pozos excavados de gran diámetro. Su litología detrítica grosera aseguran las altas permeabilidades y por tanto la transmisividad del acuífero puede ser muy alta, susceptible del caudal que transporte el río y del rango de precipitaciones.

El espesor rara vez supera los 10 m excepto en el río Jarama, donde en algunos puntos próximos al Manzanares, se han medido espesores superiores a 40 m (Lopez Vera, 1977). Los valores hidrodinámicos de las terrazas pueden verse en el capítulo V.

e) Hidrogeología de la unidad Cretácica:

Afloran en una banda no continua a lo largo del borde de la sierra formando acuíferos libres por fisuración y karstificación, y confinados en la fosa del Tajo al quedar fosilizados por los materiales postmesozoicos. Pueden llegar a tener varios centenares de metros en profundidad aunque no afloren más que unos pocos.

Esta unidad acuífera se recarga por estas capas aflorantes, por los materiales que la recubren y mediante los ríos que discurren por ellas. Las descargas se efectúan al cauce más próximo, o mediante manantiales (ITGE, 1991).

V. PROPUESTA DE MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO PARA LA INSTALACIÓN DE V.R.S.U.: MÉTODO DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (U.GMF)

5.1. PLANTEAMIENTO

Tal y como se anticipó en las primeras páginas de este trabajo, el objetivo fundamental del estudio consistía en diseñar un método de análisis del territorio basado en las unidades geomorfológicas, de tal modo que utilizando una escala regional se definiera la vulnerabilidad del territorio frente a la ubicación de vertederos de residuos sólidos urbanos.

En este Capítulo se describe el método propuesto pero, antes de seguir conviene matizar algunos aspectos:

- Es un método estandarizado que reduce las apreciaciones subjetivas pero que es flexible ante condiciones locales que requieran modificaciones en cualquier fase del proceso.
- El método amplía los estudios a otros aspectos del medio físico menos tratados en planificación de vertederos (hidrología superficial y paisaje, además de la hidrología subterránea).
- Trata de ser operativo a escala regional o subregional (1:100.000) y de relativamente rápida aplicación, de tal forma que sea una herramienta clara y explícita para facilitar la toma de decisiones en temas relacionados con la selección de emplazamientos.
- La escala propuesta limita la precisión de los datos a utilizar; por ello se emplean intervalos de caracterización del impacto que son amplios pero representativos de los distintos niveles de afección.
- Es recomendable que el método sirva como orientación a una primera selección de áreas favorables al vertido de sólidos urbanos, pero los estudios deben ser ampliados una vez seleccionada la(s) zona(s) más favorable(s).

- Al tratarse de un método prescriptivo (Vrba y Zaporozec, 1994) las valoraciones van dirigidas a una actividad en concreto por lo que no deberían ser utilizadas para otras actividades de distinta naturaleza.
- El procedimiento seguido por el método propuesto permite una caracterización, en cualquier momento, del impacto obtenido en cada parámetro, por lo que es posible conocer dónde radica el "punto débil" de una determinada porción estudiada.
- Esta técnica de aplicación de puntos a unidades ayuda a seleccionar grupos y subgrupos homogéneos que explicitan el grado de afección inducido en cada porción de territorio, pero ofrece, a la vez, una visión de conjunto de la afección previsible para la zona estudiada. En el caso de aplicación a porciones de unidades geomorfológicas se podrá analizar el posible comportamiento previsible de cada tipo de unidad para la acogida de vertederos.

El Capítulo se desglosa en tres partes que completan el objetivo comentado:

- una inicial (Parte I) en la que el método propuesto recoge los parámetros de evaluación más utilizados en la bibliografía consultada, tratados mediante matrices (Walsh *et al.*, 1981; Temiño *et al.*, 1990); valoraciones paramétricas (LeGrand, 1964 y 1983; Foster, 1987), y sistemas de acumulación de puntos (Aller *et al.*, 1987).
- La segunda parte (Parte II) es de aplicación del método a las unidades geomorfológicas a través de diversa información recopilada de la bibliografía, datos de campo y foto aérea.
- La tercera parte (Parte III) expone las principales conclusiones respecto al carácter predictivo de la U.GMF frente a la instalación de V.R.S.U.

En este trabajo se utilizan una serie de términos empleados en estudios ambientales cuyos significados se explican a continuación:

Cuando el objetivo de un estudio es definir las posibilidades de un territorio para asignarle uno o varios usos se utilizan los conceptos de "Capacidad" e "Impacto" (Aguiló *et al.*, 1991).

La "Capacidad" se determina a través de las condiciones actuales intrínsecas de un territorio para acoger una actividad. Es puramente estimativa (Aguiló *et al.*, op.cit) y diverge de la capacidad de acogida en cuanto que no precisa conocer el volumen de efecto que puede absorber el medio para no modificar sus cualidades (Gómez Orea, 1994). Al tratar únicamente factores biofísicos se incluye como la parte ambiental de la Capacidad de Adecuación, que considera, además, factores económicos, sociales y políticos (Spangle y col., 1976).

El impacto se define como el efecto de una actividad sobre el medio (Gómez Orea, op.cit.) que puede perder o ganar valor a causa de un influencia externa. El efecto también puede producirse en un conjunto de elementos del medio que define una unidad ambiental (Aguiló *et al.*, 1991).

En este trabajo la capacidad se ha determinado a través de la "Vulnerabilidad" de varios aspectos del medio físico, cuantificada a través de valoraciones parciales que se definen como "Impactos parciales", que en esta actividad (vertederos) no son "mejorantes" de la calidad del medio. A la inversa, la suma de impactos de distintos elementos físicos (parámetros) determinan la vulnerabilidad de un medio (aéreo, subterráneo, paisajístico).

En nuestra opinión, en temas ambientales y en concreto en ubicación de vertederos, los factores económicos y sociales son, cuanto menos, tan importantes como los físicos, y aún de mayor trascendencia, los políticos. Por ello los objetivos planteados para este trabajo se han centrado en la vulnerabilidad física del territorio y no en la Capacidad, que de ser entendida como Acogida o Adecuación, quedaría incompleta en este estudio.

5.2. PARÁMETROS

5.2.1. Elección y valoración de los parámetros empleados y de sus clases

La selección de los parámetros utilizados en la metodología propuesta y para cada uno de los tres aspectos del medio físico tratados se ha basado en la bibliografía consultada -comentada en el Capítulo 3.1. y 3.2.- y en los resultados de una encuesta realizada a distintos colectivos de expertos (juicio de expertos) y diseñada por los miembros del proyecto referenciado en el Capítulo I. Las encuestas se basaron en cuatro metodologías principales: Walsh *et al.* (1981); Aller *et al.* (1987); LeGrand (1980); Sancho Royo (1973).

La opinión de expertos es necesaria y un sistema de encuestas calibra la diferente importancia de los parámetros y clases de evaluación. Cada experto utiliza distintos modelos para interpretar estos parámetros y la encuesta permite eliminar las valoraciones basadas en modelos extremos (Claver coord., 1991). En este caso la encuesta sirvió para realizar un sondeo de opinión con el fin de tener unas bases sobre las que discutir y planear el método en el equipo evaluador. Es por ello que en muchos casos los valores y pesos de los distintos parámetros y sus clases conseguidos en las encuestas no coinciden con los utilizados finalmente en el método propuesto. Estas últimas pueden verse en los apartados correspondientes a la evaluación del paisaje y las aguas, y los valores obtenidos mediante las encuestas pueden consultarse en el apartado de Anejos II.

Se repartieron dos tipos de encuesta a distintos grupos disciplinarios:

- una encuesta referida al paisaje : 12 expertos en geomorfología y biología
- una encuesta referida a aguas: 16 expertos en hidrogeología e ingenieros.

En la referida al paisaje se ofrecía la posibilidad de opinar sobre la calidad que confiere al paisaje distintos elementos integrantes del mismo. Estos elementos o "Clases" fueron separados en bloques o "Parámetros" (usos del suelo, relieve, visibilidad, etc) y de ellos se pedía un juicio sobre su contribución a la excelencia del paisaje, así como el impacto ocasionado sobre esos elementos al instalar un V.R.S.U. Los resultados obtenidos sirvieron para determinar cuáles eran las características más valoradas en el paisaje y cuáles podían integrar estudios de vertederos a escala regional.

En cuanto a las aguas, los parámetros que iban a contribuir a la definición de la vulnerabilidad del territorio estaban mejor definidos por la numerosa bibliografía sobre el tema (Walsh *et al.*, 1981; LeGrand, 1983; Montalvo *et al.*, 1988; Temiño *et al.*, 1990; Little *et al.*, 1993; entre otros). Las encuestas se utilizaron en este caso, para tomar una decisión sobre la importancia relativa de unos y otros parámetros. Siguiendo el esquema de otras metodologías similares (DRASTIC, (Aller *et al.*, 1987) por ejemplo) parecía razonable asignar diferentes pesos a los

parámetros que intervienen en la evaluación, tanto del paisaje como de las aguas, ya que no todos ellos influyen por igual en el cálculo de la afección y determinación de la vulnerabilidad. Por ello y, como se verá más adelante, los valores de clase de cada parámetro son multiplicados por un peso que pondera cada uno en función de su importancia relativa (ver Anejo II y apdo. 5.4. y 5.5.).

Así como para el paisaje se requería la opinión sobre la diversidad de elementos considerados para la ubicación de un vertedero, es decir, se opinaba sobre cada una de las clases que constituían los parámetros empleados para evaluar el paisaje, en el caso de las aguas tan sólo se pedía opinión sobre los parámetros pero no sobre las clases que podían constituir los parámetros, ya que éstas están mejor identificadas en impacto de vertederos y no así las de paisaje, que conllevan una valoración más subjetiva.

Estas encuestas, además de contribuir a la adjudicación de unos valores numéricos a los parámetros, han planteado unas observaciones de interés que también constan en el apartado de Anejos II.

5.2.2. Parámetros utilizados en el paisaje

En el método de evaluación del paisaje se han combinado aspectos de dos tipos: unos intentan expresar el papel de los usos del suelo y el agua en la apreciación del paisaje y otros la fragilidad del entorno desde el punto de vista visual y modificación del relieve. Los parámetros utilizados para obtener la vulnerabilidad del paisaje en la instalación de vertederos son:

- USOS DEL SUELO
- MASAS DE AGUA
- RELIEVE
- VISIBILIDAD

A) **Usos del suelo:** los distintos usos del suelo se han entendido como embellecedores de un paisaje. Por ello, cuando observamos que el valor de clase de una dehesa es 5, por ejemplo, se está expresando el grado de deterioro de un paisaje adehesado al instalar sobre él un V.R.S.U. El impacto es 5 y es, por tanto, muy alto.

B) **Masas de agua:** el agua es un elemento de atracción paisajística (Appleton, 1975; González Bernáldez, 1986; González Bernáldez *et al.*, 1981; Mújica y de Lucio, 1993) y sin duda uno de los elementos más enriquecedores del paisaje (Abelló y Bernáldez, 1986). Los probados efectos beneficiosos y saludables en los momentos de ocio (Abelló y Bernáldez, *op.cit*) es razón, a nuestro juicio, más que suficiente para defenderlos en este trabajo. Su interpretación es similar a los usos del suelo.

C) **Relieve:** El impacto al relieve se explica como el grado de modificación que sufriría una topografía determinada en caso de instalar en ella un V.R.S.U. En síntesis se trataría de observar qué acogida da el relieve al vertedero.

D) **Visibilidad:** la visibilidad aúna todos los aspectos del paisaje, por ello su estudio es primordial. A escala regional el nivel de detalle y cuantificación de este parámetro se vuelve grosero y tan sólo puede ser aceptado como un valor orientativo del impacto visual. A escala más detallada, el análisis de este aspecto debe realizarse con mayor precisión, siguiendo métodos numéricos complejos (Ramos *et al.*, 1979; y Alonso *et al.*, 1995).

En el método propuesto se considera la visibilidad externa, es decir, desde fuera del territorio evaluado, y la visibilidad dentro del propio territorio. Para analizarla se consideran algunos criterios como la proximidad de pueblos, el relieve, las carreteras, etc. Para realizar esta evaluación se requiere la subdivisión del territorio en porciones o parcelas en las que realizar estimaciones sobre la visibilidad interior y exterior (en nuestro caso, como se verá en la segunda parte de este Capítulo y como ya hemos venido anticipando se utilizará la unidad geomorfológica). La combinación de ambas (interior y exterior) en una matriz de doble entrada adjudica un valor de impacto a la porción tratada.

5.2.3. Parámetros utilizados en la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas superficiales

La pérdida de calidad de las aguas superficiales debido a la instalación de un V.R.S.U. (impacto) se puede valorar como la posible afección a los usos potenciales del agua en el cauce permanente más próximo que encuentre el lixiviado en su movimiento sobre el suelo. Esta valoración tiene dos perspectivas: una que protege los usos potenciales procurando que no lleguen al cauce los lixiviados, y otra que evalúa los cambios posibles de uso en el caso de que llegaran al cauce los mismos.

Los tres parámetros que se van a utilizar en este método para definir la vulnerabilidad de las aguas superficiales son función de la concurrencia de tres circunstancias: la cantidad de lixiviados que escurran superficialmente desde el interior del vertedero; la posibilidad de que dichos lixiviados puedan llegar hasta el cauce, y la incidencia que introducirían en los usos potenciales del agua. Sólomente se podrán producir afecciones en las masas de agua permanente si se produce escorrentía de lixiviados y si éstos son capaces de alcanzar los cauces permanentes. Este hecho sólo afectará a la calidad del agua de los cauces, no a su caudal.

Los tres parámetros propuestos precisan de otros aspectos del medio físico para su valoración. El procedimiento difiere en relación al paisaje ya que en este caso -y también en la vulnerabilidad a las aguas subterráneas- la obtención del impacto no es directa sino que

necesita de otra información complementaria. Cuando se dispone de la información (directa o indirectamente) se obtiene el valor de impacto a través de tablas y ábacos de doble o triple entrada.

- ESCORRENTÍA SUPERFICIAL: determinada a partir del cálculo de los excedentes, de las permeabilidades del suelo edáfico y de la pendiente.
- DRENAJE A CAUCES PERMANENTES: en función de la densidad de drenaje y de la distancia a los ríos y arroyos a los que drena.
- USOS POTENCIALES DEL AGUA: se determinará a partir de la calidad de las aguas y de su caudal de aforo.

5.2.4. Parámetros utilizados en la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas

Igualmente la estimación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas supone la acción de tres circunstancias: que se generen lixiviados por infiltración del agua de lluvia, que alcancen la zona saturada y que modifiquen la calidad del acuífero. Estos aspectos que constituyen los parámetros de análisis, convergen con los utilizados en la hidrología superficial, trasladados al medio subterráneo. Los parámetros empleados son:

- INFILTRACIÓN: complementario al valor de escorrentía superficial (LLuvia útil= I + E.S.)
- DEGRADACIÓN EN LA ZONA NO SATURADA, en función de la profundidad del nivel freático y de la litología del subsuelo.
- USO POTENCIAL: en función del interés del acuífero (según sus caudales de explotación y de la calidad del agua subterránea).

La forma de obtención de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas es similar a la de las aguas superficiales.

5.2.5. Obtención de los valores de vulnerabilidad

A) Paisaje

Como se ha visto, el paisaje precisa de cuatro parámetros para su análisis. Cada parámetro se divide en clases y cada una de ellas representa un valor de impacto desde 1 a 5. Estos valores son "Impactos parciales". El "Impacto Total" se consigue al multiplicar el impacto parcial por el peso del parámetro/s correspondiente/s y dará una puntuación final que corresponde a una determinada vulnerabilidad (de 1 a 5, según unos intervalos de puntuación final).

B) Aguas

Con los datos de partida que pertenecen a tres parámetros de diagnóstico de la vulnerabilidad de las aguas, se entra en tablas y ábacos donde es posible leer directamente el valor de impacto parcial. El impacto total se obtiene al multiplicar el valor parcial por el peso del parámetro calculado. La suma de los impactos totales de los tres parámetros dará una puntuación final que corresponde a una determinada vulnerabilidad (de 1 a 5), diferente para la hidrología superficial y para la hidrología subterránea, y diferentes a su vez, de las del paisaje.

Para concluir, la representación de la vulnerabilidad para cada uno de los temas tratados (paisaje y aguas) se utiliza una gama de colores que representan la distinta vulnerabilidad del territorio. Este sistema sólo puede representarse si se han empleado unidades de trabajo cartografiables. Los colores empleados son: rojo para vulnerabilidad MUY ALTA, naranja para vulnerabilidad ALTA, amarillo para MEDIA, verde para BAJA, y azul para vulnerabilidad MUY BAJA.

Parte I: PROPUESTA DE MÉTODO DE UBICACIÓN DE V.R.S.U.**5.3. MÉTODO DE EVALUACIÓN PAISAJÍSTICA**

Esta parte del método que determina la vulnerabilidad del paisaje frente a la instalación de V.R.S.U. utiliza, como ya se acaba de ver, la fórmula general siguiente:

$$\sum_{n=1}^4 E_i * P_i = V$$

E = valor de clase de los elementos considerados
(impacto parcial)

P = peso de dicho parámetro

V = vulnerabilidad

Los pesos empleados para cada parámetro son (ver anejo II resultado de encuestas):

Usos del suelo = peso 4
Presencia de agua = peso 2
Relieve = peso 1
Visibilidad = peso 5

Tabla 5.1 Pesos para la valoración del Paisaje

Los valores de vulnerabilidad obtenidos en el sumatorio final se incluyen en uno de los siguientes intervalos que definen distintas categorías de vulnerabilidad. Su representación cartográfica se realiza mediante un color.

Vulnerabilidad 1	: 12 - 20	Impacto MUY BAJO (azul)
Vulnerabilidad 2	: 21 - 30	Impacto BAJO (verde)
Vulnerabilidad 3	: 31 - 40	Impacto MEDIO (amarillo)
Vulnerabilidad 4	: 41 - 50	Impacto ALTO (naranja)
Vulnerabilidad 5	: 51 - 60	Impacto MUY ALTO (rojo)

Tabla.5.2. Intervalos de vulnerabilidad del paisaje

Las clases empleadas para definir los parámetros son las siguientes:

Usos del suelo: se integran los diferentes tipos de vegetación que pueden encontrarse comúnmente en un paisaje, así como otros usos que definen el grado de ocupación del suelo.

Ya que es posible que concurren varios tipos de uso del suelo en una porción de unidad, sobre todo cuando el tamaño de la porción de territorio que se está valorando es grande, se ha adoptado un criterio para obtener un valor de impacto ajustado. Cuando un sólo uso del suelo ocupa aproximadamente más del 70%; la porción adquiere el valor de dicho uso. Si por el contrario la parcela presenta varios usos y ninguno de ellos puede ser el responsable de dicho valor (por no tener el 70% de ocupación) se realizará la media de todos los valores de uso que presente la porción de unidad. De esta manera se distribuyen las mayores y menores puntuaciones de usos del suelo en toda la porción. Este procedimiento sólo ha sido utilizado para los usos del suelo.

5 puntos = Pastizal: incluye tanto praderas en vaguadas o de altura y pastos submontanos. Pueden estar alternando con arbolado disperso y setos.

Bosque autóctono o maduro.

Riberas: formaciones en galería. zonas sometidas a inundaciones periódicas.

Dehesas: encinares adhesados o dehesas de fresnos.

4 puntos = Matorral arbustivo y/o de gran extensión: jarales, brezales, sabinas y enebrales, coscojares, tarayales, melojares, etc.

Frutales de porte arbóreo.

Regadíos. Cultivos intensivos

Núcleos rurales y urbanizaciones residenciales de baja densidad.
Núcleos dispersos de baja densidad.

3 puntos = Coníferas de repoblación poco maduras: pinos, abetos, cipreses, cedros, enebros, etc.

Viñedos y olivares. Cultivos de secano con porte arbóreo. Almendros, algarrobos, etc.

Fronosas: fresnos, chopos.

2 puntos = Matorral de bajo porte o de baja extensión: retamas, eriales, tomillares, leguminosas, piornales, etc.

Secanos: agricultura extensiva.

1 punto = Núcleos urbanizados y zonas afectadas intensamente por la expansión de los núcleos. Zonas con actividades extractivas e industriales.

Agua: en cuanto al agua, el proceso de evaluación se realiza por presencia de algún elemento que indique existencia actual ó posible, en ocasiones, de agua. La clasificación ha sido puntuada en función a la cantidad de agua que presenta una porción dada:

1 punto = Sin agua

2 puntos = Arroyos. Lagunas dispersas y/o esporádicas. Acequias.

3 puntos = Lagunas mayores de 5 Ha. Arroyos permanentes.

4 puntos = Ríos. Nieve.

5 puntos = Extensiones mayores de 10% de agua. Costas.

Relieve: se evalúa el grado de modificación que sufre una topografía determinada con la instalación de un V.R.S.U. sobre ella, se ha identificado con cuatro configuraciones básicas (plano, ondulado, montañoso y abrupto y sus combinaciones:

5 puntos = Plano: un relieve plano es un terreno llano sin interrupciones bruscas en su línea de horizonte. Se aceptan terrenos planos con cierta pendiente

- 4 puntos = Plano-ondulado
- 3 puntos = Montañoso: laderas de fuertes pendientes y desniveles pronunciados.
Plano-abrupto
Ondulado-montañoso.
- 2 puntos = Ondulado: se refiere a un relieve disectado que presenta perfiles redondeados y sinusoides. Por ejemplo un relieve colinado.
- 1 punto = Abrupto: los relieves abruptos han sido entendidos de dos maneras según las situaciones. Es abrupto un terreno de difícil tránsito, con grandes desniveles o pendientes como pueden ser los acantilados, pero también se refiere al grado de "rugosidad" del terreno, no de forma sinusoidal sino más bien de horizontes quebrados.
Ondulado-abrupto

Visibilidad: con información sobre la visibilidad interna -visibilidad de un vertedero desde dentro de la porción de unidad- y externa - visibilidad del vertedero desde las porciones colindantes o elementos significativos en el paisaje (carreteras, pueblos, miradores, etc), expresada en tres grados de intensidad (alta, media y baja) se obtiene el impacto parcial por visibilidad, mediante el siguiente cuadro:

		visibilidad interior		
		BAJA	MEDIA	ALTA
Visibilidad exterior	BAJA	1	2	3
	MEDIA	2	3	4
	ALTA	3	4	5

Tabla 5.3. Obtención del valor de visibilidad

La información que se precisa en la valoración puede obtenerse de cartografía disponible pero es interesante la utilización de fotografía aérea y el apoyo de trabajo de campo.



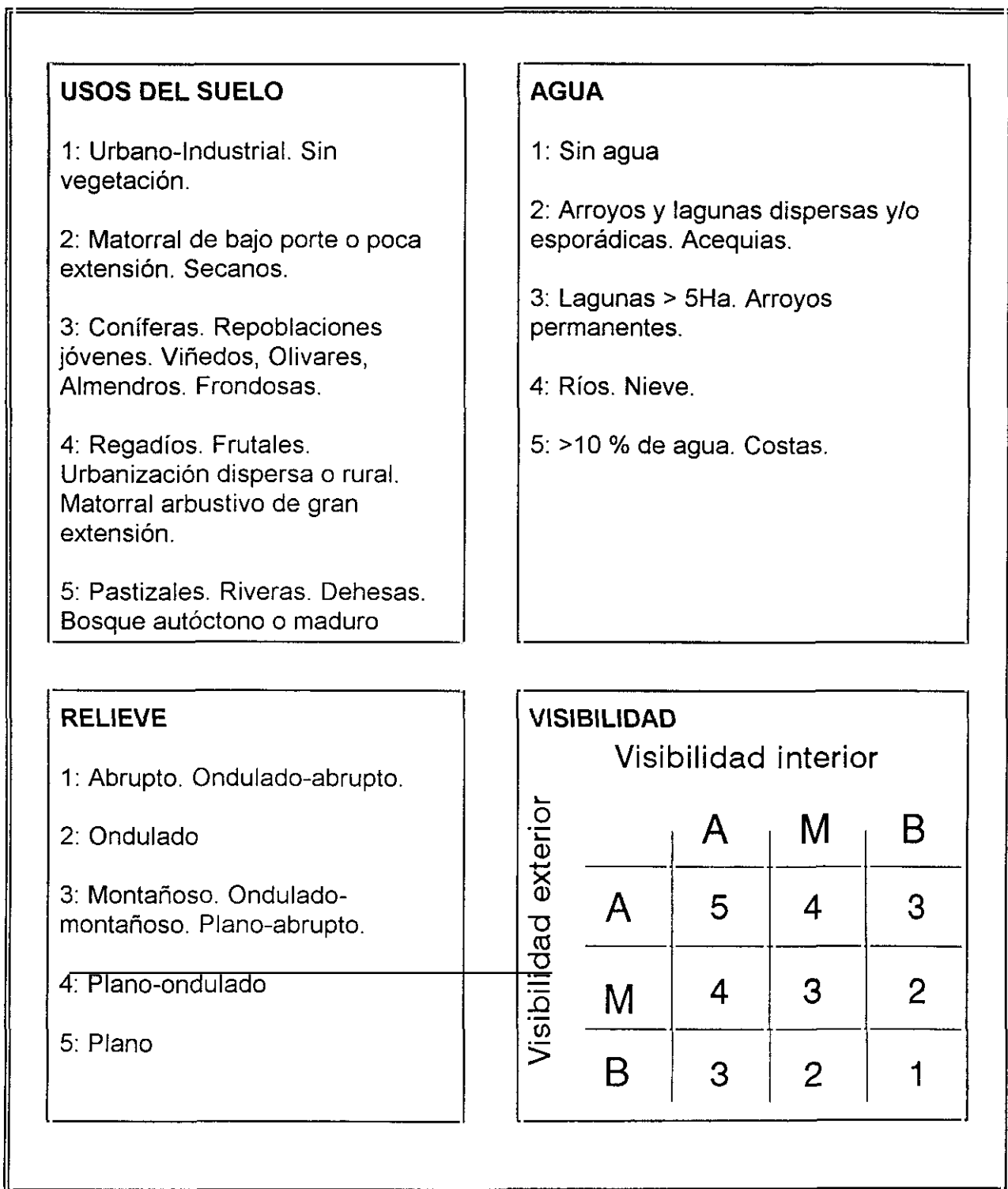


Figura 5.1. Parámetros y clases empleadas para evaluar la vulnerabilidad del paisaje.

5.4. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

5.4.1. Generalidades

Para valorar los tres parámetros que van a definir la vulnerabilidad de este medio (escorrentía superficial, densidad de drenaje y uso potencial del agua) se precisan datos referidos a:

- * Valores medios mensuales de precipitación (Pm) y evapotranspiración potencial (ETP).
- * Permeabilidad del substrato del V.R.S.U. (K), y del suelo superficial.
- * Pendiente topográfica del terreno sobre el que se deposita la basura (m).
- * Distancia a cauces y densidad de drenaje
- * Calidad actual de los ríos principales
- * Datos de caudales medios anuales
- * Es imprescindible contar con un mapa de límites de cuenca para cada uno de los ríos considerados, a fin de establecer la distancia concreta de cada punto dentro de su cuenca.

Cuando no se disponga de dichos datos, se debe recurrir a aproximaciones estimativas que sean lo más adecuadas y precisas posibles para la escala de trabajo propuesta en esta metodología (1/100.000). Debido a la dificultad de cálculo, y considerando que en muchos casos los valores obtenidos no serán precisos, lo más adecuado es establecer la valoración en base a pocas clases, pero con intervalos amplios y muy significativos.

Los pesos considerados para cada parámetro son los siguientes:

Escorrentía superficial	Peso = 3
Drenaje	Peso = 4
Uso potencial	Peso = 2

Tabla 5.4. Pesos para la valoración de las aguas superficiales.

Con el valor parcial del parámetro ponderado por su peso se obtiene el Impacto Total de ese aspecto de la hidrología superficial. El sumatorio de los puntos de impacto para los tres parámetros dará un número que estará incluido en una de las 5 categorías de vulnerabilidad consideradas para las aguas superficiales. Estas categorías incluyen los siguientes intervalos:

$$\sum_{n=1}^3 E_i * P_i = V$$

E = valor de clase de los elementos considerados (impacto parcial)

P = peso de dicho parámetro

V = vulnerabilidad

Vulnerabilidad 1: 0-6 Impacto MUY BAJO (azul)
Vulnerabilidad 2: 7-13 Impacto BAJO (verde)
Vulnerabilidad 3: 14-20 Impacto MEDIO (amarillo)
Vulnerabilidad 4: 21-27 Impacto ALTO (naranja)
Vulnerabilidad 5: 28-34 Impacto MUY ALTO (rojo)

Tabla 5.5. Intervalos de vulnerabilidad de las aguas superficiales.

5.4.2. Cálculo de la Escorrentía

El cálculo de la escorrentía es común para obtener el volumen de agua que escurre superficialmente y el que se infiltra, ya que se cumple que:

$$\text{Precipitación (P)} = \text{evapotranspiración (ETR)} + \text{Infiltración (I)} + \text{Escorr. superficial (E.S.)}$$

La escorrentía superficial nos indica la cantidad de agua de lluvia que se pone en circulación sobre la superficie del terreno. En el caso de existir un vertedero, nos sugiere la cantidad de lixiviados que se pueden mover fuera del vertedero sobre la superficie.

Son numerosos los condicionantes que van a afectar al cálculo de la escorrentía superficial: volumen de precipitación, intensidad de precipitación, pendiente del terreno, permeabilidad y capacidad de retención hídrica del suelo, recubrimiento vegetal, etc. El cálculo es, por lo tanto, muy dificultoso, si bien existen métodos para estimarlo (Claver, coord; 1991). Estos métodos de estimación son incompletos y los resultados que se puedan obtener serán siempre cualitativos y aproximados, aunque de gran trascendencia para valorar la cantidad de lixiviados que se generen en cada unidad de territorio que se pretenda evaluar.

Los escasos presupuestos económicos que se emplean en los estudios previos, obligan generalmente a realizar estimaciones del coeficiente de escorrentía. En este sentido son muy útiles diversos métodos para estimación cualitativa y semicuantitativa de los que merecen destacarse los de: Seyhan (1976); E.P.A.(1977); MOPU (1985); Temiño *et al.*(1990); Aroca y Ballesteros (1992); entre otros.

Cualquier simplificación debe partir de una serie de condiciones de contorno que centren el método solamente en los casos más frecuentes (eliminando condiciones locales o de posibilidades específicas que se salen de la escala de trabajo y de los fines que se pretenden alcanzar). También de la eliminación de los supuestos o condicionantes menos significativos, reduciendo los aspectos implicados en la valoración a unos pocos, muy representativos y fáciles de evaluar.

La metodología empleada presupone las siguientes condiciones:

- * El método sólo es aplicable para valorar impactos.
- * El vertido se realiza directamente sobre la superficie del terreno (no existe impermeabilización o compactación de la base del V.R.S.U., aunque el método es adaptable a estas circunstancias).
- * Se considera que la basura en el V.R.S.U. no está recubierta por capas de material poco permeable, aunque si fuese necesario se puede adaptar muy fácilmente.
- * La única entrada de agua en el V.R.S.U. es la procedente de la lluvia, no se consideran otras entradas adicionales (escorrentía superficial o subterránea, generación de agua por descomposición de materia orgánica en el V.R.S.U., vertidos líquidos o pastosos, etc).

En este trabajo se ha estimado la "**escorrentía superficial**" mediante los siguientes pasos que se exponen a continuación, pero en cada caso se podrá utilizar el método más adecuado:

- 1º.- Realización de un balance hídrico del agua de lluvia que incide en el V.R.S.U. con los datos de Precipitación media (Pm) y Evapotranspiración (ETP) medios mensuales, estimando los excedentes hídricos (EXC) no evaporados.
- 2º.- Asignación de valores medios representativos de permeabilidad (K) y de pendiente (m) del sector evaluado. Cálculo del "índice de escorrentía" (Ie) en vertederos:

$$Ie = K/m$$

- 3º.- Estimación de la infiltración y la escorrentía superficial media anual a partir del valor de EXC y del Ie.

Los mayores problemas por escorrentía de lixiviados tendrán lugar durante las estaciones de clima más húmedo y en los episodios pluviales de mayor intensidad y duración, por lo que quizás deberían ser éstos los parámetros básicos para calcular este aspecto. No obstante a la escala de trabajo, y dadas las dificultades de cálculo de este tipo de información en muchas zonas, se ha considerado como suficientemente representativo el valor de escorrentía medio anual.

1º.- Cálculo de los excedentes. Balance hídrico

La basura tiene una capacidad máxima de retención de agua que E.P.A.(1977) valora, como media representativa, en unos 25 mm por cada 3 m de espesor de basura. En un V.R.S.U. activo es de suponer que no exista vegetación, por lo tanto, los únicos intercambios de agua entre la basura y la atmósfera se producirán por evaporación (no evapotranspiración) del agua

retenida por la parte más superficial de la basura.

La elevada macroporosidad de la basura (siempre debida a compactación y trituración de los residuos) favorece una infiltración rápida en el momento de la lluvia, por lo que los excedentes (EXC) calculados que atraviesan el 1,5 m superficial serán mayores en la realidad que los deducidos del balance.

Con el fin de corregir, al menos parcialmente, la infravaloración de los EXC obtenidos del balance, se propone:

- * No considerar la retención hídrica de la basura, lo cual supone un incremento de los EXC en unos 10 mm durante los primeros meses húmedos de otoño (E.P.A., 1977).
- * Redondear siempre por exceso los valores de EXC (en mm) estimados a decenas. Por ejemplo, si se ha deducido EXC=83 mm, adoptar el valor EXC=90 mm. Considerando esta opción más sencilla para nuestro propósito se incrementan los excedentes, que en definitiva es lo que pretendía ajustar la consideración anterior.

2º.- Índice de Escorrentía en vertederos

Se considera que, debido a la elevada porosidad eficaz de la basura, todos los excedentes calculados se infiltran y percolan verticalmente en el seno del V.R.S.U. hasta alcanzar el sustrato. El comportamiento del sustrato no es comparable con el que tendría ante una precipitación, sin haber colocado el V.R.S.U. sobre él. La velocidad del movimiento vertical del lixiviado será relativamente elevada, pero menor que el de la lluvia, ya que es amortiguada por su paso a través de la basura; así mismo, el volumen de lixiviados que alcanza la base del V.R.S.U. será menor que la lluvia (sólo los excedentes (EXC)).

Se producirá escorrentía subsuperficial a través del contacto basura-sustrato cuando la **permeabilidad** vertical de dicho sustrato (K), sea menor que la de la basura y no sea capaz de seguir transmitiendo verticalmente todos los lixiviados hacia la zona saturada. El movimiento de dicha escorrentía hacia fuera del V.R.S.U., se verá favorecido al aumentar la **pendiente** topográfica del contacto basura-sustrato (m).

Se establece un índice de escorrentía (Ie) como la relación entre K (expresada en m/d) y m (expresada en tanto por cien). Valores elevados de "Ie" corresponden a situaciones con mayor K y menor m, es decir a los que tienen menor riesgo de lixiviación subsuperficial y mayor riesgo de infiltración de lixiviados. Los valores menores de Ie corresponden a situaciones con m elevada y K pequeña, por lo tanto a los que tienen mayor riesgo de escorrentía subsuperficial y muy escasa capacidad de infiltración.

Permeabilidad

- En este trabajo se considera que la proporción infiltración/escorrentía superficial depende de la textura del suelo, y de la litología, textura y espesor del resto del perfil, para que el agua pueda escurrir superficialmente o infiltrarse, bien como escorrentía subsuperficial o bien como percolación hasta el nivel saturado.

Debe tenerse en cuenta que en los sedimentos detríticos con abundantes microporos (arcillas, limos, limos arcillosos, arcillas arenosas, etc.) los sólidos en suspensión arrastrados por los lixiviados y algunos procesos de degradación (como precipitación, sorción, etc.), ocasionarán un progresivo sellado de los microporos que reducirá sensiblemente su porosidad eficaz y permeabilidad. Cuando los poros son grandes (arenas medias y gruesas limpias, gravas y gravas arenosas limpias) este proceso también actúa, pero la disminución de porosidad y permeabilidad será menos importante e incluso despreciable.

A partir de Walsh *et al.*(1981), se ha asignado a cada textura un intervalo de permeabilidad:

<p>Grupo a: arenas limpias, gravas con proporciones de arena > 65% y arcillas < 18% . Arenas con < 15 % de arcillas. (K entre 1-0,01 m/día)</p> <p>Grupo b: arenas con 15-50 % de arcilla. (K entre 0,01-0,001 m/día)</p> <p>Grupo c: suelos con < 35% arcilla y < 15% arena. Limos (K entre 0,1 y 0,01 m/día)</p> <p>Grupo d: entre 35 y 60% de arcilla. (K entre 0,05-0,001 m/día)</p> <p>Grupo e: > 60 % de arcilla. (K > 0,001 m/día)</p>

Tabla 5.6. Permeabilidades en materiales detríticos sedimentarios

- En ámbitos ígneos o metamórficos donde existe suelo potente, las permeabilidades asignadas corresponden principalmente a suelos con texturas finas o gruesas y, en muy pocas ocasiones, texturas medias. En aquellos lugares donde no existe suelo potente la permeabilidad asignada ha sido baja para los granitos y una permeabilidad del orden de 1 a 2 m/día para el granito meteorizado. Los valores que se han considerado se basan en Custodio y Llamas, ed.(1983) y Walsh *et al.*(1981), y han sido los siguientes:

<p>Suelos: Textura Gruesa 1 - 0,1 m/día (, a) Textura Media 0,1- 0,01 m/día (, b) Textura Fina 0,001-0,0001 m/día (, e)</p> <p>Granitos y gneises: sano 0,0001 m/día meteorizado 1 - 2 m/día</p>

Tabla 5.7. Permeabilidades en materiales de ámbito ígneo o metamórfico

- En las rocas consolidadas la infiltración-escorrentía es función, además, de la pendiente, de su grado de fisuración y del relleno de dichas fisuras. Cuando el lixiviado llega al substrato sobre una fisura, seguirá su percolación en dicha fisura si está abierta o si el relleno detrítico tiene una permeabilidad mayor o similar que la de la basura; pero si dicha permeabilidad es menor que la de la basura, la percolación sólo será parcial. Las fisuras abiertas están taponadas por la basura y, por lo tanto, aunque su permeabilidad en la fisura es casi infinita, debe considerarse igual a la de la basura que la tapon.

