

ANEJO 3.
Estudios Geológico-Geotécnicos.

ÍNDICE.

- **ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES EN LOS TERRENOS DE LA ORLA SUDOESTE DE SUELO URBANIZABLE.**

1. INTRODUCCIÓN.
 2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.
 3. EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES.
 4. EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS.
 5. CONCLUSIONES: EL MAPA FINAL DE PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES Y HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS.
- PLANOS.

- **ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO.**

1. INTRODUCCIÓN.
 2. MARCO GEOLÓGICO.
 3. LAS DOLINAS DEL ENTORNO DE ZARAGOZA.
 4. EL MAPA DE HUNDIMIENTOS CONSTATADOS.
 5. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE RIESGO POTENCIAL.
 6. EL MAPA FINAL DE PELIGROSIDAD DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS.
 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES.
- Anexo 1: Fichero de dolinas.
- Anexo 2: Fotos.
- Anexo 3: Planos.

En el presente Anejo se reproducen dos estudios realizados por el Departamento de Geología de la Universidad de Zaragoza a través de sendos convenios con el Ayuntamiento de Zaragoza.

En el primero, **Estudio de riesgos naturales en los terrenos de la orla sudoeste de suelo urbanizable**, se estudian especialmente los riesgos de hundimiento de terreno debido a la disolución de los yesos del sustrato mioceno bajo la cubierta aluvial cuaternaria, así como el riesgo de inundaciones por lluvias de fuerte intensidad, fenómeno que afecta de modo principal a la depresión de Valdesparetera.

En el segundo, **Estudio de riesgos de hundimientos kársticos en el corredor de la carretera de Logroño**, se analiza también el riesgo de hundimientos (fundamentalmente las denominadas dolinas), en el entorno de la carretera de Logroño, entre Zaragoza y Casetas.

ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES EN LOS TERRENOS DE LA ORLA SUDOESTE DE SUELO URBANIZABLE.

Por:

José Luis Simón Gómez

Javier Martínez Gil

María Asunción Soriano Jiménez

Luis Arlegui Crespo

Juán Caballero Burbano

Departamento de Geología

Universidad de Zaragoza



Universidad de Zaragoza
50009 - Zaragoza

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.

- 1.1. Planteamiento del problema.
- 1.2. Antecedentes.
- 1.3. Objetivos y metodología.

2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.

- 2.1. El entorno geológico: estratigrafía y estructura.
- 2.2. El entorno geomorfológico.
- 2.3. Descripción geológico-geomorfológica del área de estudio.
- 2.4. Unidades diferenciadas en el mapa geológico-geomorfológico.
- 2.5. Génesis, evolución y funcionamiento actual de la depresión de Valdespartera.

3. EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES.

- 3.1. Hidrografía del área de estudio.
- 3.2. Pluviometría.
- 3.3. Cálculos hidrológicos.
 - 3.3.1. Superficies hidrográficas.
 - 3.3.2. Tiempos de concentración.
 - 3.3.3. Caudales punta (Qp).
 - 3.3.4. Determinación de los volúmenes de escorrentía
 - 3.3.5. Aspectos hidrogeológicos.
 - 3.3.6. Cálculo de la superficie inundable en la depresión de Valdespartera.
 - 3.3.7. Cálculos estimativos de la capacidad de embalse de la zona inundable.

4. EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS.

- 4.1. Análisis de hundimientos constatados.
 - 4.1.1. Descripción general de las dolinas y depresiones.
 - 4.1.2. Inventario de dolinas.
- 4.2. Evaluación de la peligrosidad potencial.
 - 4.2.1. Fundamentos teóricos y empíricos.
 - 4.2.2. Distribución espacial de los factores de peligrosidad.
 - 4.2.3. El Mapa de peligrosidad potencial.

5. CONCLUSIONES: EL MAPA FINAL DE PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES Y HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS.

- 5.1. Evaluación de la peligrosidad de inundaciones.
- 5.2. Evaluación de la peligrosidad de hundimientos kársticos.
- 5.3. Conclusiones y recomendaciones finales.

REFERENCIAS CITADAS.

PLANOS.

1. INTRODUCCION.

1.1. Planteamiento del problema.

El Avance del Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza, dado a conocer por el Ayuntamiento de la ciudad el pasado año 1997, contempla como una de las futuras zonas de desarrollo urbano la denominada Orla Sudoeste de Suelo Urbanizable. Esta abarca los terrenos comprendidos entre el Cuarto Cinturón y la autovía de Madrid, desde la carretera de Teruel-Valencia hasta la Feria de Muestras (ver situación en figura 1). Dichos terrenos constituyen el entorno inmediato de las áreas urbanizadas más externas en este sector de la ciudad (urbanización Montecanal y barrio de Valdefierro, fundamentalmente), e incluyen dos unidades fisiográficas bien diferenciadas: (a) la depresión de Valdespartera, y (b) las plataformas o terrazas aluviales que cierran esta depresión por el norte.

Una adecuada planificación de usos del territorio, y la planificación urbanística en particular, exigen contemplar los condicionantes físicos del mismo, entre ellos los factores geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. Algunos de estos factores deben ser tenidos especialmente en consideración por cuanto comportan riesgos potenciales (bien naturales, bien inducidos por la propia actividad humana) cuya prevención es difícil y cara. El objetivo final es una planificación del territorio armónica con los procesos naturales, que preserve el valor de los recursos y minimice los riesgos.

De acuerdo con este planteamiento, el Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza, a través del Centro Municipal de Ordenación del Territorio, encargó a este equipo del Departamento de Geología de la Universidad de Zaragoza un estudio de riesgos geológicos que pudieran afectar a la mencionada zona de desarrollo urbano.

El área presenta dos riesgos potenciales que merecen un estudio detenido. El primero es el riesgo de hundimientos del terreno debido a la disolución de los yesos del sustrato mioceno bajo la cubierta aluvial cuaternaria. El fenómeno da lugar a depresiones cerradas o dolinas en las que el suelo experimenta una subsidencia continuada e inevitable a razón de unos centímetros por año, sufriendo asimismo ocasionales eventos de colapso repentino. Es este un problema generalizado en todo el entorno de Zaragoza, responsable de cuantiosas pérdidas económicas en infraestructuras y edificaciones. Las terrazas aluviales en las que se asienta toda el área metropolitana presentan unas condiciones geológicas e hidrológicas que favorecen su desarrollo. La depresión de Valdespartera, con una constitución geológica de yesos parcialmente recubiertos de limos yesíferos, puede resultar propensa también a este tipo de fenómenos, y su topografía deprimida probablemente esté causada en parte por ellos.

El segundo riesgo potencial es el riesgo de inundaciones por lluvias torrenciales. Este se circunscribe a la depresión de Valdespartera. La topografía original cerrada, su amplia cuenca de recepción, agravadas por la modificación antrópica que ha supuesto la construcción de la autovía y de la Feria de Muestras, hacen que una lluvia torrencial sobre los relieves situados al sur y al oeste pudiera acarrear una inundación grave en la zona central más baja. Existe un registro histórico de inundaciones importantes en esta zona debidas a lluvias torrenciales que obliga a considerar el problema con detenimiento. El caso más reciente (agosto de 1996) tuvo efectos de cierto alcance en la Feria de Muestras, aun no encontrándose localizada ésta en la zona más baja. La edificación masiva en toda la depresión incrementaría ostensiblemente el riesgo de catástrofe.

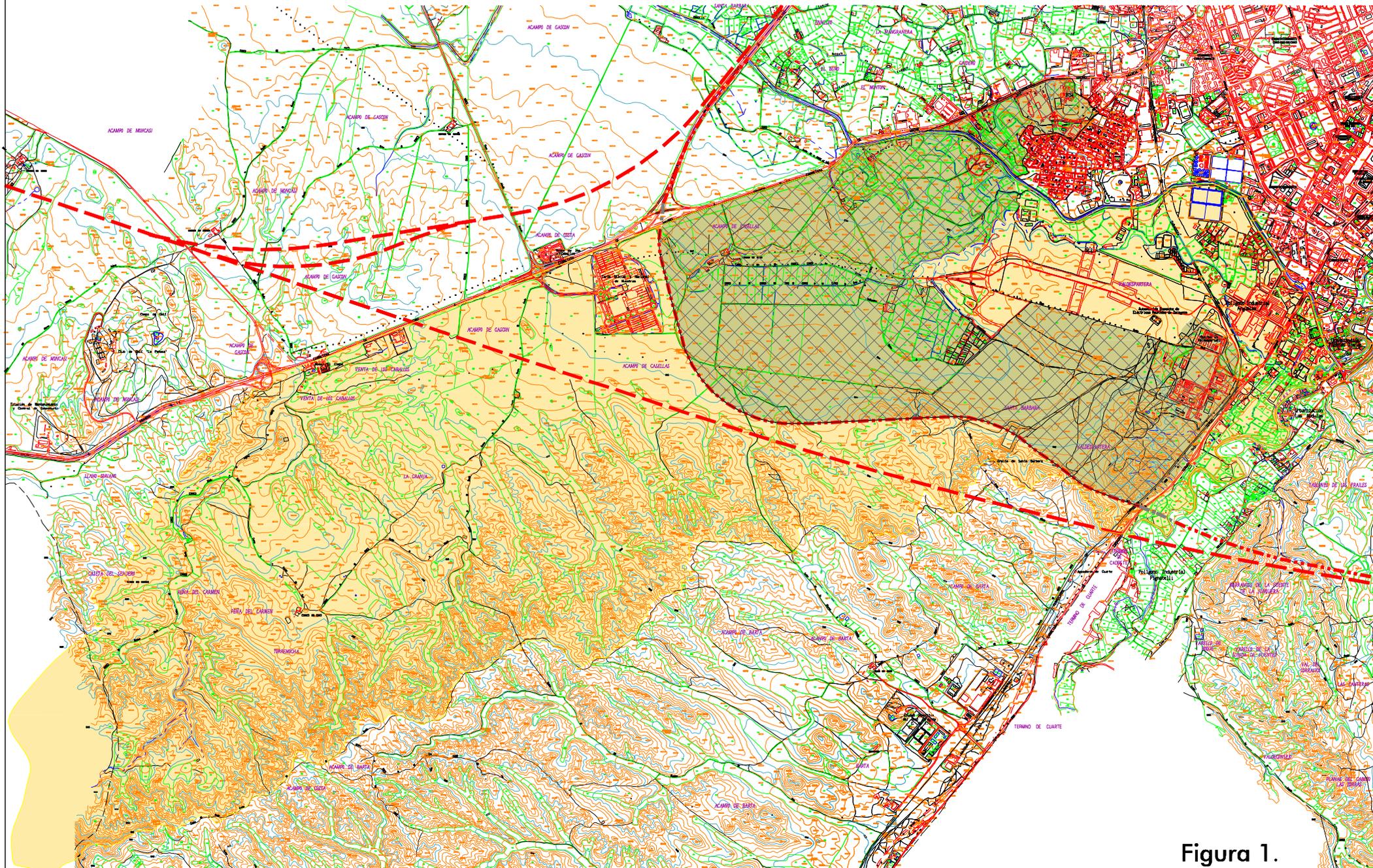


Figura 1.