En el resto del fondo del V.R.S.U. el lixiviado intersecta con la roca impermeable y tiende a escurrir a favor de la pendiente del contacto; si en su recorrido alcanza una fisura abierta o rellena de un material más permeable que la basura, la infiltración será muy elevada o total; si la fisura está rellena de material menos permeable que la basura, la infiltración será escasa o nula pues en ella se está infiltrando simultáneamente el lixiviado que le llega directamente desde la basura y, además, estas fisuras rellenas de material detrítico poco permeable tenderán a reducir más su permeabilidad debido a la obturación de sus microporos por los sólidos en suspensión y precipitados, de los lixiviados.

Por lo tanto este tipo de substratos rocosos deben tener una consideración algo diferente que la utilizada para los substratos detríticos (Aller *et al.*, 1987). En base a las consideraciones anteriormente expuestas, se propone agrupar las rocas consolidadas en cuatro categorías, asignándoles un valor orientativo de K para valorar su índice de escorrentía:

- * Calizas y evaporitas intensamente carstificadas. $K = 5 \text{ m/d}$
- * Calizas y evaporitas moderadamente carstificadas. Rocas intensamente fisuradas con fisuras abiertas o rellenas de detritus permeables. Areniscas permeables y poco o moderadamente cementadas. Zonas de falla. $K = 0,1 \text{ m/d}$
- * Rocas poco o moderadamente fisuradas con fisuras abiertas o rellenas de detritus permeables. Calizas y evaporitas poco karstificadas. Areniscas poco permeables cementadas. $K = 10^{-2} \text{ m/d}$
- * Rocas muy poco o no fisuradas. Rocas fisuradas y con rellenos detríticos poco permeables. Areniscas impermeables cementadas. $K=10^{-4} \text{ m/d}$.

Tabla 5.8. Permeabilidades de rocas consolidadas basadas en Freeze and Cherry, 1979; Aller et al., 1987 y Walsh et al., 1981)

Pendientes

Los intervalos de la pendiente topográfica se han agrupado en cinco clases:

0-2%	= 0-1,1°
2-8%	= 1,1°-4,5
8-16%	= 4,5-9°
16-30%	= 9-16,6°
>30%	= >16,6°

Tabla 5.9. Intervalos de pendiente.

Estimación del índice de escorrentía

Con los valores de permeabilidad y pendiente de cada porción de territorio considerado se entra en un cuadro de doble entrada donde se obtendrá un índice de escorrentía. Como las pendientes y las permeabilidades se dieron con un intervalo de probabilidad, se obtendrá pues, un intervalo probable del índice de escorrentía.

Existe, también, la posibilidad de calcular dicho índice de forma analítica mediante la fórmula anteriormente expuesta:

$$I_e = K \div m$$

I_e = índice de escorrentía
 K = permeabilidad (m/día)
 m = pendiente(%)

Mediante el empleo de la fórmula se puede calcular un único valor de "Ie" o bien realizarlo de forma que se ajuste a un intervalo de probabilidad. Ello depende del grado

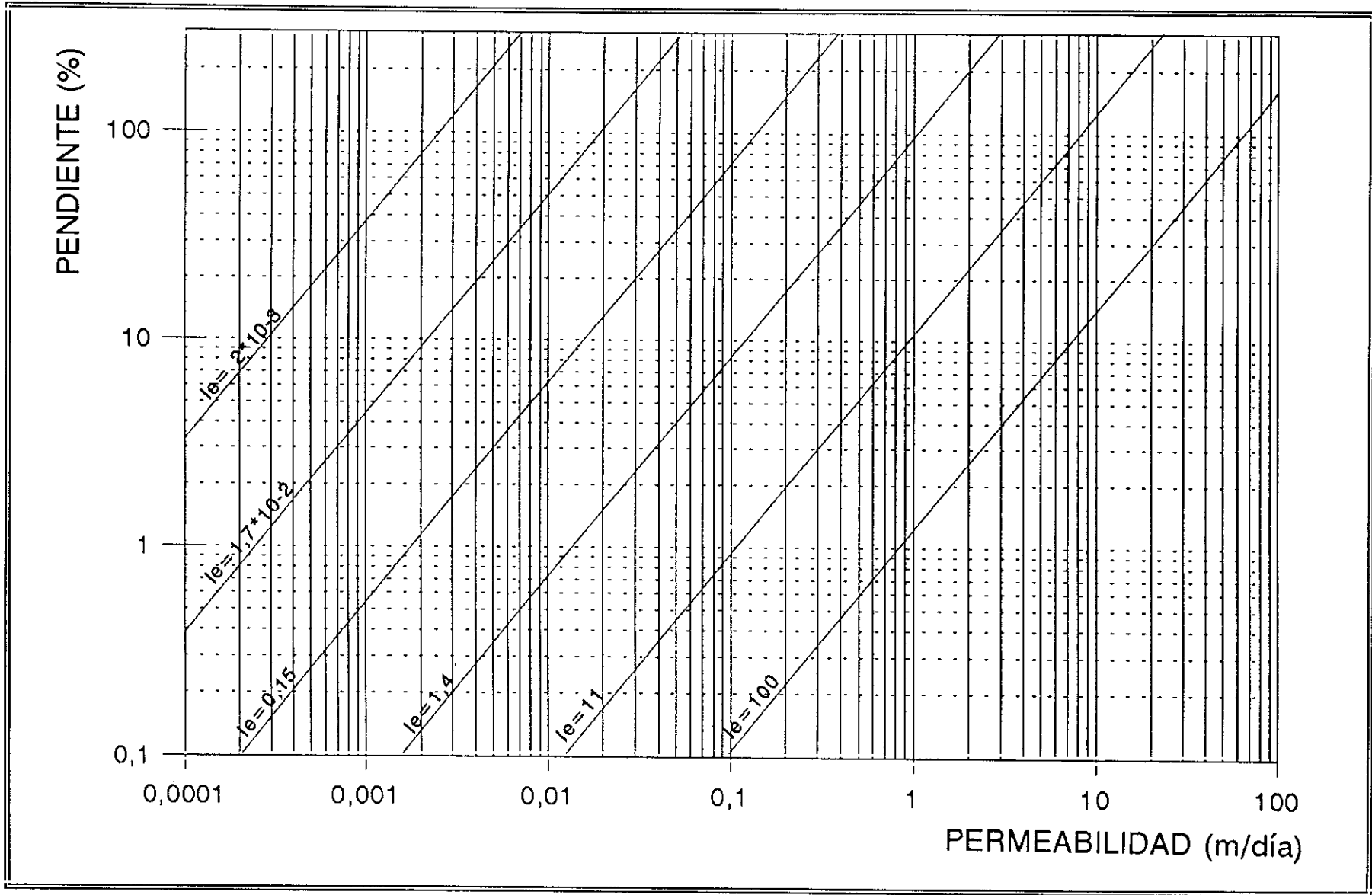


Figura 5.2. Obtención gráfica del índice de escorrentía a partir de la pendiente y la permeabilidad.

de precisión de los datos de que se disponga.

Estos índices de escorrentía corresponden a un valor porcentual de escorrentía. Los valores se han tomado basándolos en criterios bibliográficos (EPA,1977; Heras,1981) con conocimientos de campo, y con tanteo de ajuste a situaciones conocidas (Tabla 5.10).

A los índices de escorrentía se han asignado los siguientes intervalos de infiltración y escorrentía superficial:

<u>le</u>	<u>Inf.</u> (%LLU.)	<u>E.S.</u> (%LLU.)
>100	100	0
11-100	90	10
1,4-11	70	30
0,15-1,4	50	50
$1,7 \cdot 10^{-2}$ -0,15	30	70
$2 \cdot 10^{-3}$ - $1,7 \cdot 10^{-2}$	10	90
$>2 \cdot 10^{-3}$	0	100

Tabla 5.10. Proporción de Escorrentía

3º- Estimación de la Escorrentía Superficial-Infiltración

Una vez conocido qué porcentaje de lluvia útil va a drenar superficialmente, realizamos el cálculo con la cantidad de agua excedentaria. Este nuevo valor indicará un impacto según el siguiente cuadro (Tabla 5.11.):

<u>Impacto</u>	<u>Intervalo</u>	<u>Impacto parcial</u>	<u>m³/día/ha</u>
MUY BAJA	<50 mm	0	< 1,4
BAJA	50-200 mm	1	1,4 a 5,5
MEDIA	200-350 mm	2	5,5 a 9,6
ALTA	350-500 mm	3	9,6 a 13,7
MUY ALTA	>500 mm	4	> 13,7

Tabla 5.11. Valoración de la Escorrentía Superficial

Toda la escorrentía superficial que se pueda generar en la zona evaluada, supuesta la instalación de un V.R.S.U. en ella, se transformará en lixiviado y sufrirá una pérdida total de calidad. Así el impacto será máximo (4) donde la escorrentía sea muy elevada, y mínimo (0) donde la generación de escorrentía es muy escasa o nula.

Se ha asignado un peso de (3) al parámetro "Escorrentía Superficial", y representa una importancia media en la protección del medio frente a vertederos, pues gran parte del agua de lluvia es devuelta a la atmósfera por evaporación o infiltrada en el terreno pasando a afectar al recurso subterráneo. También se considera un parámetro cuyo impacto es más fácil de corregir en la construcción de vertederos, mediante perímetros de recogida de la escorrentía o alterando la pendiente y permeabilidad natural del entorno del vertedero o del propio vaso de vertido.

5.4.3. Cálculo del Drenaje a cauces permanentes

Mediante este parámetro se caracteriza la facilidad o dificultad que ofrece el territorio para permitir que las aguas que van a fluir a modo de escorrentía superficial, lleguen hasta un cauce o masa de agua permanente próximo. Como el cálculo de escorrentía superficial corresponde al arrastre de los lixiviados generados en cualquier punto del territorio donde potencialmente se ha instalado un V.R.S.U., el drenaje evalúa la posible llegada a un cauce con agua de modo permanente.

Este parámetro se ha caracterizado en función de dos aspectos:

- * Densidad de Drenaje
- * Distancia a la masa de agua permanente más próxima

1º.- Densidad de drenaje

Representa la longitud de canales por unidad de superficie. Cuanto mayor sea la densidad de drenaje, será más posible que la escorrentía generada en un sector del territorio se encauce hacia los cauces permanentes. Aplicado a vertederos indica la facilidad de encauzamiento del lixiviado en el entorno del V.R.S.U. (dentro de la unidad de territorio considerada). Chorley *et al.* (1984, pag.327) indica que al aumentar la red de drenaje también aumenta la escorrentía media anual.

También Carlson (1963), demostró que los picos de escorrentía en una cuenca aumentan al aumentar la densidad de drenaje, y que el agua caída en una cuenca con elevada densidad de drenaje es evacuada más rápida y eficazmente.

Esta última afirmación de Carlson puede estar asociada a una doble interpretación para ser considerada en la afección de las aguas superficiales en materia de vertederos. Los lixiviados de los V.R.S.U. que viajan de una forma lenta hasta llegar a un cauce permanente, cuentan con la ventaja de poder desprenderse de parte de su carga contaminante por varios sistemas: evaporación, retención de las partículas arcillosas del suelo, descomposición bacteriológica por la materia orgánica del suelo, etc, características que también son aplicables para la afección

de las aguas subterráneas (Aller *et al.*, 1989).

Por el contrario, una densidad de drenaje alta nos indica que se cuenta con una buena red de evacuación de la escorrentía. El volumen de lixiviados a tratar sería mayor que el generado en el V.R.S.U., aunque más diluido, ya que podría confluir con escorrentía procedente de otros sectores. En el caso de su llegada al cauce se producirá una afección menos intensa pero más cuantiosa.

A partir de los valores orientativos indicados en Chorley *et al.*, (1984) se han establecido cuatro amplias categorías de densidad de drenaje:

(S) Sin red de drenaje definida
(B) Baja densidad de drenaje (<2 km/km ²)
(M) Media densidad de drenaje (2 a 10 km/km ²)
(A) Alta densidad de drenaje (> 10 km/km ²)

Tabla 5.12. Densidad de drenaje

Este aspecto se obtiene fácilmente a partir del análisis de fotografías aéreas, visitas de campo o mapas topográficos de detalle.

La densidad de drenaje de un territorio dado varía al cambiar la escala de trabajo utilizada o la base cartográfica de cálculo. Así sobre foto aérea 1:33.000 se pueden valorar los pequeños barrancos estacionales, pero no en mapas topográficos a escala 1:100.000 o 1:200.000. En nuestro caso la asignación de densidades de drenaje ha sido realizada estimando órdenes de magnitud a partir del conocimiento previo de la zona y el apoyo de mapas topográficos a escala 1:50.000. Por ello se ha preferido otorgar un nivel aproximado, alto, medio, o bajo que indicar un índice de escorrentía concreto.

2º.- Distancia a masas de agua permanentes

La distancia en línea recta existente desde el sector de territorio evaluado hasta el cauce o masa de agua permanente más próxima considerado en línea recta, es un factor sencillo de valorar y que ha sido utilizado por otros autores (Temiño *et al.*, 1989). Esta distancia es equivalente a la distancia que es comúnmente empleada en la evaluación de la afección que una contaminación subterránea puede ocasionar en un pozo de abastecimiento (LeGrand, 1980; Temiño *et al.*, 1989; E.P.A., 1977).

La distancia nos sugiere un grado de depuración que puede experimentar un lixiviado en su recorrido. Se evalúa únicamente la distancia (que puede ser traducida a tiempo de recorrido), sin tener en cuenta la pendiente del terreno, la tortuosidad del recorrido, o el freno de la vegetación. También con carácter general, al aumentar la distancia el lixiviado puede aumentar

su dilución al ir mezclándose con escorrentía superficial de un sector mayor que si la distancia fuera corta y a aumentar la pérdida de caudal de lixiviados por infiltración durante su recorrido hacia el cauce permanente.

Aún sin considerar esta información, significativa por otra parte, la distancia posibilita la ventaja adicional de producir la decantación y la interacción del contaminante en el suelo. El poder autodepurador será proporcional a la distancia a recorrer, pero según las condiciones del terreno puede que la autodepuración no se consiga completamente, aunque se cuente con un amplio recorrido.

Se han establecido los siguientes intervalos de distancias para considerar la afección por drenaje (Tabla 5.13.):

<ul style="list-style-type: none"> * Masas de agua permanentes y sus llanuras de inundación. * < 250 m * 250 a 1000 m * 1000 a 2500 m * > 2500 m

Tabla 5.13. Distancia a cauces

Para valorar este aspecto debe trabajarse sobre mapas topográficos o fotografías aéreas. Una vez definidas las cuencas hidrográficas, se procede a delimitar en cada una de ellas, sectores según su distancia al cauce permanente.

3°.- Estimación del drenaje a cauces permanentes

Se valora el impacto según la facilidad o dificultad que ofrece el territorio para que la escorrentía drene y se integre en las masas de agua permanentes, independientemente del caudal de escorrentía que se genere y que ha sido calculado anteriormente.

Debido a que el impacto es inversamente proporcional a la distancia a los cauces permanentes (L), y directamente proporcional a la densidad de drenaje (d), se establece el índice de drenaje (D) mediante la fórmula:

$$D = d \div L$$

D= índice de drenaje
d= densidad de drenaje (km/km²)
L= distancia a masas de agua (km)

Gráficamente también puede obtenerse el valor del índice de drenaje a partir de la distancia a las masas de agua y la densidad de drenaje según la fig.5.3. y la tabla 5.14.

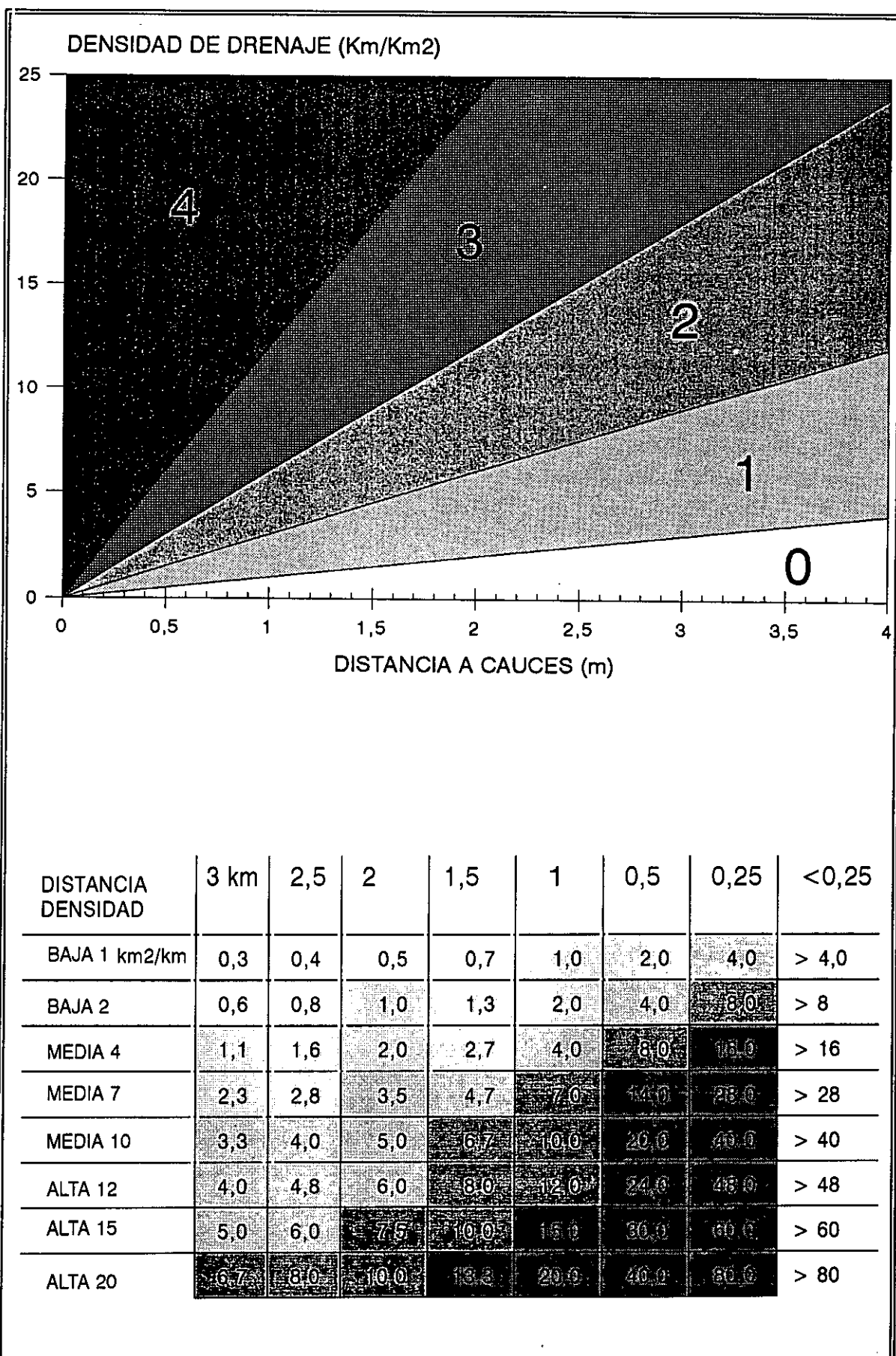


Figura 5.3. y tabla 5.14. Obtención del índice de drenaje.

Estimativamente se ha establecido la siguiente valoración de impactos, basados en el valor del índice D (Tabla 5.15):

<u>Impacto</u>	<u>Índice "D"</u>	<u>Impacto parcial</u>
MUY BAJO	< 1,0	0
BAJO	1,0 a 3,0	1
MEDIO	3,0 a 6,0	2
ALTO	6,0 a 12,0	3
MUY ALTO	> 12,0	4

Tabla 5.15. Valoración del drenaje a masas de agua permanentes

Los valores más elevados de vulnerabilidad (4), corresponden a las propias masas permanentes de agua, o a zonas próximas a ellas y con elevadas densidades de drenaje; en estas zonas el porcentaje de escorrentía que alcance dichas masas permanentes de agua será muy elevado. Por el contrario los valores más bajos o nulos corresponden a zonas lejanas y donde la densidad de drenaje es baja o inexistente. En estas zonas el porcentaje de lixiviados que llegue a las masas de agua permanentes será nulo o muy reducido. Valores intermedios de impacto sugieren la posibilidad de que porcentajes intermedios de escorrentía lleguen a dichas masas.

Se ha asignado un peso alto (4) a este parámetro porque señala cuánta es la facilidad con la que los lixiviados que llegan a las masas de agua permanente y pueden alterar los usos potenciales del agua superficial de la zona, y este es, a juicio de los miembros evaluadores, uno de los principales recursos que tiene el medio natural para evitar la contaminación de los cauces permanentes.

5.4.4. Cálculo del uso potencial de los cauces permanentes

En la evaluación del uso posible del agua se han aceptado unas premisas de partida que asientan las bases de la evaluación del impacto. Estas premisas parten del hecho de que con la llegada de lixiviados, generalmente ya diluidos, se modificarán las condiciones de calidad del agua del cauce permanente más próximo pero su presencia puede no modificar su uso.

La calidad y caudal actual de un río permite un uso real o potencial del mismo. Con la llegada de lixiviados al cauce no se va a producir una modificación significativa del caudal pero puede que sí se modifique su calidad y, por tanto, su uso potencial (o real).

En este trabajo se considera la situación más reciente de la que se disponen datos de caudal y calidad de los cauces permanentes, descartándose posibles situaciones futuras tales como:

a) Un cauce con poco caudal y de mala calidad que no presenta uso actual ni potencial, no va a modificar "su uso" por la llegada de lixiviados. El impacto será nulo, aunque en un futuro pudiera mejorar su calidad o aumentar su caudal.

b) Ríos cuya calidad no permite ningún uso potencial pero presenta caudales elevados. Estos caudales van a permitir una dilución del contaminante pero su uso va a seguir siendo nulo o muy específico, si no mejora la calidad, hecho que ya correspondería a una situación futura.

1°.- Calidad química.

Se valora la calidad media del agua en función de sus usos potenciales. Las normativas de cada país pueden variar pero ello no influye en el método, pues en cada caso se utiliza la normativa del país de referencia. Se consideran los usos potenciales agrupados en cuatro categorías, que en orden decreciente de importancia son:

A/-	Agua potable o tolerable para consumo humano, bien directamente o con tratamientos sencillos (filtraje, cloración, o similares).
B/-	Agua no útil para los usos "A" pero claramente adecuada, directamente o con tratamientos sencillos, para consumo ganadero, agrícola y/o baño y de excelente calidad para soportar vida piscícola poco exigente.
C/-	Agua no adecuada para usos "A", pero de calidad dudosa o marginal para los usos "B". Adecuada para soportar una fauna piscícola adaptada a condiciones exigentes (tencas, anguilas, ciprínidos, etc).
D/-	Agua claramente inadecuada para todos los usos anteriormente referenciados, solamente aprovechable para actividades muy poco exigentes (navegación, producción de energía y similares). Fauna piscícola rara (básicamente de ciprínidos) o inexistente.

Tabla 5.16. Calidad del agua superficial

La identificación de la calidad del agua para cada uso se puede conseguir en informes y estudios hidrológicos, agrícolas, etc; en los análisis de aguas realizados por organismos oficiales para el control de calidad. También a partir de análisis realizados específicamente para el estudio, de la observación y de la información de los paisanos sobre peces, usos, etc.

2°.- Caudales

Solamente se considera que las masas de agua permanente pueden tener usos potenciales de interés. El caudal de agua que fluye por un cauce permanente varía a lo largo del año y, excepto episodios anómalos de sequía prolongada, es siempre > 0 l/s. A efectos de valoración se considerará representativo el caudal medio anual. Cuanto mayor sea dicho caudal también lo será el volumen de agua utilizable, si bien el tipo de uso estará también condicionado por la calidad del agua.

Los valores de caudal se pueden obtener de los controles realizados por diversos organismos oficiales, así como de informes y estudios hidrológicos, hidrogeológicos, agrícolas, etc. En caso de no existir esta información, se puede estimar a partir de la información suministrada por los habitantes del lugar, debidamente complementada con algunas medidas u observaciones de campo. Se ha de tener en cuenta que los rangos de error capaces de soportar el sistema de valoración, son amplios y no requiere datos muy precisos.

3°.- Estimación del uso potencial

El impacto se valora como la posible pérdida en el uso del agua de las masas permanentes como consecuencia de la llegada de lixiviados a ellas. Los lixiviados que lleguen desde el V.R.S.U. estarán diluidos y parcialmente depurados naturalmente.

Representa la fragilidad de las masas permanentes de agua al uso: cuanto mayor sea su caudal más elevada será la dilución del contaminante y menos frágil será el medio; pero cuanto mejor sea su calidad, más importante será la afección a su uso potencial y más frágil será dicha masa de agua, siempre en relación a los caudales (Fig. 5.4.).

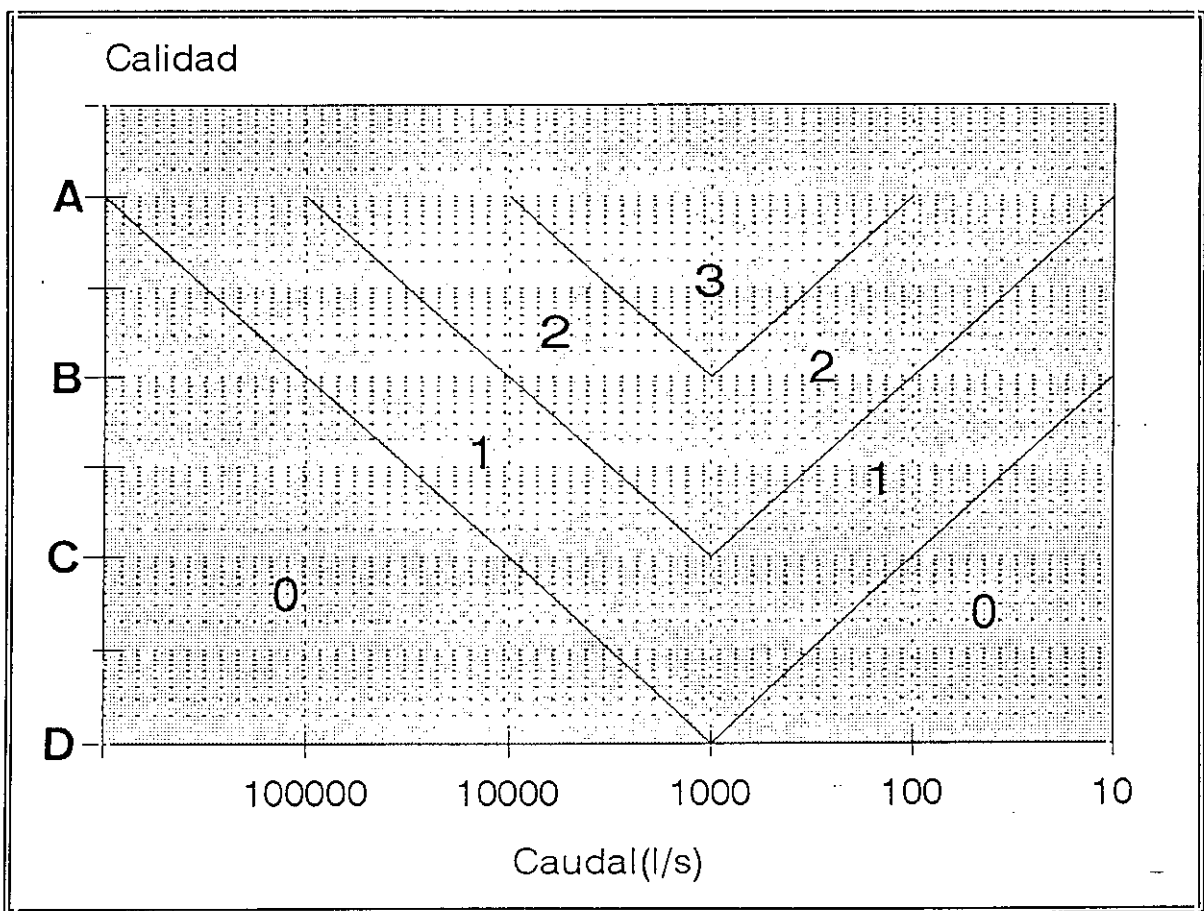


Figura 5.4. Obtención del uso potencial del agua superficial.

Los mayores impactos toman valor 3 y corresponden a los usos más importantes con caudales intermedios. Los menores impactos corresponden a caudales muy grandes (elevadas tasas de dilución) con usos poco importantes, pues no sufren pérdidas de uso considerables.

El peso asignado es de (2) al considerar que el cambio de uso del agua debe ser protegido por la atenuación del impacto de los dos parámetros anteriores (Escorrentía y Distancia). Otorgando mayor importancia relativa a estos dos parámetros se protegen los usos.

5.5. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Al igual que con la hidrología superficial, la afección que puede sufrir un recurso hídrico subterráneo está en función del volumen de agua potencialmente explotable y de su calidad natural. Esta calidad debe ser interpretada como capacidad de uso, respetando así todas las posibilidades de utilización de un acuífero. Las premisas de partida y la exposición del método puede consultarse también en Temiño *et al.* (1996).

Partiendo del hecho de que siempre se van a producir lixiviados, se evalúa la posibilidad de que éstos no se vean aumentados por la precipitación e infiltración consecuente; de que los lixiviados no alcancen la zona saturada, y que en el caso de que lleguen no modifiquen notablemente su calidad. Los parámetros empleados son, por tanto:

1. INFILTRACIÓN: calculado a partir de los excedentes, permeabilidad del suelo edáfico y pendiente.
2. DEGRADACIÓN EN LA ZONA NO SATURADA (Z.N.S.) en función de la profundidad del nivel freático y litología que atraviesa.
3. USO POTENCIAL en función del interés como acuífero (espesor y permeabilidad y/o transmisividad) y calidad del agua subterránea.

La caracterización de los tres parámetros requiere información sobre:

- * Valores medios mensuales de precipitación (Pm) y evapotranspiración potencial (ETP).
- * Permeabilidad del sustrato del V.R.S.U. (K) y del suelo superficial.
- * Pendiente topográfica.
- * Litología de la Z.N.S.
- * Espesor de Z.N.S.
- * Permeabilidad de la zona saturada
- * Transmisividad o caudales específicos (optativo).
- * Calidad natural y actual de los acuíferos existentes.
- * Mapa de dominios y unidades acuíferas del ámbito de estudio.

* Es interesante la utilización del mapa de límites de cuenca empleado en la hidrología superficial.

El método asume unas condiciones que se exponen a continuación:

En la construcción de vertederos controlados suele desaparecer los primeros centímetros, incluso metros, de suelo, con lo cual se pierden principalmente las condiciones de degradación biológica y química. Este suelo es sustituido por membranas impermeables, naturales o artificiales, que funcionan temporalmente como pantalla de retención frente a la infiltración. No se ha contado con esta impermeabilización ni para la autodepuración ni para la infiltración, fundamentalmente debido a las siguientes razones:

- 1º) muchos V.R.S.U. no cuentan con estos sistemas de impermeabilización
- 2º) estos métodos no resuelven de igual manera que el perfil edáfico los procesos de autodepuración
- 3º) las pantallas se degradan con el tiempo y no son totalmente impermeables
- 4º) contando con la impermeabilización evaluamos la peor situación. Cualquier proceso de mejora de los efectos de la contaminación ayudará a aceptar de mayor grado las zonas con impacto bajo.

No se han considerado los diferentes tipos de contaminantes que pueden contener los lixiviados, cuya diversidad de componentes y diferentes comportamientos se escapan del objetivo de esta tesis y de la escala de trabajo empleada.

Como ya se vió los impactos parciales se obtienen al introducir esta información en ábacos y tablas de doble o triple entrada. Los impactos parciales van de 0 a 4 en cada parámetro, y las clases consideradas en cada uno toman amplios intervalos a fin de poder producir un cierto grado de error en la caracterización de los parámetros. Cuando no se disponga de toda la información se deberá recurrir a estimaciones lo más precisas posibles para la escala de trabajo que se esté empleando.

Los impactos totales se consiguen multiplicando cada parámetro por los siguientes pesos:

Infiltración : peso 4
Zona no saturada: peso 3
Unso potencial: peso 2

Tabla 5.17. Pesos para la valoración de las aguas subterráneas

La suma total de los impactos parciales de los tres parámetros se incluirán en una de las cinco

categorías de vulnerabilidad siguientes:

Vulnerabilidad 1: 0-6	Impacto MUY BAJO (azul)
Vulnerabilidad 2: 7-13	Impacto BAJO (verde)
Vulnerabilidad 3: 14-20	Impacto MEDIO (amarillo)
Vulnerabilidad 4: 21-28	Impacto ALTO (naranja)
Vulnerabilidad 5: 29-36	Impacto MUY ALTO (rojo)

Tabla 5.18. Vulnerabilidad de las aguas subterráneas

5.5.1.- Cálculo de la infiltración

La infiltración representa la cantidad de lluvia útil que percola en el subsuelo. La proporción no infiltrada constituye la escorrentía superficial. Son por tanto, complementarias.

Los mismos valores de pendiente y permeabilidad del suelo utilizados para obtener el índice de escorrentía superficial son válidos para la estimación del índice de infiltración. Con este índice podemos aproximar la proporción de lluvia útil infiltrada y, con los datos de los excedentes obtener finalmente la vulnerabilidad de la hidrología subterránea por infiltración basado en la propuesta del método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) (Tabla 5.19. y fig.5.2.) . Hay diversas formas para obtener un valor de infiltración; E.P.A.(1977); Heras (1981), etc o programas de ordenador como HELP o MULTIMED, desarrollados por la E.P.A. En cada caso se utilizará el método más adecuado según los medios de los que se disponga.

El método de cálculo de infiltración presupone las mismas condiciones de partida que se pedían para la obtención de la escorrentía superficial.

<u>le</u>	<u>Inf.</u> (%LL.U.)	<u>E.S.</u> (%LL.U.)
>100	100	0
11-100	90	10
1,4-11	70	30
0,15-1,4	50	50
$1,7 \cdot 10^{-2}$ -0,15	30	70
$2 \cdot 10^{-3}$ - $1,7 \cdot 10^{-2}$	10	90
$>2 \cdot 10^{-3}$	0	100

Tabla 5.19. Proporción de Escorrentía

<u>Impacto</u>	<u>Intervalo</u>	<u>Impacto parcial</u>	<u>m³/día/ha</u>
MUY BAJA	<50 mm/año	0	< 1,4
BAJA	50-100 mm/año	1	1,4 a 3,7
MEDIA	100-175 mm/año	2	3,7 a 4,6
ALTA	175-250 mm/año	3	4,6 a 6,8
MUY ALTA	>250 mm/año	4	>6,8

Tabla 5.20. Valoración de la Escorrentía Subterránea

5.5.2. Cálculo de la capacidad de autodepuración en la zona no saturada

La mayor parte de la eficiencia depuradora de la Z.N.S. tiene lugar en el suelo (Aller *et al.*, 1987; y Vrba y Zaporozec, 1994) pero éste es anulado y sustituido por un manto arcilloso, natural o artificial, al construir un V.R.S.U. Es por ello que se ha preferido no contar con este tramo superior y establecer sólo dos elementos de diagnóstico: las características litológicas de la Z.N.S. y la profundidad del nivel freático.

Estos elementos son los ejes de entrada en un cuadro de puntuación de impacto (Fig. 5.5.) inspirado en Walsh *et al.* (1981), y considerando otros trabajos sobre el tema (LeGrand, 1980; y Aller *et al.*, 1987). La naturaleza de la roca varía de gravas y arenas a arcillas, con todos los tipos intermedios para el caso de las rocas no consolidadas y, para las rocas consolidadas, desde calizas karstificadas a rocas ígneas y metamórficas sin fracturar. El tipo o naturaleza de la roca está directamente relacionado con su permeabilidad, por lo que el cuadro de la Fig.5.5. los considera conjuntamente, pudiendo entrar en abscisas con el dato de que se disponga.

Los rangos de permeabilidad considerados varían en cinco órdenes de magnitud, de más de 10 m/d a menos de 10^{-4} m/d. Por último se han considerado espesores de la Z.N.S. en cuatro grupos diferentes que oscilan entre inferior a 3 m, y más de 30 m. Si las variaciones de la posición del nivel freático son conocidas se deberán utilizar las de mayor nivel, o lo que es igual, las de mayor espesor de Z.N.S. El citado cuadro de la fig.5.5. recoge las valoraciones adjudicadas a cada situación empleando letras para definir los distintos grupos litológicos con el fin de evaluar cada porción de territorio de una forma rápida y sencilla.

En materiales ígneos y metamórficos la aplicación de cualquier método sistemático en el tratamiento de las aguas subterráneas pierde su validez por tratarse de un sistema discontinuo y variable que precisa de información puntual (González Yélamos y Villarroya, ed., 1997). La generalización en el comportamiento y funcionamiento hidráulico de una determinada zona no es posible debido a que en la captación y afección del agua subterránea intervienen las fracturas del macizo rocoso, tanto en densidad como en el origen de éstas (González Ubanell, 1981) y características del relleno, entre otras.

Por otra parte, el espesor de roca alterada y la existencia de regolitos de alteración condicionan notablemente la posibilidad de afección subterránea, máxime cuando las pendientes son bajas.

LITOLÓGIA	CONSOLIDADAS	MUY FISURADAS O CAVERNOSAS	*CALIZAS, *DOLOMIAS *EVAPORITAS VOLCANICOS RECIENTES	* ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS(EXCEPTO VOLCANICAS RECIENTES *PIZARRAS	*PIZARRAS				
		POCO FISURADAS O SIN FISURAR		* VOLCANICAS RECIENTES * CALIZAS Y ARENISCAS POCO CEMENTADAS	* ARENISCAS MODERADAMENTE CEMENTADAS	*ARENISCAS CEMENTAD.	*LIMOLITAS	*R. IGNEAS Y METAMORF. (EXCEPTO VOLCANICAS RECIENTES)	
		NO CONSOLIDADAS Y POROSAS	* GRAVAS * ARENAS GRUESAS-MEDIAS	*ARENAS FINAS - MUY FINAS LIMPIAS	* ARENAS CON <15% DE ARCILLAS	*ARENAS CON15 A 50 % DE ARCILLA	*ARCILLA CON < 50 % DE ARENA	* ARCILLA *MARGA	
			10	1	10 ⁻¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	
		PERMEABILIDAD (m/día) →	A	B	B	C	D	E	F
		ESPESOR DE LA Z.N.S. ↓							
		> 30 m	3	3	2	1	0	0	
		11 a 30 m	4	3	2	1	0	0	
		3 a 10 m	4	4	3	2	1	0	
		< 3 m	4	4	4	3	2	2	

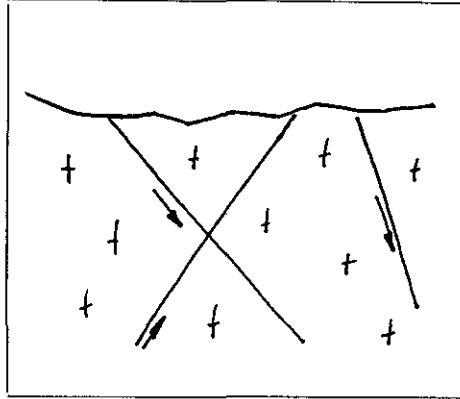
Figura 5.5. Obtención del impacto parcial de la capacidad de autodepuración en la zona no saturada.

Debido a las dificultades de la valoración en estos materiales se han definido 6 casos de comportamiento subterráneo que viene definido por el espesor de la Z.N.S., la permeabilidad en función de la densidad de fracturación o el espesor alterado, y sus condiciones como acuífero (ver fig.5.6.). Las distintas posibilidades van expuestas en orden creciente a su mayor grado de afección al agua subterránea, así el caso 1 presenta las mejores condiciones para hacer frente a una contaminación y el caso 6, las peores.

Teniendo en cuenta este hecho se ha aproximado cada caso a un intervalo de impacto donde ya se ha tenido en cuenta la Z.N.S. y el interés potencial del acuífero, así como los pesos de estos parámetros. Por tanto basta sumar a este intervalo el impacto derivado de la infiltración para obtener el sumatorio total de puntos con el que entrar en la tabla de categorías de vulnerabilidad de la hidrología subterránea.

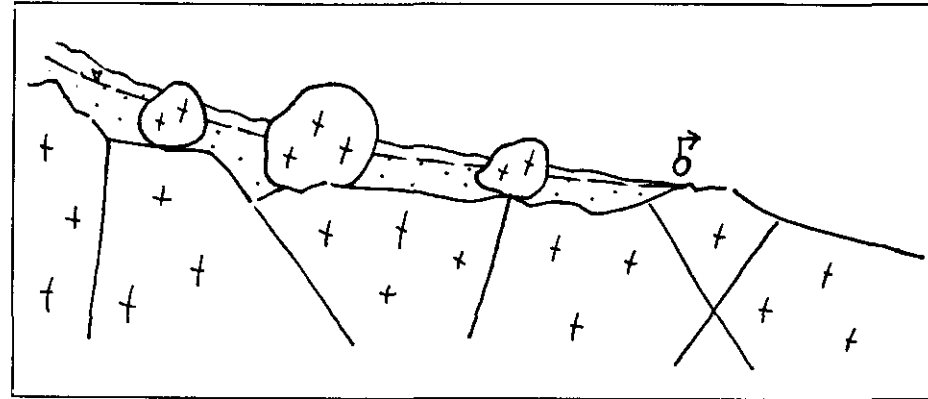
Vistos los casos de la Fig. 5.6. los impactos totales por degradación del lixiviado en la Z.N.S. y uso potencial son:

CASO 1



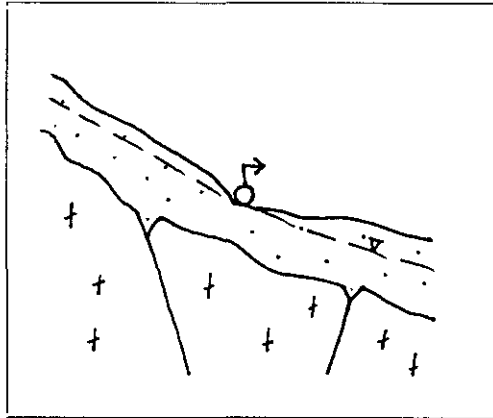
Grupo litológico F
 ZNS < 3 ó 3-10 m
 K = 10-2 - 10-3
 Ac. muy pobre

CASO 2

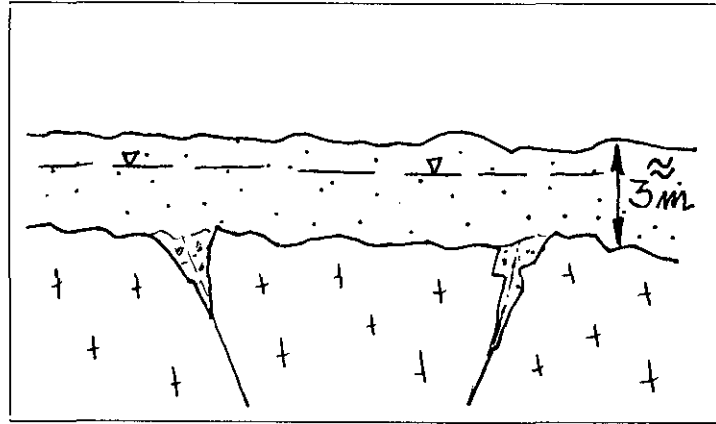


Grupo litológico F
 ZNS < 3 m
 Ac. muy pobre
 K = 0,1- 10-3

CASO 3

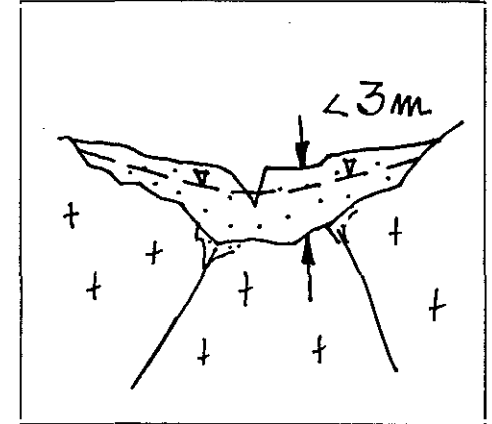


CASO 4



K = 0,5 - 0,2 m/d por que se considera tanto el granito o gneis como su alteración

CASO 5



CASO 6 Es como el CASO 5 pero se separan los tramos de cabecera de los ríos de su tramo inferior, ya que los sedimentos en este último tramo son más abundantes en profundidad y lateralmente. En este tramo la potencia acuífera la podemos situar en 3-10 m.

Figura 5.6. Situaciones de interés potencial de acuíferos en relación con la Z.N.S. en zonas de materiales ígneos y metamórficos.

Muy bajo: (0-4 puntos) CASO 1
Bajo: (5-9) CASO 2
Medio: (10-14) CASO 3
Alto: (15-19) CASO 4 Y CASO 5
Muy Alto: (20-24) CASO 6

Tabla 5.21. Impacto por Degradación del lixiviado en la Z.N.S. y Uso potencial en el macizo.

5.5.3. Cálculo del uso potencial del agua subterránea

El interés potencial para un uso de un determinado acuífero ha sido definido a partir de dos aspectos: uno que define su interés como acuífero, y otro que define su calidad. En conjunto es necesario conocer:

- 1º.- El interés como acuífero
- 2º.- La capacidad de dispersión de contaminantes
- 3º.- La calidad química

No se consideran los acuíferos confinados ya que se asume que son protegidos de forma natural frente a la contaminación.

1º.- Para el conocimiento de su **interés potencial** se ha construido un gráfico de doble o triple entrada (fig.5.7.) que mediante el espesor saturado, la permeabilidad del acuífero o la transmisividad, cataloga el sustrato en función de los caudales potencialmente explotables. Se distinguen cuatro posibilidades que pueden obtenerse mediante la figura 5.7. y a partir de los siguientes criterios (Temiño *et al.*, 1996):

No acuífero: no existe la posibilidad razonable de captar caudales rentables para satisfacer pequeñas demandas locales.

$$Q_{esp.} < 0,02 \text{ l/s/m} \quad \text{ó} \quad T < 2 \text{ m}^2/\text{día}$$

Muy pobre: es posible obtener caudales rentables que satisfagan pequeñas demandas locales ($Q > 1 \text{ l/s}$ en acuíferos poco profundos).

$$Q_{esp.} = 0,02 - 0,2 \text{ l/s/m} \quad \text{ó} \quad T = 20 \text{ m}^2/\text{día}$$

Acuíferos pobres: los caudales rentables de explotación que se pueden obtener son moderados ($Q = 1 \text{ a } 30 \text{ l/s}$ en acuíferos poco potentes)

$$Q_{esp.} = 0,2 - 2,5 \text{ l/s/m} \quad T = 20 - 250 \text{ m}^2/\text{día}$$

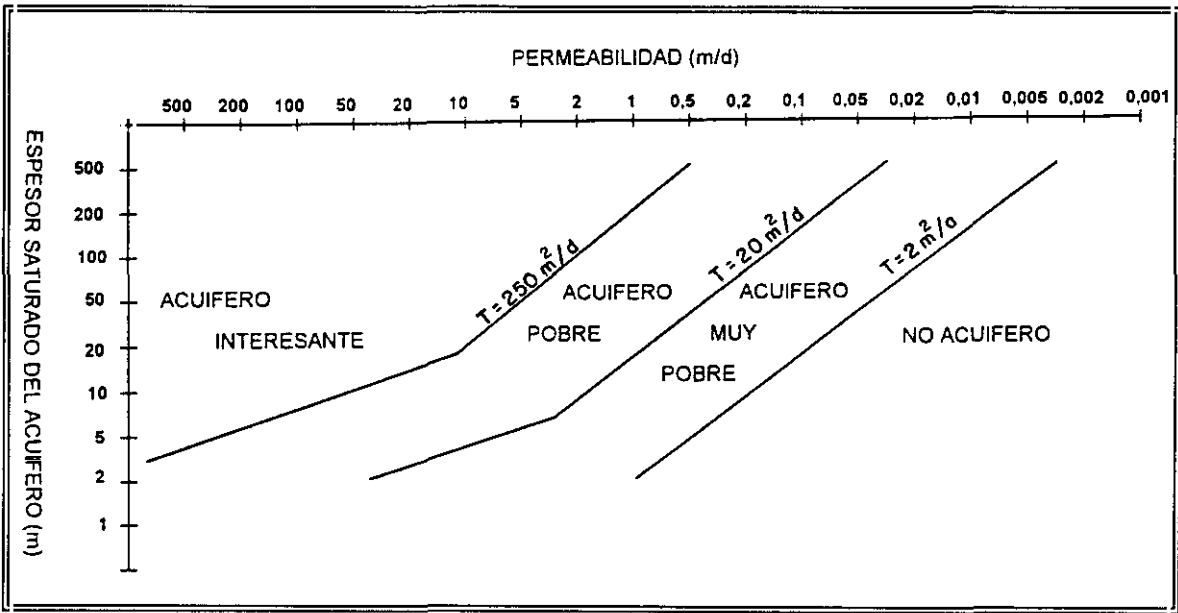


Figura 5.7. Obtención del interés potencial del acuífero a partir de la permeabilidad y espesor saturado.

CALIDAD DEL AGUA		A			B			C		D
K/b		$\geq 10^{-1}$	$\geq 10^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\leq 10^{-3}$	$\geq 10^{-1}$	$\geq 10^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\leq 10^{-3}$	$\geq 10^{-1}$	$\leq 10^{-1}$	TODOS
ACUIFERO	BUENO	4	3	2	3	2	1	1	0	0
	POBRE	3	3	2	2	2	1	0	0	0
	MUY POBRE	2	2	2	1	1	1	0	0	0
	NO ACUIFERO	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5.22. Usos potenciales del agua subterránea.

Acuíferos Interesantes: pueden captarse elevados caudales de explotación rentables ($Q > 30$ l/s en acuíferos poco profundos)

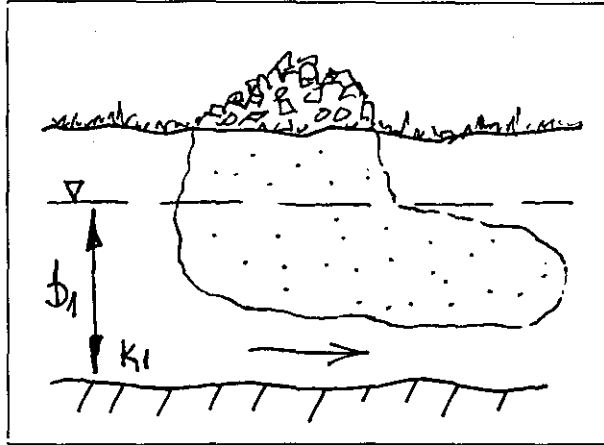
$Q_{esp.} > 2,5 \text{ l/s/m}$

$T > 250 \text{ m}^2/\text{día}$

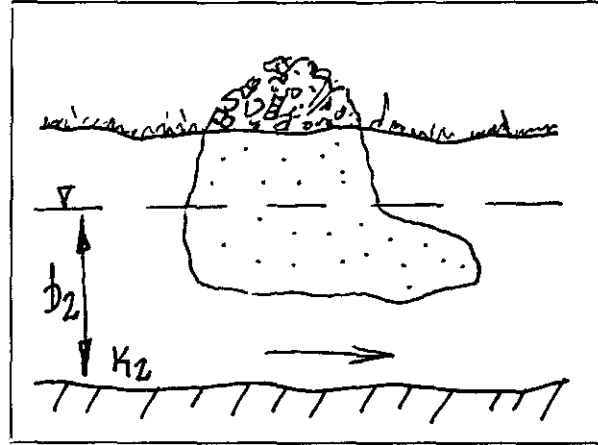
2º.- Con los elementos anteriores (espesor (b) y permeabilidad (k)) obtenemos el **índice de dispersión (Id)**, que de una forma general nos da idea de cómo puede comportarse un efluente en el acuífero (Fig .5.8.). Este índice se obtiene dividiendo la permeabilidad entre el espesor del acuífero, y estos umbrales pueden adaptarse a las circunstancias de cada zona de estudio.

Id: K / b

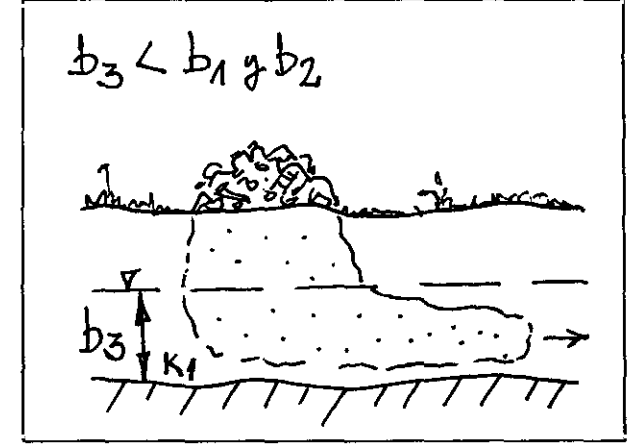
Cuanto mayor es Id mayor es la dispersión. Será importante cuando $Id > 0,1$ y pequeña cuando sea inferior a 0,001.



Si k_1 es bajo
 k/b = dispersión pequeña



Si $b_2 = b_1$ y $k_1 > k_2$
 k/b = dispersión mucho menor



La afección es mucho mayor porque el acuífero es de poca potencia. Si la permeabilidad es pequeña la dispersión será pequeña

Figura 5.8. Comportamiento de un efluente en el acuífero

3°.- Se han establecido 4 categorías de uso en función de su calidad. Los datos de calidad química pueden obtenerse mediante información oficial de calidad actualizada, medidas expresas para el estudio, o a partir de las características químicas del sustrato drenante:

Tipo A: Agua potable-tolerable

Tipo B: Impotable pero utilizable para riego

Tipo C: Impotable y de dudosa calidad para riego

Tipo D: Inadecuada para riego.

Una vez caracterizado el tipo de acuífero, su calidad y el índice de dispersión se utiliza la tabla 5.22. y se obtiene de forma directa el valor de impacto parcial al uso potencial del agua subterránea.

Para materiales ígneos o metamórficos el distinto interés como acuífero que pueden presentar estos materiales queda expuesto, como se ha comentado, en los diferentes casos de la fig.5.6.

MEDIO	PARÁMETROS	ELEMENTOS DIAGNÓSTICO	CLASES()			PESO	INTERVALOS DE VULNERABIL.
PAISAJE	USOS SUELO		1.- Urbano- industrial, sin vegetación; 2.- matorral de bajo porte o poca extensión. Secanos; 3.- Coníferas. Repoblaciones jóvenes. Viñedos. Olivares. Almondros. Frondosas; 4.- Regadíos. Frutales. Rural y urbanización dispersa. Matorral arbustivo de gran extensión; 5.- Pastizales. Riveras. Dehesas. Bosques maduros.			4	12-20 = V1 21-30 = V2 31-40 = V3 41-50 = V4 51-60 = V5
	RELIEVE		1.- Abrupto-ondulado. Abrupto; 2.- Ondulado; 3.- Montañoso. Ondulado-Montañoso. Plano-abrupto; 4.- Plano-ondulado; 5.- Plano			1	
	AGUA		1.- Sin agua; 2.- Arroyos y lagunas dispersas y/o esporádicas. Acequias. 3.- Lagunas > 5 ha. Arroyos permanentes; 5.- > 10% de agua. Costas			2	
	VISIBILIDAD		Visibilidad interior/visibilidad exterior (Alta-media-baja)			5	
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	ESC. SUP	- Excedentes - Índice escorrentía (permeabilidad y pendiente)	<50 mm 50-200 mm 200-350 mm	350-500 mm >500 mm		3	0-6 = V1 7-13 = V2 14-20 = V3 21-27 = V4 28-34 = V5
	DREANJE	- Densidad drenaje - Distancia cauces o masas	<1,0 1,0-3,0	3,0-6,0 6,0-12,0	>12,0	4	
	INTERÉS POTENCIAL	- Calidad - Caudal	Gráfico de la Fig.5.4.			2	
HIDROLOGÍA SUBTERRÁN.	INFILTRACIÓN	- Excedentes - Índice de escorrentía	< 50 mm 50-100 mm	100-175 mm 175-250 mm	>250 mm	4	0-6 = V1 7-13 = V2 14-20 = V3 21-28 = V4 29-36 = V5
	Z.N.S.	- Litología-permeabilidad - espesor de Z.N.S.	Gráfico de la Fig.5.5.			3	
	INTERÉS POTENCIAL	- Calidad del agua - Índice de dispersión - potencialidad del acuífero	Gráfico de la Fig.5.7.			2	

Tabla 5.23. Resumen de los parámetros y clases que intervienen en el método propuesto.

Parte II : APLICACIÓN DEL MÉTODO A LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

5.6. UNIDADES DE TRABAJO

Se han utilizado las U.GMF como unidades ambientales de partida al definir porciones de territorio con génesis y geometría "homogénea" de las que puede esperarse una respuesta "homogénea" a las acciones.

Las unidades geomorfológicas empleadas en este trabajo se basan en las definidas por Pedraza (1978,1986), pero se han incluido otras apreciaciones con el fin de separar aquellas unidades que, en principio, podrían dar lugar a un tipo de comportamiento diferente, bien con respecto al resto de la porción de unidad que la engloba, bien con respecto a las porciones colindantes.

Así pues, detalles litológicos, topográficos, etc, han constituido la base de la redefinición de las unidades empleadas en trabajos anteriores, y se tratan como unidades ambientales previas o de primera generación, aunque éstas puedan subdividirse después en unidades ambientales más complejas o de segunda generación.

En lo sucesivo se hablará de unidad geomorfológica como unidad básica de trabajo que queda dividida en porciones en el territorio. Con frecuencia también se hablará de "unidad geomorfológica Tipo" que agrupa las porciones de U.GMF del mismo tipo, y se utiliza para definir las características más frecuentes de dicha U.GMF.

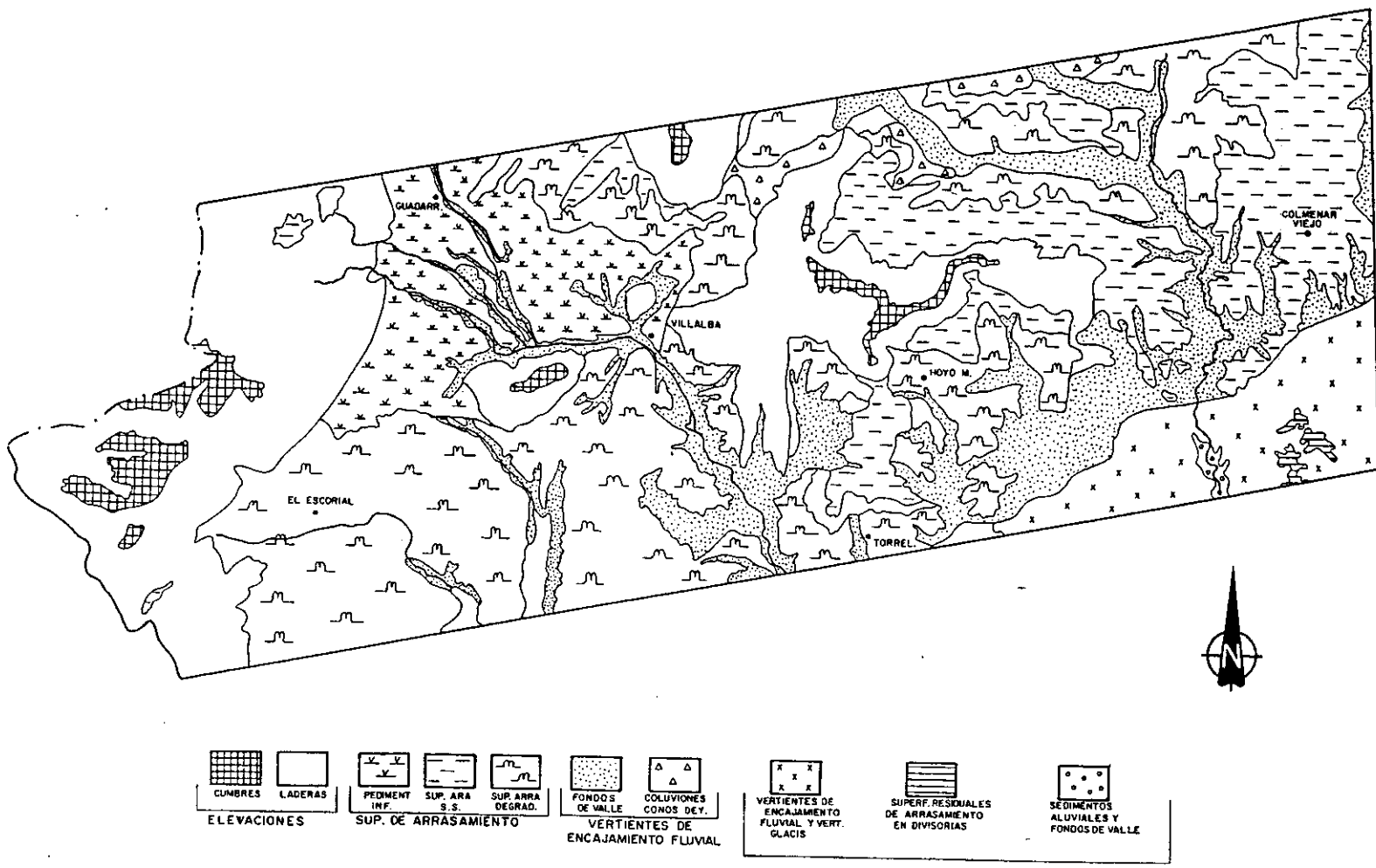
El número de porciones consideradas para obtener un análisis de la U.GMF tipo ha sido arbitrario. Por ello encontramos más porciones de un tipo de unidad que de otra pero esta frecuencia también es representativa de su aparición en la naturaleza. El número de porciones con que se ha trabajado para cada tipo de unidad ha sido el siguiente:

CUENCA	
FACIES QUÍMICAS Y DE TRANSICIÓN	
* Cerros testigo y relieves tabulares desconectados	(8)
* Escarpes o cortados yesíferos	(4)
* Glacis alomados y vertientes glacis	(10)
* Valles de incisión fluvial	(12)
FACIES DETRÍTICAS	
* Glacis alomados y Vertientes glacis	(8)
* Glacis de acumulación	(7)
* Coluviones sobreimpuestos	(6)
* Valles de incisión fluvial	(5)
PÁRAMOS	
* Superficie de sustitución del Páramo y materiales asociados	(10)
* Superficie del Páramo	(7)

Tabla 5.24. Unidades geomorfológicas empleadas para el ámbito de la cuenca.

SIERRA	
CUMBRES	
* Superficie de cumbre y superficie de parameras	(6)
* Laderas altas y de relieves medios	(5)
SUPERFICIES	
* Superficie de arrasamiento s.s. (M ₂)	(5)
* Superficie de degradación o berrocal (M ₁)	(17)
* Superficie de pediment s.s.	(1)
ALUVIAL-COLUVIAL	
* Llanuras aluviales y encajamiento fluvial	(5)
* Coluviones	(4)
ARCOSAS	
* Superficies degradadas	(3)

Tabla 5.25. Unidades geomorfológicas empleadas en el ámbito de la sierra



ARCOSAS. (Detríticos Terdioros F.)

Figura 5.9. a. Unidades geomorfológicas consideradas en el área de la sierra.

LEYENDA

UNIDADES GEOGRÁFICAS	UNIDADES DE VEGETACIÓN	UNIDADES DE VEGETACIÓN o animales	UNIDADES DE VEGETACIÓN

0 1 2 3 4 5 km

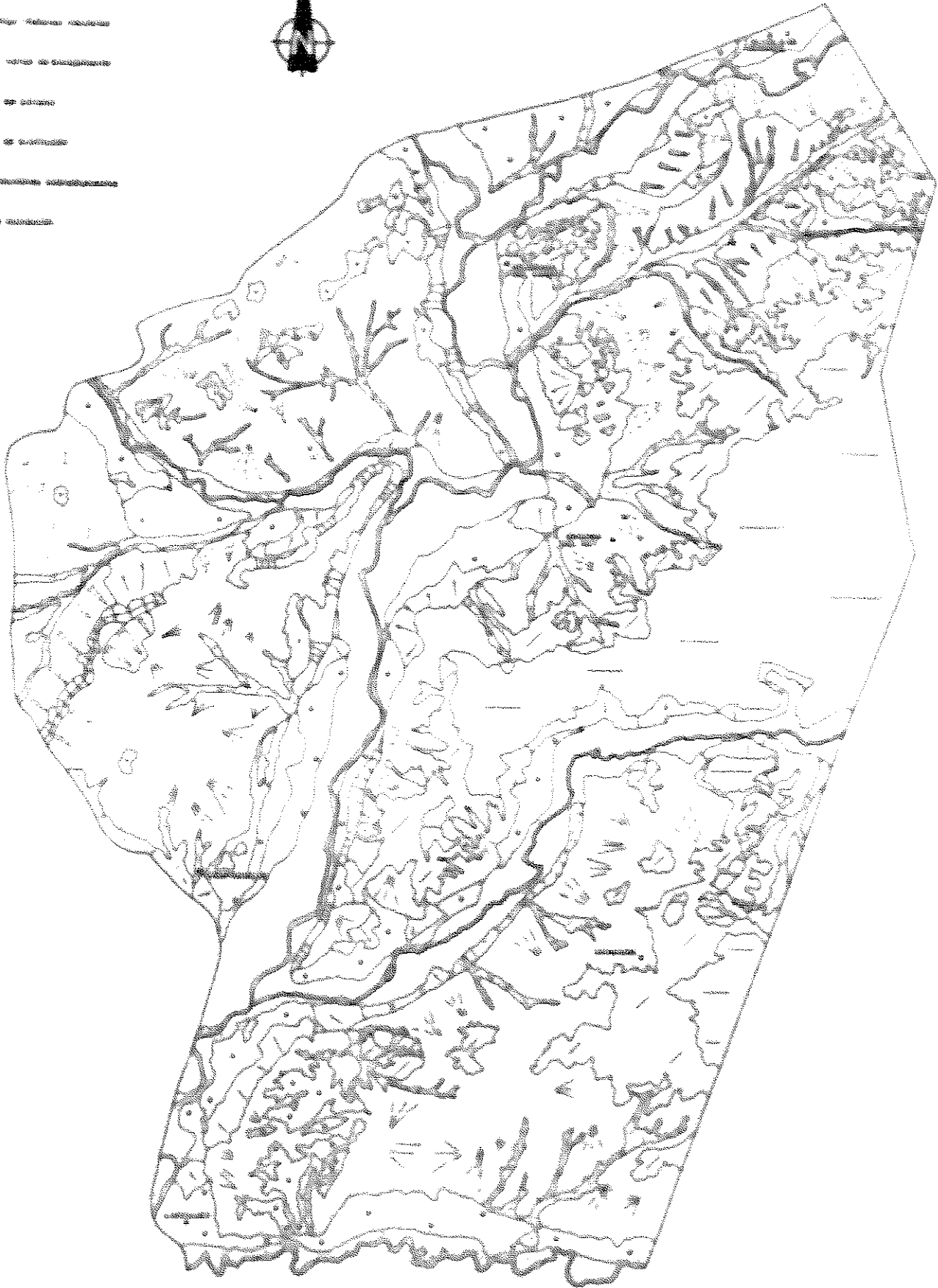


Figura 5.9. b. Unidades geomorfológicas consideradas en el área de la costa

La representación cartográfica de las distintas porciones de U.GMF en las zonas escogidas para aplicar el método de vulnerabilidad del territorio figura en los mapas de las Fig.5.9. a y b. Están basados en los siguientes trabajos:

- Cartografía geomorfológica E. 1:100.000 de los mapas geológicos del ITGE, hojas: 533- San Lorenzo del Escorial; 508- Cercedilla; 509-Torrelaguna; 559-Madrid; 560-Alcalá de Henares.
- Mapa del Cuaternario y esquema geomorfológico del valle del río Jarama en la región de Arganda (Pérez González, 1979)
- Mapa geomorfológico de la confluencia de los ríos Jarama y Tajuña (Silva *et al.*, 1988).
- Mapa geológico y geomorfológico del Valle del Jarama-Manzanares (A.E.C., 1989)
- Mapa geomorfológico del Cuaternario del interfluvio Manzanares-Jarama (Carral, 1993).

Las principales características descriptivas de las unidades consideradas en el trabajo son las siguientes:

UNIDADES DE LA CUENCA

Vertientes glaciares: son el producto de la remodelación de una antigua superficie que constituía el altiplano de culminación de la cuenca, junto con los Páramos y la Raña. En la actualidad los glaciares actúan como divisorias de redes fluviales, en forma de llanuras vergentes hacia el centro de la cuenca.

En la cuenca de Madrid estos glaciares quedan representados en varias facies litológicas: los mejor conservados pertenecen a la facies Madrid, al Oeste de la zona de estudio, en cotas de 660-900 m, y escasamente representados dentro de ella.

Dentro del área muestreada predominan los glaciares de relieves alomados producto de la erosión de redes fluviales secundarias al canal principal en cotas desde 600-760 m (López Vera, 1985). Estos glaciares se desarrollan en la margen derecha del río Jarama sobre dos tipos de litologías fundamentales: una donde predominan las formaciones evaporíticas y otra en la que predominan los carbonatos. Los depósitos asociados a los glaciares están constituidos por arenas arcillosas, cantos calcáreos, sepiolita y sílex; con potencias no superiores a 2 m, (IGME, 1989).

Las formaciones evaporíticas están constituidas por yesos masivos, tableados o nodulares, y margas yesíferas verdes. Las evaporitas se encuentran por debajo de los carbonatos de la serie blanca y constituyen ambos relieves alomados incluidos en las vertientes glaciares, donde el grado de modelado está menos definido que en la serie detrítica. Es por ello más difícil delimitar los glaciares puramente erosivos y los materiales acumulados, salvo en pequeñas excepciones que han sido cartografiadas en el mapa de la fig.5.9.b. pero que han sido evaluadas conjuntamente.

La formación carbonatada está constituida por calizas margosas, margas yesíferas blancas,

yesos pulverulentos blancos y grises, margas, etc. Esta serie da relieves ondulados más suaves en general, y suelen estar carentes de vegetación, matorral ralo o en ocasiones repoblados con encinas y olivos.

En la zona más oriental del área de cuenca muestreada los glacis se desarrollan sobre litologías areno-arcillosas y están muy bien definidos. Por ello se puede hablar con precisión de glacis erosivos y de acumulación. Los glacis de tipo erosivo y de cobertera se han desarrollado muy bien en las márgenes de los ríos Tajo y Henares, dando pendientes abruptas en las márgenes izquierdas, y largas vertientes glacis en las de la derecha.

La litología de la margen izquierda del río Henares (arcillas marrones y grises y arenas finas micáceas de la unidad Alcalá inferior y superior) dan lugar a terrenos fuertemente disectados por barrancos y cárcavas (ITGE, 1996). Hacia el sur (margen derecha del arroyo Pantueña) las facies pasan a arcillas grises, margas calcáreas y silex y sepiolita que dan laderas suavizadas, localmente disectadas por barrancos.

Cerros y mesas: Son restos de las antiguas superficies de culminación (s_1 y s_2 de Riba, 1957 y Vadour, 1977) y restos de la superficie del Páramo que será descrita más adelante. Sus cimas permiten reconstruir dicha superficie y el encajamiento de la red fluvial.

Algunos de estos cerros testigo son hitos importantes en nuestra Comunidad (cerro Almodóvar, la Marañosá, Los Angeles, El Telégrafo, etc) y algunos constituyen zonas de extracción de materiales. Algunas superficie relictas son más continuas a pesar de su frecuente disectación de barrancos actuales, (cerro de Rivas, Marañosá entre otros) y constituyen el techo de los cortados yesíferos de la margen derecha del río Jarama.

Su expresión cartográfica incluye parte del escarpe de enlace con las vertientes glacis donde se ubican, pero sólo se considera el relieve plano de la superficie culminante.

Valles de encajamiento fluvial : Son vaguadas desarrolladas transversalmente a los ríos principales, que constituyen redes de drenaje de la escorrentía superficial y que alcanzan su mayor desarrollo cuando se establecen sobre litologías "blandas". Es entonces cuando presentan menor encajamiento propiciando el encharcamiento en sus fondos planos. Los aluviales de fondo de valle son de composición variada, dependiendo del área fuente, pero es frecuente el relleno de gravas finas calcáreas, arenas arcillosas, limos y arcillas yesíferas y margosas (IGME, 1975).

Cortados yesíferos o escarpes: Se presentan en las márgenes de los ríos Jarama, Manzanares y Tajo, y tienen una potencia de unos 150 m, (IGME, 1975), de los cuales sólo son visibles de 80-100 m. Pueden diferenciarse dos tipos distintos de escarpes: los principales, pueden ser definidos como cantiles o cortados yesíferos netos de gran altura y que bordean al río Jarama

por su margen derecha y en algunos puntos de la margen izquierda, próximos a Titulcia y los secundarios, preferiblemente definidos como escarpes, y son las vertientes disectadas de alta pendiente pero menor altura, que bordean los ríos Tajuña y Manzanares en la mayor parte del recorrido, dentro del ámbito estudiado. Litológicamente están constituidos por yesos masivos, yesos tableados y nodulares entre margas yesíferas y arcillas.

Conos aluviales y coluviones: Los conos aluviales se desarrollan en la desembocadura de los arroyos. No superan los 4 ó 5 m de espesor, y su litología y textura depende del área de origen: arenosos o areno-arcillosos en el Oeste de Madrid, yesíferos o margosos en las series de transición química o de composición más gruesa en terrazas. Los coluviones son depósitos gravitacionales de pie de ladera, erosionados por el agua y transportados sobre la superficie del terreno. Están muy bien representados en los escarpes que delimitan el valle del río Tajuña originados por erosión del borde del Páramo (IGME, 1975).