1.2. Antecedentes.

El Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos de la Ciudad de Zaragoza (IGME,1987) constituye un documento de partida para un trabajo de esta naturaleza. En el mismo se contempla la existencia de peligrosidad de hundimientos kársticos especialmente en la depresión de Valdespartera, y en menor medida en las zonas de terraza. Por otro lado, se contemplan como sujetos a riesgo de inundaciones los cauces de las vales y los abanicos situados en la salida de alguna de ellas, aunque tal consideración no se hace explícita para la zona endorreica de Valdespartera.

Durante los últimos años nuestro grupo investigador ha venido estudiando estos fenómenos desde el punto de vista geológico, geomorfológico e hidrogeológico. En cuanto a los hundimientos kársticos, hemos abordado estudios en profundidad sobre las causas y mecanismos de los mismos (SORIANO, 1986, 1990, 1992; SORIANO *et al.*, 1992, 1994), hemos confeccionando mapas de riesgo a nivel regional (SIMON *et al.*, 1991; SORIANO y SIMON, 1995) y hemos realizado para el Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza una evaluación detallada de riesgo en el trazado de la nueva tubería de abastecimiento de agua a Casetas (GRACIA *et al.*, 1991). Junto a estos trabajos de carácter más sintético, existen numerosos estudios orientados a la resolución de casos puntuales, impulsados por la enorme incidencia geotécnica que tales hundimientos tienen sobre construcciones e infraestructuras.

En el ámbito estricto de la orla SW de Zaragoza, son varios los trabajos que han comenzado a abordar estos problemas, la mayoría de ellos muy recientes. A raíz de la amenaza de inundaciones y de los problemas de filtraciones en el subsuelo de la Feria de Muestras, esta institución encargó varios estudios. En ellos se pone de manifiesto que existe un flujo subterráneo de pequeño caudal que se dirige desde el oeste hacia el interior del recinto, a una profundidad de 3-3.5 metros (CADISA, 1992). Se analiza asimismo la inundación acaecida el 19 de agosto de 1996, y se interpreta que la precipitación responsable de la misma hubo de ser de unos 50 mm en 30 minutos, a la que correspondería un período de retorno mayor de 50 años (FERNANDEZ ALARCON, 1996). Existía asimismo un estudio geotécnico anterior, encargado para la redacción del proyecto de edificación del recinto ferial, en el que se advierte sobre los problemas de drenaje del área, se destaca el carácter básicamente impermeable del sustrato mioceno y, a partir de varios sondeos mecánicos y catas, se evalúa el espesor de los limos superficiales en un máximo de 2 m (HERRERO CANTALAPIEDRA, 1984).

Aunque situadas ya en los márgenes de nuestra zona de estudio, cabe destacar asimismo las investigaciones llevadas a cabo en algunas dolinas ubicadas en el barrio de Valdefierro. El trabajo más relevante es el de PLUMED y HERNANDEZ (1996), que se centra en el solar de la antigua factoría de Hispano-Carrocer, sobre el que se ha construido el nuevo hipermercado Alcampo. En él se constata la presencia de una importante dolina aluvial, en un terreno de terraza con espesores próximos a 40 m y una profundidad del freático entre 25 y 30 m. Proporciona datos de numerosos sondeos y calicatas que alcanzan una profundidad máxima de 65 m. Otros estudios más puntuales se han centrado en una dolina situada en la calle Rigel, que afectó parcialmente a un bloque de viviendas de la calle Amanecer, y otra contigua a la calle Hércules.

GRACIA y PEREZ (1997) han realizado, por encargo de los propietarios de los terrenos de Montecanal II, un estudio geotécnico y de riesgos naturales muy completo que cubre la parte occidental de nuestra área de trabajo. Incluye 8 sondeos y 40 calicatas, así como perfiles geoelectrónicos y perfiles de sísmica de reflexión. Todo ello proporciona abundante información sobre espesores y características litológicas del Cuaternario, sobre la circulación de agua en el contacto con los yesos y dentro de éstos y sobre las propiedades geotécnicas generales del terreno. Las interpretaciones que haremos nosotros deben mucho al conocimiento del subsuelo que este trabajo facilita. Al propio tiempo, son interesantes las estimaciones sobre peligrosidad de hundimientos kársticos en ciertas zonas y sobre la posibilidad de inundaciones.

Por último, el propio Ayuntamiento de Zaragoza ha realizado un trabajo en el que se recopila y analiza toda la información referente a los condicionantes físicos para la ordenación de la *Orla Sudoeste de Suelo Urbanizable* (CENTRO MUNICIPAL DE ORDENACION DEL TERRITORIO, 1998). Este trabajo valora la existencia en la zona de diversos riesgos de hundimientos, inundaciones y arroyadas, y dibuja el marco sobre el que nosotros vamos a desarrollar nuestro estudio, utilizando algunos aspectos de aquél como punto de partida y desarrollándolos de acuerdo con nuestra propia metodología.

1.3. Objetivos y metodología.

La evaluación del riesgo de hundimientos la haremos desde una doble perspectiva. Por un lado, teniendo en cuenta la experiencia histórica y reciente sobre tales fenómenos, detectando las simas o dolinas de hundimiento sobre el propio terreno, en fotografías aéreas de distintas épocas, y recogiendo asimismo el testimonio de personas conocedoras de la zona. Por otro lado, haciendo una valoración de la peligrosidad potencial a partir de los "factores de riesgo" que se sabe favorecen los procesos de hundimiento (presencia de material soluble, espesor y comportamiento geomecánico de la cubierta aluvial, régimen de flujo del agua subterránea...).

De este modo, elaboramos en primer lugar la cartografía de hundimientos constatados del área de estudio a escala 1:5.000, complementándola con un fichero de datos relativos a la evolución de las dolinas más importantes y mejor documentadas. Para ello se utilizan tres fuentes de información principales:

(a) Levantamientos geomorfológicos sobre fotografías aéreas de diversos años y escalas: 1947 (1:43.000), 1957 (1:33.000), 1970 (1:20.000), 1986 (1:18.000), 1987 (1:3.000), 1988 (1:20.000).

(b) Campañas de campo orientadas a comprobar sobre el terreno el estado actual de las dolinas y reconocer algunas que, bien por su pequeño tamaño o por haberse producido más recientemente, pudieran no haber sido identificadas en los fotogramas.

(c) Inventario de casos históricos, basado en la recopilación de información documental (cartografía, informes geológicos y geotécnicos), así como de entrevistas y testimonios directos.

La recopilación de datos relacionados con los factores de riesgo incluye las características de los materiales (yesos miocenos y cubierta cuaternaria), espesor del aluvial y morfología de su contacto con los yesos, características morfológicas y estructurales, funcionamiento hidrogeológico (evolución de los niveles piezométricos, quimismo del agua ...), datos acerca de la acción antrópica sobre el terreno y el agua subterránea, etc. La información procede en general de estudios realizados con anterioridad por otras empresas y organismos, aunque en un lugar de interés singular como es la salida del drenaje de Valdespartera hemos encargado asimismo la realización de un sondeo mecánico con extracción de testigo continuo. A partir de toda esta información se ha elaborado el mapa de riesgo potencial, teniendo en cuenta para ello los modelos teóricos elaborados con anterioridad por nuestro equipo (SIMON *et al.*, 1991; SORIANO y SIMON, 1995), que permiten ponderar los factores de riesgo más significativos.

Para evaluar el *riesgo de inundaciones* se ha partido de series representativas de datos climáticos, contemplando en especial los valores máximos esperables de precipitaciones torrenciales y sus períodos de retorno. A partir de esos datos, y teniendo en cuenta parámetros como la geometría de la cuenca hidrográfica y de las diversas subcuencas, la densidad de su red de drenaje, las pendientes y la permeabilidad del terreno, se ha calculado la infiltración, la escorrentía superficial, el tiempo de concentración de la avenida y el caudal máximo que hay que drenar una vez transcurrido este último.

2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.

2.1 El entorno geológico: estratigrafía y estructura.

El área estudiada se localiza en el centro de la Cuenca del Ebro. Esta última presenta una forma aproximadamente triangular, constituyendo un área topográficamente más deprimida que los relieves montañosos que la delimitan (Pirineos, Cordillera Ibérica y Cadenas Costero-Catalanas). Se encuentra rellena por materiales de edad terciaria cuya litología varía de detrítica grosera en los márgenes a carbonatada y evaporítica en el centro (figura 2).

La sedimentación en la cuenca del Ebro fue marina al comienzo del Terciario, pero a finales del Eoceno hubo una regresión con la que se instauró un régimen de carácter continental endorreico. Durante el Mioceno se sedimenta en todo el sector central de la cuenca la Formación Zaragoza, definida por QUIRANTES (1978). Son yesos masivos, concrecionales y nodulosos de tonos blanquecinos y blanco-grisáceos, con pequeñas intercalaciones de lutitas, margas y calizas margosas blancas (MANDADO, 1987). En la memoria de la hoja correspondiente del Mapa Geológico Nacional 1:50.000 (ITGE, 1998) se encuadran todos los materiales miocenos aflorantes en esta zona dentro de un *tramo comprensivo evaporítico* en el que no pueden diferenciarse las unidades genético-sedimentarias establecidas en otras áreas de la cuenca del Ebro (Unidad de Remolinos-Lanaja y Unidad Sierra de Pallaruelo-Montes de la Sora), si bien hay una correlación cartográfica con ellas. Desde un punto de vista sedimentológico este tramo representa depósitos de llanura fangosa que evoluciona lateralmente hacia un lago salino (*playa-lake*).



El centro de la cuenca del Ebro, y concretamente el entorno de Zaragoza, muestra una estructura geológica con capas subhorizontales o con buzamientos muy suaves. En alguna zona se aprecian débiles basculamientos y plegamientos de los materiales del techo de la serie carbonatada miocena, y también fracturas y fallas normales (sobre todo en el sector de la Muela) causadas por la tectónica distensiva regional (GUTIÉRREZ *et al*, 1986).

Los materiales cuaternarios presentan deformaciones que tienen diversos orígenes:

(1) Deformaciones diápiricas. Se reconocen dos tipos de deformaciones ligadas a estos procesos: (1.a) tipo *domático*, en el que tanto la cubierta cuaternaria como el yeso infrayacente sufren un abombamiento conjunto (lo que puede conllevar presencia de fracturas extensionales en los depósitos cuaternarios), y (1.b) tipo *perforante*, en el cual el papel activo lo ejercen las margas terciarias, que intruyen en la cubierta aluvial produciendo fallas inversas, pliegues-falla y contactos en forma de champiñón (SIMÓN y SORIANO, 1985, 1986).