Las grandes variaciones de tamaño hacen que sólo se representen como U.GMF las porciones de esta unidad que tienen dimensiones cartografiables a la escala de trabajo.

Superficie de Páramo: Los páramos s.s. forman los relieves de culminación dentro de las llanuras de la cuenca. El conjunto de los Páramos de Castilla la Nueva quedan divididos en dos grandes dominios por el río Tajo: el dominio septentrional o alcarreño y el meridional o manchego. En el primero se sitúan los Páramos madrileños. Ocupan 50 km² dentro de la provincia, y al entrar se transforman en mesas, cerros y llanuras no muy continuas al quedar degradadas por la red hidrográfica, dejando gran número de valles interiores, y depresiones tipo nava (Pedraza, 1987). Su potencia es difícil de conocer dado que la superficie de los páramos no representa un nivel de depósito sino una superficie de erosión (M₂ de Schweizner) y a que existen pliegues (IGME, 1975).

Están constituidos por una gran tabla de culminación, en general de poca potencia, de roca caliza lacustre karstificada a techo y microcristalina. Pueden encontrarse niveles de limo. Bustillo (1980), apunta la transición de facies litorales a áreas más profundas y tranquilas de Este a Oeste. Los procesos de karstificación suelen aparecer rellenos de terra rossa fosilizadas en ocasiones por costras calcáreas rojas con espesores máximos de 6 m (ITGE, 1996).

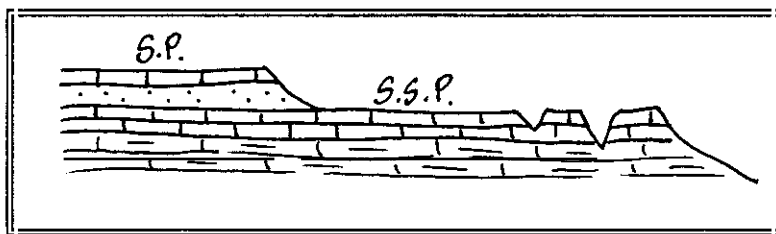
Superficie de sustitución del páramo: Se incluye bajo este término tanto los relieves estructurales de sustitución del Páramo, con litologías calcáreas alternantes que en ocasiones pueden modelar el paisaje en relieves más o menos planos con respecto a las vertientes circundantes.

Esta macrounidad puede estar constituida desde la vega alta hasta el páramo por dos grupos litológicos bien distintos:

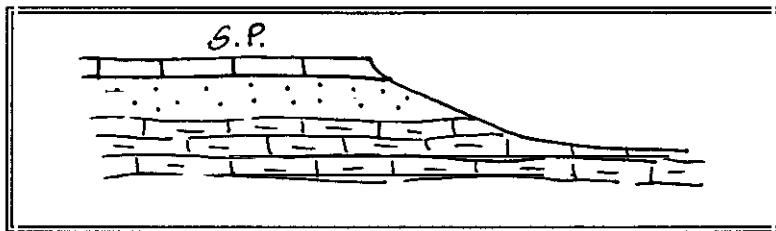
- a) Conglomerados cuarcíticos, arcosas, arcillas y calizas limolítico-arenosas que constituyen el tramo basal de la serie del Páramo y que es un paleo-cauce intramioceno que en ocasiones presenta gran espesor.
- b) Caliches, arcillas rojas y costras laminares.

Cuando aparece la litología b) (caso de Chinchón) el aspecto es igual al del Páramo y su situación respecto a todos los efectos analizados va a ser igual al del Páramo. Cuando aparece la litología a) (el resto de ssp) el aspecto puede ser de dos tipos:

- 1.- dando superficies similares a la ssp pero más disectadas por cauces y barrancos.



- 2.- Dando vertientes o escarpes de enlace entre el páramo y las calizas y margas de la serie blanca.



Llanura de inundación y terrazas bajas: El perfil transversal de los principales ríos de esta zona muestran un carácter asimétrico de estos valles (Pérez González, 1989).

Presenta una morfología de franja adosada a los ríos que es zona de influencia de las avenidas estacionales. Puede tratarse de un rellano único, separado del cauce de estiaje por un pequeño escarpe, o de varias llanuras escalonadas con ligeros escarpes de separación. Todas ellas constituyen la vega baja.

La llanura de inundación la constituyen gravas de distinta naturaleza y arenas con mayor o menor proporción de limos o arcillas.

Terrazas: Las terrazas fluviales pueden presentarse en tres sistemas:

- Terrazas altas desarrolladas en los ríos principales, enlazan con los relieves de la meseta. Son las más degradadas y presentan alturas entre 50-155 m sobre el nivel del cauce (López Vera y Pedraza, 1976).

- Terrazas medias desarrolladas en los ríos principales y algunos secundarios. Los espesores de aluviales son mayores allí donde ha habido subsidencia en la época de formación. Presentan alturas entre 10-30 m sobre el nivel del cauce.

- Terrazas bajas: se encuentran en la mayoría de los valles constituyendo la vega baja entre 2-8 m sobre el cauce (López Vera y Pedraza, op.cit.). Predominan las granulometrías finas.

Las dos primeras han sido agrupadas en una sola unidad, mientras que las terrazas bajas forman parte de la unidad anterior (llanura de inundación y terrazas bajas).

Las terrazas del Manzanares han sido estudiadas por numerosos autores (Obermaier, 1925; Royo y Menéndez, 1929; Vaudour, 1969) y en la zona que aparece en nuestro área de estudio se han descrito potentes espesores de depósitos fluviales (Pérez González y Miguez Marín, (1975), en la que hay una llanura aluvial y una terraza solapadas a una cota de + 18-20 m.

En el río Henares las terrazas han sido estudiadas por Pacheco y Royo Gómez y aparecen en las hojas geológicas de Alcalá y Algete (IGME, 1990). Las sitúan por encima de los 100 m. donde aparecen cubiertas aluviales encima de los miocenos. Schweizner (1936), distingue cinco niveles de terraza mientras que Pérez González y Asensio Amor, (1973) distingue hasta 12 niveles para la margen derecha.

En el Jarama las terrazas aparecen colgadas y se han diferenciado nueve niveles diferentes Santoja et al., (1980).

UNIDADES DE LA SIERRA

Superficie de cumbres y superficie de Paramera: La superficie de cumbres ocupa cotas entre 1.800 y 2.200 m. La llanura se interrumpe por elevaciones de suaves pendientes en la dirección de la cuerda o por relieves abruptos que interrumpen las superficies y cuerdas (CAM, 1986). En ocasiones constituyen áreas de poca extensión donde aflora un sustrato arenizado (ITGE, 1990) y donde son frecuentes las alteraciones y las hidromorfías de tipo nava.

Las superficies de paramera se sitúan a cotas entre los 1.200 y los 1.800 m, según las zonas. En términos ambientales se hace corresponder con superficies de tipo páramo y superficies divisorias de las cuencas. Escalonan la superficie cimera con el piedemonte y presentan características similares a las superficies de cumbres (CAM, 1986).

Laderas: Se interpreta como desniveles de origen tectónico que enlazan diferentes superficies. Por sus características y altitud podemos diferenciar tres tipos de ladera: ladera de elevaciones principales, laderas de bloques secundarios y laderas de relieves residuales aislados y que presentan cierta identidad. Todas ellas están englobadas en la misma unidad tipo (unidad geomorfológica predefinida).

- Las primeras pueden alcanzar hasta los 2.000 m de cota y no están representadas en la zona escogida pero resultan inoperantes para la ubicación de vertederos. Suelen estar interrumpidas por rellenos de paramera y culminan en superficies tipo penillanura en cumbres, que constituyen las divisorias principales de la región.
- Las laderas pertenecientes a elevaciones secundarias son más frecuentes en nuestro área y corresponden al Monte de Abantos, Srra. de Hoyo de Manzanares, etc. Su morfología es variable en función de su alteración pudiendo tratarse de laderas uniformes, o asociadas a relieves tipo berrocal. Sus cimas corresponden a superficies de paramera.
- Las laderas de cerros aislados son muy frecuentes e interesantes para estudios de visibilidad. En nuestra zona contamos con laderas del Monte de las Zorreras, del Cerro del Telégrafo o el del Collado Mediano. Se trata, en general, de laderas lisas, afectadas por la erosión de antiguos sistemas fluviales.

Superficies de piedemonte o rampa: fisiográficamente corresponde a rampas de transición morfológica entre las sierras y las llanuras de la meseta. Estas superficies están presentes a ambos lados de la sierra, bordeando de forma paralela las superficies de cumbres y laderas serranas. Constituyen una morfología en forma de escaleras de piedemontes (Penk, 1972), distinguiéndose dos niveles: uno superior o superficie M_2 de Schwenzer (1936), otro inferior o M_1 .

En conjunto presentan escasa diferencias entre si, dado que únicamente les separa su mejor o peor conservación, mayor o menor grado de desarrollo y presencia o ausencia de relieves o cerros sobre el nivel de la llanura (Pedraza, 1987).

Se las podría clasificar como superficies mixtas entre llanuras erosivas y tectónicas, aunque la forma de actuación de estos procesos y la edad en que se produjeron, varía según autores, (Pedraza, 1978; Garzón, 1980; Centeno, 1987, Fdez. García, 1988).

En este trabajo se han diferenciado en la cartografía tres tipos de superficies coincidentes con las descritas por Pedraza (1978). Des estas superficies es importante considerar el grado de alteración y lavado, la profusión de relieves propios o sobreimpuestos, y la formación de material suelto tipo alterita o regolito. Según estas características junto con su posición topográfica, es

posible definir estos tres conjuntos o unidades morfológicas, a pesar de que este mismo esquema no es siempre propio y exclusivo de un sólo tipo de unidad:

- Superficie de arrasamiento s.s.: corresponde al pedimento superior de Pedraza (1978), o M_2 de Schwezner (1936). Se describe como restos originales de una superficie inicial alterada y lavada (pediment de alteración y lavado, Mackin, 1971) en el que se ha perdido parte del manto de alteración. Donde la alteración fue mayor que la erosión se conserva la superficie M_2 que en general tiene mayor espesor de alteritas que la M_1 , aunque esto no es generalizable en todas las zonas.
- Superficie de degradación: corresponde también al pedimento superior de Pedraza (op. cit.) o M_1 (op.cit). En ella, la planicie original ha quedado modificada por nuevos procesos sobreimpuestos (ITGE,1990) de alteración y lavado, acercándose así a la morfología del pedimento s.s. o M_2 . En estas superficies son abundantes los relieves grabados, parcialmente expuestos y relieves residuales tipo monadnock o inselberg, y berrocales. Estos relieves residuales están presentes en numerosas superficies del tipo anterior (M_1).
- Pediment inferior (Pedraza op. cit) o M_1 . En nuestra zona sólo está representada una unidad de este tipo, que corresponde a un fondo de depresión hundido con respecto a las demás superficies, y caracterizada por la presencia de escasos relieves residuales y gran potencia de material de alteración compuesto por arenas, gravas y limos en lechos actuales del río y terrazas bajas. En general son depósitos desprovistos de fracción arcillosa, pero no faltan niveles lenticulares de materiales finos y ricos en materia orgánica.

Valles fluviales: los dos ríos principales que atraviesan la zona estudiada dejan, a su paso por las superficies de erosión, terrazas y materiales aluviales que se encuentran en la actualidad muy degradados. Sólo en los tramos más meridionales de la zona, los valles aluviales tienen mejor representación.

Asociados a estos valles aparecen formas de incisión lineal a favor de fracturas donde los ríos y arroyos se han encajado y circulan por valles estrechos y profundos en gargantas y vertientes de encajamiento fluvial.

Coluviones: suelen encontrarse en la zona de transición entre las laderas y los piedemonte, y dan canchales o pedrizas. Presenta escasa matriz y escasa potencia (3-4 m). Pueden estar asociados a otros materiales coluvionales con matriz arcillosa. Son originarios de la alteración del macizo cristalino o de los materiales no consolidados depositados en las depresiones inferiores (ITGE,1990). Se incluyen aquí los conos y abanicos entre los que destacan el de Manzanares el Real, Becerril de la Sierra, San Lorenzo del Escorial, etc.

Vertientes glacis en arcosas: se trata de una antigua superficie encajada en la cuenca remodelada por la red fluvial actual en un relieve ondulado constituido por glacis de erosión y cobertera (Pedraza, 1978). En la zona piloto de la sierra está escasamente representada pero hay unidades equivalentes en la zona piloto de la cuenca.

Restos de superficie: se trata de una superficie erosiva que corta a los depósitos arcósicos y que ha sido descrita como "superficie de campiña" por Pedraza (op.cit.). Enrasaría con el nivel M₁ del macizo, (ITGE, 1990) .

5.7. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

El proceso consiste en evaluar cada aspecto del medio físico (aguas y paisaje) a través de las porciones de U.GMF de dos zonas piloto de la provincia de Madrid.

En principio, las porciones de U.GMF permanecen indivisibles puesto que se pretende extraer conclusiones sobre el carácter predictivo de su comportamiento en la ubicación de V.R.S.U. Pero, sin embargo, algunos parámetros considerados por el método requieren la subdivisión de las porciones para poder ser evaluadas con precisión. Este es el caso de parámetros que utilizan distancias o que dependen totalmente de la litología y que precisan una diferenciación para obtener resultados fiables. Estas circunstancias serán comentadas en cada caso.

El método se ha aplicado a cada una de las porciones de unidades geomorfológicas. De esta aplicación se ha obtenido una cartografía a escala 1:100.000, de vulnerabilidad para cada uno de los aspectos evaluados. También se han recogido los resultados de cada U.GMF mediante tablas de diagnóstico que contribuirán a reflexionar sobre la capacidad predictiva de la U.GMF frente a temas ambientales como el que nos ocupa (ejem. Tabla 5.26.).

5.8. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL PAISAJE A LAS U.GMF

5.8.1. Toma de datos

- La información para caracterizar el territorio por sus "USOS DEL SUELO" se ha obtenido a partir de cartografía existente para la Comunidad de Madrid:

- * Mapa de Cultivos y aprovechamientos de la provincia de Madrid (de León, 1989)
- * Mapa de de las formaciones vegetales y usos actuales del suelo de Madrid (CAM, 1984)

- Los mapas topográficos a escala 1/50.000 y 1/100.000 publicados por distintos organismos ha servido para identificar la presencia de ríos, arroyos o cualquier presencia de "MASA DE AGUA" en las porciones consideradas:

- * Mapa topográfico E. 1:100.000 (I.G.N., 1992)
- * Mapa Provincial de Madrid E. 1:200.000 (I.G.N., 1982)
- * Mapas topográficos E. 1:50.000 (Servicio Cartográfico del Ejército; varios años)

- Para definir el "RELIEVE" de las distintas porciones de unidad han sido necesarios los trabajos de campo para verificar la forma del relieve de cada porción

- Igualmente la determinación de la "VISIBILIDAD" interior y exterior de las unidades ha requerido estudios de campo. Conocidas las zonas objeto de estudio y las características del relieve que determina la geomorfología de las distintas U.GMF se puede establecer una aproximación de las características generales de relieve y visibilidad de los distintos tipos de U.GMF. Estos datos son susceptibles de modificaciones según las porciones que se estén evaluando:

<u>U.GMF</u>	<u>RELIEVE</u>	<u>VISIBILIDAD</u>	Ext	Int	Ptos
VERTIENTES GLACIS	Ondulado	intermedia	B	M	2
ESCARPES	Abrupto	alta	A	A	5
RELIEVES TABULARES	Plano-abrupto	alta	A	A	5
VALLES EN QUÍMICAS	Plano-ondulado	baja	B	B	1
VERTIENTES GLACIS	Plano-abrupto	alta	A	M	4
GLACIS ACUMULACIÓN	Plano-ondulado	intermedia	A	M	4
VALLES DETRÍTICOS	Plano-ondulado	baja	B	B	1
COLUVIONES SOBREIM.	Plano-ondulado	intermedia	M	A	4
S. PÁRAMO	Plano	alta	B	A	3
S.S.P.	Plano-ondulado	intermedia	M	M	3
LL. INUNDACIÓN	Plano	alta	A	A	5
TERRAZAS	Plano-ondulado	intermedia	M	M	3
COLUVIONES	Plano-ondulado	intermedia	M	A	4
CUMBRES	Plano-ondulado	baja	B	A	3
LADERAS	Montañoso	alta	A	M	4
S. ARRASAMIENTO	Plano-ondulado	alta	A	M	4
S. DEGRADADA	Ondul-abrupto	intermedia	M	B	2
VALLES ALUVIALES	Plano	alta	M	A	4
VALLES Y VERTIEN	Plano-ondulado	alta	A	M	4

5.8.2. Aplicación del método de vulnerabilidad del paisaje a las porciones de U.GMF

Una vez seleccionada la información cartográfica que se va a utilizar para caracterizar el paisaje del territorio a evaluar, se define cada porción en función a los cuatro parámetros empleados en la evaluación (recuérdese que cada parámetro quedaba dividido en clases con diferente puntuación en función a su repercusión en el medio frente a la ubicación de un V.R.S.U. (Fig. 5.1.). Los valores de cada porción se anotan en tablas de las que se irá obteniendo la puntuación de vulnerabilidad para las 126 porciones del ámbito de la cuenca de Madrid y 47 para la sierra.

Ejemplo: Vulnerabilidad del Paisaje para la U.GMF de tipo “escarpes estructurales” que consta de cuatro porciones

PORCI ESCARPE	USO DEL SUELO	V*P	MASAS DE AGUA	V*P	RELIEVE	V*P	VISI INT.	VISI EXT	V*P	VULN. TOTAL
1	Matorral gypsícola	2x 4	Sin agua	1x2	Abrupto	1x1	A	A	5x5	36 (Amar)
2	Matorral gypsícola	2x4	Sin agua	1x2	Abrupto	1x1	A	A	5x5	36
3	Cultivos de secano	2x4	Sin agua	1x2	Abrupto	1x1	A	A	5x5	36
4	Matorral, coscojo y secanos	2,6x4 (*)	Sin agua	1x2	Abrupto	1x1	A	A	5x5	38,4 (Amari)

* 2 de Matorral + 4 de Coscojo + 2 de secano /3 = 2,6 V=valor de clase P= peso del parámetro

5.8.3. Síntesis de los resultados por parámetros en las distintas U.GMF

A) Usos del suelo

En la siguiente tabla (tabla 5.26.) se muestran las principales generalidades respecto a los usos de cada tipo de unidad en los territorios seleccionados en la cuenca y sierra de Madrid:

USO DEL SUELO

CUENCA			
FACIES	UNIDAD GMF	USO DEL SUELO	OBSERV
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	Matorral y repoblación	
	<i>Escarpes</i>	Matorral halófito: espartal	
	<i>Fondos valle</i>	Variable	*1
	<i>Vert.glacis</i>	Mosaicos	*2
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	Secanos con olivos.Matorral	*3
	<i>Glacis acum.</i>	Secanos	
	<i>Fondos valle</i>	Variable	*1
	<i>Coluviones</i>	Secanos	
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	Mosaicos	*4
	<i>Sp</i>	Mosaicos	*4
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	Huertas, sotos y riberas	
	<i>Terrazas</i>	Secanos, regadíos,población	*5
	<i>Coluviones</i>	Variable	*6
SIERRA			
ELEVACION	<i>Cumbres</i>	Matorral de altura	*7
	<i>Laderas</i>	Repoblac. pino albar y negral	*8
SUP. ARRASAMIEN.	<i>Sup. Arrasa.</i>	Pastizales adehesados	*9
	<i>Sup Degrada.</i>	Frondosas	*10
VALLES	<i>Fondos valle</i>	Dehesas y repoblaciones	*11
	<i>Coluviones</i>	Pastos con frondosas	*12
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	Matorral	*13
	<i>Divisorias</i>	matorral	*14

Tabla 5.26. Resumen de los "usos del suelo" principales de las U.GMF. Tipo

*1) En las vaguadas de algunos fondos de valle se encuentran olivares y viñedos, junto con matorral y en ocasiones, asentamiento de población. Nunca se encuentran regadíos.

*2) En los glacis predominan los espacios con matorral bajo o sin vegetación, aunque es muy frecuente encontrar secanos alternantes con el matorral. En ocasiones se encuentran mosaicos de olivos o encinas.

*3) En los glacis de facies detríticas aparece matorral, secanos y en ocasiones, repoblación de coníferas.

- *4) La vegetación de la superficie de sustitución y del Páramo está compuesta de mosaicos de viñedos, olivos, almendros con matorral, entre otros.
- *5) En las terrazas predominan los cultivos de regadío y a veces, secanos o matorral. También acompañan a las *vegas bajas con sotos y riberas muchas veces modificadas por choperas, y tarayes en escarpes de terrazas conectadas (bajas-medias)*. En ocasiones las terrazas son ocupadas por población, sobre todo las más altas.
- *6) Semejante a las terrazas a las que acompañan.
- *7) Las superficies de cumbres son el lugar de los ~~matorrales de altura~~ compuestos de enebros, piornos y sabinas de bajo porte. Debido a la existencia de parameras de menor cota en nuestra zona de estudio, es posible encontrar repoblaciones de pino negral, frondosas, e incluso urbanizaciones dispersas.
- *8) En las laderas son posibles varias subdivisiones atendiendo a la localización de las mismas, y a su altitud: las laderas altas (al oeste de la zona) están cubiertas de matorral de altura xerófilo y bosques densos de coníferas. A alturas medias, las repoblaciones maduras de pinos son la característica general de las laderas. En la zona este, las laderas son de menor altitud, y predominan las frondosas tipo encina y rebollo. En ocasiones, algunas laderas se encuentran urbanizadas.
- *9) En las superficies de arrasamiento son frecuentes las dehesas de fresnos y de encina, con urbanizaciones dispersas y núcleos rurales de alta densidad. Las fresnedas son más frecuentes en el oeste de la zona.
- *10) En las superficies degradadas son frecuentes las ~~frondosas de hoja perenne tipo encina~~, aunque es más correcto subdividir estas unidades en tres áreas: al oeste las frondosas son de fresnos y están adehesadas; al este predominan los claros de pastos y matorral con algunas encinas dispersas y, en el sur (sierra de Hoyo), las encinas se desarroyan con alta compacidad.
- *11) En los valles predominan las dehesas con matorrales y son muy frecuentes los núcleos de población.
- *12) Los colluviones adquieren casi siempre el uso del suelo de sus unidades vecinas (pastos con frondosas y poblaciones dispersas).
- *13) Alternan los matorrales con encinas en los glacis arcósicos, y en ocasiones presentan zonas de pastos.
- *14) En las divisorias de materiales arcósicos abundan las encinas dispersas con matorral de bajo porte.

B) Presencia de agua

En la zona de estudio el reparto de agua más característico por unidades puede verse en la tabla 5.27.

AGUA

CUENCA			
FACIES	UNIDAD GMF	PRESENCIA DE MASAS DE AGUA	OBSER
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	Sin agua	*1
	<i>Escarpes</i>	Próximas a ríos principales	
	<i>Fondos valle</i>	Arroyos esporádicos	*2
	<i>Vert.glacis</i>	Sin agua	
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	Sin agua	*2
	<i>Glacis acum.</i>	Sin agua	
	<i>Fondos valle</i>	Arroyos esporádicos	
	<i>Coluviones</i>	Sin agua	
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	Sin agua	*3
	<i>Sp</i>	Sin agua	*3
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	Ríos permanentes	*4
	<i>Terrazas</i>	Próxima a ríos principales	
	<i>Coluviones</i>	Próxima a ríos principales	
SIERRAS			
ELEVACIÓN	<i>Cumbres</i>	Acumulaciones de nieve	*5
	<i>Laderas</i>	nieve. Arroyos esporádicos	*6
SUP. ARRASAM.	<i>Sup. Arrasa.</i>	Sin agua. Encharcam. esporádicos	*7
	<i>Sup Degrada.</i>	Sin agua. Encharcam. esporádicos	*8
VALLES	<i>Fondos valle</i>	Ríos intermi. , permanen, embalses	*9
	<i>Coluviones</i>	Sin agua	
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	Sin agua	
	<i>Divisorias</i>	Sin agua	

Tabla 5.27. Resumen de las condiciones generales de "presencia de agua" en las U.GMF Tipo.

*1) Escarpes: aunque son unidades sin agua en ocasiones evacuan el agua de arroyada en cauces incipientes. También son unidades próximas a los principales ríos.

*2) Las vertientes glacis no suelen encauzar el agua debido a la permeabilidad del terreno y a su morfología ondulada en la que predominan planicies donde el agua se infiltra. Sin embargo suelen ser frecuentes, cuando la precipitación lo permite, los encharcamientos esporádicos en las vaguadas.

*3) Tanto el páramo como los relieves inmediatos a él, no transportan el agua de arroyada mediante cauces, ya que ésta tiende a infiltrarse.

- *4) Es frecuente encontrar en terrazas y coluviones, canales o acequias del río principal.
- *5) Las cumbres son unidades sin agua aunque potencialmente son generadoras de este recurso al acumular nieve ocasional y al dispersar el agua de precipitación a través de las superficies cumbre y laderas.
- *6) En las laderas altas es donde se localizan las cabeceras de torrentes que frecuentemente recogen aguas de precipitación
- *7) En ocasiones, la proximidad del sustrato poco permeable en las superficies de arrasamiento, hace que el nivel freático se encuentre a poca profundidad y que en condiciones de alta pluviometría ocasione encharcamientos por sobresaturación.
- *8) En las superficies degradadas el efecto es el mismo que en la superficie de arrasamiento y pedimento.
- *9) En los fondos de valle es donde se localizan los principales embalses de la zona, interrumpiendo el curso de los ríos Manzanares, Guadarrama y Aulencia.

C) Relieve

En la siguiente tabla (tabla 5.28.) se expone el relieve característico de cada unidad tipo.

RELIEVE			
CUENCA			
FACIES	UNIDAD GMF	RELIEVE	OBSER
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	Abrupto	*1
	<i>Escarpes</i>	Abrupto	*2
	<i>Fondos valle</i>	Plano y Plano-ondulado	*3
	<i>Vert. glacis</i>	Ondulado ó Abrupto	*4
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	Ondulado o Ondulado-Abrupto	*4
	<i>Glacis acum.</i>	Ondulado y Plano-abrupto	
	<i>Fondos valle</i>	Plano-ondulado y Plano	
	<i>Coluviones</i>	Plano-ondulado	*5
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	Plano u ondulado	*6
	<i>Sp</i>	Plano u ondulado	*6
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	Plano	
	<i>Terrazas</i>	Plano y ondulado	*7
	<i>Coluviones</i>	Plano u ondulado	*5
SIERRAS			
ELEVACION	<i>Cumbres</i>	Abrupto - montañoso	
	<i>Laderas</i>	Montañoso	*8
SUP. ARRASAM.	<i>Sup. Arrasa.</i>	Plano-ondulado Montañoso	*9
	<i>Sup Degrada.</i>	Ondulado Ondulado-abrupto	*10
VALLES	<i>Fondos valle</i>	Plano	*11
	<i>Coluviones</i>	Plano-ondulado	
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	Plano Plano-ondulado	
	<i>Divisorias</i>	Plano	

Tabla 5.28. Resumen del tipo de relieve más frecuente en cada U.GMF Tipo

*1) Aunque por definición el relieve de los cerros es de fuertes pendientes, también constan de superficies planas que culminan el cerro. Su perfil topográfico ha sido considerado abrupto.

*2) Igualmente en los escarpes puede encontrarse ocasionalmente superficies planas intermedias.

- *3) A pesar de que los valles deberían ser de fondo plano, encontramos que la mayoría presentan relieves suavemente ondulados e inclinados por encontrarse ligeramente abarrancados.
- *4) Difiere de unas zonas a otras. Lo que suelen ser suaves relieves alomados o colinados, se transforman en pendientes más fuertes y topografías más elevadas.
- *5) Adquieren el relieve de las terrazas altas sobre los que se apoyan, aunque suelen ser un poco más onduladas.
- *6) Tanto una como otra unidad depende del grado de conservación de la superficie. En unos casos es un relieve perfectamente tabular, y en otros aparece disectado originando relieves ondulados.
- *7) Varía si se trata de terrazas bajas que igualan prácticamente su topografía a la de la llanura de inundación, o si son terrazas altas y/o colgadas, que pueden tener un cierto relieve ondulado.
- *8) El carácter general de las laderas es que sean de topografía montañosa, pero sin embargo hay que distinguir dos tipos principales de laderas: unas de aspecto liso con poca rugosidad que verdaderamente tienen un aspecto de ladera montañosa, y otras que presentan un berrocal que las hace extremadamente abruptas.
- *9) También en estas unidades hay que distinguir dos estilos de superficie de arrasamiento según zonas: las del Este, más montañas, y las del Oeste adquieren un relieve externo plano-ondulado, aunque una vez dentro de ellas sólo apreciemos su topografía plana. Esto es debido a las dimensiones de las unidades estudiadas.
- *10) El carácter general de las superficies degradadas es de topografía ondulada de forma externa, pero debido a la frecuencia de relieves residuales y berrocales aislados, hace que el relieve se modifique a abrupto.
- *11) En ocasiones, el encajamiento de la red fluvial hace que se encuentren espacios de relieve abrupto.

D) Visibilidad

La valoración realizada ha sido la siguiente (tabla 5.29.):

VISIBILIDAD			
CUENCA			
FACIES	UNIDAD GMF	VISIBILIDAD TOTAL	OBSER
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	Muy alta	*1
	<i>Escarpes</i>	Alta	
	<i>Fondos valle</i>	Muy alta en el interior pero baja en el exterior	
	<i>Vert. glacis</i>	Interior:media, ext.:baja	*2
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	Igual	*2
	<i>Glacis acum.</i>	Media-alta	*3
	<i>Fondos valle</i>	Igual que en Q y T	
	<i>Coluviones</i>	Adquieren la visibilidad de la unidad a la que acompañan	
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	variable	*4
	<i>Sp</i>	variable	*5
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	Muy alta	
	<i>Terrazas</i>	Alta	*6
	<i>Coluviones</i>	Igual que la unidad origen	
SIERRAS			
ELEVACION	<i>Cumbres</i>	visibilidad baja	*7
	<i>Laderas</i>	alta	*8
SUP. ARRASAM.	<i>Sup. Arrasa.</i>	interior-intermedia exterior-alta	*9
	<i>Sup Degrada.</i>	interior baja exterior- intermedia	*10
VALLES	<i>Fondos valle</i>	interior-alta exterior-intermedia	*11
	<i>Coluviones</i>	alta	
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	alta	
	<i>Divisorias</i>	alta	

Tabla 5.29. Resumen de las condiciones generales de visibilidad de las U.GMF Tipo.

*1) En los cerros la visibilidad es muy alta, aunque cabe decir que algunos cerros de cumbre plana de gran superficie pueden "camuflar" notablemente su visibilidad.

*2) La visibilidad de las vertientes glacis en el interior es media y en el exterior es baja. Son lugares en los que casi siempre la visibilidad interior es parcial.

*3) La visibilidad de los glacis de acumulación depende de donde se encuentren.

*4) Las verdaderas superficies de sustitución del páramo son relieves planos que tienen una visibilidad alta en cumbre, pero intermedia en los escarpes y base. En el resto de los relieves que constituyen la unidad de ssp la visibilidad es baja, ya que la topografía es alomada y suele estar poco ocupada por vías de transporte y por núcleos de población.

*5) La superficie del Páramo cuando el relieve plano se encuentra bien conservado la visibilidad es alta internamente pero baja externamente. Al encontrarse poco disectada por carreteras, la visibilidad potencial disminuye. Cuando el estado de conservación es bajo, nos encontramos en el caso de la ssp de muy baja visibilidad.

Al tratarse de una superficie de gran extensión el impacto visual es muy alto dentro de ella. Sin embargo el impacto fuera de la unidad es muy bajo por que no hay otras unidades por encima de la cota del páramo. Por ello la visibilidad exterior no debe considerarse si tratamos con porciones de enormes extensiones.

*6) En general, en las terrazas la visibilidad es alta. Algunas terrazas colgadas reducen su visibilidad.

*7) La visibilidad en cumbres es baja en general pero alta en las cumbres de baja cota.

*8) Las laderas con berrocal presentan una visibilidad baja. Suelen tener visibilidad alta, aunque dependiendo de la forma de la ladera (cóncava o convexa, o con berrocal asociado o no) presenta una visibilidad interior alta o baja.

*9) La visibilidad en el interior de las superficies de arrasamiento suele ser intermedia debido a la vegetación y a la presencia de algunos relieves dispersos. La exterior es alta por su posición elevada respecto a otras unidades.

*10) La visibilidad en las sup. de degradación es baja en el interior e intermedia en el exterior. Pueden generalizarse como zonas de baja visibilidad, ya que los relieves residuales ocultan mucho territorio. Al estar compuesto de topografías planas y abruptas, en los terrenos planos la visibilidad interior es alta, pero la exterior sigue siendo baja.

*11) En llanuras la visibilidad interior es alta y la exterior intermedia, dependiendo del tamaño de la unidad y de la presencia o no de gargantas fluviales.

5.8.4. Vulnerabilidad del paisaje para la ubicación de V.R.S.U. Conclusión

A continuación se expone la tabla de conclusión (tabla.5.30.) en la que figura el intervalo de puntuación de vulnerabilidad conseguido para cada tipo de unidad geomorfológica según la tabla 5.2. En otra columna aparece la categoría de vulnerabilidad que adquiere el intervalo de impacto para cada unidad geomorfológica. Posteriormente se comentan los resultados.

CUENCA				
FACIES	UNIDAD GMF	INTERV. DE VULNERABILIDAD	CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	26-42	3-4	media-alta
	<i>Escarpes</i>	Intermedio	3	media
	<i>Fondos valle</i>	21-44	2-4	baja-alta
	<i>Vert.glacis</i>	16-36	1-3	muy baja-M
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	27-40	2-3	baja-media
	<i>Glacis acum.</i>	Intermedio	3	media
	<i>Fondos valle</i>	Intermedio	3	media
	<i>Coluviones</i>	21-44	2-4	baja-alta
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	17-36	1-3	muy baja-media
	<i>Sp</i>	17-50	1-4	muy baja-M
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	45-52	4-5	alta-muy A
	<i>Terrazas</i>	22-45	3-4	media-alta
	<i>Coluviones</i>	22-34	2-3	baja-media
SIERRAS				
ELEVACION	<i>Cumbres</i>	18-40	1-3	muy baja-M
	<i>Laderas</i>	27-52	2-5	baja-muy A
SUP. ARRASAM.	<i>Sup. Arrasa.</i>	31-52	3-5	media-muy A
	<i>Sup Degrada.</i>	29-42	2-4	baja-alta
VALLES	<i>Fondos valle</i>	17-45	2-4	baja-alta
	<i>Coluviones</i>	40-43	4	alta
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	35-44	3-4	media-alta
	<i>Divisorias</i>	42-44	4	alta

Tabla 5.30. Intervalos de puntuación de la vulnerabilidad del paisaje por U.GMF.

CUENCA

Cerros

La vegetación suele ser de matorral o en algún caso repoblación de pino carrasco. La visibilidad es muy alta y los relieves son abruptos. Sin agua

Puntuación 26 (2) - 42 (4) (la puntuación de 26 se alcanza cuando la visibilidad es intermedia y la de 42 cuando hay coníferas)

Escarpes

Matorral halófito (espartales). La visibilidad es alta y el relieve es abrupto. Son unidades sin agua aunque facilita su drenaje y se encuentran próximos a ríos principales.

Puntuación Intermedia (3)

Fondos de valle

La visibilidad interior es alta y la exterior adquiere la del resto de la unidad donde se encuentre (glacis, generalmente). El relieve es plano o plano-ondulado, y con arroyos esporádicos. La vegetación varía pero nunca aparecen regadíos.

Puntuación: 21 (2) - 44 (4) (la puntuación baja se debe a la visibilidad baja, y la alta a la presencia de arroyos permanentes)

Vertientes glacis

Conviene hacer varias distinciones en esta unidad:

Porción de glacis de puntuación baja (1): presentan relieves alomados en el interior y abrupto en los bordes que adquiere una puntuación mayor (3). La visibilidad es muy reducida. La vegetación se compone de mosaicos de secanos en alternancia con matorral. Son unidades sin agua.

Porción con puntuación baja-media (2): se produce cuando se mejora en algo la vegetación o el relieve pasa a ondulado-abrupto.

Porción con puntuación intermedia (3): matorral o mosaicos de olivos y vides con secanos. Los relieves son ondulados suaves y alternan con relieves plano-ondulados, lo que hace que aumente la visibilidad.

Vertientes glacis en detríticos

Se consideran dos tipos principales:

Puntuación intermedia (3): la mayoría suelen ser secanos alternantes con olivos y entorno al cerro del Viso hay repoblaciones maduras de pinos; la visibilidad es alta y el relieve alomado y plano-ondulado. Son unidades sin agua.

Puntuación media-baja (2): matorral y seco con visibilidad intermedia al ser el relieve más ondulado.

Glacis de acumulación

Se caracterizan por ser unidades con visibilidad alta, aunque esto varía según su posición, presentan relieve ondulado y plano-abrupto, y sin agua.

Puntuación intermedia (3)

Fondos de valle y coluviones

Igual que en facies de transición (pag. 54.).

Superficie de sustitución

La vegetación de estas unidades consta de mosaicos de viñedos, olivos, almendros con matorral, tanto aquí como en el páramo. Lo que varía en ambas unidades es el relieve, que puede ser plano o ondulado y, por tanto, la visibilidad también varía de alta a baja. Los relieves tabulares que sustituyen al páramo adquieren la misma configuración que éste.

Puntuación : 17 (1) - 36 (3) (17 puntos cuando aparece matorral, la visibilidad es baja y el relieve alomado; 36 puntos cuando el impacto por visibilidad aumenta, y el relieve se hace ondulado).

Páramo

Relieve plano en general, con secanos y visibilidad alta

Puntuación alta (4)

Relieves ondulados de visibilidad muy baja y con secanos.

Puntuación muy baja (1)

Llanura de inundación

Vegetación hortícola de regadío, sotos y riveras en ocasiones. Esporádicamente secanos. La visibilidad es muy alta y el relieve plano. Son unidades con ríos permanentes.

Puntuación muy alta (5)

Terrazas

Adquieren puntuaciones altas, tanto por visibilidad como por relieve (plano). Las variaciones se producen según la vegetación y es lo que hace variar también la puntuación.

Puntuación: 22 (2) - 45 (4) (baja cuando aparecen secanos y el relieve es ondulado, y alta cuando la vegetación es de sotos y huertas.)

Coluviones

Semejantes a las terrazas que acompañan.

SIERRAS

Superficie de cumbres

La vegetación característica está compuesta por matorral de altura de tipo enebro y sabina. En ocasiones hay roquedos sin vegetación, frecuentemente en la sierra madrileña, son las repoblaciones de pino negral las que ocupan estos espacios. Algunas superficies de cotas muy reducidas están urbanizadas. Son extensiones sin agua, pero con acumulación de nieve esporádica. Los relieves son abruptos y montañosos. La visibilidad es reducida debido a la altura.

Puntuación: 18 (1) - 40 (3) (18 puntos cuando la unidad no presenta vegetación y 40 puntos cuando el espacio es ocupado por coníferas)

Laderas

Hay que diferenciar laderas altas y bajas. Las altas tienen matorral de altura y repoblaciones. En las bajas predominan las encinas con pastizal y arbustos. El bosque solo aparece en las laderas situadas al oeste de la zona (Abantos). Las altas tienen nieves frecuentes y son cabeceras de torrentes y arroyos. También predominan sin agua. Las laderas bajas, presentan arroyos esporádicos. El relieve es montañoso y abrupto en la mayoría de las ocasiones. Visibilidad alta en las laderas bajas, y baja en las laderas altas del NO. La visibilidad interior suele ser baja y la exterior media o alta, dependiendo de si son laderas asociadas a berrocal o no.

Puntuación: 27 (2) - 52 (5) (27 puntos cuando la unidad presenta pastizal con frondosas, visibilidad baja, relieve abrupto y sin agua; los 52 puntos son en unidades con bosque denso, arroyos esporádicos y relieve montañoso. La visibilidad es alta).

Superficie de arrasamiento

Predominan los pastos adhesionados de frondosas (encinas y fresnedas). Son lugares de asentamientos de población, sin agua, tan sólo algunos encharcamientos y arroyos esporádicos.

Relieve predominantemente montañoso y en ocasiones plano-ondulado. Visibilidad variable de alta a baja, dependiendo de la posición respecto de poblaciones o carreteras, y de las características del relieve.

Puntuación: 31 (3) - 52 (5) (31 puntos en urbanizaciones dispersas, sin agua, con relieve montañoso-ondulado, y visibilidad alta externamente y baja en el interior. Los 52 puntos corresponden a relieves planos, sin agua y visibilidad alta).

Superficies degradadas-berrocales

Hay tres tipos respecto a la vegetación:

- * zona Oeste: dehesas de fresnos
- * zona sur centro y Este: encinares
- * zona Este: matorral con alguna encina. Pastos.

Son zonas sin agua pero a veces albergan arroyos y encharcamientos esporádicos. El relieve es ondulado a gran escala pero formado por relieves planos parciales. Visibilidad general intermedia.

Puntuación: 29 (2) - 48 (4) (29 puntos en unidades con encinas, sin agua, relieve ondulado-montañoso y visibilidad media)

Valles

Predominan los pastos adehesados y son muy frecuentes las urbanizaciones. Son unidades sin agua excepto donde está el río. Relieves planos y zonas abarrancadas en los cauces. Visibilidad interior alta y exterior baja o media.

Puntuación: 17 (2) - 45 (4) (Impacto 4 cuando el relieve es plano con matorral y arroyos o encharcamientos esporádicos. La visibilidad interior es alta y la exterior es media)

Coluviones

Son zonas sin agua, de relieve plano, suavemente inclinado y con vegetación de pastos y frondosas cuando no están urbanizados

Puntuación: 40 (4) - 43 (4) (43 puntos cuando aparecen pastos y 40 cuando la unidad está urbanizada.)

Glacis

Con variedad de vegetación y presencia ocasional de río o embalse. Relieve plano u ondulado, y visibilidad en general, alta.

Puntuación 35 (3) - 44 (4) (35 puntos en ríos o embalses con relieves ondulados y visibilidad media. 44 puntos cuando el relieve es plano y visibilidad alta pero también hay presencia de embalses)

Divisorias

Son zonas de pastos y de matorral de bajo porte, sin agua, de relieve plano y alta visibilidad.

Puntuación 42 (4) - 44 (4) (según vegetación)

Los resultados gráficos del diagnóstico de la vulnerabilidad del paisaje puede verse en los mapas A1 y A2.

Las máximas puntuaciones en el área de la cuenca se localizan en las llanuras de inundación y terrazas donde confluyen las características de mayor impacto paisajístico en los parámetros analizados. Las zonas de menor vulnerabilidad son ocupadas por glacia, aunque todo el territorio presenta una variedad de intervalos de vulnerabilidad. En la sierra predominan las zonas de vulnerabilidad paisajística de categoría intermedia y las de categoría muy alta sólo quedan reflejados en algunos espacios de visibilidad alta.

En el área de cuenca las U.GMF del mismo tipo consiguen puntuaciones diferentes principalmente debido a la litología que hace variar la vegetación, a la diversidad de relieve, que obliga a compartimentarla y al grado de alteración o modificación de las porciones de unidad.

Lo que más hace aumentar la puntuación es la visibilidad y la proximidad a cauces permanentes. Lo que contribuye a reducir notablemente el impacto es la baja visibilidad y la vegetación, al igual que en el área de la sierra, donde la presencia de bosques maduros lo aumenta considerablemente.

5.9. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES A LAS U.GMF

5.9.1. Toma de datos

Para caracterizar la vulnerabilidad del territorio en cuanto a las aguas superficiales es necesario recabar información para obtener la escorrentía superficial, el drenaje a cauces y el uso potencial del agua.

- Para la **ESCORRENTÍA SUPERFICIAL** se ha utilizado información bibliográfica sobre los excedentes(1º) de las cuencas en las que se ubica cada unidad, las permeabilidades del sustrato (2º) y las pendientes de cada una(3º). El procedimiento ha sido el siguiente:

1º.- Obtención de los excedentes pluviométricos

Se han realizado 17 balances hídricos de una serie de estaciones meteorológicas localizadas dentro de las dos zonas consideradas en el estudio. De estas estaciones se han obtenido datos de precipitación y de evapotranspiración potencial de series de años variables (De León., 1989). Las estaciones consideradas son las siguientes (ver fig. 5.10 a y b):

<u>Nombre</u>	<u>Periodo</u> (años)	<u>Altitud</u>
Mejorada del Campo	27 (p)	575 m
Torrejón de Ardoz	35 (t) 33(p)	600 m
Arganda	16 (p y t)	616 m
Orusco	29 (p)	649 m
Alcalá de Henares	32 (p y t)	588 m
Tielmes	31 (p)	592 m
Aranjuez	38 (t) 35 (p)	490 m
Pinto	18 (p)	605 m
Chinchón	20 (p)	753 m
Hoyo de Manzanares	26 (p)	1010 m
Torrelodones	26 (p)	843 m
San Lorenzo Escor.	17 (p)	1.300 m
Colmenar Viejo	14 (t) 31(p)	543 m
San Lorenzo Escor.	28 (p)	1.028 m
Manzanares el Real	37 (p)	1.000 m
Villalba	20 (p)	917 m
Pto. Guadarrama	17 (p)	1.500 m

(p) = precipitación (t) = temperatura

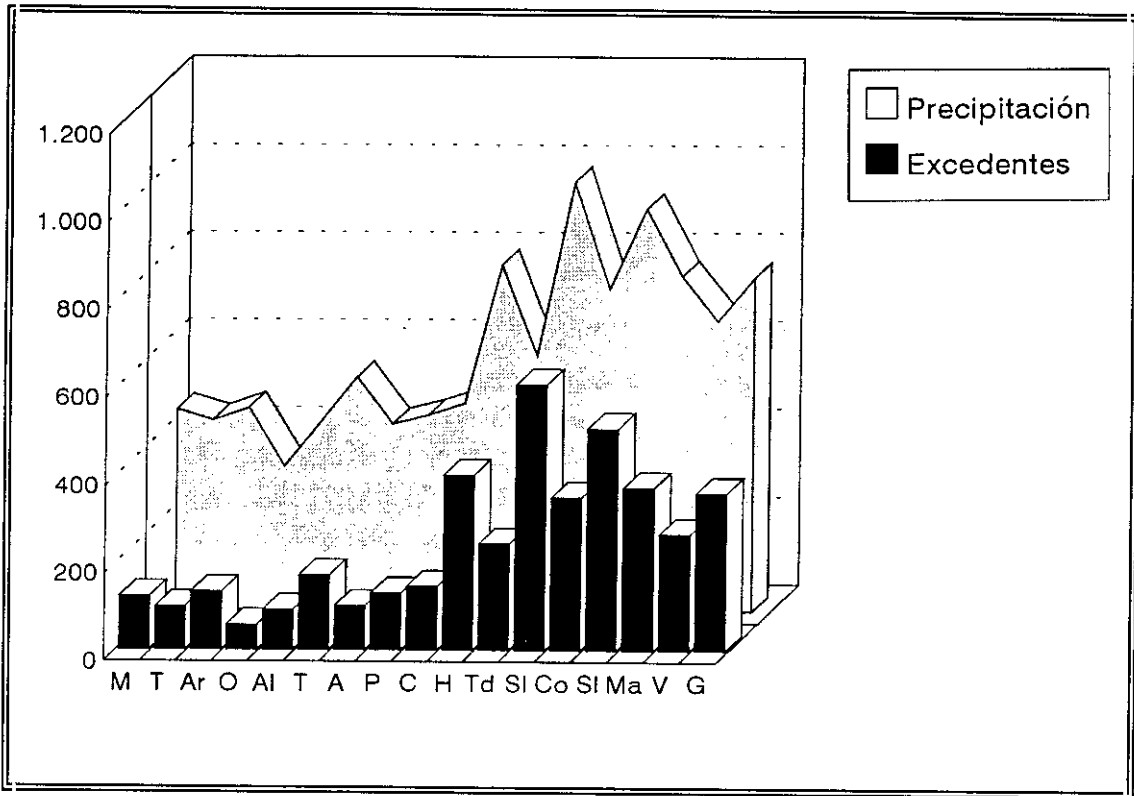


Figura 5.11. Relación entre la precipitación y los excedentes. En el eje de abcisas se representan las estaciones meteorológicas consideradas.

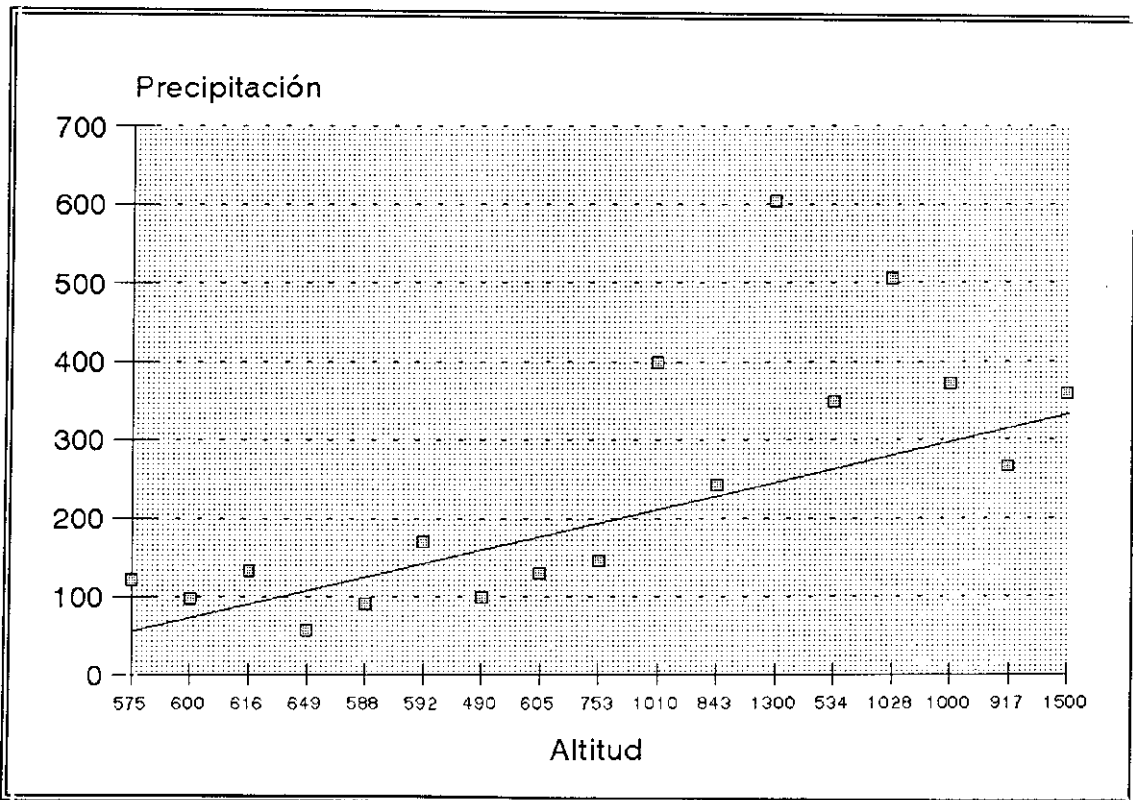


Figura 5.12. Relación entre la precipitación y la altitud

Los balances hídricos se han realizado por el método de Thornthwaite considerando la temperatura y precipitaciones medias mensuales de un periodo variable de años. La capacidad de campo se ha estimado en 25 mm de agua, que es el valor que la E.P.A.(1977), sugiere para las basuras (ver parte I). La ETP tomada de la bibliografía (De León, 1989) ha sido calculada a partir del método de Thornthwaite, basada en la temperatura media mensual y en la latitud del lugar.

Los balances hídricos se muestran en el apartado de Anejos (III), pero una síntesis de los resultados puede verse en la siguiente tabla:

	<u>P media</u> <u>TOTAL</u>	<u>ETP</u> <u>TOTAL</u>	<u>ETR</u> <u>TOTAL</u>	<u>EXCED.</u> <u>TOTAL</u>	<u>DÉFICIT</u> <u>TOTAL</u>
MEJORADA	456,8	784,6	335,4	121,4	443,1
TORREJÓN	432,4	761,9	335	97,4	427
ARGANDA	461,0	741,9	329	132	412,9
ORUSCO	329,1	763,9	272,7	56,4	490,4
ALCALÁ	429,5	748,3	331,3	90,2	409,8
TIELMES	531,4	791,3	361,6	169,8	429,8
ARANJUEZ	424,5	759,2	325,2	99,3	434
PINTO	445,4	777,0	316,3	129,1	460,8
CHINCHÓN	471,9	738,4	326,7	145,2	411,9
HOYO M.	788,1	682,7	388,7	399,4	293,2
TORRELO.	580,4	719,4	338	242,4	381,4
SAN LORENZO	977,8	623,4	373,0	604	250,4
COLMENAR	733,8	720,8	384,5	349,3	336,7
SAN LORENZO	916,7	679,6	411,5	505,2	268,1
MANZANARES	763,9	685,8	392,5	371,4	293,3
VILLALBA	661,5	750,2	390,4	265,7	359,8
GUADARRAMA	760,9	583,0	342,8	359	240,2

Tabla 5.31. Síntesis de los balances hídricos.

El agua excedentaria obtenida para cada una de las estaciones ha servido para adjudicar a cada unidad, un valor de "lluvia útil" según la proximidad a una determinada estación y la altitud. Estos valores servirán para obtener la cantidad de agua que va a infiltrarse o que va a fluir

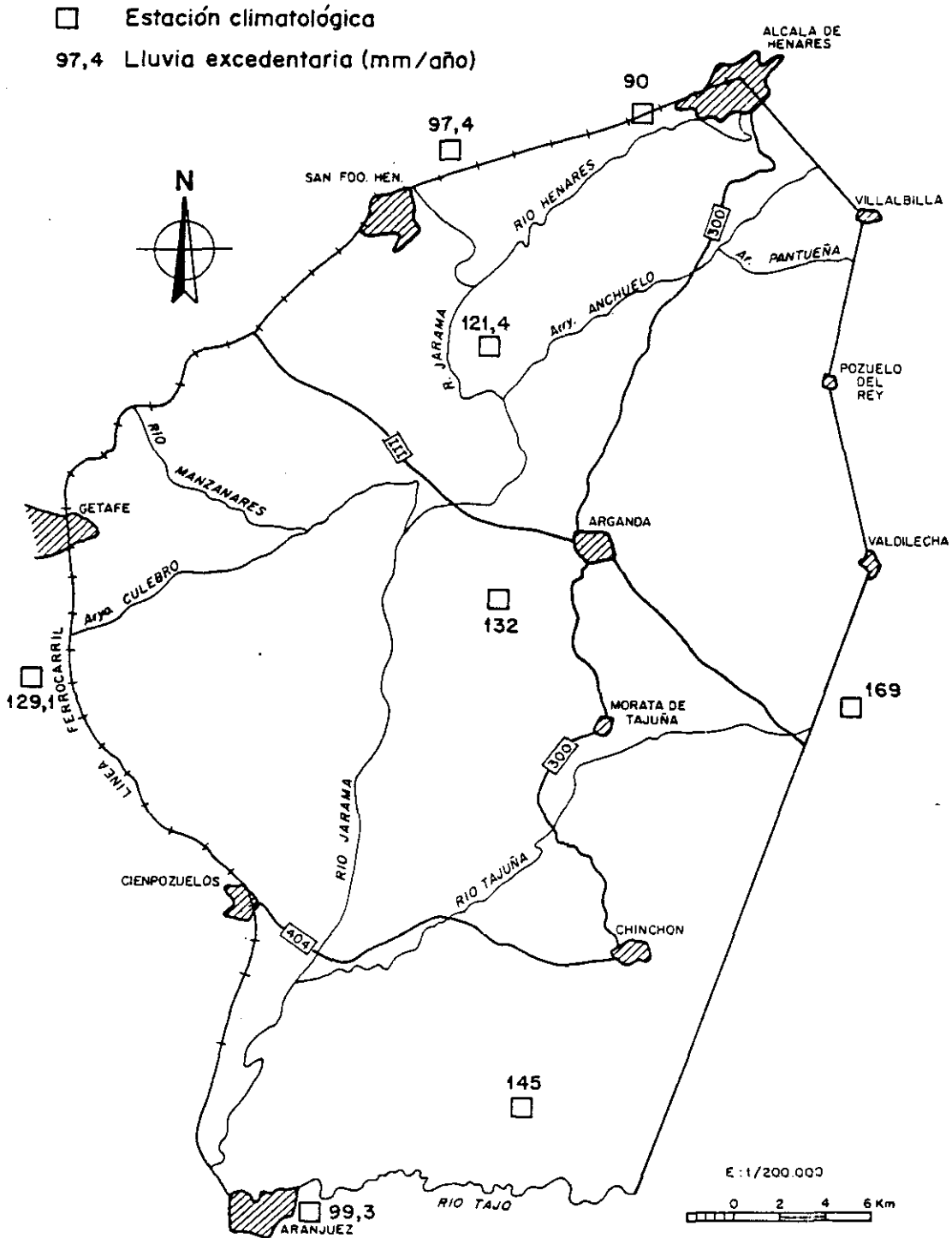


Figura 5.10. a. Estaciones meteorológicas consideradas en el área de la cuenca.

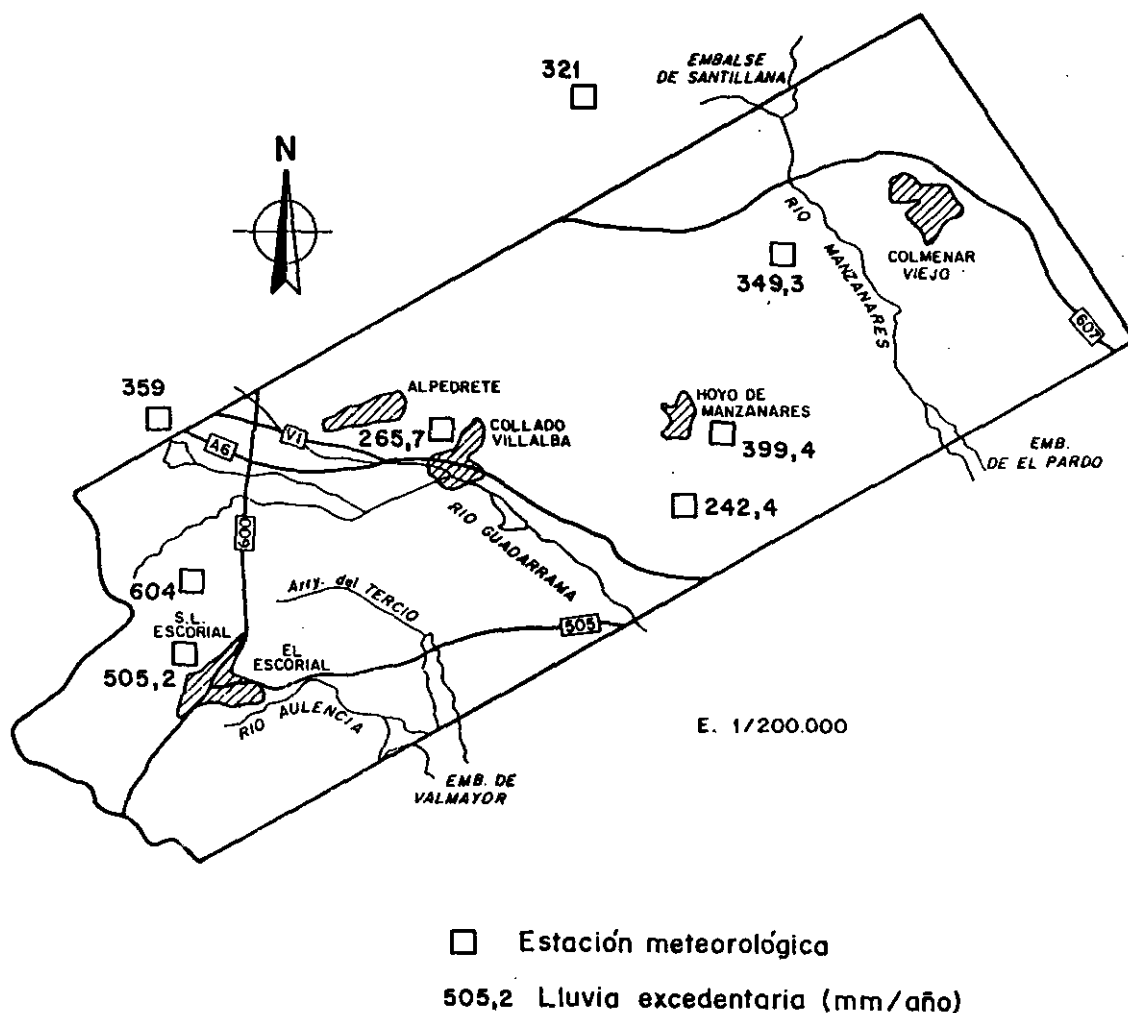


Figura 5.10.b. Estaciones meteorológicas consideradas para el área de la sierra.

superficialmente y éstos, a su vez, indicarán un valor de impacto o afección a las aguas subterráneas o superficiales, respectivamente.

2º. Obtención de las permeabilidades

La asignación de permeabilidades ha sido realizada a partir de información recogida en mapas y en bibliografía. Los mapas consultados han sido el mapa de Capacidad de Uso Agrícola (CSIC-CAM, 1990), y el Mapa de Asociaciones de Suelos (CSIC-CAM, 1990). Otra información complementaria han sido las permeabilidades consideradas por Walsh *et al.* (1981), Custodio

Llamas, Ed.(1983); y Vrba y Zaporozec(1994).

El mapa de Asociación de Suelos presenta de una división del territorio de la Comunidad en porciones caracterizadas por el tipo de suelos más representativos. Estos suelos, además de ser definidos por sus horizontes característicos, recogen información acerca de la litología que lo compone, y las texturas que presenta el horizonte más superficial. A estas texturas se les ha asignado un valor de permeabilidad a partir de los criterios bibliográficos anteriormente citados y son las que han servido para caracterizar las permeabilidades de las distintas U.GMF.

Ahora bien, en ocasiones es bastante frecuente que no existan horizontes de edafización y sólo esté presente un horizonte tipo C ó suelo con unos pocos centímetros de alteración superficial. En este caso no parecía adecuado aceptar el tipo de textura que nos indica el mapa de asociación de suelos, ya que ésta no va a tener más que a unos pocos centímetros y seguramente será removida durante los trabajos de acondicionamiento del vertedero.

El Mapa de Capacidad de Uso Agrícola (CSIC-CAM, 1990), define aquellas unidades que tienen su uso limitado por existir poco espesor de suelo, o porque presentan condiciones acentuadas de erosión o pendiente, condiciones que suelen ir asociadas. A partir de esta información se han considerado aparte, los sectores con características de fuerte erosión y/o poco espesor de suelo, y se les ha asignado un valor de permeabilidad de acuerdo con las características litológicas de la roca madre. Estos valores de permeabilidad son los utilizados para la evaluación de la afección al agua subterránea (Parte I, Apdo. 5.6.2.).

Con estos resultados entramos en el eje de abscisas de la gráfica correspondiente al cálculo de la escorrentía superficial (Fig. 5.2.)

3º. Obtención de las pendientes

Los valores de pendiente han sido obtenidos a partir de la información existente en el mapa de Capacidad de Uso Agrícola de la CAM, (CSIC-CAM, 1990) considerando entre todas las posibles, únicamente las pendientes más características

Con esta información se entra en el eje de ordenadas de la gráfica correspondiente al cálculo de la escorrentía superficial (válida para el cálculo de la infiltración)(Fig. 5.2.)

- Para el **DRENAJE A CAUCES** es necesaria la información referente a la densidad de drenaje (1º) y la distancia a las principales masas de agua (2º).

1º. Densidad de drenaje

La asignación de densidades de drenaje ha sido realizada estimando órdenes de magnitud a partir del conocimiento previo de la zona de campo y el apoyo de mapas topográficos a escala 1:50.000. Por ello se ha preferido considerar un intervalo aproximado (alto, medio, o bajo) que indicar un índice de drenaje concreto.

2º. Distancia a cauces

Para definir la distancia de las porciones hasta los cauces o masas de agua más próximas se ha requerido la delimitación de las principales cuencas hidrográficas y, a partir de las distancias que propone el método para caracterizar los distintos impactos, delimitar zonas en las porciones de unidad. Las líneas divisorias para cada río considerado son las de las figura 5.13. a y b.

- la determinación del **USO POTENCIAL** de los cauces permanentes utiliza información sobre la calidad química de los ríos principales (1º), así como de sus caudales (2º).

1º. Obtención de la calidad química

Dentro de nuestra zona piloto de la cuenca, los ríos que la intersectan son: Jarama, regulado por los embalses del Vado, Puentes Viejas, el Atazar, y el embalse de El Vellón. Otros dos afluentes importantes del río Jarama por su margen izquierda son el río Henares y el río Tajuña, cuya cabecera y gran parte del recorrido se encuentra en la provincia de Guadalajara, lo que hace que aproximadamente la mitad de la cuenca del Jarama no se encuentre en territorio madrileño.

Otro afluente del Jarama que cruza parte de la zona de estudio es el río Manzanares, río que atraviesa el área Metropolitana de Madrid y que está regulado por el embalse de El Pardo. Nace dentro de la provincia, en territorio serrano y conduce su caudal al embalse de Santillana, en donde sufre su primera regulación.

Como puede apreciarse en la cartografía correspondiente a los ríos considerados en el estudio (fig. 5.10), aparecen otros cauces que corresponden a arroyos. Se han introducido en el estudio junto al resto de los ríos principales, ya que en ocasiones presentan un caudal permanente y pueden tener asociado un uso. Estos arroyos son : Anchuelo y Pantueña que desembocan en el río Jarama por la margen izquierda; y el arroyo Culebro, que llega por la margen derecha al

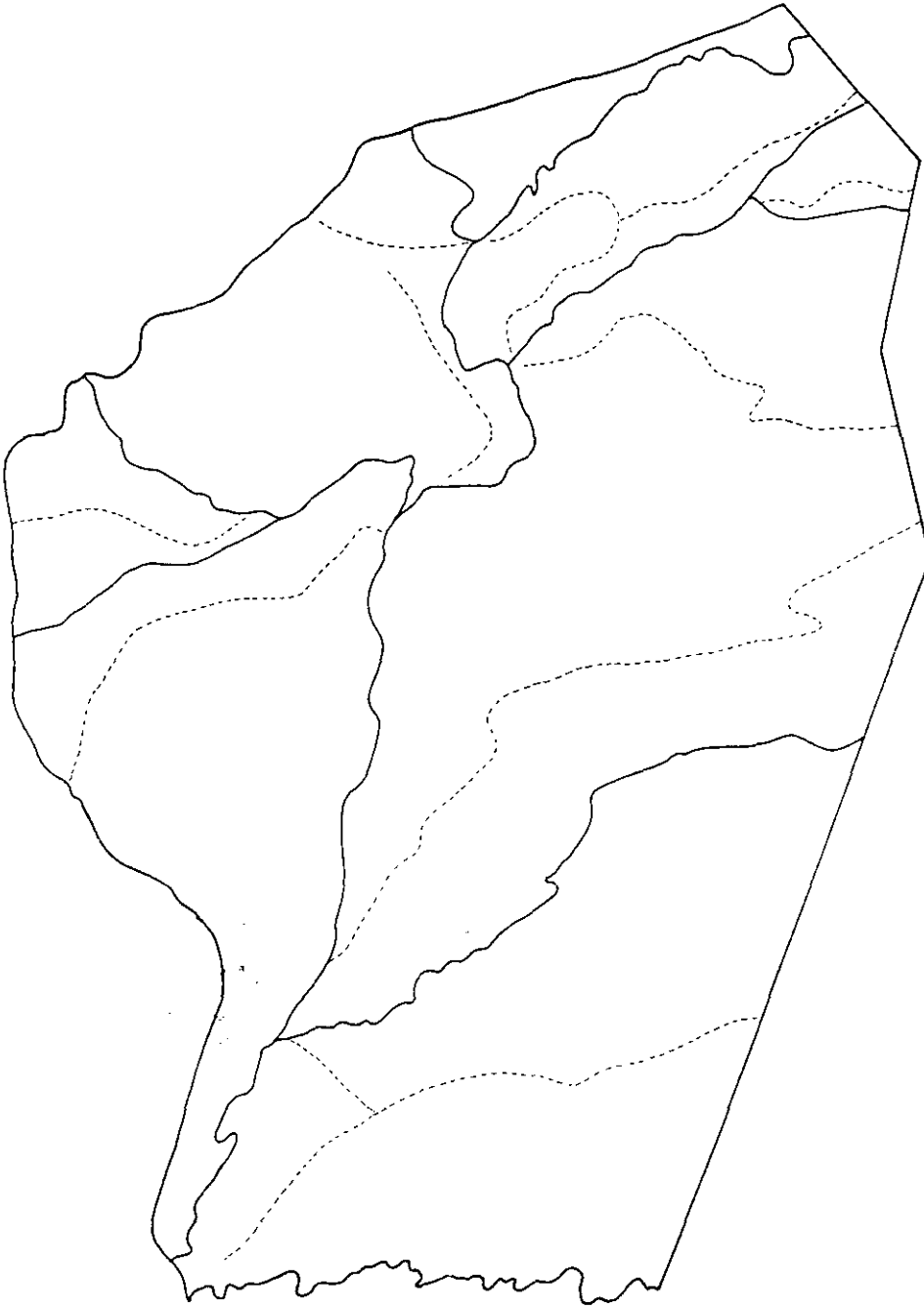


Figura 5.13. a. Mapa de límites de divisoria para los principales ríos del área de la cuenca

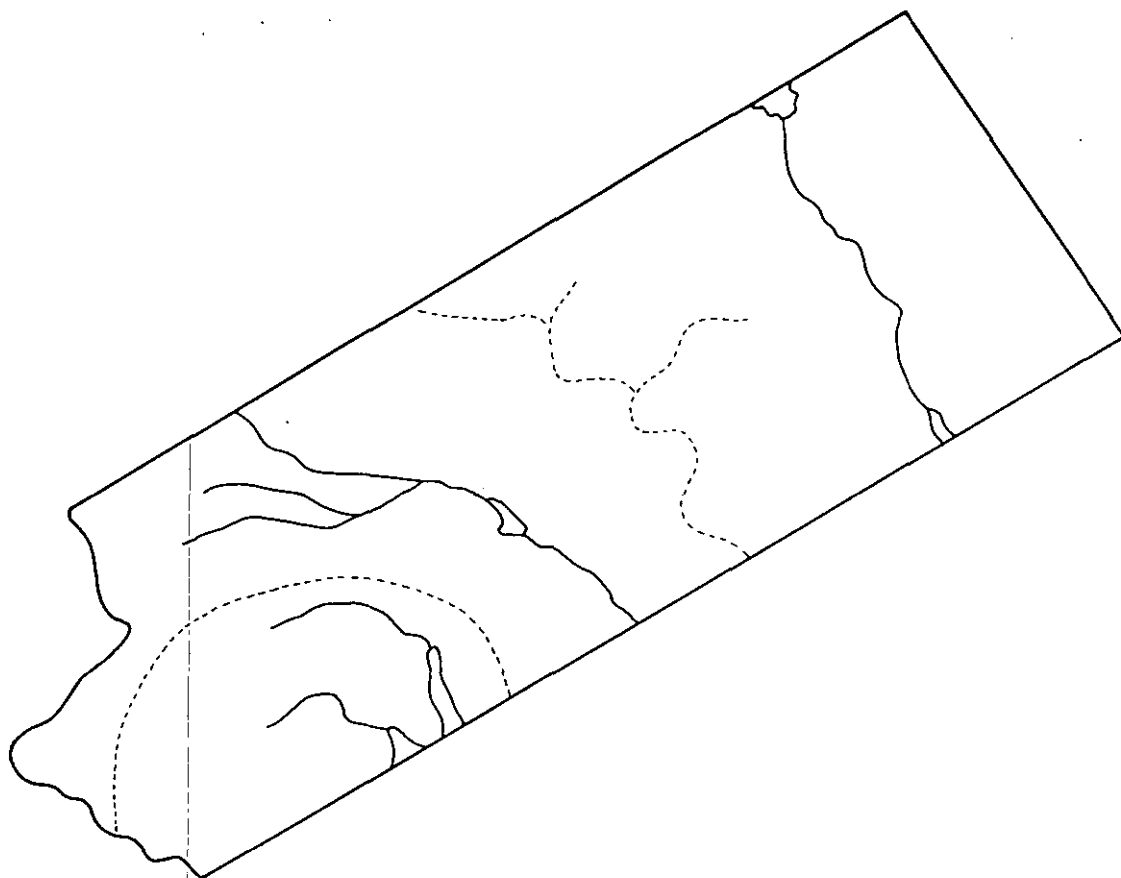


Figura 5.13. b. Mapa de límites de divisoria para los principales ríos del área de la sierra

tramo final del río Manzanares.

En el área de Sierras los ríos principales son del Guadarrama y el Manzanares, pero también han sido considerados los arroyos Guatel 1º y 2º, y el arroyo Aulencia que descarga sus aguas en el embalse de Valmayor. Su caudal se encuentra regulado por el embalse de Peguerinos.

La calidad química de los cauces principales se ha obtenido a partir de los datos medios anuales de la red oficial del MOPT para el año 89-90 y siguiendo los límites de calidad impuestos por el R.D. 927/1988 de 29 de Julio.

Una vez observadas las características químicas se ha incluido cada río dentro de una de las cuatro categorías de calidad propuestas en la tabla 5.16.

La clasificación asignada a cada río y sus condiciones químicas utilizadas para la caracterización, pueden verse en la tabla 5.32.

2º. Obtención de los datos de caudal

Los datos de caudal han sido tomados del Resumen Estadístico de la Comisaría de Aguas del Tajo. Se han tomado las media de los caudales medios mensuales y anuales de un periodo de años que varía de unas estaciones a otras. Esta información ha sido contrastada con los datos del anuario estadístico de la CAM de 1993. Los caudales considerados son los siguientes (tabla 5.33.)