(2) Tectónica distensiva. En muchos afloramientos en depósitos cuaternarios se reconoce la presencia de fallas normales, en muchos casos conjugadas, cuyo origen parece ser causado por la tectónica distensiva regional que afecta a partir del Neógeno a esta área (SIMÓN y SORIANO, 1985)

(3) Colapsos kársticos. La disolución de los materiales yesíferos trae como consecuencia que la cubierta cuaternaria que los recubre caiga en los vacíos creados produciéndose su deformación. Este hecho se observa ya en niveles antiguos, tanto de terrazas fluviales como de glacis, pero se manifiesta más intensamente en los tres niveles de terraza más recientes del Ebro (SIMÓN y SORIANO, 1985; SORIANO, 1986; SORIANO, 1992; SORIANO y SIMON, 1995).

A mayor escala, la observación de imágenes de satélite permite distinguir claramente dos familias de lineamientos que atraviesan sobre todo los materiales neógenos, pero que también afectan al Cuaternario (ARLEGUI y SORIANO, 1996; 1998). En esta región hay un dominio importante de la familia NW-SE. Los valles que arrancan de la Muela y desembocan en el río Huerva son un claro ejemplo del control que ejerce esta directriz estructural, como lo es también la propia dirección principal de alargamiento que presenta la depresión de Valdespartera. Asimismo aparece otra directriz NE-SW, que condiciona muchos de los valles que arrancan de la Muela y se dirigen a la depresión de Valdespartera, así como otros que disecan las terrazas cuaternarias al norte de dicha depresión.

2.2. El entorno geomorfológico.

La erosión de los materiales terciarios a lo largo del Cuaternario genera modelados estructurales, fundamentalmente plataformas de morfología tabular (muelas) que responden a la disposición horizontal o subhorizontal de las capas. Para su mejor desarrollo es necesario que exista un contraste litológico acusado entre las formaciones resistentes que coronan las muelas (calcáreos en nuestro caso) y los materiales inferiores más blandos (margas y yesos). Al sur de la zona estudiada se encuentra la plataforma de la Muela, y al este la Plana de Zaragoza.

El trazado de la red fluvial actual es consecuencia de una evolución progresiva producida desde el comienzo del Cuaternario. La instalación y encajamiento de la red causó la erosión del Terciario, pero también una intensa sedimentación aluvial sobre el mismo, por una parte vinculada a los ríos principales (terrazas fluviales) y, por otra, controlada por los relieves terciarios circundantes (glacis de enlace entre dichos relieves y los cursos fluviales).

El río Ebro dejó sedimentos que, como consecuencia de etapas alternantes de erosión y aluvionamiento, han formado varios niveles de terrazas escalonadas. En el tramo comprendido entre los valles de los ríos Jalón y Huerva se encuentran hasta ocho niveles distintos (SORIANO, 1990). Las terrazas del Ebro se presentan desarrolladas preferentemente en su margen derecha, aflorando en la izquierda sedimentos terciarios, lo que supone una clara asimetría en la sección del valle. Este hecho se debe a una divagación continua del curso fluvial hacia el norte y este. De manera general se puede indicar que los tres niveles de terraza más recientes del río (T_1 , T_2 y T_3) tienen una gran continuidad desde la desembocadura del río Jalón hasta la ciudad de Zaragoza, mientras que los demás se presentan más erosionados. Procedentes de la base de los relieves terciarios de la Muela se dirigen hacia el Ebro varios niveles de glacis que enlazan o recubren a sus respectivos niveles de terrazas (G_3 y G_4 , principalmente).

Sobre los sedimentos cuaternarios del entorno de Zaragoza, y como consecuencia de la disolución del yeso infrayacente por el agua subterránea, se desarrollan un elevado número de depresiones kársticas o dolinas. Lo hacen preferentemente en los tres niveles más recientes de terrazas del río Ebro, pero también se observan sobre otros niveles más antiguos y sobre glaciares. La morfología de estas depresiones kársticas es muy variable, habiéndose encontrado dolinas en cubeta, en ventana, en embudo y dolinas con fondo plano y bordes escarpados (tipo "sartén"). Todas ellas aparecen descritas en la literatura tradicional sobre este tema (CVIJC, 1893; PALMQUIST, 1979). Sus dimensiones son muy dispares: entre pocos metros y 1 Km de diámetro y entre 2 y 9 m de profundidad. Su forma en planta es variada, circular o elíptica para las de menor tamaño e irregular para las mayores. Es frecuente que se produzca variación en su número y dimensiones a lo largo del tiempo, debido a las actividades antrópicas en la zona (SORIANO, 1986; 1992, SORIANO y SIMÓN, 1995).

2.3. Descripción geológico-geomorfológica del área de estudio.

El área que nos ocupa se encuentra situada fundamentalmente sobre depósitos cuaternarios, si bien en su margen sur aflora el Terciario. Topográficamente, observamos dos zonas claramente diferenciadas (ver figura 3 y plano 1): (a) una zona elevada al norte, que corresponde con un nivel de terraza y de glacis (T₄ y G₄, respectivamente, de SORIANO, 1990), y (b) la depresión de Valdespartera, al sur. El límite meridional de esta depresión y del área de trabajo son las estribaciones de la plataforma estructural terciaria de la Muela, disecada por una densa red de valles de fondo plano que se dirigen hacia el norte y noreste. En el margen oriental se encuentran restos de las terrazas del Huerva (niveles T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ y T₆).

El nivel de terraza T₄ es, por tanto, el mejor representado en la zona de estudio, correspondiendo tanto al Ebro como a su confluencia con el Huerva. La altura relativa que presenta es de unos 70 m sobre el Ebro y de unos 30 m sobre el Huerva. Los niveles superiores (T₆ y T₅) únicamente están representados por algunos retazos aislados y degradados en la margen izquierda del Huerva, en los terrenos de la zona militar de Valdespartera. Su altura relativa sobre el cauce es de unos 70 m para T₆ y 55 m para T₅. Los niveles inferiores, T₃, T₂ y T₁ se encuentran a lo largo del mismo río hasta su confluencia con el Ebro, y presentan mayor continuidad que las terrazas superiores. Del mismo modo ofrecen un alto grado de antropización. Hay que indicar que en la zona del cuartel de Valdespartera el nivel T₃ esta desdoblado en dos, habiéndose denominado T_{3b} al superior. La altura relativa sobre el cauce del río Huerva es de 25 m para T_{3b}, 20 m para T₃, 12 m para T₂ y de 4 a 6 m para T₁. El nivel denominado T₀ constituye la llanura de inundación del río Huerva y está integrado por barras actuales que se disponen adosadas a la orilla.

Los depósitos de las terrazas cuaternarias están integrados fundamentalmente por gravas con cantos de cuarcita, granito, calizas y areniscas mesozoicas y terciarias, de tamaño variable entre 2 y 25 cm. La matriz suele ser arenosa, y contienen asimismo intercalaciones lenticulares arenosas y limosas. Se han observado estructuras sedimentarias tales como estratificación cruzada planar y en surco e imbricación de cantos. Es frecuente el desarrollo de costras carbonatadas a techo del depósito. La potencia total de estas terrazas es diversa, alcanzándose los 50 m en el nivel T₄, según se desprende de los datos de sondeos, y siendo en general menor en los otros niveles (ver plano 5).

El nivel de glacis G₄ se encuentra ampliamente distribuido en el sector noroccidental de la depresión de Valdespartera, recubriendo parcialmente a su correspondiente nivel de terraza (T₄). Está compuesto por niveles de cantos angulosos de caliza y arenisca que alternan con otros de limos y arenas. La estratificación no es siempre neta pero, en ocasiones, se aprecia estratificación horizontal, estratificación cruzada de bajo ángulo, canales e imbricación de cantos. El espesor del depósito es menor que en las terrazas y no debe de sobrepasar los 10 m. Sobre la superficie del glacis se encuentran incisiones incipientes de pequeños cauces.

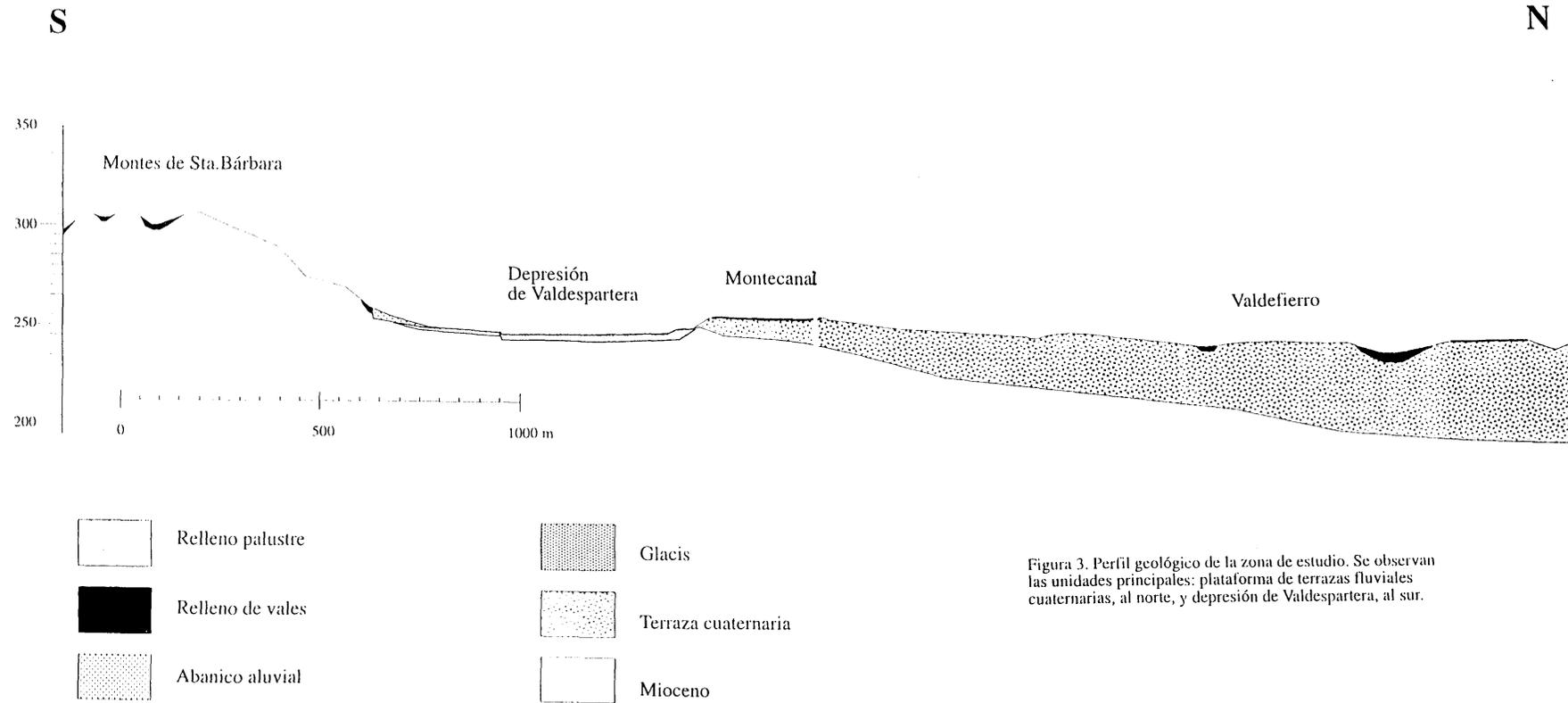


Figura 3. Perfil geológico de la zona de estudio. Se observan las unidades principales: plataforma de terrazas fluviales cuaternarias, al norte, y depresión de Valdespartera, al sur.

Encajada sobre el nivel de terraza T₄ del río Ebro se desarrolla una val o valle de fondo plano que arranca desde el límite de la depresión de Valdespartera y se dirige hacia el norte hasta el barrio de Valdefierro (Val de la Almotilla). Esta val diseca a la terraza prácticamente por el límite que marca la zona en que ésta deja de estar recubierta por el glacis. A juzgar por su posición, es probable que esta val drenara en el pasado la depresión de Valdespartera y constituyese su salida natural en algún momento de su evolución.

La depresión de Valdespartera se desarrolla paralela al contacto principal entre el Terciario y el Cuaternario. Su forma general es alargada según una dirección WNW-ESE. Sin embargo, presenta dos sectores bien diferenciados. En el sector oriental, que es el mayor, la dirección es la ya mencionada, mientras que en el oeste, el eje mayor se orienta ENE-WSW. Las trazas del margen norte (constituido por las terrazas cuaternarias) y del margen sur (relieves terciarios) son muy rectilíneas en el sector oriental. Sin embargo, en la oeste son algo más irregulares, especialmente el contacto con el Terciario. Su longitud máxima es de 5.5 Km y la anchura oscila entre 200 y 700 m. Su profundidad, tomando como referencia el nivel T₄, es de unos 15 m como promedio, siendo algo menor en el sector oeste (SORIANO, 1993).

Las vertientes que delimitan la depresión tienen una inclinación variable. Los valores de pendiente en el Terciario son algo mayores del 20%, mientras en el Cuaternario se sitúan entre el 5 y 15%. Se observa una clara asimetría en la sección de la depresión (figura 3), motivada por la diferencia que existe entre los materiales que están a ambos lados de la misma. En el margen sur, el enlace con los relieves terciarios se realiza mediante una rampa suave, en la que alternan zonas de yeso aflorante con otras en que éste se ve recubierto por un espesor pequeño (hasta 2-2.5 m) de limos yesíferos con niveles finos de gravas. Morfológicamente representa una superficie de glacis con cubierta parcial, que se hace continua pendiente abajo. En el margen norte, el enlace con la terraza y glacis (T₄, G₄) es una vertiente algo más pronunciada recubierta de depósitos que incluyen cantos de terraza y glacis y limos yesíferos.

En el margen oriental, dentro de los terrenos militares, se encuentra un retazo de superficie ligeramente más elevada (unos 2-3 m) que el fondo general de la depresión, aunque con características similares a ésta, incluida una delgada cubierta (0.5-1 m) de limos yesíferos con algunos cantos. Probablemente representa una superficie de aplanamiento con un origen similar a la superficie del fondo, desarrollada en un episodio de evolución anterior. En lo sucesivo nos referiremos a ésta como *superficie superior de Valdespartera*, y a la superficie general como *superficie inferior de Valdespartera*.

La parte más baja de la depresión tiene, a lo largo de más de 1 Km, una pendiente casi nula. Esta zona es la que sufre periódicos encharcamientos con motivo de lluvias torrenciales, lo que le da cierto carácter palustre. Los materiales que la rellenan son limos arcillosos que recubren a limos yesíferos y éstos, a su vez, al sustrato yesífero. La figura 4 muestra la columna de un sondeo realizado por nosotros en dicha zona (sondeo V-1 en el plano 4), en el que se aprecia un espesor de 1.8 m de limos arcillosos sedimentados por decantación en las épocas de inundación.

A Valdespartera llegan vales procedentes de los relieves terciarios adyacentes, cuya red presenta en planta una morfología dendrítica. Se encuentran rellenas por limos yesíferos y cantos con espesores de hasta 5 m (datos del sondeo C-2; ver situación en plano 4). A la salida de al menos dos de estas vales se han formado sendos conos aluviales de dimensiones reducidas (400x200 m y 300x150 m, respectivamente). Están constituidos por unos 2 m de limos marrones y arenas medias y gruesas (datos de la cata 1 en el plano 4).

Sobre los depósitos de terraza es frecuente la presencia de dolinas y depresiones laxas. De manera especial se localizan en el sector comprendido entre la urbanización de Montecanal, la carretera N-II y el Canal Imperial de Aragón. En ocasiones se trata de dolinas en cubeta con bordes poco netos, pero hay un dominio de aquéllas otras generadas por disolución y colapso que adoptan morfología en ventana o en embudo y muestran bordes netos.

En distintos puntos de la zona central de la depresión de Valdespartera se ha apreciado el desarrollo de pipes o conductos subsuperficiales formados por arrastre de material poco cohesionado por las aguas de infiltración, que se ve favorecido por el hinchamiento y desagregación del suelo debidos a fenómenos de intercambio iónico (Sirvent, et al., 1996). Los conductos observados se sitúan próximos a los canales de riego. Sus dimensiones en superficie son decimétricas, y son recubiertas continuamente por los agricultores de la zona.

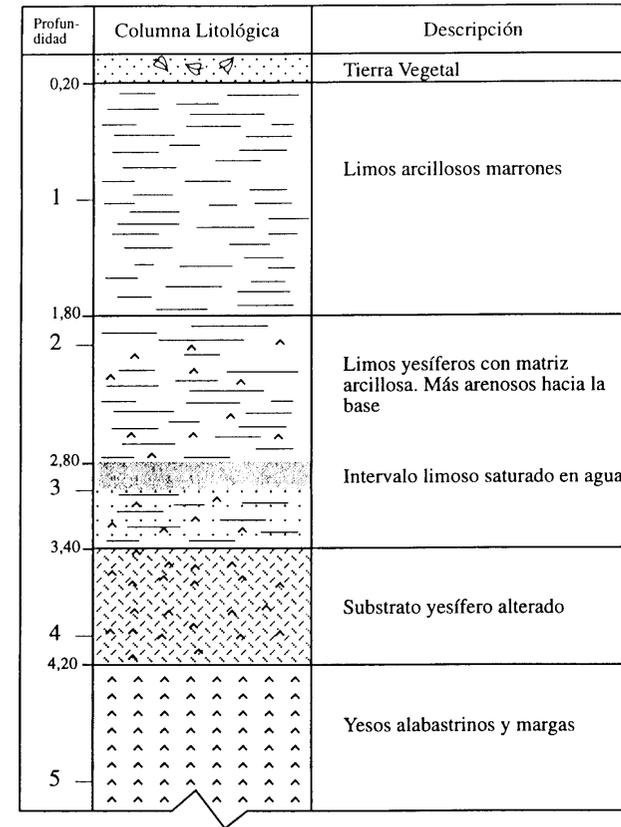


Figura 4. Columna del sondeo V-1 encargado para este trabajo en la zona palustre de la depresión de Valdespartera (ver situación en plano 4).

2.4. Unidades diferenciadas en el mapa geológico-geomorfológico.

En este apartado, como complemento a la descripción realizada en el anterior, se pretende caracterizar las diversas unidades definidas en el mapa geológico-geomorfológico (plano 1) y

los criterios empleados para su diferenciación. Aun a riesgo de incurrir en algunas reiteraciones, hemos creído conveniente incluirlo de cara a proporcionar una visión más sistemática de estos aspectos.

Mioceno (M). Está constituido por yesos alabastrinos con estructura nodular que intercalan capas y láminas de margas y arcillas verdes. Puede interpretarse que el ambiente de sedimentación de estos materiales fue una zona intermedia e interna del lago salino (*playa-lake*) que ocupaba el sector central de la Cuenca del Ebro. Su edad es Mioceno inferior.

Mioceno cubierto (M_c). En los escarpes morfológicos que separan los diferentes niveles de glacis y terrazas cuaternarios, especialmente en la vertiente de tránsito del nivel T₄-G₄ a la depresión de Valdespartera, los estratos miocenos se encuentran recubiertos de limos y cantos procedentes de la erosión de dichos niveles cuaternarios. La composición de las gravas es diferente según que la zona de procedencia sea una terraza o un glacis. El espesor es pequeño, oscilando normalmente entre 1 y 1.5 m (datos de las catas 16, 17 y 18; ver situación en plano 4).

Superficies de terraza fluvial (T₆, T₅, T₄, T_{3b}, T₃, T₂, T₁ y T₀). Se han distinguido hasta seis niveles de terrazas cuaternarias, todas ellas representadas en el sector correspondiente al valle del Huerva, y uno de ellos (T₄) perteneciente también al Ebro. Mediante la denominación T₆, T₅, T₄, T₃, T₂ y T₁ se cartografía la parte superior del depósito, equivalente a la superficie de la terraza y que frecuentemente queda limitada por un escarpe morfológico. Los niveles más antiguos (T₆ y T₅) se encuentran en cerros aislados a una altura relativa sobre el cauce del Huerva de unos 70 y 55 m, respectivamente. Están integrados por niveles de gravas con alguna intercalación arenosa o limosa, con un espesor comprendido normalmente entre 10 y 20 m. El nivel T₄ es el mejor representado en la zona estudiada. Su altura relativa es de unos 70 m sobre el Ebro y de unos 30 m sobre el Huerva. Está constituida por alternancias de gravas, arenas y limos, con una potencia entre 10 y 50 m. Los niveles inferiores del Huerva presentan mayor continuidad que las terrazas superiores. El nivel T₃ esta desdoblado en dos, habiéndose denominado T_{3b} al escalón superior. La altura relativa sobre el cauce del río Huerva es de 25 m para T_{3b}, 20 m para T₃, 12 m para T₂ y de 4 a 6 m para T₁. El nivel denominado T₀ constituye la llanura de inundación del río Huerva.

Depósitos de terraza indiferenciados (T). En esta denominación se engloban los depósitos fluviales asociados a cualquiera de las terrazas mencionadas. Su contacto basal representa el límite con el sustrato mioceno allí donde éste ha podido ser observado o interpretado, y la relación cartográfica del mismo con el escarpe morfológico da idea del espesor de sedimentos. Normalmente la cartografía revela inequívocamente la relación de los depósitos con un determinado nivel de terraza. Sin embargo, allí donde el encajamiento entre terrazas es inferior al espesor de los depósitos tal relación puede ser ambigua.

Superficie de glacis (G₄). Se encuentra ampliamente distribuido en el sector noroccidental de la depresión de Valdespartera, recubriendo parcialmente a su correspondiente nivel de terraza (T₄). Está compuesto por niveles de cantos angulosos de caliza y arenisca que alternan con otros de limos y arenas. Su potencia puede estimarse en unos 5-10 m.

Depósito de glacis (G). Igual que en el caso de las terrazas, esta unidad de carácter estratigráfico incluye el paquete de sedimentos asociados a las unidades morfológicas de glacis, en este caso exclusivamente a G₄.