RIOS Y ARROYOS PERMANENTES	CAUDAL (m ³ /sg)
TAJO	34
TAJUÑA	6
JARAMA (Pte. Largo)	50
MANZANARES (La China)	13
MANZANARES (Vaciamadrid)	14
TOROTE	0,4
CULEBRO	0,14
ANCHUELO	0,15
JARAMA (Mejorada)	30
HENARES	12
GUATEL 2º	0,2
NAVACERRADA	0,4
MANZANARES (Santillana)	3,2
GUADARRAMA (Galapagar)	2,5
GUADARRAMA (Villalba)	2,3

Tabla 5.33. Caudales medios de los ríos permanentes considerados

	Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	Ca (mg/l)	Na	Mg	S.A.R.	I.C.G.	CLASE	Observaciones
TAJO	1.353,6	195,2	127,5	6,6	2,03	65,7	B	
TAJUÑA	878,6	180	23,1	47,4	0,4	79,6	C y B	apta para baños
JARAMA (Pte. Largo)	1.068,6	126,7	86,8	39,2	1,74	45,9	C	
MANZANARES (La China)	537,7	39,5	53,5	15,8	1,8	62	B	no baño por coliformes y detergentes
MANZANARES (Vaciamadrid)	751,5	76	86,7	27,2	2,2	44	C	no para peces ni baño
TOROTE	515	76	35,5	29,2	0,8	79,8	B	no baño por Ox.Dis.
CULEBRO	1154	86	147,5	43,3	3,2	27,9	C	no para peces
ANCHUELO							B y C	no para beber por amonio y coliformes.
JARAMA (Mejorada)	713,2	95,5	51,5	37	1,1	66,6	B	no baño por coliformes.
HENARES	796,8	102,7	56	37,2	1,2	63,3	B y C	no ciprínidos por coliformes.
GUADARRAMA	253,7	24,5	24,8	6,4	1,15	78	B	posible para abastecim.

Tabla 5.32. Principales características químicas de los ríos considerados.

100 > ICG > 85 Excelente

85 > ICG > 75 Buena

75 > ICG > 65 Regular

65 > ICG > 50 Deficiente

50 < ICG Mala

El mapa de situación de las estaciones (de donde han sido tomados los datos químicos) con los datos de aforo utilizados, se presentan en las figuras 5.14.a y b.

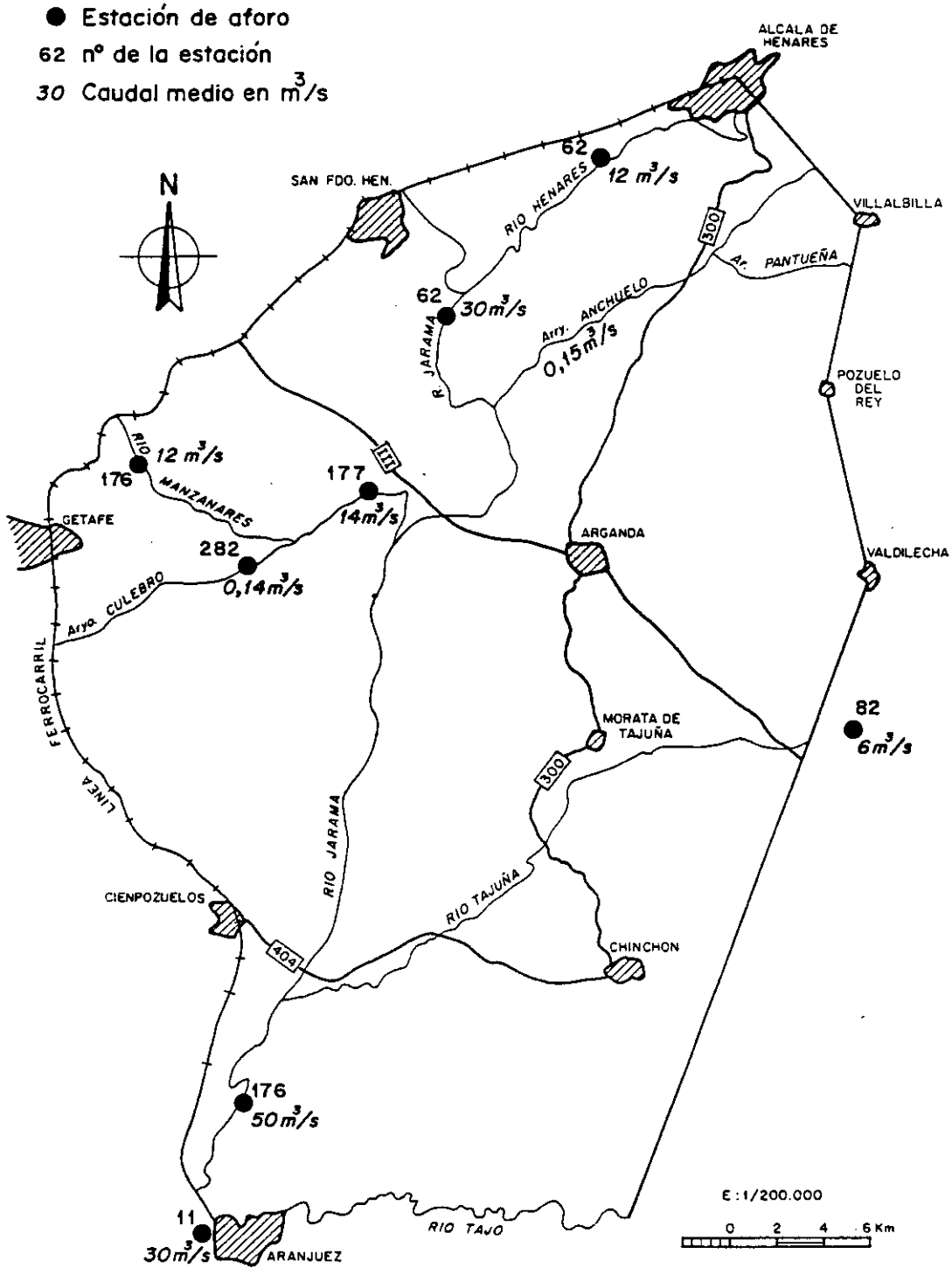


Figura 5.14. a. Estaciones de aforo utilizadas en el área de la cuenca.

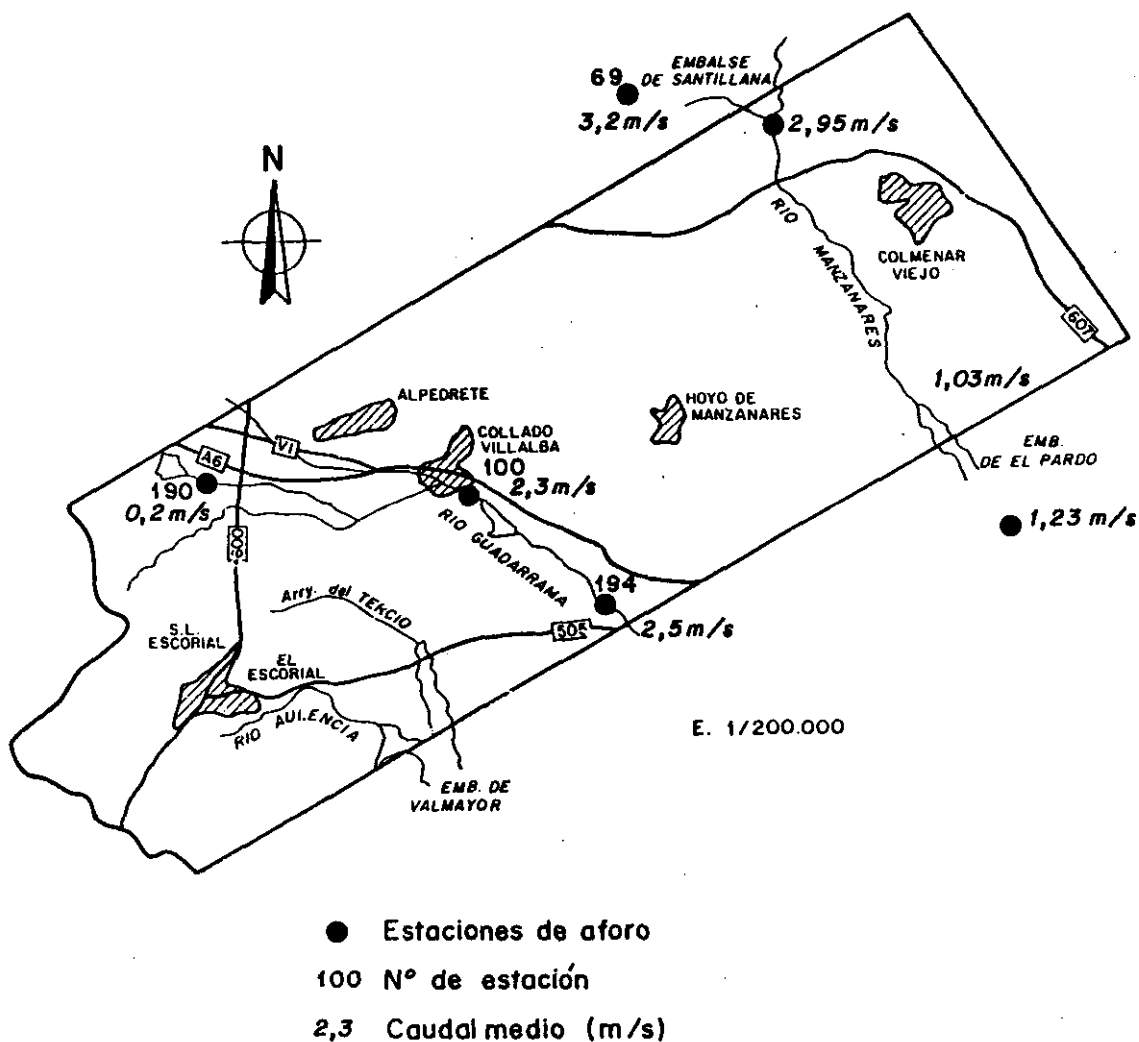


Figura 5.14. b. Estaciones de aforo utilizadas en el área de la sierra.

5.9.2. Aplicación del método de vulnerabilidad de las aguas superficiales a las porciones de U.GMF

Las unidades de aplicación son, igualmente, las U.GMF. Se evalúa cada parámetro en cada porción, obteniéndose para cada una un valor de impacto. El proceso seguirá los siguientes pasos:

Ejem: unidad glacis de acumulación próxima a Mejorada del Campo:

- Excedente de la cuenca en que se ubica dicha unidad: 121,4 mm (Tabla 5.31.)

- Pendiente de la unidad: 2-8% (Tabla 5.9.)
- Permeabilidad: d (entre 0,05-0,001 m/d) (Tabla 5.6)

ESCORRENTIA SUPERFICIAL: 70%
(Fig 5.2 y tabla 5.10.)

VALOR IMPACTO Parcial: 1
PESO DE E.S.: 3
I. Total: 3

- Densidad de drenaje: M (5) (tabla 5.12)
- Distancia al cauce principal más próximo: Henares 1-3 km (tabla 5.13)

DRENAJE A CAUCES:
(Fig. 5.3. y tabla 5.14)

VALOR IMPACTO Parcial: 1-2
PESO DE DRENAJE: 4
I Total: 4-8

- Calidad del río principal: tipo C(Tabla 5.16)
- Caudal de dicho río: 12 m³/sg (Fig. 5.4)

USO POTENCIAL:

VALOR DE IMPACTO Parcial: 1
PESO DE USO: 2
I. Total: 2

SUMA TOTAL: 9-13 (intervalo de vulnerabilidad)(tabla 5.5.)
CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD: 2

5.9.3. Síntesis de los resultados por parámetros en las distintas U.GMF

5.9.3.1. Escorrentía superficial

Los datos de permeabilidad, pendiente y excedentes más representativos de las U.GMF pueden verse en la tabla 5.34. En algunos aspectos, es interesante comentar algunas observaciones para conocer el comportamiento de la U.GMF para la ubicación de vertederos. Estas observaciones se describen a continuación de dicha tabla.

CUENCA				
UNIDAD GMFL	PENDIENTE(%)	PERMEABILIDAD(m/d)	EXCEDENTES(mm)	OBSER.
CERROS	0-2 2-8	0,15 - 0,4	110-130	
ESCARPES	8-16 16-30	b	121-140	
FONDOS VALLE	2-8 16-30 8-16	b c d	110-145	*1
VERT.GLACIS	0-8/ 2-8/16-30/8-16	b c d	120-145	*2
VERT.GLACIS	2-8 >30	d y b	110-130	*3
GLACIS ACUM	2-8	d	100-120	
FONDOS VALLE	0-2 2-8 >30	b d	100	*4
COLUVIONES	2-8	d	100-120	
SSP	0-2 /2-8/ 8-16	0,5 - 1	132-145	*5
SP	16-30/ 0-2/ 2-8	0,7	145-169	*6
LLANURA INUN.	0-2 2-8	c d b	100-130	*7
TERRAZAS	0-2 2-8	c d	90-145	
COLUVIONES	0-2 / 2-8/ 8-16	d c b	110-170	*8
SIERRA				
CUMBRES	16-30	e	265-400	*9
LADERAS	16-30	e	242-500	
SUP.ARRASA.	16-30 8-16	e	240-550	
SUP DEGRADA.	16-30 8-16	e b a	242-500	
FONDOS VALLE	16-30% 8-16%	e b a	242-350	
COLUVIONES	8-16%	a	300-265	
GLACIS	2-8% 8-16%	a	250	
DIVISORIAS	2-8% 8-16%	a	250	

a: $K > 0,01$ m/d; b: 0,01-0,001 m/d; c: 0,1-0,01 m/d; d: 0,05-0,001 m/d; e: $K > 0,001$ m/d

Tabla 5.34. Resumen de los parámetros de escorrentía para las U.GMF.

* 1) Los fondos de valle se caracterizan por tener una textura más fina que la facies donde se encuentran, como consecuencia del arrastre y sedimentación de material fino de arroyada.

Las pendientes del fondo de valle de la unidad química y de transición admite varios valores de pendiente:

- Los valores bajos de pendiente (2-8%) corresponden a encajamientos suaves de los valles y suele ocurrir donde no se producen cambios bruscos de litología.

- Los valores más altos (16-30%) no son los más representativos dentro de la unidad, y por ello no aparecen en la tabla. Ocurren en la facies de transición, preferentemente química, donde se

producen fuertes acarcavamientos a la salida de las superficies calcáreas de los páramos por ser los yesos fácilmente erosionables y encontrarse las vertientes encajadas.

* 2) La textura es gruesa como corresponde a glacis de litologías margo-yesíferas que alternan con arenas calcáreas.

En las vertientes glacis parece lógico encontrar toda la variedad de pendientes, ya que su relieve alomado condiciona esta variabilidad. El tamaño de las unidades favorece este hecho, ya que cuanto mayor sea la extensión de ésta, mayores serán las posibilidades de variación de las pendientes.

Por otra parte vuelve a ser importante el acarcavamiento, puesto que es en las vertientes asociadas a texturas medias y finas, como son las margas y los yesos donde aumentan ligeramente las pendientes, también debido a que conectan pronto con litologías más competentes y no hay superficie suficiente para suavizar sus formas.

El caso contrario lo presentan los glacis del Cerro de Los Ángeles y los próximos al arroyo Culebro, donde las pendientes son más bajas a pesar de tener la misma litología (margas y yesos principalmente). Ya no hay series calcáreas que aceleren la erosión al cambiar la competencia de la roca y las vertientes no están encajadas tectónicamente.

* 3) Los glacis de las facies detríticas presentan texturas finas por estar asociados a facies arcillosas de la Fm Alcalá o Guadalajara.

En estas unidades sucede que las máximas pendientes están asociadas a material coluvionar, pero no está cartografiado como tal por no presentar un coluvión sobreimpuesto que determine un cuerpo morfológico con entidad propia. Esta litología de limos y cantos calcáreos que constituyen el coluvión forma parte de la vertiente glacis.

* 4) Aunque sólo contamos con dos porciones de unidad de fondo de valle en los detríticos del terciario de Alcalá, es suficiente para comprobar que sufren una gran variación de pendientes (y suelos), factor que varía si se trata de pendientes en cabecera, donde se encuentran los páramos y superficies asociadas, o si corresponden a tramos medios o bajos, donde la pendiente se va suavizando. También las arcillas hacen que se formen pendientes elevadas.

* 5) Se constata el hecho de que se ha cartografiado como superficie de sustitución parte de talud de la superficie del páramo. Por eso aparecen pendientes altas asociadas a superficies de sustitución.

* 6) Las pendientes son bajas porque en las cubetas que constituyen las dolinas, el fondo suele estar más plano que el propio páramo, aunque no modifica notablemente su pendiente.

* 7) Hay llanuras de inundación que tienen pendientes del 2-8% porque presentan explotaciones de áridos que modifican el relieve plano original.

* 8) Estas pendientes son muy variables según se trate de la parte alta o de la parte baja del coluvión.

* 9) Las cumbres no llegan a ser superficies planas nunca.

Con todo ello los resultados de impacto en escorrentía superficial deducidos para las distintas unidades son los siguientes (Tabla 5.35):

ESCORRENTIA SUPERFICIAL

CUENCA			
FACIES	UNIDAD GMF	INTERVALOS	IMPACTOS PARCIALES
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	10 - 30 %	0
	<i>Escarpes</i>	50 %	1
	<i>Fondos valle</i>	70 - 90 %	1
	<i>Vert.glacis</i>	10-50% 30-50 70%	0-1 1
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	70 - 90 %	1
	<i>Glacis acum.</i>	70 %	1
	<i>Fondos valle</i>	50 - 70 %	0-1 1
	<i>Coluviones</i>	70 %	1
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	30 - 50 %	0-1
	<i>Sp</i>	10 - 30%	0
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	30-70 % 50-70 %	0 - 1
	<i>Terrazas</i>	30-70 % 50-70 %	1 0-1
	<i>Coluviones</i>	50 - 70 %	1
SIERRAS			
ELEVACION	<i>Cumbres</i>	90 - 100 %	4 - 3
	<i>Laderas</i>	90 - 100 %	2
SUP. ARRASAM.	<i>Sup. Arrasa.</i>	90 - 100 %	2
	<i>Sup Degrada.</i>	50-70% 90-100%	2 1 3
VALLES	<i>Fondos valle</i>	90 - 100 % <50%	1-2 1
	<i>Coluviones</i>	10 - 50 %	0 - 1
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	0-30 % 10-50%	0 - 1
	<i>Divisorias</i>	0-30 % 10-50 %	0 - 1

Tabla 5.35. Impactos por Escorrentía Superficial en las U.GMF Tipo.

A continuación se comentan las causas que explican los diferentes impactos obtenidos para cada U.GMF. Se ha de tener en cuenta que aunque los impactos son en general bajos, se puede

establecer una comparación en términos relativos entre unidades, sabiendo que en condiciones más lluviosas los impactos podrían incrementarse de una forma proporcional a la media.

CUENCA

Facies de transición y químicas

* Cerros: al ser formaciones muy erosionadas apenas presentan suelo y se les ha aplicado la permeabilidad del sustrato infrayacente. Por su topografía plana o casi plana y por las escasas precipitaciones, el impacto por escorrentía es muy bajo.

* Escarpes: va a tener un potencial bajo (1) de afección a las aguas superficiales por escorrentía. Aunque presentan altas pendientes sus permeabilidades, que favorecerían una infiltración y las escasas precipitaciones, hacen que el volumen de lixiviados que pueda escurrir sea bajo.

* Glacis: los hay de dos tipos: unos con impacto bajo (1) sobre las aguas superficiales, que presentan pendientes $> 2\%$ y permeabilidades $< 10^{-2}$ m/día, lo que supone índices de escorrentía bajos (le $> 1,7 \cdot 10^{-2}$). Esto se traduce en un porcentaje alto de Escorrentía superficial (90%-100%), pero de excedentes pequeños en la zona.

Otras unidades tienen impactos muy bajos (0), caracterizados por tener escasos excedentes, pendientes bajas ($< 2\%$) y permeabilidades medias, (del orden de 0,1-0,01 m/día). Estos corresponden a los tramos bajos de las vertientes glacis y sus vaguadas.

* Fondos de valle: Impacto bajo o muy bajo. Las condiciones pueden ser tales como en el caso de los glacis, de ahí esta variación entre valores de impacto parcial 0 ó 1.

Facies detríticas terciarias

* Glacis: estos glacis asociados a las facies Guadalajara y Alcalá, por ser litologías más arcillosas, permiten pendientes más pronunciadas que favorecen la escorrentía superficial. No obstante, la escasa lluvia útil hace que el volumen de lixiviados que podría escurrir superficialmente sea pequeño y el impacto bajo (1), restringiéndose generalmente a momentos de intensas precipitaciones.

* Glacis de Acumulación: al presentar un suelo de textura fina, preferentemente arcillosa, y pendientes no muy planas en sectores con bajos excedentes, permiten un pequeño grado de escorrentía superficial hasta un impacto bajo.

* Fondos de valle: presentan dos características propias: las partes altas con pendientes que permiten elevados porcentajes de escorrentía; y las partes bajas con altas infiltraciones relativas. La escasa lluvia útil restringe los impactos a valores bajos en las partes altas y muy bajos en las inferiores. El caso es igual para los de las facies químicas y de transición.

* Coluviones: presentan las dos características de los glaciares de acumulación de esta facies, y por tanto el impacto también es bajo.

Páramos

* Superficie de sustitución del Páramo: presenta suelos que están sometidos a una erosión intensa. Por ello se le ha asignado permeabilidades correspondientes a las litologías de la formación Villarejo, que es donde se ubica casi por completo esta U.GMF. La diferencia de impacto entre 0 y 1 se debe fundamentalmente a las diferencias de pendiente entre unos tramos y otros.

* Páramos: obtiene un impacto muy bajo (0 puntos) por tratarse de superficies muy planas o casi horizontales desarrolladas sobre calizas karstificadas y en ámbitos con escasa lluvia útil.

Vegas

* Llanuras de inundación: los impactos oscilan entre muy bajos o bajos (0 y 1) de escorrentía, según si se trata de pendientes menores de 2% o superiores a 2%. Generalmente el impacto es 0 porque la lluvia útil es escasa, la pendiente suele ser $< 2\%$ y la permeabilidad también inferior a 0,1 m/d. Sería de esperar que se produjeran fuertes tasas de infiltración, pero hay zonas con pendiente $>2\%$, como son las de el río Manzanares bajo, la del arroyo Culebro, y la vertiente izquierda del tramo bajo del Jarama, donde el impacto es de 1 punto.

* Terrazas: La valoración es muy similar a las llanuras de inundación. El impacto obtenido es bajo o muy bajo. Las mayores tasas de escorrentía superficial de lixiviados se producirán en terrazas altas afectadas por la tectónica de encajamiento de algunos ríos, que hacen que tengan mayores pendientes, tapizadas con litologías finas que taponan los poros e impermeabilizan medianamente las terrazas.

* Coluviones: el impacto es de 1 como en los de las facies Guadalajara y Alcalá. Presentan variedad litológica y por tanto también de permeabilidades. Las pendientes también varían y este conjunto de características pueden favorecer un cierto grado de escorrentía en momentos de intensas precipitaciones.

SIERRAS

* Cumbres: las pendientes son generalmente superiores al 16% ya que se incluyen los cerros de cumbre y no suelen ser nunca verdaderas superficies planas. Al ser zonas con escaso recubrimiento edáfico, la permeabilidad del suelo es pequeña. La variación de impacto de 2 a 3 en escorrentía superficial depende, únicamente, de la variabilidad de la precipitación de unas zonas a otras, pero podemos asegurar que casi siempre será alta (4).

* Laderas: pese a tener similares características de permeabilidad y pendiente, el impacto se amplía a mayor intervalo según pueda aumentar la lluvia útil.

* Superficie de Arrasamiento: este tipo de superficies está caracterizada por tener recubrimiento detrítico procedente de la meteorización que tapiza la roca del sustrato. Están caracterizados por un espesor variable de sedimentos de textura gruesa, y a cierta profundidad topan con la roca fresca constituida por granitos, gneises o pizarras, según distintas zonas de la Sierra de Madrid, (no tenemos esta última litología representada en nuestro ámbito de muestreo).

Una vez que se producen los excedentes, el agua va a seguir dos recorridos: uno superficial, y otra parte se infiltrará y mayoritariamente escurrirá subsuperficialmente, al encontrarse las litologías poco permeables del sustrato. Este agua subsuperficial aflorará en la superficie en forma de manantiales, y tan sólo una parte muy pequeña se infiltrará definitivamente por las fracturas del sustrato. Es por ello que sufre impactos menores que las laderas, ya que una parte del agua excedentaria se infiltrará. También contribuye a esta infiltración pendientes asociadas menores del 16% .

* Superficie de Degradación: estas superficies se caracterizan por presentar frecuentes relieves abruptos de berrocales que, en ocasiones, enlazan con laderas que están constituidas también por berrocales. Con esta distribución morfológica hay variaciones en la pendiente, y con frecuencia también en las permeabilidades, según si hay suelo o no, cosa que ocurre cuando las pendientes son menores o el suelo es inexistente. Por tanto el impacto de la escorrentía superficial es moderado (2) o bajo (1) según estos dos tipos de escenarios: formación con pendiente alta y permeabilidad baja, o replano con alteración, de bajas pendientes y altas permeabilidades. La lluvia útil no es alta (242 a 500 mm) por lo que los impactos nunca serán altos en estas condiciones.

* Fondos de valle: en estas litologías no es extraño que el cauce esté ya sobre materiales prácticamente impermeables. Las grandes extensiones de fondos de valle también están constituidas por zonas replanadas con espesor de alteración considerable, y pendientes que pueden llegar hasta el 16%, aunque éstas no son lo normal.

* Coluviones: están asociados a las laderas y adquieren características similares a los tramos

bajos de éstas. Pueden alcanzar pendientes de más del 8%. La permeabilidad es alta $K > 0,01$ m/d) por tratarse de materiales poco consolidados. El impacto varía entre bajo y muy bajo por la precipitación.

* Glacis y Divisorias: en las facies arcóscicas las pendientes varían de 2 a 16 % y la permeabilidad es alta en general. La escasa precipitación que recibe la zona hace que el impacto no ascienda de 3, siendo lo normal un impacto de 0 ó 1.

5.9.3.2. Drenaje a cauces

Sólo se puede hacer una generalización del comportamiento de la U.GMF en función de la densidad de drenaje, que parece seguir un patrón de comportamiento relacionado con su morfología y litología. En cuanto a la distancia a los ríos y arroyos permanentes, la variabilidad de extensión que presentan las porciones no permite caracterizar la unidad más que en algunas unidades muy concretas (terrazas, glacis). La distancia nos obliga a compartimentar las porciones en función de la distancia al cauce, ya que ésta distancia condiciona el impacto.

La tabla de resultados generales para las unidades geomorfológicas son las que se presentan a continuación (tabla 5.36.):

DENSIDAD DE DRENAJE

CUENCA		
FACIES	UNIDAD GMF	DENSIDAD DRENAJE
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	M-B
	<i>Escarpes</i>	M-A
	<i>Fondos valle</i>	M-A a A
	<i>Vert. glacis</i>	M-B
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	M a M-A
	<i>Glacis acum.</i>	M-B
	<i>Fondos valle</i>	A
	<i>Coluviones</i>	B
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	M-B a B
	<i>Sp</i>	B
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	B
	<i>Terrazas</i>	M-B a B
	<i>Coluviones</i>	B

SIERRAS		
ELEVACIONES	<i>Cumbres</i> <i>Laderas</i>	M-B a B M
SUP. ARRASAMIENTO	<i>Sup. Arrasa.</i> <i>Sup Degrada.</i>	B M-B
VALLES	<i>Fondos valle</i> <i>Coluviones</i>	M-A a A B
ARCOSAS	<i>Glacis</i> <i>Divisorias</i>	M a M-A B

Tabla 5.36. Resumen de la densidad de drenaje por U.GMF Tipo

En cuanto a la distancia a los cauces en nuestro estudio se han tomado medidas de cada unidad hasta el cauce permanente más próximo a ella. Según el tamaño de la unidad, a veces ha sido preciso tomar dos medidas: una próxima y otra más alejada del cauce, con lo cual no es posible homogeneizar la información como en otros parámetros.

Otra anomalía en la caracterización de este parámetro lo ha supuesto las diferentes subcuencas hidrográficas que presentaban las zonas, ya que en ocasiones, una misma unidad pertenece a dos cuencas diferentes. Este hecho también está muy relacionado con el tamaño de la unidad.

A pesar de ello se pueden realizar algunas aproximaciones a lo que puede ser una generalidad:

- * En las vegas, ~~todas las unidades geomorfológicas (coluviones, terrazas, llanuras)~~ se encuentran próximas a cualquier cauce. También aquellas unidades que están en estrecha relación con los ríos, como son los escarpes y las vertientes glacis de enlace.
- * Los ~~páramos y superficies asociadas~~ se suelen encontrar lejos de cauces permanentes, por ser las partes más altas de la cuenca y existir toda una serie de unidades de transición hasta las vegas.
- * En el ámbito de la sierra, las ~~laderas~~ suelen estar más o menos próximas a cauces en función de su longitud.
- * En el resto de las unidades, la distancia es muy variable, tanto en superficies como en valles de encajamiento.

Según el índice D los valores de impacto obtenidos para las distintas unidades, son los

siguientes:

IMPACTO POR DRENAJE

CUENCA		
FACIES	UNIDAD GMF	IMPACTO Parcial
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	0 y 1
	<i>Escarpes</i>	2 a 4
	<i>Fondos valle</i>	1-2
	<i>Vert. glacis</i>	0 a 4
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	1 a 4
	<i>Glacis acum.</i>	1-2 2-3
	<i>Fondos valle</i>	2 a 4
	<i>Coluviones</i>	0 a 3
PÁRAMO	<i>Ssp</i>	0-1
	<i>Sp</i>	0
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	4
	<i>Terrazas</i>	1 a 4
	<i>Coluviones</i>	1 a 4
SIERRAS		
ELEVACIONES	<i>Cumbres</i>	0 y 1
	<i>Laderas</i>	0
SUP. ARRASAMIENTO	<i>Sup. Arrasa.</i>	0-4
	<i>Sup Degrada.</i>	0 a 4
VALLES	<i>Fondos valle</i>	1 a 4
	<i>Coluviones</i>	0
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	0 a 4
	<i>Divisorias</i>	0

Tabla 5.37. Resumen de impacto por Drenaje en las U.GMF tipo

En la aplicación a porciones de territorio predefinidas, es muy difícil generalizar el comportamiento de ciertos parámetros. Al haber un amplio intervalo de distancias a cauces los intervalos de vulnerabilidad también se amplían. Es por ello que no resulta muy acertado realizar una descripción de las causas que definen el impacto de las U.GMF, puesto que es la variación de la distancia la que condiciona la puntuación.

5.9.3.3. Uso potencial

Como puede verse en los mapas de las Fig. 5.15 a y b en ocasiones, la calidad del agua de los ríos empeora a su paso por núcleos de alta densidad de población que vierten sus aguas residuales al cauce de estos ríos. Por otra parte se hacen necesarias estaciones de control que se localicen en tramos intermedios de los ríos, donde encontramos un vacío de información.

Por ello se ha creído adecuado compartimentar los tramos de los ríos y asignar la información de una manera, a nuestro juicio, más próxima a la realidad. El resultado de esta parcelación ha asignado valores de impacto variable a lo largo de un mismo río (ver tabla 5.38. y Fig 5.15. a y b).

(nº estación, MOPT) RIOS	CAUDAL	CALIDAD	IMPACTO
176 Manzanares	13 m ³ / sg	B	1
177 Manzanares	14	C	0
162 Culebro	0,14	C	1
52 Jarama	15	B	1
62 Henares	12	B y C	1 y 0
82 Tajuña	6	B y C	1 y 2
175 Jarama	50	C	0
11 Tajo	34	C y B	0 y 1
Anchuelo	0,15	B ó C	1
193 Torote	0,4	B	2
100 Guadarrama	2,5	B	2

Tabla 5.38. Valores de los parámetros de uso potencial de las aguas superficiales

Como consecuencia de la utilización de caudales medios y las características químicas que definen su utilización según la Normativa española vigente (ver Anejo III), se han diferenciado para el área de cuenca, tramos en los principales ríos con afección mínima (0 puntos). Estos recorridos son:

- el tramo bajo del río Manzanares que pierde calidad con la confluencia del Arroyo Culebro.
- El Manzanares, a su vez, provoca que descienda la calidad del río Jarama a partir de la desembocadura del afluente en el Jarama.
- El río Henares obtiene una puntuación muy baja a partir de su paso por las principales poblaciones donde sus aguas residuales alteran la calidad inicial.

MAPA DE USO POTENCIAL DE LOS RIOS PRINCIPALES

Cal B = Calidad de tipo B, C...

I=1 = Impacto

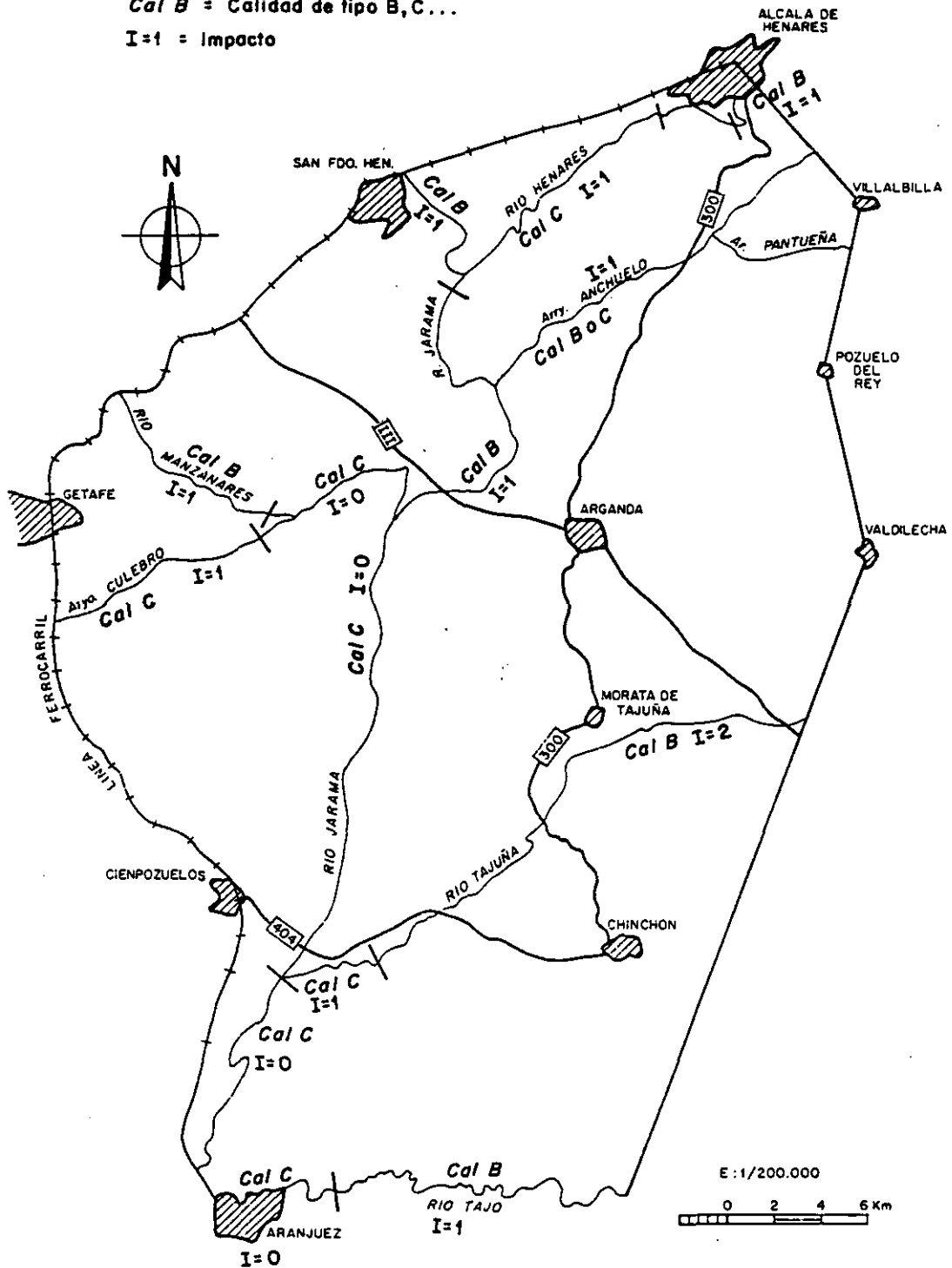


Figura 5.15. a. Calidad del agua de los ríos en el área de la cuenca.

MAPA DE USO POTENCIAL DE LOS RIOS PRINCIPALES

Cal = Calidad de tipo A,B...