Depósito coluvial (C). Se trata de una unidad cartografiada únicamente junto a la cabecera de la Val de la Almotilla, si bien no debe descartarse que existan depósitos del mismo tipo en otros puntos en los que la falta de afloramiento no ha permitido identificarlos. En la parte alta es una vertiente que se genera a partir de la degradación que sufren los depósitos de T₄ y G₄, con un depósito asociado formado por cantos de terraza y de glacis en una matriz limosa. Hacia el margen de la val actual pasa a enlazar con depósitos antiguos de la misma.

Superficie superior de Valdespartera (S_s). Se identifica en la zona este de la depresión, dentro de los terrenos militares. Presenta una pendiente suave hacia el oeste, y queda colgada unos 2-3 m sobre la superficie inferior. Muestra una cubierta de limos yesíferos y algunos cantos con espesor entre 0.5 y 1 m. Probablemente representa una superficie de aplanamiento con un origen similar al del fondo actual de la depresión, desarrollada en un episodio de evolución anterior.

Superficie inferior de Valdespartera (S_i). En las zonas sur, este y oeste de la depresión constituye un sistema centripeto de rampas suaves de glacis. En ella alternan zonas de yeso aflorante con otras en que éste se ve recubierto por un espesor pequeño (hasta 3 m; sondeo S-7 en plano 4) de limos yesíferos con niveles finos de gravas. La cubierta se hace continua y gana en espesor pendiente abajo, hasta llegar a una zona de acumulación adyacente al margen norte en el que la topografía se hace horizontal. En esta zona el espesor sobrepasa casi siempre los 2 m.

Relleno palustre (P). Se localiza en el área central de la depresión de Valdespartera, donde se depositan por decantación las lutitas del agua embalsada en épocas de avenida. Los materiales que constituyen el relleno de esta zona son, de techo a muro, y de acuerdo con lo observado en el sondeo V-1 (ver situación en plano 4), limos arcillosos marrones (1.8 m), limos yesíferos de color crema (1.6 m.), yesos alterados (0.8 m) y yesos compactos. La superficie ocupada por estos depósitos se sitúa a menor altura que la zona circundante, encontrándose limitada en casi todo su perímetro por un pequeño escarpe de 0.5-1 m de altura.

Vales en relieves yesíferos (V_y). Estas vales se encuentran encajadas sobre el Mioceno que limita por el sur a la depresión de Valdespartera. Se encuentran rellenas principalmente por limos yesíferos, con un espesor que alcanza los 5 m (datos del sondeo C-2; ver situación en plano 4).

Conos aluviales (A). Se trata de pequeños conos de deyección construidos a la salida de dos de las vales encajadas en los yesos. Sus depósitos se superponen a los del fondo de la depresión, y están constituidos por limos y arenas cuyo espesor alcanza unos 2 m.

Vales sobre cuaternario (Va). Se incluye aquí el sistema de vales encajadas en la terraza T₄ del Ebro, en la mitad norte de la zona de estudio. Su relleno está formado por limos arcillosos de color marrón o rojizo muy homogéneos (aunque contienen algún nivel de cantos dispersos). El espesor alcanza 7-8 m, según algunos sondeos geotécnicos realizados en Valdefierro.

2.5. Génesis, evolución y funcionamiento actual de la depresión de Valdespartera.

A partir de las observaciones que se han llevado a cabo y del conocimiento del desarrollo de modelados kársticos en la región, la génesis y evolución de la depresión de Valdespartera está regida por los mecanismos siguientes (SORIANO, 1993):

(a) Tras la sedimentación del Cuaternario, en cuya disposición hay un fuerte control estructural, se produce *disolución* de los materiales miocenos yesíferos. Este proceso se va a desarrollar, fundamentalmente, en el contacto entre los dos tipos de materiales, ya que ahí es donde el espesor de Cuaternario es menor y, por otra parte, el agua que se infiltra en esta zona se encuentra aún poco saturada en sulfatos.

(b) Conforme progresa la disolución se crean conductos y cavidades a los que son arrastrados los materiales cuaternarios. Este proceso continuará y la cubierta cuaternaria disminuirá de espesor como consecuencia de su evacuación hacia los vacíos creados.

(c) Paralelamente va produciéndose el retroceso de las vertientes en los materiales terciarios y las terrazas y glacis cuaternarios, como consecuencia de los aportes hídricos procedentes de toda la periferia.

Hay varios argumentos que apoyan la hipótesis de que la disolución es el proceso más activo en el desarrollo de este modelado. Uno de ellos, como se ha indicado, es el gran número de dolinas que se encuentra no sólo en las inmediaciones de Valdespartera, sino en toda la parte central de la Depresión del Ebro. Por otra parte, hay que señalar que algunas áreas dentro de la superficie inferior de Valdespartera, tanto en la zona más baja y horizontal como en las suaves rampas que ascienden hacia los relieves terciarios, muestran prácticamente en superficie yesos miocenos que no han sufrido transporte alguno, y sí una profunda alteración por disolución. Todo ello permite asimilarla a una superficie de aplanamiento por disolución del tipo de las que ocupan los *poljes*, ello sin perjuicio de que las rampas más pronunciadas hayan tenido un funcionamiento esencialmente por glaciación y, a la salida de algunas vales, también por acumulación de conos aluviales.

La posibilidad de que este tipo de grandes depresiones sobre yesos pudiesen corresponder con *poljes* fue ya planteada por OLIVE (1957). Este autor describe depresiones de hasta 12 Km de longitud sobre materiales yesíferos en Tejas y Nuevo Méjico a las que denomina de disolución-subsistencia, siendo similares en su forma a los *poljes* descritos por CVIJIC (1893), si bien se diferencian en que su origen primario no es tectónico. Las características mínimas que definen un *polje*, según GAMS (1978), son las siguientes:

- Suelo plano en rocas, en sedimentos no consolidados o aluviales, o cubierto por fluviusuelos.
- Depresión cerrada con una pendiente marginal fuerte por lo menos en uno de los lados.
- Drenaje kárstico.
- Anchura de al menos 400 m.

Estas condiciones se cumplen en el caso de la depresión de Valdespartera. La existencia de un drenaje kárstico en los yesos conectado con el drenaje superficial, que era el único elemento no evidente a juicio de SORIANO (1993), veremos en próximos apartados cómo es un fenómeno demostrable en este caso.

Así, la depresión de Valdespartera habría sufrido una evolución que puede concretarse en los siguientes estadios:

(1) Tras la formación del nivel de terraza y glacis T₄-G₄ se genera una depresión de contacto en el límite entre dicho nivel de terraza y los relieves yesíferos miocenos. Su evolución desde el inicio es la de un *polje*, depresión cerrada que sufre un aplanamiento y rebaje progresivo, básicamente por disolución.

(2) El primer estadio evolutivo culmina en una superficie antigua de aplanamiento (*superficie superior*) cuya edad podría ser la misma que la de la siguiente terraza encajada (T₃), aunque este extremo no puede ser confirmado dada la falta de correlación física entre las superficies de este sistema endorreico y las del sistema fluvial. También es probablemente correlacionable esta superficie superior con la vertiente y relleno antiguo de val que se encajan en el nivel T₄-G₄ y enlaza con el relleno antiguo de la Val de la Almotilla. La configuración espacial de todos estos elementos y sus cotas relativas sugieren que en esa época la depresión fue capturada por la red y tuvo ya una salida amplia por dicha val.

(3) La continuación del rebaje por disolución dejó colgado un retazo de la superficie superior en el margen oriental de la depresión y dio lugar al desarrollo de la superficie inferior. Según los momentos, la depresión de Valdespartera pudo quedar completamente cerrada o bien tener salida a lo largo de la Val de la Almotilla, ya que el trazado de ésta conecta con el fondo. Los

márgenes del *polje* son retocados durante todo este tiempo por procesos de glaciación y construcción de abanicos aluviales debidos a arroyada. Todo ello permite la acumulación de una cubierta casi continua de limos yesíferos sobre la superficie inferior. Mientras la depresión permanece cerrada, las lluvias torrenciales producen encharcamientos periódicos en la parte más baja que dan lugar a la decantación de limos arcillosos palustres.

(4) En un último episodio, el nuevo rebaje de un área prácticamente coincidente con la de sedimentación palustre produce un leve escaque en torno a dicha área y configura la morfología actual de la depresión. Este hecho motiva que la depresión quede de nuevo cerrada y desconectada de su salida natural, con un fondo que en su parte más baja (cota en torno a 246) se sitúa 1.5 m por debajo de la que tiene el fondo de la val en su arranque.

El funcionamiento actual de la depresión de Valdespartera no representa sino la continuación de todos los procesos mencionados. El agua de lluvia cae, se infiltra en los limos, discurre preferentemente por el contacto con el sustrato yesífero, disuelve este último, arrastra material de la cubierta a las oquedades y va rebajando poco a poco la superficie topográfica. Cuando se producen lluvias muy fuertes se desencadenan arroyadas en manto que producen encharcamientos temporales en la parte más baja. El agua acumulada va desapareciendo por evaporación y por infiltración en las lutitas que forman el fondo de la zona palustre (infiltración lenta debido a su baja permeabilidad). El drenaje subterráneo, como discutiremos en el próximo capítulo, acaba produciéndose por sumideros que corresponden a conductos del endokarst desarrollado en los yesos. El agua que fluye por estos conductos y sobre el contacto entre Mioceno y Cuaternario continua, hacia el norte, disolviendo y produciendo dolinas aluviales bajo la terraza T₄.

3. EVALUACION DE LA PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES.

3.1. Hidrografía del área de estudio.

Desde el punto de vista hidrográfico la zona estudiada puede ser descrita en los siguientes términos: (1) la depresión de Valdespartera, un área endorreica central, de forma alargada, que se extiende desde la Feria de Muestras hasta el límite de los terrenos militares del acuartelamiento de Valdespartera, y (2) un conjunto de pequeños barrancos que desembocan en esa depresión a través de la rampa de glacis suavemente inclinada hacia la misma; en esta rampa los cauces pierden su identidad hidrográfica y derraman sus eventuales escorrentías (ver plano 2).

La parte más interna de la depresión de Valdespartera corresponde en su conjunto a un antiguo criptohumedal natural de unas 100 ha, alimentado en su día por flujos capilares procedentes de un pequeño acuífero subyacente ubicado en los materiales cuaternarios que rellenan esa depresión. Antiguamente constituyó una zona de pastos. A principios de los años 60 la mitad occidental de esa depresión fue puesta en regadío, y saneados sus terrenos mediante una zanja de drenaje de más de 1 km de longitud y aproximadamente 1.5 m de profundidad. Con ella se consiguió descender la posición del nivel freático y, en consecuencia, la posición de la franja capilar, que era causa de las eflorescencias salinas que salpicaban el fondo de la depresión. Una buena parte de ese antiguo humedal, del orden de 42 ha constituye una zona potencialmente encharcable, en ocasión de episodios lluviosos excepcionales.