I = 2 = Impacto

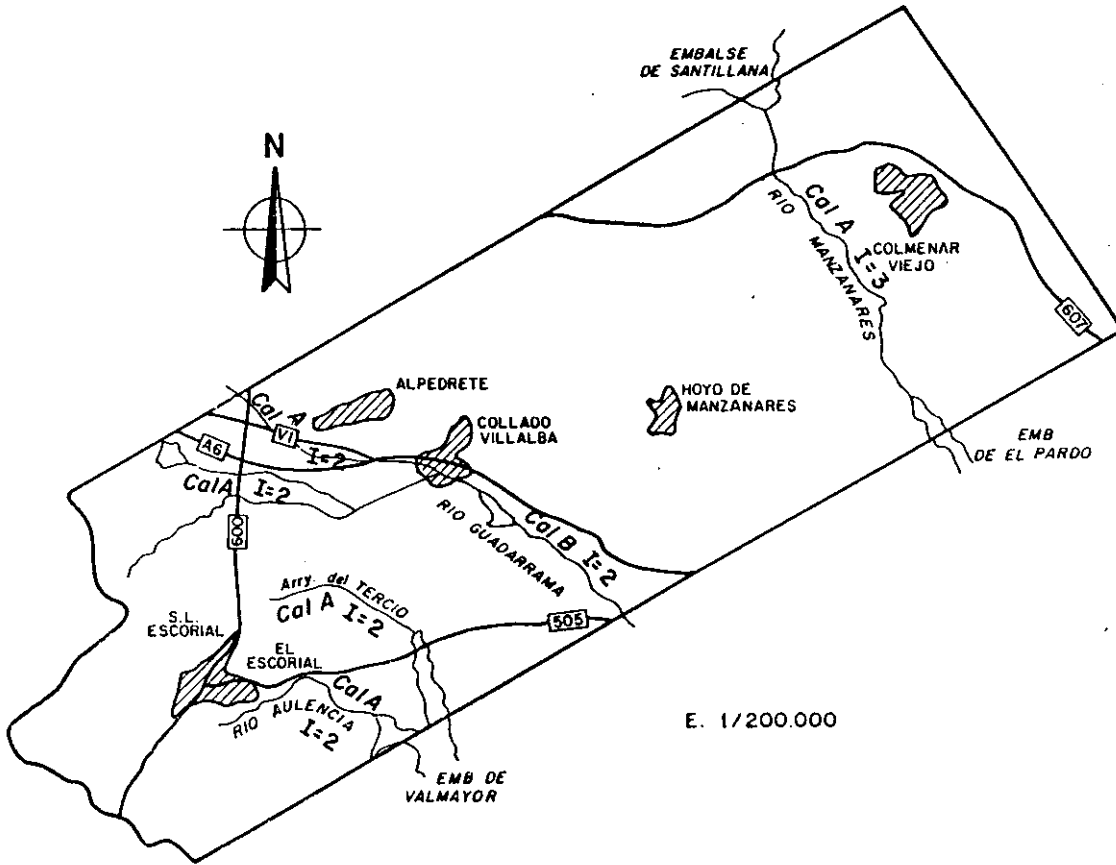


Figura 5.15. b. Calidad del agua de los ríos en el área de la sierra.

Con la máxima puntuación (2 puntos en este caso) sólo aparece el tramo alto del río Tajuña, donde sucesivamente va cargándose de sales procedentes de las series litológicas que atraviesa, y de aguas residuales, que descenden el impacto a 1 punto.

En las sierras la mayoría de los ríos y arroyos son de caudales bajos pero la calidad es, frecuentemente, apta para abastecimiento mediante tratamientos específicos. Los ríos que presentan estas características tienen un impacto medio (2 pts). Al aumentar el caudal el impacto se hace mayor (río Manzanares). El río Guadarrama presenta una calidad B que junto con los 2,5 m³/sg de caudal hacen que el impacto sea también medio.

5.9.4. Vulnerabilidad de las aguas superficiales para la ubicación de V.R.S.U. Conclusión

A continuación se expone la tabla de conclusión (tabla 5.39.) en la que figura el intervalo de puntuación de vulnerabilidad conseguido para cada tipo de unidad. En otra columna también aparece la categoría de vulnerabilidad que adquiere cada unidad geomorfológica. Posteriormente se comentan los resultados.

CUENCA				
FACIES	UNIDAD GMF	INTERVALO DE VULNERA.	CATEGORIA DE VULNER.	
QUIMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	0 - 6	1	muy bajo
	<i>Escarpes</i>	13 - 19	3	medio
	<i>Fondos valle</i>	9 - 21	2-4	bajo-alto
	<i>Vert.glacis</i>	2 - 21	2-1	bajo-muy B
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	9 - 21	2-3-4	de bajo a alto
	<i>Glacis acum.</i>	9 - 17	2-3	bajo-medio
	<i>Fondos valle</i>	10 - 21	2-4	bajo-alto
	<i>Coluviones</i>	5 - 17	2-1	bajo-muy B
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	2 - 9	1-2	muy B-bajo
	<i>Sp</i>	0 - 4	1	muy bajo
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	18 - 23	3-4	medio-alto
	<i>Terrazas</i>	4 - 21	2-3	bajo-medio
	<i>Coluviones</i>	2 - 21	1-2	muy B-bajo
SIERRAS				
ELEVACIONES	<i>Cumbres</i>	10 - 20	3-2	medio-bajo
	<i>Laderas</i>	10 - 32	2	bajo
SUP. ARRASAM.	<i>Sup. Arrasa.</i>	7 - 28	2-3	bajo-medio
	<i>Sup Degrada.</i>	9 - 30	2-3	bajo-medio
VALLES	<i>Fondos valle</i>	12 - 30	3-4-5	de medio a MA
	<i>Coluviones</i>	4 - 11	1-2	muy B-bajo
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	8 - 19	2	bajo
	<i>Divisorias</i>	8 - 11	2	bajo

Tabla 5.39. Impacto a las aguas superficiales por U.GMF Tipo

CUENCA

Cerros

Las pendientes de los cerros van de 0-8% ya que sólo es tomada en cuenta la superficie culminante, la permeabilidad es de 0,4-0,15 m/d, y la poca precipitación ocasiona que los coeficientes de escorrentía superficial sean muy bajos y por tanto el impacto por E.S. es también muy bajo. La densidad de drenaje es media-baja y casi todos los cerros se encuentran bastante alejados del cauce que, en la mayoría de los casos, el impacto al uso es de 1 punto, lo que provoca que en conjunto el impacto total sea el más bajo.

Puntuación: 0-6 (1) (0 puntos cuando el cerro se encuentra más alejado del cauce, o cuando el cerro drena al tramo bajo del Manzanares cuyo uso potencial es de impacto parcial 0).

Escarpes

Son unidades de altas pendientes y permeabilidades medias. Los excedentes son mayores de 50 mm/año por lo que el impacto parcial por escorrentía superficial es de 1 punto. Suele estar a distancias variables del cauce al que drenan y su densidad de drenaje es alta, lo que provoca una puntuación alta por este parámetro. El impacto al uso de los ríos próximos es bajo.

Puntuación: 13 - 19 (3) (la diferencia de puntuación depende de la distancia a los cauces)

Fondos de valle

Son unidades de pendientes bajas o medias, y bajas permeabilidades que junto con precipitaciones entre 130-140 mm proporcionan impactos parciales por E.S. de 1 punto. La densidad de drenaje es alta, y la distancia de los cauces varía si nos encontramos en cabecera o en la parte baja, pero en cualquier caso no desciende de 1 km. Los impactos parciales por drenaje oscilan entre 2 y 3 (bajo y medio). Los impactos parciales de uso de agua de los cauces permanentes es baja.

Puntuación: 9 (2) - 21 (4) (es muy frecuente una puntuación de 13 puntos en ocasiones de grandes distancias hasta los cauces, y que drenen a cauces con impactos de uso distinto de 0).

Vertientes glacia

La amplitud del tamaño de estas unidades provoca una enorme variabilidad de pendientes que responden a la topografía ondulada y abrupta de estas áreas. Las permeabilidades son de tipo medio y bajo, y las precipitaciones en torno a los 130 mm /año. Así, los impactos parciales de escorrentía superficial varían de 0-1, dependiendo fundamentalmente de las pendientes. La densidad de drenaje es baja o media en algunos casos, y la distancia oscila entre 1 a más de 3 km, con lo cual se produce mucha variabilidad en este parámetro. Los usos de los ríos que

interfieren en estas unidades obtienen impactos bajos.

Puntuación: 2 (1) - 21 (4) (Es más frecuente el impacto 2. Las puntuaciones altas son ocasionadas por distancias próximas a cauces y densidad de drenaje media).

Vertientes glacis en facies detríticas

Las permeabilidades son más bajas que las vertientes de la facies de transición, y las pendientes varían según las zonas. Las precipitaciones son de unos 120 mm de media y el impacto parcial por escorrentía superficial es, en todos los casos, de 1 punto. Las distancias a los principales cauces no superan 1,5 km; y la densidad de drenaje es media o media-alta, según los casos. Estas unidades desaguan en los ríos Henares o Anchuelo, cuyo Impacto parcial por uso es de 1 punto. Los impactos totales conseguidos son muy variables y de igual frecuencia.

Puntuación: 9(2) - 21 (4) (La variación se debe a la distancia)

Glacis de Acumulación

El impacto parcial de E.S. es de 1 punto, ya que sus condiciones de permeabilidad y pendiente no varían en ninguna de las porciones consideradas. La densidad de drenaje es media-baja, y junto con distancias variables hacen que la puntuación total varíe de media a media-baja.

Puntuación: 9 (2) - 17 (3)

Fondos de valle

Las características son similares a los de las facies de transición, y la variación de la puntuación total (2 a 4 puntos) depende únicamente de la posición del valle de encajamiento con respecto al río o arroyo principal.

Coluviones

Las pendientes de estas unidades son en todos los casos de 2-8%, y las permeabilidades son bajas ya que los materiales finos de estas facies hacen que el comportamiento sea más impermeable que los de las facies de transición. La densidad de drenaje es baja y las distancias inferiores a 1 km en la mayoría de las ocasiones. Muchos coluviones drenan sus aguas de arroyada al tramo bajo del río Henares que sufre un impacto por uso muy bajo. Esta situación junto con la distancia, hacen que se varíe el impacto de bajo a medio.

Puntuación: 5 (1) - 17 (2)

Superficie de sustitución del páramo

La pendiente de estas unidades está condicionada por la litología que puede tratarse en algunos casos de relieves planos carbonatados (verdadera sup. sustitución) o facies de transición de la unidad infrayacente o conglomerados de la base del páramo. Estas litologías modelan formas diferentes y por ello la pendiente es tan variable. La permeabilidad es de tipo medio (0,5-1 m/d) y con las precipitaciones de la zona se obtienen impactos parciales de escorrentía sup. de bajos a muy bajos. La densidad de drenaje media-baja y las largas distancias de recorrido hasta los cauces próximos, hacen que el impacto total oscile entre 1 y 2 puntos.

Puntuación: 2 (1) - 9 (2)

Páramos

Obtienen todos escorrentías muy bajas ya que las pendientes son bajas y las permeabilidades del suelo son medias. La densidad de drenaje es muy baja y las distancias a cauces son mayores de 3 km. La mayoría de las unidades consideradas en la zona de estudio drenan al río Tajuña que tiene impacto parcial al uso potencial de 1 punto. Son las unidades más homogéneas en comportamiento respecto a las aguas superficiales.

Puntuación: 0 - 4 (1)

LLanura de Inundación

Las pendientes de la vega baja son, en general, de 0 - 2 %, y las permeabilidades medias-bajas que provocan un impacto por Escorrentía Sup. de tipo bajo o muy bajo, según alguna permeabilidad mayor o menor, o bien, según la precipitación. La densidad de drenaje es baja y la distancia a cauces lógicamente la más baja, con lo que se produce un impacto parcial alto. *Hay variación en el impacto por uso, pero el peso bajo de este parámetro hace que esta variación no sea significativa si no es para aumentar ligeramente la puntuación.*

Puntuación: 18 (3) - 23 (4) (Según el uso del río)

Terrazas

Las terrazas que constituyen parte de la vega baja tienen pendientes bajas, pero encontramos algunas porciones con pendientes mayores que corresponden a terrazas altas. La permeabilidad es media-baja, al igual que la densidad de drenaje. Las distancias a cauces son cortas en general y los impactos por uso, variables.

Puntuación: 4(2) - 21 (3) (La variabilidad se debe principalmente a la distancia a cauces)

Coluviones

Las pendientes varían de unas porciones a otras (0-2%; 2-8%; 8-16%) y las posibilidades de infiltración son algo mayores que las terrazas, al tratarse de materiales poco o nada

compactados. Los impactos parciales de E.S. son, en casi todas las porciones, de 1 punto. La densidad de drenaje es baja y la distancia a los principales cauces rara vez supera los 1,5 km.

Puntuación: 2 (1) - 21 (2) (La variación es debida a la distancia a los cauces, y en algunos casos, al impacto al uso (Tajuña)).

SIERRAS

Superficie de Cumbres

Las mayores precipitaciones que en el ámbito de la cuenca, los materiales más impermeables y las pendientes más pronunciadas hacen que se obtengan valores de escorrentía superficial muy altos. En estas unidades la densidad de drenaje es más bien baja al no formarse cauces de evacuación en ellas, y las distancias a cualquier cauce permanente son muy grandes.

Puntuación: 10 (2) - 20 (3) (La variación se encuentra en el impacto conseguido en la escorrentía superficial dependiendo de las precipitaciones).

Laderas

Tienen todas suelos de bajas permeabilidades y pendientes altas, pero las precipitaciones son inferiores que en las cumbres, y por tanto el impacto de E.S. baja. La densidad de drenaje varía según la ladera pero las distancias a cauces siguen siendo altas. Los impactos de uso potencial de los ríos de las sierra son todos altos porque son de buena calidad y los caudales son muy elevados.

Puntuación: 10 (2) - 32 (3) (Predominan las unidades de vulnerabilidad 2, de drenaje medio, y más de 3 km de distancia)

Superficie de Arrasamiento

En estas superficies las permeabilidades son bajas si no existen zonas de alteración del granito o del gneis. Las pendientes también varían si existen ambos ámbitos. La densidad de drenaje es baja y la distancia variable dentro de una misma unidad, debido a su extensión.

Puntuación: 7 (2) - 28 (3) (La variación es debida a la distancia, en la mayoría de las ocasiones)

Superficie de Degradación- berrocales

De nuevo encontramos variación si aparecen relieves residuales en las superficies y si se han formado áreas de alteración de altas permeabilidades. Por estas circunstancias la variación del impacto por escorrentía sup. es muy alto. La distancia a cauces es también muy variable lo que condiciona el impacto por drenaje.

Puntuación: 9 (2) - 30 (4)

Valles

Las pendientes son variables dependiendo del área ya que existe encajamiento fluvial sobre todo en el río Manzanares. Las permeabilidades son altas y los impactos parciales por escorrentía superficial son de 1 y 2 puntos. La densidad de drenaje es alta y la distancia a los cauces es muy variable.

Puntuación: 12 (3) - 30 (5) (Los puntos más altos corresponden a situaciones de alta pendiente y zonas muy próximas a los cauces).

Coluviones

Son zonas donde el impacto por escorrentía es bajo (0-1), el impacto parcial por drenaje es bajo ya que la densidad de drenaje es baja y la distancia a cauces alta. La afección posible a los ríos es alta.

Puntuación: 4 (1) - 11 (2)

Glacis

Es una unidad de alta permeabilidad y pendientes medias-bajas pero las escasas precipitaciones hacen que el impacto por escorrentía no supere 1 punto. La distancia a cauces varía pero la extensión de esta unidad hace que casi siempre existan largas distancias.

Puntuación: 8 - 19 (2)

Divisorias

La situación es muy parecida a la de la unidad anterior. Sólo varía el impacto por drenaje que en este caso es nulo.

Puntuación: 8 - 11 (2)

Los mapas de resultados del diagnóstico de las aguas superficiales corresponden a los de las figuras B1 y B2.

A la vista de estos mapas se puede generalizar que:

- En la cuenca existen pocas zonas con valor de impacto alto porque la lluvia caída por término medio no es suficiente para generar un impacto elevado por escorrentía superficial. Lo máximo en escorrentía superficial son impactos parciales de 1 pto. Las escasas zonas de puntuación elevada en el caso del Manzanares alto, son debidas a la proximidad al cauce. La llanura de inundación del arroyo Culebro también aparece con puntuación alta diferenciándose del resto porque, aunque la calidad puede ser semejante a otros ríos, el escaso caudal hace que el impacto aumente.
- Otra generalidad que puede deducirse de lo visto en la puntuación es que la variabilidad entre el impacto bajo y medio se debe a la situación con respecto al cauce, es decir, a la susceptibilidad de que un contaminante llegue al cauce permanente más próximo.

Cabe añadir que el motivo de que en la mayoría de los casos no exista un único valor sino un intervalo de puntuación se debe a los datos agrupados de pendiente que se han utilizado, y a la variabilidad de la permeabilidad, lo que hace que los valores de impacto de escorrentía superficial se presenten en un intervalo de probabilidad.

- En la sierra también son escasas las parcelas con puntuación de impacto alto. Las que hay se localizan a unos 500 m de los cauces principales.
- No existen zonas de impacto muy bajo (1), principalmente debido a que existen precipitaciones suficientes como para que se infiltre o escurra superficialmente, y además los usos de los ríos de la sierra van destinados al abastecimiento.
- Tanto en la cuenca como en la sierra la lluvia útil es el factor que más afecta; así en la cuenca del Jarama los impactos siempre son muy bajos o bajos (0-1), mientras que en la zona de sierra son mayores, especialmente en las zonas de mayor precipitación. Los otros aspectos (permeabilidad y pendiente) son de carácter secundario respecto a la lluvia útil, afectando en menor grado al valor final del impacto

5.10 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS A LAS U.GMF

5.10.1. Toma de datos

La vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a la instalación de V.R.S.U. se determina, como ya se vió en el apdo 5.5. mediante la infiltración, la capacidad de autodepuración de la Z.N.S. y el uso potencial del agua subterránea.

- Para obtener la cantidad de agua de lluvia que va poder **INFILTRARSE** se sigue el mismo procedimiento que para obtener los excedentes que van a escurrir por la superficie del terreno (con los mismos excedentes se calcula la proporción de infiltración y se obtiene una nueva puntuación de impacto parcial).

- La **CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN** de la Z.N.S. se determina a partir de la caracterización de la permeabilidad de este tramo del sustrato (o en su defecto de la litología predominante), y del espesor hasta el nivel saturado.

Las características geológicas e hidrogeológicas del territorio que comprende la zona del área de la cuenca han sido tomadas del Mapa hidrogeológico de Madrid (ITGE, 1991) y de trabajos previos realizados por diversos autores: López Vera 1975; Villarroya 1977; Villarroya y Rebollo 1978, etc. La representación de los dominios acuíferos considerados se representan en la Fig. 5.16. y las principales características litológicas de las unidades que componen dichos dominios acuíferos son las siguientes:

CUENCA

UNIDAD PEÑUELA

Esta unidad difiere en cuanto a litología y características hídricas y de calidad. Por ello se ha optado por subdividir la unidad en tres dominios (mapa Fig.5.16.): Peñuela.Rivas; Peñuela-Pinto; Peñuela- Madrid.

* La unidad Peñuela-Rivas está constituida principalmente por margas, arcillas verdosas y yesos (IGME, 1988), que la encuadra en el grupo E (Fig.5.5.). El espesor de la Z.N.S. es de 23 m aprox. (López Vera, 1975). La potencia es difícil de precisar. Se suponen entre 40-50 m en Vaciamadrid, y unos 80 m en Paracuellos (op.cit). Se trata de un acuífero de carácter local.

* La unidad Peñuela-Pinto consta de calizas micríticas, calizas margosas, margas blancas,

arcillas margosas con yesos finos intercalados. En conjunto puede definirse como un tramo margo-calcáreo, perteneciente al grupo D. El espesor de la Z.N.S. es de 35 m aprox. La formación litoestratigráfica es de unos 40 m (op.cit)

* La unidad ~~Peñuela-Madrid~~ está formada por arenas micáceas con niveles margosos y margas arenosas, (Grupo C). El espesor de la Z.N.S. es de 30 m aprox. (op. cit). El espesor de la capa es de aprox. 60 m en el oeste y 40 m al este.

UNIDAD VALLECAS

Está constituido por yesos fundamentalmente, pero se han diferenciado dos dominios por las particularidades litológicas de ambas zonas:

* ~~Vallecas Norte~~ (Arganda norte): los yesos se intercalan con margas yesíferas grises y verdes (Grupo D). El espesor de la formación se supone de 100-150 m y pueden estar eventualmente carstificados. La Z.N.S. varía según la posición (CSIC-CAM, 1987).

* ~~Vallecas Sur~~ (Arganda sur): los yesos son de carácter masivo (Grupo D)

UNIDAD GUADALAJARA-ALCALÁ

Está formado por arenas arcillosas, limos y arcillas. Las arenas son muy escasas. Es predominantemente arcilloso (Grupo E). El espesor de la Z.N.S. es de más de 30 m en el interior de la formación. En los bordes disminuye 3-10 m (Villarroya, 1977).

UNIDAD ANCHUELO

La litología consta de arcillas rojas y margas verdes, con algún nivel intercalado de arenas y arcillas (Grupo E). El espesor de la Z.N.S. es de más de 30 m en el centro, pudiendo ser de 3-10 m en los bordes.(Villarroya y Rebollo, 1978)

UNIDAD VILLAREJO

Está constituida por calizas micríticas-margosa, margas blancas y arcillas y margas con alguna intercalación de yesos blancos. La potencia es de unos 50 m en Arganda. Al sur del río Tajuña adquiere un carácter más yesífero apareciendo en el conjunto margo-calcáreo, margas yesíferas

karstificadas. Se supone un espesor medio de 30-35 m (Villarroya y Rebollo, 1978). Infrayacentes se encuentran las gravas con un espesor medio de 15 m (Grupo A). El espesor de Z.N.S. se ha aproximado a 20 m ya que se ha considerado que las gravas están saturadas.

* Páramo de Arganda Norte: en este tramo las calizas del Páramo tienen un espesor medio de 35-40 m (López Vera, 1975) y unos 25 m de base detrítica. Quedan incluidas aquí las calizas infrayacentes de Villarejo de unos 20 m de potencia. Por esta disposición cabe la existencia de dos niveles acuíferos (ver Fig 5.18.):

* P. de Arganda Sur: espesor de las calizas del páramo 30m (Grupo A). Espesor de Z.N.S.: 25-30 m (Calvo et al, 1984).

UNIDAD DE TERRAZAS

JARAMA: terrazas altas constituidas por gravas con matriz arenosa y lentejones de arena y algunos arcillosos. Limos (Grupo B). Espesor de Z.N.S. de 10m . Las terrazas bajas también pertenecen al grupo B, y la zona no saturada puede tener un espesor de unos 5 m (López Vera, 1975).

HENARES: sus terrazas pertenecen todas al grupo litológico B, y el espesor de la Z.N.S. varía entre más de 3 m en las terrazas altas y a menos de 3 m en las bajas y llanura de inundación. (Villarroya, 1977)

MANZANARES: son terrazas conectadas, básicamente arenosas (Grupo B). El espesor de las terrazas altas es de unos 10 m y la potencia hasta el nivel saturado ronda los 10-15 m. En las bajas y llanura de inundación la potencia puede oscilar entre 15-20 m y el espesor de la Z.N.S. es inferior a 3 m (Martínez Alfaro, 1977a).

TAJUÑA: litológicamente están constituidas por limos arcillosos yesíferos o margosos, con niveles de cantos calcáreos (Grupo C). El espesor de las terrazas bajas es de unos 8 m en Titulcia, aumentando a unos 15 m de media hacia Morata de Tajuña. Las terrazas altas pueden tener potencias de hasta 30 m. La Z.N.S. es de unos 5 m (Maestro, 1985).

TAJO: equivalentes a las terrazas del río Jarama.'

SIERRAS

A partir del mapa litológico (CAM, 1986) y las observaciones de campo se le ha asignado a cada porción de U.GMF uno u otro tipo de comportamiento según los seis casos definidos en la parte

karstificadas. Se supone un espesor medio de 30-35 m (Villarroya y Rebollo, 1978). Infrayacentes se encuentran las gravas con un espesor medio de 15 m (Grupo A). El espesor de Z.N.S. se ha aproximado a 20 m ya que se ha considerado que las gravas están saturadas.

* Páramo de Arganda Norte: en este tramo las calizas del Páramo tienen un espesor medio de 35-40 m (López Vera, 1975) y unos 25 m de base detrítica. Quedan incluidas aquí las calizas infrayacentes de Villarejo de unos 20 m de potencia. Por esta disposición cabe la existencia de dos niveles acuíferos (ver Fig 5.18.):

* P. de Arganda Sur: espesor de las calizas del páramo 30m (Grupo A). Espesor de Z.N.S.: 25-30 m (Calvo et al, 1984).

UNIDAD DE TERRAZAS

JARAMA: terrazas altas constituidas por gravas con matriz arenosa y lentejones de arena y algunos arcillosos. Limos (Grupo B). Espesor de Z.N.S. de 10m . Las terrazas bajas también pertenecen al grupo B, y la zona no saturada puede tener un espesor de unos 5 m (López Vera, 1975).

HENARES: sus terrazas pertenecen todas al grupo litológico B, y el espesor de la Z.N.S. varía entre más de 3 m en las terrazas altas y a menos de 3 m en las bajas y llanura de inundación. (Villarroya, 1977)

MANZANARES: son terrazas conectadas, básicamente arenosas (Grupo B). El espesor de las terrazas altas es de unos 10 m y la potencia hasta el nivel saturado ronda los 10-15 m. En las bajas y llanura de inundación la potencia puede oscilar entre 15-20 m y el espesor de la Z.N.S. es inferior a 3 m (Martínez Alfaro, 1974).

TAJUÑA: litológicamente están constituidas por limos arcillosos yesíferos o margosos, con niveles de cantos calcáreos (Grupo C). El espesor de las terrazas bajas es de unos 8 m en Titulcia, aumentando a unos 15 m de media hacia Morata de Tajuña. Las terrazas altas pueden tener potencias de hasta 30 m. La Z.N.S. es de unos 5 m (Maestro, 1985).

TAJO: equivalentes a las terrazas del río Jarama.'

SIERRAS

A partir del mapa litológico (CAM, 1986) y las observaciones de campo se le ha asignado a cada porción de U.GMF uno u otro tipo de comportamiento según los seis casos definidos en la parte

I de este Capítulo (Fig. 5.6.), que será el más característico de ese ámbito geomorfológico, con posibilidad de que se compaginen varios sistemas a la vez. Una aproximación general de cada tipo de U.GMF con los diferentes casos es la siguiente:

CASO 1	Superficie de cumbres y laderas sin berrocal
CASO 2	Superficies grabadas y laderas con berrocal
CASO 3	Superficie de degradación y laderas bajas
CASO 4	Superficie de arrasamiento y superficie de pedimento s.s.
CASO 5	Valles amplios
CASO 6	Valles encajados en cabecera. Torrenteras.

- Los aspectos que son indispensables en la deducción del interés potencial son: espesor saturado de acuífero; permeabilidad de la Z.S.; calidad del agua. Con esta información se entra en las tablas de las figuras 5.6.

Para la toma de datos de estos elementos de diagnóstico se han utilizado los mismos dominios acuíferos empleados en el mapa hidrogeológico hoja 45 (ITGE,1991) y ha servido la misma división según las distintas facies y formaciones litológicas.

A continuación se exponen las principales características hidrogeológicas de las unidades litoestratigráficas consideradas:

CUENCA

UNIDAD PEÑUELA

* Peñuela-Rivas: el espesor saturado del acuífero se prevé entorno a los 20 m, y por su tipo de litología se le ha asignado una permeabilidad de acuífero de 10^{-3} m/d. López Vera (1975), da una permeabilidad local de 203 m/día, y otros ensayos realizados dan permeabilidad de 4 m/día (Lara Segovia, 1974). El agua es de calidad C (dudosa para riego y otros).

* Peñuela-Pinto: espesor saturado de unos 5 m con permeabilidades entre 10^{-1} - 10^{-2} (localmente karstificado). Calidad del agua tipo C.

* Peñuela-Madrid: espesor saturado 10-30 m (20 m de media) y permeabilidad = 10^{-1} - 10^{-2} m/día. Calidad del agua apta para riego y usos recreativos.

UNIDAD VALLECAS

Tanto para Vallecas Norte como Vallecas Sur se ha supuesto un espesor saturado de unos 50 m, aunque esto varía de los bordes al interior. La permeabilidad se ha tomado entorno a 10^{-2} - 10^{-3} m/día, y la calidad del agua se cree es inadecuada para usos convencionales (tipo D).

UNIDAD GUADALAJARA-ALCALÁ

El espesor saturado es de más de 150 m (Villarroya, 1977) y se han medido permeabilidades entre 10^{-1} - 10^{-2} m/día. La calidad del agua es potable (A).

UNIDAD ANCHUELO

Se ha caracterizado esta unidad como de acuífudo con permeabilidades de 10^{-3} - 10^{-4} m/día, y espesores saturados < 50 m. La calidad es de tipo C (Villarroya, 1977).

UNIDAD VILLAREJO

* Tramo ~~Arganda-Anchuelo~~: en el tramo calcáreo el espesor es de 0-5 m ; mientras que en las margas es de 0-3 m en márgenes y aproximadamente 10 m en el interior. La permeabilidad es de 10 m/día en calizas y de 10^{-3} en las margas (López Vera, 1975). La calidad es de tipo B en el acuífero calcáreo y de tipo C en el margoso.

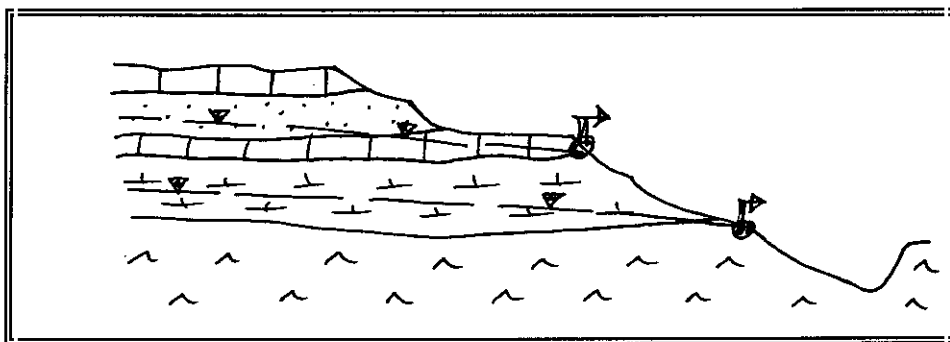


Fig. 5.17. Perfil tipo del tramo Arganda-Anchuelo

* Tramo Chinchón: zona saturada de 0-30 m. Permeabilidad el acuífero margo-calcáreo: 10^{-3} m/día y calidad del agua tipo D.

* Tramo Arganda sur: la zona saturada varía en espesor de los márgenes (0-3 m) al interior (aprox. 10 m). La permeabilidad considerada ha sido 10^{-3} m/día, y calidad D del agua.

UNIDAD DETRÍTICA

En esta unidad se ha tenido en cuenta las calizas de la formación Villarejo ya que es muy probable que el agua percole totalmente y sature el nivel de calizas inferior. El espesor saturado se ha supuesto de 10 m y la permeabilidad de 10 m/día. Calidad tipo B.

UNIDAD PÁRAMOS

* Páramo de Chinchón: espesor de zona saturada = 35 m, como valor medio. No se puede dar un único valor de permeabilidad correspondiente a las calizas karstificadas ya que por debajo hay unos 15 m de gravas saturadas. Villarroya y Rebollo (1978), proponen una permeabilidad de 1 a 4 m/día, y una calidad buena del agua (A).

* Páramo Arganda Norte: zona saturada de 25-30 m con permeabilidades mayores o iguales a 10 m/día y calidad del agua tipo A.

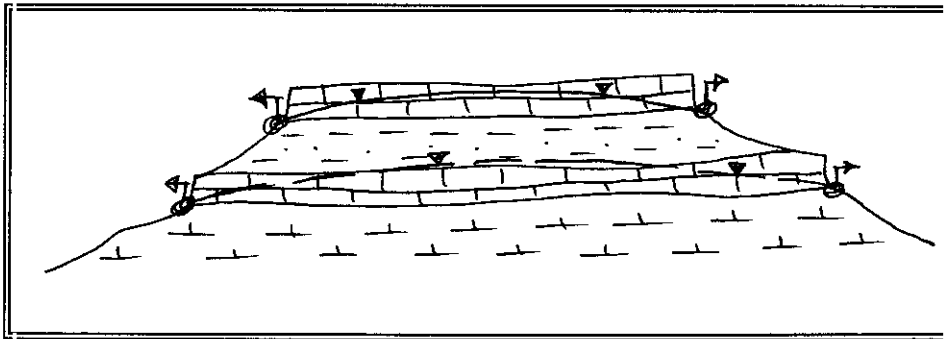


Fig. 5.18. Perfil tipo del páramo de Arganda Norte

* Páramo Arganda Sur: espesor saturado de las calizas de la formación Villarejo entre 20-25 m (la formación tiene aquí una potencia de unos 20 m). Las calizas infrayacentes son karstificadas con frecuentes tramos margosos (Calvo *et al.*, 1984). La permeabilidad pues, es de 1 - 10 m/día, localmente puede haber saturado algún nivel de gravas. La calidad general es de tipo B.

UNIDAD TERRAZAS

JARAMA: terrazas altas: 5 m de espesor saturado, permeabilidad de unos 200 m/día y calidad C y D (López Vera, 1977). Las terrazas bajas : 7 m de zona saturada, unos 300 m/día de permeabilidad de acuífero y calidad tipo C.

HENARES: zona saturada de 2 - 3 m en terrazas altas con permeabilidad de 200 m/día y calidad B. En la vega baja el espesor saturado es de 5 m y la permeabilidad de 300 m/día. Calidad del agua tipo B.

MANZANARES: espesor saturado de 15 m en terrazas altas y 12-15 m en terrazas bajas. La permeabilidad es en ambas de 45 m/día (Martínez Alfaro, 1977a) y la calidad tipo C ó D.

TAJUÑA: la zona saturada ocupa unos 10 m de espesor aproximado, y la calidad del agua es de tipo C. De la Torre y Moro, (1976) da permeabilidades aproximadas a 200 m/día para estas terrazas.

SIERRA

En la sierra se utilizan los mismos seis casos propuestos en la página 89 y su relación respecto a la acogida de vertederos (Fig. 5.6). La clasificación se realizó tomando en cuenta la perspectiva del uso potencial del agua, es decir, su importancia acuífera y su calidad.

En general se trata de acuíferos de poca importancia con dos tipos de permeabilidades, (una correspondiente al macizo rocoso y otra correspondiente al regolito de alteración. La calidad general del agua es de tipo A (tolerable para abastecimiento). La calidad varía entre dos clases fundamentales: sulfatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas (González Yélamos, 1991). En la práctica se podrían establecer tres o cuatro tipos de circunstancias para adjudicar una calidad inicial.

Aguas de Calidad C. (alto contenido en nitratos). Zonas próximas a población y acuíferos someros.

Aguas de Calidad B: en zonas de granito y con población próxima.

Agua de Calidad A: en granitos sin población. En resto de las zonas.

En nuestro caso se ha considerado en todas la posibilidaes una calidad A, ya que la información de que se dispone no es suficiente para poder separar las actividades agropecuarias y la contaminación en los pequeños núcleos de población. Además la posibilidad de contaminación variará en cada caso por las permeabilidades existentes en estos dominios.

5.10.2. Aplicación del método de vulnerabilidad de las aguas subterráneas a las porciones de U.GMF

La distinta información recopilada para la zona de estudio es aplicada a las unidades geomorfológicas cartografiadas de la zona, y con ello se obtendrá una caracterización general de todo el área, y una respuesta de comportamiento a nivel de U.GMF. En algunos casos ésta será homogénea dentro del mismo tipo y en otros, habrá situaciones específicas y repetitivas que darán lugar a los escenarios.

Al final de cada parámetro se expone como conclusión lo que es posible generalizar como U.GMF en cuanto al comportamiento predictivo frente a un V.R.S.U.

La evaluación seguida en cada unidad conlleva el siguiente proceso:

Ejem: unidad superficie de sustitución del páramo nº 1.

- Excedente de la cuenca donde se ubica la unidad: 132 mm (Tabla 5.31.)
- Pendiente de la unidad: 0-8%; 8-16%; 16-30% (Tabla 5.9.)
- Permeabilidad: 0,5-1 m/d (Tabla 5.6.)

INFILTRACIÓN: 70-100% / 70-50% (Fig.5.2. y tabla 5.10.)	Valor I p' : 1 y 2 Peso: 4 I. total: 4 y 6
--	--

- Grupo litológico: Conglomerados (B) (Fig.5.5.)
Calizas (A)
- Espesor de Z.N.S.: Conglomerados 10-30 m
Calizas 20-15 m

AUTODEPURACIÓN Z.N.S.: (Fig. 5.5.)	Valor I p': 3 Conglomerados 4 Calizas Peso: 3 I. total: 9 en Conglomerados 12 en Calizas
---------------------------------------	--

- Espesor de Z.S.: 10 m en conglomerados y 5-10 m en calizas
- Calidad del agua: tipo B (riego) (Tabla 5.21)
- Permeabilidad de la Z.S. : 10 m/d en conglomerados y 2-10 m/d en calizas (Tabla 5.6.)

USO POTENCIAL
(Fig. 5.22)

Valor I p': 2 en Conglomerados
2-1 en calizas
Peso: 2
I. total: 4 y 4-2

SUMA TOTAL: 17-21 en conglomerados (Vulnerabilidad 3) (Tabla 5.18.)
18-24 en calizas (Vulnerabilidad 3-4 dependiendo del espesor de la Z.N.S.)

5.10.3. Síntesis de los resultados por parámetros en las distintas U.GMF

5.10.3.1. Infiltración

Con estos valores generales de entrada en los ábacos se obtienen los siguientes intervalos de porcentaje de infiltración, así como el impacto parcial general de las U.GMF tipo.