En la depresión confluyen las aguas de escorrentía de una red de barrancos que totalizan una superficie drenante de 24.5 km², de los que 17.9 km² corresponden al que hemos denominado "barranco oeste" o barranco de la Feria de Muestras; el resto, hasta totalizar los 24.5 km², se reparte en el conjunto de barrancos que, antes de desembocar en la depresión de Valdespartera, pierden su identidad hidrográfica. Esto es algo que ocurre incluso con el propio barranco de la Feria de Muestras. Los terrenos de la Feria de Muestras se encuentran ubicados en la vallonada en la que se diluye dicho barranco, y de hecho están expuestos a esas ocasionales inundaciones.

Distribución hidrográfica del área de estudio.

	Area (km ²)
Subcuenca W	17.9
Subcuencas S	2.2
Dep.Valdespartera	1.0
Resto cuenca	4.4
Total cuenca	25.5

NOTA: La subcuenca W corresponde al que hemos denominado "barranco oeste" o de la Feria de Muestras. La subcuenca S corresponde a la red de pequeños barrancos individualizados. "Resto cuenca" incluye la superficie inclinada en la que pierde su individualidad la red de pequeños barrancos que limitan la zona por su flanco meridional.

3.2. Pluviometría.

El área de estudio se encuentra en una zona de clima mediterráneo; quiere esto decir que desde el punto de vista de las precipitaciones está caracterizada por una pluviometría anual emedia/baja, comprendida en general entre 300 y 500 mm, con presencia de series plurianuales con valores por debajo de la media (las "sequías"), con años extremadamente secos que no llegan a alcanzar los 200 mm, una época estival muy seca (julio y agosto) en la que las precipitaciones pueden estar totalmente ausentes, y la presencia de ocasionales aguaceros de escasa duración pero de fuerte intensidad que llegan a generar temidas crecidas en ramblas y barrancos.

Las estaciones meteorológicas más próximas son la 9434, conocida como "Zaragoza/Aeropuerto", y la 9443E, denominada "Zaragoza/Observatorio". La serie de datos pluviométricos registrados en la 9434 a lo largo del periodo de 30 años de 1961/90 arroja una media de 322 mm/año, siendo los valores extremos de la serie 201 mm para el año más seco, y 418 mm para el más húmedo. El mes más lluvioso corresponde estadísticamente a mayo, que llega a totalizar el 15 % de las precipitaciones anuales. El otoño, estadísticamente es también una estación lluviosa, dentro siempre de la parquedad en la que nos movemos. Julio y agosto son los meses más secos; apenas totalizan entre los dos el 5 % del volumen pluviométrico anual; la estación seca con frecuencia se extiende hasta mediados de noviembre.

El volumen pluviométrico anual se reparte en una media de 74 días de lluvias. Las lluvias en general van asociadas a vientos del WNW, del SE y del E. La humedad relativa del aire se sitúa la mayor parte del año (desde marzo hasta septiembre, ambos inclusive) entre el 50 % y el 60 %; los máximos de mayor humedad relativa oscilan entre el 70 y el 65 %. La frecuente presencia de fuertes vientos racheados, con ráfagas que superan los 120 km/h es otra de las características singulares del clima de esta zona; normalmente tienen procedencia comprendida entre el W y el NNW. La evapotranspiración potencial media (ETP) se aproxima a los 800 mm/año.

En relación con los riesgos de inundación los datos climáticos que más interesan son las precipitaciones, tanto las de intensidad media y larga duración, como las extraordinariamente intensas y de corta duración. Las primeras llegan a generar grandes volúmenes de agua de escorrentía, y las segundas caudales punta de excepcional violencia. La falta de series largas de registros sistemáticos de las lluvias en periodos inferiores a 24 horas hace que cualquier disquisición al respecto esté basada en planteamientos exclusivamente empíricos y/o en métodos estocásticos. Quiere esto decir que los resultados obtenidos en estos casos están siempre sujetos a la fiabilidad que tienen los métodos elegidos. Siendo así, cualquier decisión basada en esos empirismos debe estar regida por la prudencia, poniéndose siempre del lado más desfavorable, en especial cuando existan riesgos de pérdidas de vidas humanas o enseres de excepcional valor.

Dicho esto, los datos y cálculos referentes a intensidades máximas en cortos periodos de tiempo y a su probabilidad de retorno han sido tomados del *Estudio Previo de los Condicionantes Físicos para la Ordenación de la Orla SW del Suelo Urbanizable del Término Municipal de Zaragoza* (AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA, 1998). Estos, a su vez, proceden de la aplicación de esos métodos estocásticos a las series de lluvias registradas en el pluviógrafo de la estación 9443 E, realizada por ICONA (1979), en el estudio denominado *Precipitaciones Máximas en España*.

DATOS DE PRECIPITACION EN 9433E ZARAGOZA OBSERVATORIO
Tomado de la Monografía nº 21 de ICONA

PRECIPITACIÓN EN mm.								
Período de retorno (años)	Duración							
	10 m.	30 m.	1 h.	6 h.	12 h.	24 h.	48 h.	72 h.
2	7,9	13,5	15,7	28,1	32,0	39,8	46,2	50,0
5	11,2	20,2	23,1	39,9	46,7	57,4	67,4	71,4
10	13,5	24,8	28,0	47,9	56,6	69,3	81,6	85,8
25	16,3	3,5	34,2	57,8	68,9	84,1	99,4	103,8
50	18,4	34,8	38,9	65,3	78,2	95,3	112,9	117,4
100	20,4	39,0	43,4	72,6	87,1	105,9	126,0	130,6

INTENSIDAD EN mm/h.								
Período de retorno (años)	Duración							
	10 m.	30 m.	1 h.	6 h.	12 h.	24 h.	48 h.	72 h.
2	47,4	27,0	15,7	4,7	2,7	1,7	1,0	0,7
5	67,2	40,4	23,1	6,7	3,9	2,4	1,4	1,0
10	81,0	49,6	28,0	8,0	4,7	2,9	1,7	1,2
25	97,8	61,0	34,2	9,6	5,7	3,5	2,1	1,4
50	110,4	69,6	38,9	10,9	6,5	4,0	2,4	1,6
100	122,4	78,0	43,4	12,1	7,3	4,4	2,6	1,8

% DE LA PRECIPITACIÓN EN 24 h.								
Período de retorno (años)	Duración							
	10 m.	30 m.	1 h.	6 h.	12 h.	24 h.	48 h.	72 h.
2	19,8	33,9	39,4	70,6	80,4	100,0	116,1	125,6
5	19,5	35,2	40,2	69,5	81,4	100,0	117,4	124,4
10	19,5	35,8	40,4	69,1	81,7	100,0	117,7	123,8
25	19,4	36,3	40,7	68,7	81,9	100,0	118,2	123,4
50	19,3	36,5	40,9	68,5	82,1	100,0	118,5	123,2
100	19,3	36,9	41,0	68,6	82,2	100,0	119,0	123,3
MEDIA	19,5	35,8	40,4	69,2	81,6	100,0	117,8	124,0

Cuadro A.6.8. : Precipitaciones máximas en períodos cortos de tiempo. Estación meteorológica de Zaragoza `Observatorio` (9433 E)

DATOS DE PRECIPITACION EN 9433 ZARAGOZA AEROPUERTO
Tomado de la Monografía nº 21 de ICONA

PRECIPITACIÓN EN mm.					
Período de retorno (años)	Duración				
	72 h.	48 h.	24 h.	12 h.	6 h.
2	47,3	43,7	37,5	30,2	24,2
5	63,6	60,1	54,3	39,8	33,1
10	73,8	71,0	65,6	46,2	39,0
25	87,2	84,8	79,8	54,2	46,4
50	97,2	95,1	90,3	60,1	52,0
100	107,1	105,1	100,9	65,9	57,5

INTENSIDAD EN mm/h.					
Período de retorno (años)	Duración				
	72 h.	48 h.	24 h.	12 h.	6 h.
2	0,7	0,9	1,6	2,5	4,0
5	0,9	1,3	2,3	3,3	5,5
10	1,0	1,5	2,7	3,9	6,5
25	1,2	1,8	3,3	4,5	7,7
50	1,4	2,0	3,8	5,0	8,7
100	1,5	2,2	4,2	5,5	9,6

% DE LA PRECIPITACIÓN EN 24 h.					
Período de retorno (años)	Duración				
	72 h.	48 h.	24 h.	12 h.	6 h.
2	126,1	116,5	100,0	80,5	64,5
5	117,1	110,7	100,0	73,3	61,0
10	112,5	108,2	100,0	70,4	59,5
25	109,3	106,3	100,0	67,9	58,1
50	107,6	105,3	100,0	66,6	57,6
100	106,1	104,2	100,0	65,3	57,0
MEDIA	113,1	108,5	100,0	70,7	59,6

Cuadro A.6.7. : Precipitaciones máximas en períodos cortos de tiempo. Estación meteorológica de Zaragoza `Aeropuerto` (9433)

Puede observarse que las lluvias de menos de 30 minutos de duración oscilarían entre los 13.5 mm para un periodo de retorno de 2 años y los 39 mm para un periodo de retorno de 100 años, lo que corresponde a intensidades de 27 mm/h en el primer caso y de 78 mm/h en el segundo.

En la figura 5 se resume en un conjunto de curvas la información de los cuadros arriba descritos; en abscisas aparece la duración de la lluvia, y en ordenadas la intensidad horaria. Las 6 curvas de la figura corresponden a otras tantas hipótesis de periodo de retorno, desde 2 hasta 100 años. Insistimos que se trata de deducciones teóricas propias de lo que se conoce como "hidrología con datos insuficientes", que no deben ser tomadas al pie de la letra en relación con determinadas decisiones. El único dato verdaderamente real es el correspondiente a las lluvias registradas en periodos de 24 horas, que para el periodo 1961-90 en el Observatorio de Zaragoza (9434E) llegó a alcanzar un máximo de 67.3 mm. El valor medio de las precipitaciones máximas registradas cada año en 24 horas fué de 35.4 mm.

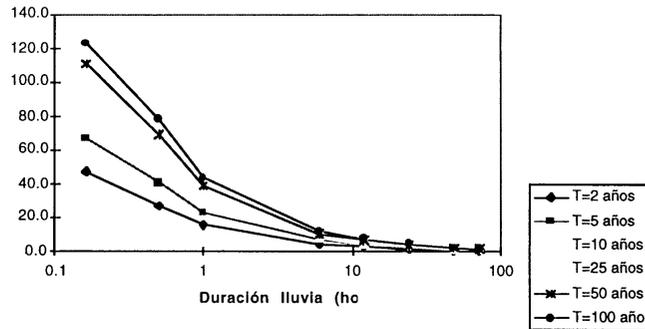


Fig.5.- Curvas de intensidades/duración de lluvia para diferentes periodos de retorno (a partir de datos de la estación meteorológica "Zaragoza-Observatorio").

3.3. Cálculos hidrológicos.

3.3.1. Superficies hidrográficas.

En relación con el problema de la peligrosidad de inundación hemos procedido a discretizar el entorno hidrográfico de 25.5 km² descrito en el apartado anterior en el conjunto de 8 unidades que se muestran en el cuadro adjunto.