INFILTRACIÓN

CUENCA			
FACIES	UNIDAD	INTERVALOS	IMPACTOS
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	70 - 90%	1 y 2
	<i>Escarpes</i>	50 %	1
	<i>Fondos valle</i>	10 - 30 % 30-50%	0 y 1
	<i>Vert. glacis</i>	variable	0 a 2
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	0 - 30 %	0
	<i>Glacis acum.</i>	30 %	0
	<i>Fondos valle</i>	30 - 70 %	0-1
	<i>Coluviones</i>	30 %	0
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	50 - 70 % / 70-100%	1 y 2
	<i>Sp</i>	70 - 90% / 90-100%	2
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	30-70 % 50-90 %	0 - 1
	<i>Terrazas</i>	30-70 % 30-50 %	0 - 1
	<i>Coluviones</i>	30 - 50 % / 30-70%	0 - 1

SIERRAS			
ELEVACIONES	<i>Cumbres</i>	0 - 10 %	0
	<i>Laderas</i>	0 - 10 %	0
SUP. ARRASAMIENTO	<i>Sup. Arrasa.</i>	0 - 10 % / 90-50%	0 a 3
	<i>Sup Degrada.</i>	0-10% 30-70%	0 a 4
VALLES	<i>Fondos valle</i>	0 - 10 % 50-90%	0 a 2
	<i>Coluviones</i>	50 - 90 %	2 a 4
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	70-100 % 50-90%	2 a 3
	<i>Divisorias</i>	50-100 %	2 y 3

Tabla 5.40. Impactos parciales por infiltración.

Los resultados obtenidos en la infiltración están condicionados por las precipitaciones existentes, que suele ser el factor principal que impide que se produzcan, en general, impactos muy altos en cualquiera de los dos parámetros relacionados: infiltración-E.S. Las conclusiones están íntimamente relacionadas con las de E.S. y el comportamiento de cada unidad puede igualmente consultarse en el apartado 5.9.3.1.

5.10.3.2. Zona no Saturada

En la tabla 5.41. figuran los grupos litológicos más comunes en cada tipo de U.GMF así como las profundidades del nivel freático más características de cada unidad.

ZONA NO SATURADA

CUENCA				
FACIES	UNIDAD GMFL	GRUPO LITOLOGICO	PROF. n.F (m)	Obser.
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	E y D	23 ó >30	*1
	<i>Escarpes</i>	D	> 30	*2
	<i>Fondos valle</i>	variable	variable	
	<i>Vert.glacis</i>	D y E	variable	*3
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	E	3-10	*4
	<i>Glacis acum.</i>	E	variable	*4
	<i>Fondos valle</i>	E	<3	*5
	<i>Coluviones</i>	E	variable	*6
PÁRAMO	<i>Ssp</i>	E y B	< 3 ó 10-30	*7
	<i>Sp</i>	A	20	*8
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	B	0-5	*9
	<i>Terrazas</i>	B	10-15	*9
	<i>Coluviones</i>	B	variable	
SIERRAS				
ELEVACIONES	<i>Cumbres</i>	F	<3	*10
	<i>Laderas</i>	F y A	<3	*10
SUP. ARRASAMIENTO	<i>Sup. Arrasa.</i>	A y F	<3	
	<i>Sup Degrada.</i>	A y F	<3	
VALLES	<i>Fondos valle</i>	A	<3	
	<i>Coluviones</i>	A	según Pte	
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	A	3-10 (>10)	
	<i>Divisorias</i>	A	3-10 (>10)	

Tabla 5.41. Resumen de los parámetros de la Z.N.S. para las U.GMF tipo.

*1 Cerros muy frecuentes en la formación Peñuela-Rivas en margas verdosas y yesos- Algunos cerros se encuentran en la formación Peñuela-Pinto en calizas de la serie blanca. Los primeros tienen un espesor de Z.N.S. de 23 m y los de la serie blanca alcanzan más de 30 m hasta el N.F.

*2 Escarpes localizados en la formación Vallecas constituidas por yesos y margas yesíferas verdes y grises y más de 30 m de Z.N.S..

*3 Vertientes glacis son de dos tipos litológicos D y E. Los D pertenecen a las formaciones de Peñuela-

Pinto de carácter margo-calcáreo, y de la formación vallecas que es de carácter yesífero. Las vertientes glaciales del grupo E pertenecen o a la formación Anchuelo de arcillas rojas y margas verdes, o a la formación Villarejo calco-margosa. Las potencias de Z.N.S. varían desde los bordes al interior de la formación.

*4 Las vertientes glaciales y glaciales de acumulación de las facies detríticas se localizan en las formaciones de Anchuelo y Alcalá, y pertenecen al grupo E de composición principalmente arcillosa con niveles arenosos intercalados.

*5 Los fondos de valle de las facies detríticas se encuentran en la formación Villarejo Norte en tramo margoso de esta formación.

*6 Los coluviones son procedentes de la formación Alcalá y Villarejo Norte.

*7 Las superficies de sustitución del páramo pertenecientes al grupo E están constituidas por el tramo margo-calcáreo de la formación Villarejo, y las del grupo B las constituyen la unidad detrítica intramiocena de composición conglomerática. Los niveles inferiores a 3 m corresponden a las ssp pertenecientes al grupo E.

*8 Páramos de Arganda y Chinchón de naturaleza carbonatada y niveles de unos 20 m en los de Chinchón y de 25-30 m en los de Arganda.

*9 Las llanuras de inundación y terrazas son en su mayoría del grupo B: gravas con matriz arenosa con lentejones de arena y algunos arcilloso; limos. Algunas llanuras son del grupo C (Tajuña) con mayor proporción de finos que disminuyen la permeabilidad. El espesor de Z.N.S. varía de las Terrazas altas a las terrazas bajas (< 3 m).

*10 En la sierra el nivel freático indicado en la tabla 5.11 es muy variable y depende de la densidad de fracturas, y del espesor de alteración que es el que constituye el verdadero acuífero. La pendiente de este sustrato de alteración también es importante en la variación del nivel.

Los resultados de impacto en la Z.N.S. son de forma general, los siguientes:

ZONA NO SATURADA

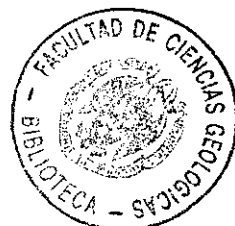
CUENCA			
FACIES	UNIDAD GMFL	IMPACTO parcial	OBSERV.
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	0	*1
	<i>Escarpes</i>	1	
	<i>Fondos valle</i>	2	*2
	<i>Vert.glacis</i>	0, 1 y 2	*3
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	1 y 0	*4
	<i>Glacis acum.</i>	1 y 0	*5
	<i>Fondos valle</i>	2	
	<i>Coluviones</i>	0, 1 y 2	*6
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	2, 3 y 4	*7
	<i>Sp</i>	4	
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	3	
	<i>Terrazas</i>	3	
	<i>Coluviones</i>	3	
SIERRAS			
ELEVACIONES	<i>Cumbres</i>	(Caso1)=2	
	<i>Laderas</i>	(Caso 3)=2 (Caso2)=2	*8
SUP. ARRASAMIENTO	<i>Sup. Arrasa.</i>	(Caso 4)=2-4(Caso3)=2	*9
	<i>Sup Degrada.</i>	(Caso 2)=2 (Caso4)=4	*10
VALLES	<i>Fondos valle</i>	(Caso 5 y 6)=4	*11
	<i>Coluviones</i>	(Caso4)=4	*12
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	4	*13
	<i>Divisorias</i>	4	*13

Tabla 5.42. Impacto parcial por degradación en la Z.N.S.

*1 Los cerros presentan un impacto muy bajo en la concentración del contaminante, excepto en las facies de la unidad Peñueña-Pinto donde los materiales aumentan su permeabilidad (1 punto).

*2 Fondos de valle: Obtienen puntuación superior o igual a la unidad en la que se ubican.

*3 En las Vertientes Glacis existe mucha variedad en el grado de autodepuración de la Z.N.S. debido tanto a la profundidad hasta el nivel saturado, como por las características litológicas. En las litologías del grupo E (menos permeables), el impacto es menor en el interior de las unidades que en el exterior o bordes. En la unidad Vallecas (Grupo D) el impacto es bajo (1 punto).



*4 En las vertientes glacis de la facies detríticas se obtiene un impacto parcial bajo por degradación en la Z.N.S., pero en puntos centrales de la unidad aumenta el espesor y por tanto, disminuye el impacto parcial.

*5 Los glacis de acumulación varían de 1 a 0 dependiendo de la unidad litológica y de la posición en la unidad.

*6 Los coluviones presentan impacto variable en función al espesor de la Z.N.S. de cada una de las formaciones litológicas.

*7 La ssp presenta impactos medios por degradación en la Z.N.S. (2), pero en las facies conglomeráticas el impacto se hace mayor.

*8 Aunque ambos casos de ladera adquieren la misma puntuación, es el caso 2 (ladera con berrocal) la más favorable para ubicar vertederos.

*9 En las superficies de arrasamiento pueden presentarse varios casos. Si se trata del caso 3 el impacto parcial es de 2 puntos y si se trata del caso 4 puede haber dos situaciones en función a la litología. El más favorable es el caso 3.

*10 Esta superficie varía en características en el ámbito de estudio siendo en la sierra de Hoyo mucho más abrupta y con mayor número de relieves grabados y berrocales. Aquí presentaría un tipo de funcionamiento del caso 2, más favorable que en terrenos planos con relieves dispersos (caso 4).

*11 Aunque el impacto no varía en función de la dispersión de sedimentos que haya acarreado el río (que aumenta hacia el tramo bajo de la zona), sin embargo es más favorable una situación tipo 5 que el caso 6 para ubicar vertederos..

*12 Los coluviones han sido puntuados con impactos altos debido a su alta vulnerabilidad ante la contaminación, aunque sus características pueden variar de unos coluviones a otros.

*13 Las facies arcósicas adquieren impactos muy altos por los mismos motivos que los coluviones. Son unidades con gran facilidad de infiltración, y un espesor variable de la zona no saturada. Estos son evaluados como acuíferos libres semejantes a los de la cuenca.

5.10.3.3. Uso potencial

En la siguiente tabla (Tabla 5.43.) se agrupan los resultados de los aspectos estudiados, para la caracterización de las U.GMF.

USO POTENCIAL

CUENCA					
FACIES	UNIDAD GMFL	ESPESOR SATURADO (m)	PERMEABILIDAD (m/d)	CALIDAD	OBSE
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	20 m	10^{-3}	C	*1
	<i>Escarpes</i>	50	$10^{-2} - 10^{-3} > 10^{-1}$	D	
	<i>Fondos valle</i>	< 3	$< 10^{-1}$	variable	
	<i>Vert.glacis</i>	variable		C y D	*2
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	<50	$10^{-3} - 10^{-4} 10^{-3} -$	C	*3
	<i>Glacis acum.</i>	>150 ó < 50	10^{-4}	A ó C	*4
	<i>Fondos valle</i>	0-3	10^{-3}	C	
	<i>Coluviones</i>	>150 ó <50	$10^{-3} - 10^{-4}$	A ó C	*4
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	5-10 / 0-30	$1-10/10^{-3}$	B ó D	*5
	<i>Sp</i>	35	1-4	A	*6
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	variable	variable	C	*7
	<i>Terrazas</i>	5-15	45-200	C y D	
	<i>Coluviones</i>	5-15	45-200	C y D	
SIERRAS					
ELEVACIONES	<i>Cumbres</i>	Acuífero muy pobre		A	
	<i>Laderas</i>	Acuífero muy pobre		A	
SUP. ARRASAMIEN.	<i>Sup. Arrasa.</i>	acuífero pobre		A(excep.)	
	<i>Sup De-grada.</i>	ac. muy pobre ó pobre		A	
VALLES	<i>Fondos valle</i>	acuífero pobre		A	
	<i>Coluviones</i>	acuífero pobre		A	
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	acuífero interesante		A	
	<i>Divisorias</i>	acuífero interesante		A	

Tabla 5.43. Resumen de los parámetros del uso potencial para las U.GMF tipo.

- *1) El espesor saturado de la formación Peñuela-Rivas es de unos 20 m y mala calidad del agua. El espesor disminuye y la calidad y la permeabilidad aumenta en los cerros de la Unidad Peñuela-Pinto.
- *2) En los glacis de la unidad Peñuela la calidad es de tipo C y el espesor saturado es de <50 m. En la unidad Vallecas la calidad es D y la permeabilidad es menor.
- *3) El espesor acuífero aumenta a más de 150 m en las vertientes glacis de la Unidad Alcalá. Aumenta la calidad y la permeabilidad.
- *4) Las características que definen el uso potencial están separadas en dos grupos de repercusiones diferentes. Si se trata de la Unidad Anchuelo, los glacis de acumulación presentan mejores condiciones de uso si se trata de la unidad Alcalá que si se trata de la Unidad Anchuelo.
- *5) En la ~~superficie de sustitución del páramo~~ de tramo margo-calcareo el espesor saturado es mayor que en facies conglomeráticas y la calidad aumenta.
- *6) Los Páramos de Arganda varían estas características generales y el espesor saturado pasa de 20-30 m y calidad B.
- *7) La ~~llanura de inundación~~ varía en sus características según el río de que se trate. La permeabilidad de la llanura de inundación del arroyo Culebro es la más baja y la calidad es en todos muy baja excepto la del río Henares.

Para determinar el impacto al uso potencial del agua subterránea en la zona de la sierra se podía utilizar el espesor saturado, la permeabilidad o bien la determinación de si se trataba de zonas de acuíferos buenos, regulares o malos. Al no conocer cuánto es el espesor saturado en cada porción ni tampoco la permeabilidad del sustrato, se ha optado por utilizar el último elemento de diagnóstico. Con él, (con la caracterización del acuífero) junto con la calidad del mismo se obtiene el impacto o vulnerabilidad del uso potencial del agua subterránea.

En el ámbito de la sierra fundamentalmente hay contaminación microbiológica en torno a poblaciones y granjas y zonas de pasto. No se precisa la cuantía de esta afección y sus localizaciones concretas. Las captaciones contaminadas por coliformes pueden no estarlo en otros pozos retirados tan sólo 100 m de aquellos. Se estima un uso tolerable para el abastecimiento pero es preciso contar con ésta posible afección local de la calidad del agua.

Los valores de impacto al uso potencial de los acuíferos por U.GMF son los siguientes:

USO POTENCIAL

CUENCA		
FACIES	UNIDAD	IMPACTO parcial
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	0
	<i>Escarpes</i>	0
	<i>Fondos valle</i>	0
	<i>Vert. glacis</i>	0
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	0 y 2 (según facies) 1 y 0
	<i>Glacis acum.</i>	0 y 2
	<i>Fondos valle</i>	0
	<i>Coluviones</i>	0 y 2
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	0 y 2
	<i>Sp</i>	3
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	0 ó 1
	<i>Terrazas</i>	0 ó 1 y 2
	<i>Coluviones</i>	0 ó 1 y 2
SIERRAS		
ELEVACIONES	<i>Cumbres</i>	(Caso1)=2
	<i>Laderas</i>	(Caso 3)=2 (Caso 4)=3
SUP. ARRASAMIENTO	<i>Sup. Arrasa.</i>	(Caso4)=3 (Caso3)=2
	<i>Sup Degrada.</i>	(Caso 2)=2 (Caso 4)=3
VALLES	<i>Fondos valle</i>	(Caso 5 y 6)=3
	<i>Coluviones</i>	(Caso 4)=3
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	Variable
	<i>Divisorias</i>	Variable

Tabla 5.44. Impacto parcial por uso potencial del agua subterránea.

En general en la zona de cuenca el interés acuífero es muy bajo y por tanto el impacto es bajo condicionado por la mala calidad del agua subterránea. Las llanuras de inundación del río Henares son las que adquieren mayor impacto por uso (calidad) y las terrazas pueden sufrir impactos debido, además, a la alta permeabilidad del acuífero. Los páramos son acuíferos interesantes y de buena calidad por lo que podrían sufrir impactos altos. En sierras el diagnóstico y resultados son iguales que para la Z.N.S.

5.10.4. Vulnerabilidad de las aguas subterráneas para la ubicación de V.R.S.U. Conclusión

Se expone a continuación una tabla resumen de los parámetros y elementos utilizados en la caracterización subterránea por unidades sedimentarias. En el ámbito de la sierra se plantean las puntuaciones hipotéticas en las situaciones descritas en los casos anteriores. Debe utilizarse a modo de generalidad y no olvidar que en cada tipo de U.GMF intervienen, en la mayoría de las ocasiones, más de un sólo caso.

		GRUPO	Z.N.S.	Z.S.	CALIDAD	PERMEA.
PEÑUELA	Rivas	E	23 m	20 m	C	10 ⁻³ m/d
	Pinto	C	30 m	10-30 m	B	10 ⁻¹ - 10 ⁻²
	Pinto	D	35 m	5 m	C	10 ⁻¹ - 10 ⁻²
VALLECAS		D	variable	50 m	D	10 ⁻² - 10 ⁻³
GUADA-ALCALÁ		E	<30 centro 3-10 bordes	>150 m	A	10 ⁻¹ - 10 ⁻²
ANCHUELO		E	idem	<50 m	C	10 ⁻³ - 10 ⁻⁴
VILLAREJO	Arg-Anch.	E	15-20 m Cal < 3 m Marga	5-10 m en Calizas 0-3 márgenes 10 m interior	B-C	10 m/d 10 ⁻³ m/d
	Sur Argan	B / E	0-3 m Marga 15 m Cal	idem	D-C	10 ⁻³ m/d 1-10 m/d
	Chinchón	E	< 3 m márg. 30 interior	0-30 m	D	10 ⁻³ m/d
CONGLOMERADOS		B	10-30 m	10 m	B	10 m/d
PARAMOS	Chinchón	A	20 m	35 m	A	1-4 m/d
	Argan. N	A	5-10 m	25-30 m	A	>10 m/d
	Argan. S	A	25-30 m	25-30 m	B	1-10 m/d
TERRAZA JARAMA	Altas	B	10 m	5 m	C y D	200 m/d
	Bajas y LL.I.	B	5 m	7 m	C	300 m/d
TERRAZAS HENARES	Altas	B	>3 m	2-3 m	B	200 m/d
	Bajas	B	< 3 m	5 m	B	300 m/d
TERRAZAS MANZANA- RES	Altas	B	10-15 m	15 m	C ó D	45 m/d
	Bajas	B	< 3 m	12-15 m	C ó D	45 m/d
VEGA DEL TAJUÑA		C	5	10 m	C	200 m/d

Tabla 5.45. Resumen de las características hidrológicas en las distintas unidades litoestratigráficas consideradas.

CUENCA				
FACIES	UNIDAD GMF	INTERVALOS DE VULNERA.	CATEGORIA DE VULNER.	
QUÍMICAS Y TRANSICIÓN	<i>Cerros</i>	4/7-11	1/2	muy bajo-bajo
	<i>Escarpes</i>	7	2	bajo
	<i>Fondos valle</i>	7-11	2	bajo
	<i>Vert.glacis</i>	3-11/6-14	1-2/2-3	muy B- bajo/ bajo-medio
DETRÍTICAS	<i>Vert. glacis</i>	0-4/7	1/2	muy B- bajo
	<i>Glacis acum.</i>	0-4/7	1/2	muy B-bajo
	<i>Fondos valle</i>	6-10/6	2/1	bajo-muy B
	<i>Coluviones</i>	4-6	1	muy B
PÁRAMOS	<i>Ssp</i>	10-24	2-4	bajo-alto
	<i>Sp</i>	24-26	4	alto
VEGAS	<i>Llanura inun.</i>	13-22	2-4	bajo-alto
	<i>Terrazas</i>	11-18	2-3	bajo-medio
	<i>Coluviones</i>		3	medio
SIERRAS				
ELEVACIONES	<i>Cumbres</i>	4-10	1-2	muy B-bajo
	<i>Laderas</i>	10	2	bajo
SUP. ARRASAMIENTO	<i>Sup. Arrasa.</i>	12-30	2-5	bajo-muy A
	<i>Sup Degrada.</i>	10-26 ó 12-34	2-5	bajo-muy A
VALLES	<i>Fondos valle</i>	18-26	3-4	medio-alto
	<i>Coluviones</i>	20-34	4-5	alto-muy A
ARCOSAS	<i>Glacis</i>	25-32	4-5	alto-muy A
	<i>Divisorias</i>	25-32	4-5	alto-muy A

Tabla 5.46. Impacto total a las aguas subterráneas en las U.GMF tipo.

CUENCA**Cerros**

Los impactos pueden ser de dos tipos: muy bajos o bajos. Esta división coincide con la localización de los cerros, bien en la facies Peñuela-Rivas (M.B.) o en Peñuela-Pinto (B). En los segundos mejora la calidad del agua y la permeabilidad de la Z.N.S. aumenta, incrementándose así el impacto en la capacidad de autodepuración en la zona no saturada.

Puntuación: 4 (1) y 7-11 (2) (4 puntos en los cerros situados en la unidad Peñuela-Rivas y 7-11 puntos en Peñuela-Pinto)

Escarpes

Toman impactos parciales por infiltración de un punto. El impacto parcial en la Z.N.S. es también de un punto por la permeabilidad, y la mala calidad del agua hacen que el impacto al interés potencial del agua sea nulo.

Puntuación: 7 ptos (1).

Vertientes glacis

Las características de las vertientes glacis varían en dos unidades:

* U. Peñuela: el poder de autodepuración varía si se trata del borde o del interior de la unidad, siendo menor en el interior. La calidad es de tipo C y el impacto por infiltración es mayor que en el resto de las formaciones con este tipo de litología.

* U. Vallecas: empeora la calidad y mejora el impacto por autodepuración.

Puntuación: 3-11 (1 y 2) en U. Peñuela
6- 14 (2 y 3) en Vallecas

Fondos de valle

Sus características son variables dependiendo de si nos situamos en cabecera o en el tramo bajo. El impacto suele ser un poco superior al de la unidad donde se encuentre cuando el impacto de ésta es muy bajo.

Puntuación: 7 - 11 (2)

Vertientes glacis y glacis de acumulación

El impacto en la Z.N.S. disminuye en el interior de la unidad y tanto calidad, permeabilidad como espesor acuífero aumenta en las vertientes glacis de la U. Alcalá.

Puntuación: 0 - 4 (1) y 7 (2) (I=1 cuando la unidad no está en la U. Alcalá)

Fondos de valle

La variación de los que hay cartografiados en la zona son de impacto bajo excepto uno que por la precipitación media de la zona no alcanza el impacto 2.

Puntuación 6-10 (2) y 6 (1)

Coluviones

Presentan todos impactos totales muy bajos pero por diferentes motivos. Los coluviones de la U. Villarejo Norte tienen un impacto en la autodepuración de tipo medio, debido al poco espesor de Z.N.S. En los de la U. Alcalá, sin embargo, mejora la calidad y permeabilidad del acuífero y empeora el impacto en la Z.N.S.

Puntuación: 4 - 6 (1)

Superficie de sustitución del páramo

Esta superficie ha quedado dividida en función a la diferencia de litología entre calizas y conglomerados de la base del páramo. Las calizas obtienen puntuaciones intermedias y los conglomerados entre impactos altos a medios. Debido a la mayor vulnerabilidad de los conglomerados frente a las calizas se ha preferido destacarle con mayor impacto. Otro caso lo presenta la ssp de Chinchón, que ha obtenido poco impacto. Sin embargo si se produjeran precipitaciones cuya lluvia útil fuera superior a 145 mm/año de media, el impacto podría aumentar.

Puntuación: 10 (2) - 24 (4)

Páramo

La gran superficie del páramo cartografiada ha obtenido impacto alto pero sus características varían. Se ha compartimentado en cuatro sectores. Longitudinalmente reciben diferentes aportes de precipitación y ha variado la infiltración potencial. Transversalmente se ha dividido porque las características litológicas varían y por tanto la Z.N.S. y Z.S. varían también.

Dentro de los páramos se han cartografiado zonas detríticas o dolinas de subsidencia que son zonas de drenaje deficiente y puntos de mayor vulnerabilidad a la afección subterránea (IGME, 1975). Es por ello que se han puntuado más alto que el resto del páramo para resaltar su carácter más vulnerable.

Puntuación: 24 - 26 (4)

Terrazas

Presentan puntuaciones intermedias (imp = 3) y no mayores debido a la escasa precipitación y en ocasiones a la mala calidad del agua subterránea en terrazas (por ejem. las del Jarama). Otras veces la puntuación es menor (1 = 2) porque tienen mala calidad y las permeabilidades son menores (Tajuña).

Puntuación: 11 - 18 (2-3)

Llanura de inundación

Ocurre igual que en las terrazas. No obtiene puntuaciones mayores porque recibe poca lluvia útil para infiltrar, y sobre todo porque la calidad es muy baja (C ó D), lo que hace disminuir la utilización potencial a pesar de las altas permeabilidades. Igual ocurre con la llanura de inundación del Tajuña. El acuífero aluvial de este río tiene menor permeabilidad porque hay dominio de yesos y margas. Además su litología tiene poca capacidad de retener sustancia contaminantes, lo que hace que disminuya la capacidad de degradación de la zona no saturada. Es por ello que la puntuación es de impacto 2 y no de 3.

A la llanura de inundación del río Henares le hemos adjudicado un impacto alto a pesar de que su puntuación recomienda un valor intermedio de impacto. Esto se ha hecho ya que su acuífero aluvial es de calidad tipo B y además de buena permeabilidad, lo que hace que su interés potencial aumente con respecto a los demás. Se trata de un caso distinto de llanura de inundación.

Puntuación: 13 - 22 (2 y 4)

Coluviones

Están asociados a las características de las terrazas altas de los distintos ríos. Tienen pues puntuaciones similares.

Puntuación: intermedia.

SIERRA

En la sierra las U.GMF han quedado clasificadas en función a los distintos casos de comportamiento subterráneo que puede llevar el agua. Muchas unidades compaginan varios casos, pero con el fin de establecer un comportamiento general para cada unidad, tomamos el más frecuente. Los impactos adjudicados pueden aumentar si la infiltración es alta.

CASO 1: Impacto muy bajo (0-4 ptos): superficies de cumbre y laderas sin berrocal.

CASO 2: impacto bajo (5-9 ptos): superficies grabadas y laderas con berrocal.

CASO 3: impacto medio (10-14 ptos): superficie de arrasamiento en general, y laderas bajas.
Glacis en arcosas.

CASO 4: impacto alto (15-19): superficie de arrasamiento s.s.

CASO 5: impacto muy alto (20-24): tramos inferiores de ríos principales.

NOTA: En el mapa de vulnerabilidad final (Mapa C1) Algunas unidades presentan puntos rojos que indican que el color de la unidad depende únicamente de la calidad del agua subterránea, que puede ser C ó D, y que no es posible precisar. Los mapa resultantes son los de la Fig. C1

y C2.

En estos resultados predominan las áreas de vulnerabilidad baja y muy baja ocupando preferiblemente relieves ondulados de glacis y relieves de sustitución del páramo. Las zonas de vulnerabilidad intermedia ocupan los principales valles siendo la calidad del agua de estos aluviales lo que hace disminuir su vulnerabilidad. Los mayores impactos se producen en la superficie del páramo. En la sierra las cinco categorías de vulnerabilidad se encuentran representadas de forma más o menos equitativa, a excepción de las áreas de vulnerabilidad muy baja que sólo se localizan en algunas superficies de cumbre.

Las distintas subdivisiones de las porciones que se han tenido que realizar en las unidades de la cuenca han sido debidas fundamentalmente a:

- su participación en distintas unidades acuíferas (Glacis Tajo/Tajuña, por ejem.). En ocasiones, aunque pertenecían a distintos acuíferos, han obtenido igual impacto y pertenecen al mismo intervalo de vulnerabilidad (por ejem. los glacis de Pinto).
- Su situación respecto al límite de la porción: ha sido muy frecuente compartimentar las unidades en condiciones de borde de la formación o en zonas de interior, ya que este hecho condiciona la potencia de Z.N.S.
- La permeabilidad: en otros casos ésta ha sido el condicionante para obtener puntuaciones muy dispares, bien por estar en zonas de contacto entre dos facies, bien por presentar litologías compuestas.

En la sierra el papel de las U.GMF es muy importante ya que en sí misma define unas características hidrogeológicas más o menos homogéneas. El mapa resultante en este ámbito refiere una idea global de cuál puede ser la situación general; pero dentro de una misma unidad pueden darse varios casos de funcionamiento hidrodinámico. Por ello, en la sierra algunas porciones han sido subdivididas en función de sus características geomorfológicas. Es decir, allí donde eran más profusos los relieves residuales en una superficie, se han separado del resto de la unidad. Igualmente los valles aluviales han sido separados en tramos altos de menor extensión superficial de sedimentos, y los tramos bajos de mayor espesor y extensión.

En otros casos, la propia permeabilidad o pendiente de la unidad obligaba a separar ámbitos distintos, ya que condicionaba en gran medida la capacidad de infiltración.

Parte III : CONCLUSIONES DEL MÉTODO DE LAS U.GMF

5.11. CONCLUSIONES

5.11.1. Conclusiones sobre el método de planificación mediante U.GMF

Las principales conclusiones que se pueden extraer del método propuesto son:

- Las precipitaciones medias que se registran en el área de la cuenca hacen que la escorrentía superficial no produzca un impacto elevado, y el impacto total no alcance grandes valores. Sin embargo, hemos visto que, en años especialmente húmedos o en periodos de precipitaciones muy intensas, la capacidad del terreno de generar escorrentía es muy alta, cosa que aumentaría el impacto. En el área de la sierra, estas precipitaciones intensas pueden provocar, en tan sólo dos días, el encharcamiento, situación muy peligrosa para un vertedero. En nuestro clima sería interesante trabajar con datos de intensidad de lluvia y precipitaciones máximas, pero este nivel debe quedar para otras escalas más detalladas de trabajo.

Se constata la poca operatividad de algunos parámetros en ciertas unidades muy alejadas de cauces principales.

- En primer lugar, parámetros como la distancia a cauces implica una sobreprotección de la afección de las aguas superficiales ya que la dispersión del contaminante que produce un V.R.S.U. es sólo hacia la zona de máximo gradiente topográfico y su atenuación superficial puede ser bastante eficaz en tan sólo algunos metros desde el pie del vertedero (Adarve, 1993). Unido a este parámetro se le añade la circunstancia del tamaño de la porción de unidad considerada, cuya distancia a los cauces principales varía de un extremo a otro de la porción.

- Igualmente se podría prescindir del valor de uso del agua superficial en aquellas unidades alejadas tanto de los ríos que es casi imposible que el agua de arroyada llegue a él. Con esto la influencia del uso sobre la unidad alejada quedaría anulado. A la escala propuesta el hecho de dar un peso bajo a este parámetro implica otorgar menor importancia a esta circunstancia con lo cual los resultados no están tan condicionados por este valor, sin embargo debe ser tenido en cuenta a escalas mayores.

- Cuando la información de la que se dispone para entrar en los cuadros y gráficos de valoración de impacto no son valores únicos sino que van agrupados en un intervalo de posibilidades. -por ejemplo, se tienen datos de pendiente de una U.GMF que van desde 2 a 16%, o bien, no tenemos certeza de cuál es la pendiente única y entonces utilizamos un intervalo de probabilidad-, los resultados también reflejarán un intervalo de probabilidad de impacto, lo cual aunque supone una mayor dificultad gráfica, aumenta la calidad y la capacidad evaluadora del método.

- Es importante considerar escurrimientos subterráneos cuando se cambie de escala. Esto podría aumentar el impacto en algunas porciones del área de la sierra, por ejemplo en laderas con berrocal. En el estudio evaluamos que la afección a aguas subterráneas no puede predecirse porque el grado de fracturación de cada porción no se conoce. Es de suponer que debido a la pendiente, en los primeros metros el agua circule a favor de la pendiente, pero en los macizos rocosos no podemos asegurarlo. En la construcción de V.R.S.U. sería interesante localizar cubetas morfológicas, o bien aislar o quitar el sedimento superior y sustituirlo por arcillas de baja permeabilidad, que es lo que comúnmente se realiza en vertederos bien gestionados.

- Los valores de impacto alto son siempre muy destacados, es decir, obtienen una valoración muy distinta de los restantes. Este es un dato positivo, porque muestra que el método es muy eficaz en la detección de problemas externos.

5.11. 2. Carácter predictivo de la U.GMF

A) PAISAJE

A pesar de la desigual puntuación conseguida dentro del mismo tipo de U.GMF en el área de la cuenca, se puede afirmar que, en los parámetros considerados en este estudio, el comportamiento de la U.GMF es homogéneo respecto a la adecuación de un V.R.S.U. Las principales divergencias se producen en cuanto a:

- Litología: por ejemplo, los glacis de relieves alomados presentan mosaicos de secanos y almendros o olivos y vides cuando están en calizas o en facies de transición; pero cuando están en facies químicas aparece matorral gypsícola de bajo porte.

- Morfología: cuando la morfología dentro de una unidad es muy variable se producen resultados diferentes; por ejemplo en los glacis, cuya topografía depende del grado de erosión sufrida y también de la litología.

- Características introducidas: con bastante frecuencia la puntuación se debe a características introducidas en el medio, tales como:

- * la proximidad de carreteras o poblaciones que aumentan la visibilidad de un determinada porción.
- * La repoblación de una parte de la porción de unidad .
- * La construcción de canales o embalses, etc.

- Conservación natural: este factor aleja a la U.GMF de su posible capacidad predictiva

en función del estado de alteración de la morfología original de una determinada porción, como por ejemplo en los páramos.

La convergencia entre unidades, aunque existe, es reducida. Por ejemplo entre llanura de inundación, terrazas bajas y medias, y coluviones y conos asociados a ellas se presentan los mismos umbrales de visibilidad, la fertilidad del suelo acoge cultivos equivalentes (paisaje similar) y su relieve plano se modifica por igual con la presencia de un V.R.S.U.

En las sierras también se cumple, en términos generales, el carácter homogéneo de las unidades tipo, pero en algunos aspectos se aleja más del carácter predictivo en paisaje que en el área de la cuenca.

Las principales divergencias que ocasionan la compartimentación de la U.GMF están relacionadas con la extensión de las porciones ya que se producen variaciones en:

- Vegetación: en ocasiones la modificación de la vegetación no radica en las repoblaciones sino en la presencia de núcleos de población que reforestan jardines particulares con especies variadas y que confieren al paisaje un aspecto "verde" que rompe la característica tradicional paisajística y reduce el campo visual al ser de alta compacidad.
- Visibilidad: en líneas generales la visibilidad de las U.GMF es bastante reducida debido a factores como su extensión, la presencia de relieves residuales que reducen el umbral de visión, o debido a la vegetación (generalmente frondosas). Además, en este factor influye la época del año que determina la compacidad de la vegetación.
- Presencia de agua: la distinta profundidad del suelo hasta un nivel de roca impermeable, favorece los encharcamientos temporales dotando así de características especiales algunas porciones estudiadas.
- Relieve: en las sierras, el factor que aleja a la U.GMF de su carácter predictivo, es el grado de denudación-arrasamiento de las superficies serranas. La mayor o menor dispersión de los relieves residuales (inselberg), la mayor o menor extensión de manto de alteración en una porción de unidad así como la existencia de laderas o superficies con berrocal asociado, hacen que la U.GMF tipo requiera de una compartimentación.

En las sierras también ocurre convergencia de resultados entre algunas unidades. Por ejemplo, entre superficies grabadas y superficies de arrasamiento s.s. se presentan las mismas características paisajísticas, al no haber una diferencia altitudinal contrastada y tener características litológicas muy parecidas.

También existe convergencia entre fondos de valle amplios y el pedimento s.s. al tratarse de

amplias superficies planas, pobladas y con vegetación de frondosas. De igual modo coinciden las características de los tramos bajos de laderas asociadas a berrocal y las superficies grabadas.

B) HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Respecto al carácter predictivo de la U.GMF no es posible hablar de tal en parámetros que no estén relacionados directamente con la litología. Así pues, los valores totales de escorrentía no pueden ser generalizados en tanto en cuando se utilizan datos de precipitaciones. Podría hacerse una aproximación respecto a la pendiente o a la permeabilidad al haber clasificado las U.GMF según las diferentes litologías de la zona.

Igualmente, circunstancias como la distancia a los cauces o los usos de los ríos, no permiten generalizar una respuesta de la unidad frente a un impacto. Las porciones de U.GMF han sido subdivididas por su diferente distancia (dentro de la misma porción) a los principales cauces o porque pertenecen a subcuencas hidrográficas diferentes, hecho también muy relacionado con el tamaño de la porción.

Tan sólo es posible hablar de cierto comportamiento homogéneo en características tales como densidad de drenaje, permeabilidad o pendiente, características directamente relacionadas con la litología-morfología.

C) HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

A pesar de que por la morfología y composición de las propias U.GMF es posible definir el comportamiento hidrodinámico general, en este estudio se han podido constatar varios hechos relacionados con los parámetros empleados en la evaluación:

- Para el ámbito de la cuenca la subdivisión de las porciones ha sido necesaria por pertenecer a distintas unidades acuíferas, ya que la evaluación se hace independiente una de otra.
- En unidades de pendiente variable también se ha requerido la subdivisión de las mismas separando zonas de borde o zonas de interior (si esto hace variar la puntuación de la porción), porque condiciona el espesor de Z.N.S., elemento a considerar en la depuración del contaminante.
- Tampoco puede generalizarse el comportamiento de la U.GMF en cuanto a su potencial de depuración de un lixiviado en función de la litología, puesto que hay unidades que por su tamaño coincide en zonas de contacto de facies o bien en la vertical presentan

variedad litológica en la totalidad de la Z.N.S.

Para el ámbito de la sierra ocurre algo similar. Se han definido 6 casos típicos de comportamiento hidrodinámico en estas litologías y es muy fácil atribuir un comportamiento tipo a cada unidad geomorfológica. Sin embargo, se ha observado que dentro de una misma porción pueden darse varios casos de funcionamiento hídrico. Por ello, aunque la U.GMF se aproxima bastante a una respuesta homogénea es preferible utilizar límites de unidades cuyo funcionamiento subterráneo sea homogéneo que límites de U.GMF que luego haya que subdividir por este mismo motivo.

ABRIR CAPÍTULO VI