SUPERFICIES HIDROGRÁFICAS (km ²)	
Subcuenca A	0.307
Subcuenca B	0.564
Subcuenca C	0.450
Subcuenca D	0.406
Subcuenca E	0.120
Subcuenca F	0.373
Subcuenca G	0.073
Subcuenca W	17.9

NOTA: Las subcuencas A a G, ambas inclusive, constituyen lo que antes hemos denominado "subcuenca Sur", es decir, al conjunto de pequeños barrancos drenantes en la depresión de Valdespartera.

A partir de estas superficies se ha procedido, por un lado, a la estimación de los volúmenes máximos de agua de escorrentía aportables en diferentes hipótesis a la parte inundable de la depresión de Valdespartera y, por otro lado, a determinar los máximos caudales instantáneos esperables en el tramo final del barranco de la Feria de Muestras y en cada uno de los pequeños barrancos que limitan la depresión de Valdespartera por su flanco sur.

3.3.2. Tiempos de concentración

El tiempo de concentración (t_c) de una cuenca en una sección determinada de su cauce se refiere al tiempo que tardaría en fluir una gota de agua que cayera en el punto de la cuenca hidrológicamente más alejad. Aunque es un parámetro en cierto modo teórico, refleja una realidad semicuantificable, de gran interés en los cálculos hidrológicos; conjuga la pendiente media del cauce principal con su longitud; es de interés capital en la estimación del caudal máximo posible correspondiente a una lluvia determinada y en la predeterminación de su hidrograma (tiempo de base, tiempo de punta, caudal punta, etc...).

Existen diferentes aproximaciones empíricas para determinar en cada caso el valor del tiempo de concentración; en general, incluyen el desnivel del tramo hidrográfico considerado y su longitud. De entre todos los métodos hemos utilizado el que recoge la Directiva de Carreteras del antiguo M.O.P. en relación a este tipo de problemas, que responde a la siguiente expresión:

$$t_c = 0,3 (L/J^{0,25})^{0,76} \times 60$$

t_c : tiempo de concentración, en minutos

L: longitud del cauce principal, en km

J: pendiente media desde el punto más alto al más bajo, en tanto por uno

Los resultados así obtenidos se ofrecen en el cuadro adjunto:

Determinación de tiempos de concentración (t_c) en cada unidad hidrográfica.						
Unidad	Cota máxima	Cota mínima	Desnivel (m)	Longitud del cauce (m)	Pendiente (%)	t_c (minutos)
A	340	275	65	930	7.0	10.27
B	365	280	85	1430	5.9	13.82
C	350	280	70	930	7.5	10.42
D	365	285	80	1010	7.9	11.20
E	300	250	50	530	9.4	7.09
F	320	265	55	900	6.1	9.77
G	330	280	50	350	14.3	5.60
W	590	260	330	9000	3.7	51.02

Vemos cómo los tiempos de concentración en las unidades A a G son del orden de 10 a 15 minutos. Solamente la unidad W (barranco oeste), debido a su mayor entidad hidrográfica, presenta un tiempo de concentración próximo a la hora. En las tablas adjuntas se presentan los valores obtenidos en cada una de las subunidades consideradas.

Sub- unidad	Area (km ²)	Cota máxima	Cota mínima	Desnivel (m)	Longitud de cauce (m)	Pendiente (%)	Tiempo de concentración (minutos)
Subcuenca A							
A1	0.118	340	275	65	930	7.0	10.27
A2	0.028	335	315	20	200	10.0	3.4
A3	0.024	305	280	25	400	6.3	5.3
A5	0.092	335	275	60	580	10.3	7.7
Subcuenca B							
B1	0.294	365	280	85	1430	5.9	13.8
B2	0.092	345	315	30	380	7.9	5.3
B3	0.06	350	305	45	430	10.5	6.2
B4	0.061	335	295	40	320	12.5	5.1
B5	0.057	325	285	40	470	8.5	6.3
Subcuenca C							
C1	0.19	350	280	70	930	7.5	10.4
C2	0.116	350	300	50	550	9.1	7.2
C3	0.144	370	280	90	1130	8.0	12.2
Subcuenca D							
D1	0.219	365	285	80	1010	7.9	11.2
D2	0.07	370	300	70	470	14.9	7.1
D3	0.048	320	300	20	320	6.3	4.5
D4	0.021	320	290	30	330	9.1	4.9
D5	0.048	320	290	30	400	7.5	5.5
Subcuenca E							
E1	0.085	300	250	50	530	9.4	7.1
E2	0.035	295	255	40	380	10.5	5.6
Subcuenca F							
F1	0.147	320	265	55	900	6.1	9.8
F2	0.066	320	285	35	380	9.2	5.5
F3	0.025	330	285	45	230	19.6	4.3
F4	0.04	340	265	75	400	18.8	6.5
F5	0.095	320	275	45	600	7.5	7.5
Subcuenca G							
G1	0.073	330	280	50	350	14.3	5.6
Subcuenca W							
W	17.9	590	260	330	9000	3.7	51.0

3.3.3. Caudales punta (Q_p)

La determinación del caudal punta de una crecida es un dato de singular interés en problemas como el que nos ocupa, es decir, en la toma de decisiones respecto al uso o destino de un determinado espacio urbanizable. Cuando se carece de información documentada suficiente, como es nuestro caso, hay que recurrir a los métodos empíricos y estocásticos. La determinación del caudal punta exigiría el cálculo previo del hidrograma de crecida correspondiente. A falta de datos reales se corre el riesgo de entrar en una dinámica de cálculos hidrológicos aparentemente precisos, con resultados numéricos muy concretos, pero que se pueden alejar de la realidad. En esas situaciones entendemos que entre todas las variables de decisión a considerar, dos de las más importantes son el sentido común y la prudencia.

El sentido común aconseja no forzar innecesariamente las dinámicas de la naturaleza, es decir, no ocupar con enseres o hábitats humanos espacios eventualmente expuestos a inundaciones, encharcamientos o desbordamientos, procurando que a cada porción del territorio se le dé el destino más adecuado sin exponerse a riesgos. La prudencia aplicada a este tipo de cálculos hidrológicos obliga a ponerse del lado de la seguridad. En este sentido, cuando se trata de pequeñas unidades hidrográficas como las que estamos tratando, con tiempos de concentración medibles en minutos, entendemos que la determinación de los caudales punta debe hacerse en relación al máximo caudal de lluvia esperable. En esas circunstancias, el poder de laminación natural es pequeño, lo que obliga en honor a esa prudencia, a trabajar con coeficientes de escorrentía igual a la unidad. En el momento más intenso de un aguacero, una vez que el suelo está mojado, la capacidad de infiltración del terreno es irrelevante en relación con la intensidad de la lluvia y, por otra parte, la morfología del fondo de los pequeños barrancos hace que su poder de laminación natural sea realmente escaso en relación a los caudales de lluvia.

En el caso de que la zona estudiada se desarrollara urbanísticamente en un futuro, es decir, contara con amplias superficies pavimentadas, techadas, etc, la consideración de un coeficiente de escorrentía del 100 % estaría justificada, máxime cuando estamos obligados a trabajar desde el lado de la seguridad.

Una vez que el suelo está mojado y ha comenzado la lluvia neta, los caudales de escorrentía crecen hasta un máximo posible; ese máximo se alcanza cuando la duración de la lluvia neta se iguala con el tiempo de concentración t_c . Si el coeficiente de escorrentía es la unidad, en ese momento el caudal circulante corresponderá al caudal de lluvia. Si la lluvia neta continúa más allá del tiempo de concentración, el caudal de escorrentía se mantiene constante, a condición de que no aumente la intensidad de la lluvia. El caudal de lluvia corresponde al producto de la intensidad pluviométrica por la superficie hidrográfica considerada. Todas estas consideraciones son tanto más correctas cuanto más pequeña es la superficie de cuenca utilizada.

Procediendo así se ha calculado para cada conjunto hidrográfico los correspondientes caudales de lluvia, así como las escorrentías generadas bajo diferentes hipótesis de coeficiente de escorrentía y periodos de retorno.

Caudales punta (m³/s) generados para diferentes coef. de escorrentía.

Cálculos para una lluvia neta de 1 hora de duración y un periodo de retorno de 10 años, a la que corresponde una intensidad de 28mm/h.

SUBCUENCA	Coeficientes de escorrentía				
	100%	75%	50%	25%	10%
A	2.39	1.79	1.20	0.60	0.24
B	4.39	3.29	2.20	1.10	0.44
C	3.50	2.63	1.75	0.88	0.35
D	3.16	2.37	1.58	0.79	0.32
E	0.93	0.70	0.47	0.23	0.09
F	2.90	2.18	1.45	0.73	0.29
G	5.68	4.26	2.84	1.42	0.57

Caudales punta (m³/s) generados para diferentes coef. de escorrentía.

Cálculos para una lluvia neta de 1 hora de duración y un periodo de retorno de 100 años, a la que corresponde una intensidad de 43.4mm/h.

SUBCUENCA	100%	75%	50%	25%	10%
A	3.70	2.78	1.85	0.93	0.37
B	6.80	5.10	3.40	1.70	0.68
C	5.43	4.07	2.72	1.36	0.54
D	4.89	3.67	2.45	1.22	0.49
E	1.02	0.77	0.51	0.26	0.10
F	4.50	3.38	2.25	1.13	0.45
G	8.80	6.60	4.40	2.20	0.88

En el caso de aguaceros extraordinariamente violentos, hay episodios de escasa duración (15 a 20 minutos) en los que los caudales punta generados pueden ser excepcionalmente elevados. Al objeto de dar una idea aproximada de los caudales punta que se podrían generar en episodios de lluvia neta desde muy cortos (10 minutos) hasta muy largos (72 horas) hemos confeccionado una serie de cuadros en los que figuran los resultados teóricos en cada una de las pequeñas unidades hidrográficas en las que se puede dividir la zona de estudio, que en nuestro caso van desde espacios de unas pocas hectáreas a unas pocas decenas de hectáreas. Los cálculos han sido hechos para 6 hipótesis diferentes de periodos de retorno, desde 2 a 100 años. En los cuadros adjuntos figura el caudal punta y el volumen de escorrentía generado por el aguacero correspondiente; siempre bajo la hipótesis de un coeficiente de escorrentía igual al 100 %.

SUBCUENCA A														
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 2 AÑOS (mm/h)														
Área barranco (km²)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)						
Tiempo de lluvia	10 minutos		30 minutos		1 hora		6 horas		12 horas		24 horas		48 horas	
Intensidad	47.4 mm/h		27.0 mm/h		15.7 mm/h		4.7 mm/h		2.7 mm/h		1.7 mm/h		1 mm/h	
A1	0.307	4.04 2425	2.30 4145	1.34 4820	0.40 8657	0.23 9947	0.14 12526	0.09 14736	0.06 15473					
A2	0.028	0.52 314	0.21 378	0.12 440	0.04 790	0.02 907	0.01 1142	0.01 1344	0.01 1411					
A3	0.024	0.45 269	0.18 324	0.10 377	0.03 677	0.02 778	0.01 979	0.01 1152	0.01 1210					
A4	0.045	0.84 504	0.34 608	0.20 707	0.06 1269	0.03 1458	0.02 1836	0.01 2160	0.01 2268					
A5	0.092	1.72 1030	0.69 1242	0.40 1444	0.12 2594	0.07 2981	0.04 3754	0.03 4416	0.02 4637					
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 5 AÑOS (mm/h)														
Intensidad	67.2 mm/h		40.4 mm/h		23.1 mm/h		6.7 mm/h		3.9 mm/h		1.4 mm/h		1 mm/h	
A1	0.307	5.73 3438	3.45 6201	1.97 7092	0.57 12341	0.33 14368	0.20 17683	0.12 20630	0.09 22104					
A2	0.028	0.37 221	0.31 566	0.18 647	0.05 1126	0.03 1310	0.02 1613	0.01 1882	0.01 2016					
A3	0.024	0.32 190	0.27 485	0.15 554	0.04 965	0.03 1123	0.02 1382	0.01 1613	0.01 1728					
A4	0.045	0.59 356	0.51 909	0.29 1040	0.08 1809	0.05 2106	0.03 2592	0.02 3024	0.01 3240					
A5	0.092	1.21 727	1.03 1858	0.59 2125	0.17 3698	0.10 4306	0.06 5299	0.04 6182	0.03 6624					
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 10 AÑOS (mm/h)														
Intensidad	81 mm/h		49.6 mm/h		28 mm/h		8 mm/h		4.7 mm/h		2.9 mm/h		1.7 mm/h	
A1	0.307	6.91 4145	4.23 7614	2.39 8596	0.68 14736	0.40 17315	0.25 21367	0.14 25051	0.10 26525					
A2	0.028	0.63 378	0.39 694	0.22 784	0.06 1344	0.04 1579	0.02 1949	0.01 2285	0.01 2419					
A3	0.024	0.54 324	0.33 595	0.19 672	0.05 1152	0.03 1354	0.02 1670	0.01 1958	0.01 2074					
A4	0.045	1.01 608	0.62 1116	0.35 1260	0.10 2160	0.06 2538	0.04 3132	0.02 3672	0.02 3888					
A5	0.092	2.07 1242	1.27 2282	0.72 2576	0.20 4416	0.12 5189	0.07 6403	0.04 7507	0.03 7949					
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 25 AÑOS (mm/h)														
Intensidad	97.8 mm/h		61.0 mm/h		34.2 mm/h		9.6 mm/h		5.7 mm/h		3.5 mm/h		2.1 mm/h	
A1	0.307	8.34 5004	5.20 9364	2.92 10499	0.82 17683	0.49 20999	0.30 25788	0.18 30946	0.12 30946					
A2	0.028	0.76 456	0.47 854	0.27 958	0.07 1613	0.04 1915	0.03 2352	0.02 2822	0.01 2822					
A3	0.024	0.65 391	0.41 732	0.23 821	0.06 1382	0.04 1642	0.02 2016	0.01 2419	0.01 2419					
A4	0.045	1.22 734	0.76 1373	0.43 1539	0.12 2592	0.07 3078	0.04 3780	0.03 4536	0.02 4536					
A5	0.092	2.50 1500	1.56 2806	0.87 3146	0.25 5299	0.15 6293	0.09 7728	0.05 9274	0.04 9274					
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 50 AÑOS (mm/h)														
Intensidad	110.4 mm/h		69.6 mm/h		38.9 mm/h		10.9 mm/h		6.5 mm/h		4.0 mm/h		2.4 mm/h	
A1	0.307	9.41 5649	5.94 10684	3.32 11942	0.93 20078	0.55 23946	0.34 29472	0.20 35366	0.14 35366					
A2	0.028	0.86 515	0.54 974	0.30 1089	0.08 1831	0.05 2184	0.03 2688	0.02 3226	0.01 3226					
A3	0.024	0.74 442	0.46 835	0.26 934	0.07 1570	0.04 1872	0.03 2304	0.02 2765	0.01 2765					
A4	0.045	1.38 828	0.87 1566	0.49 1751	0.14 2943	0.08 3510	0.05 4300	0.03 5184	0.02 5184					
A5	0.092	2.82 1693	1.78 3202	0.99 3579	0.28 6017	0.17 7156	0.10 8832	0.06 10598	0.04 10598					
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 100 AÑOS (mm/h)														
Intensidad	122.4 mm/h		78.0 mm/h		43.4 mm/h		12.1 mm/h		7.3 mm/h		4.4 mm/h		2.6 mm/h	
A1	0.370	10.44 6263	6.65 11973	3.70 13324	1.03 22288	0.62 26893	0.38 32419	0.22 38314	0.15 39787					
A2	0.028	0.95 571	0.61 1092	0.34 1215	0.09 2033	0.06 2453	0.03 2957	0.02 3494	0.01 3629					
A3	0.024	0.82 490	0.52 936	0.29 1042	0.08 1742	0.05 2102	0.03 2534	0.02 2995	0.01 3110					
A4	0.045	1.53 918	0.98 1755	0.54 1953	0.15 3267	0.09 3942	0.06 4752	0.03 5616	0.02 5832					
A5	0.092	3.13 1877	1.99 3588	1.11 3993	0.31 6679	0.19 8059	0.11 9715	0.07 11482	0.05 11923					

SUBCUENCA B																	
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 2 AÑOS (mm/h)																	
Área barranco (km²)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	
Tempo de lluvia	10 minutos		30 minutos		1 hora		6 horas		12 horas		24 horas		48 horas		72 horas		
Intensidad	47.4 mm/h		27.0 mm/h		15.7 mm/h		4.7 mm/h		2.7 mm/h		1.7 mm/h		1 mm/h		0.7 mm/h		
B1	0.564	7.43	4456	4.23	7614	2.46	8855	0.74	15905	0.42	18274	0.27	23011	0.16	27072	0.11	28426
B2	0.092	1.21	727	0.69	1242	0.40	1444	0.12	2594	0.07	2981	0.04	3754	0.03	4416	0.02	4637
B3	0.06	0.79	474	0.45	810	0.26	942	0.08	1692	0.05	1944	0.03	2448	0.02	2880	0.01	3024
B4	0.061	0.80	482	0.46	824	0.27	958	0.08	1720	0.05	1976	0.03	2489	0.02	2928	0.01	3074
B5	0.057	0.75	450	0.43	770	0.25	895	0.07	1607	0.04	1847	0.03	2326	0.02	2736	0.01	2873
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 5 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	67.2 mm/h		40.4 mm/h		23.1 mm/h		6.7 mm/h		3.9 mm/h		2.4 mm/h		1.4 mm/h		1 mm/h		
B1	0.564	10.53	6317	6.33	11393	3.62	13028	1.05	22673	0.61	26395	0.38	32486	0.22	37901	0.16	40608
B2	0.092	1.21	727	1.03	1858	0.59	2125	0.17	3698	0.10	4306	0.06	5299	0.04	6182	0.03	6624
B3	0.06	0.79	474	0.67	1212	0.39	1386	0.11	2412	0.07	2808	0.04	3456	0.02	4032	0.02	4320
B4	0.061	0.80	482	0.68	1232	0.39	1409	0.11	2452	0.07	2855	0.04	3514	0.02	4099	0.02	4392
B5	0.057	0.75	450	0.64	1151	0.37	1317	0.11	2291	0.06	2668	0.04	3283	0.02	3830	0.02	4104
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 10 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	81 mm/h		49.6 mm/h		28 mm/h		8 mm/h		4.7 mm/h		2.9 mm/h		1.7 mm/h		1.2 mm/h		
B1	0.564	12.69	7614	7.77	13987	4.39	15792	1.25	27072	0.74	31810	0.45	39254	0.27	46022	0.19	48730
B2	0.092	2.07	1242	1.27	2282	0.72	2576	0.20	4416	0.12	5189	0.07	6403	0.04	7507	0.03	7949
B3	0.06	1.35	810	0.83	1488	0.47	1680	0.13	2880	0.08	3384	0.05	4176	0.03	4896	0.02	5184
B4	0.061	1.37	824	0.84	1513	0.47	1708	0.14	2928	0.08	3440	0.05	4246	0.03	4978	0.02	5270
B5	0.057	1.28	770	0.79	1414	0.44	1596	0.13	2736	0.07	3215	0.05	3967	0.03	4651	0.02	4925
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 25 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	97.8 mm/h		61.0 mm/h		34.2 mm/h		9.6 mm/h		5.7 mm/h		3.5 mm/h		2.1 mm/h		1.4 mm/h		
B1	0.564	15.32	9193	9.56	17202	5.36	19289	1.50	32486	0.89	38578	0.55	47376	0.33	56851	0.22	56851
B2	0.092	2.50	1500	1.56	2806	0.87	3146	0.25	5299	0.15	6293	0.09	7728	0.05	9274	0.04	9274
B3	0.06	1.63	978	1.02	1830	0.57	2052	0.16	3456	0.10	4104	0.06	5040	0.04	6048	0.02	6048
B4	0.061	1.66	994	1.03	1861	0.58	2086	0.16	3514	0.10	4172	0.06	5124	0.04	6149	0.02	6149
B5	0.057	1.55	929	0.97	1739	0.54	1949	0.15	3283	0.09	3899	0.06	4788	0.03	5746	0.02	5746
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 50 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	110.4 mm/h		69.6 mm/h		38.9 mm/h		10.9 mm/h		6.5 mm/h		4.0 mm/h		2.4 mm/h		1.6 mm/h		
B1	0.294	9.02	5410	5.68	10231	3.18	11437	0.89	19228	0.53	22932	0.33	28224	0.20	33869	0.13	33869
B2	0.092	2.82	1693	1.78	3202	0.99	3579	0.28	6017	0.17	7176	0.10	8832	0.06	10598	0.04	10598
B3	0.06	1.84	1104	1.16	2088	0.65	2334	0.18	3924	0.11	4680	0.07	5760	0.04	6912	0.03	6912
B4	0.061	1.87	1122	1.18	2123	0.66	2373	0.18	3989	0.11	4758	0.07	5856	0.04	7027	0.03	7027
B5	0.057	1.75	1049	1.10	1984	0.62	2217	0.17	3728	0.10	4446	0.06	5472	0.04	6566	0.03	6566
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 100 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	122.4 mm/h		78.0 mm/h		43.4 mm/h		12.1 mm/h		7.3 mm/h		4.4 mm/h		2.6 mm/h		1.8 mm/h		
B1	0.294	10.00	5988	6.37	11466	3.54	12760	0.99	21344	0.60	25754	0.36	31046	0.21	36691	0.15	38102
B2	0.092	3.13	1877	1.99	3588	1.11	3993	0.31	6679	0.19	8059	0.11	9715	0.07	11482	0.05	11923
B3	0.06	2.04	1224	1.30	2340	0.72	2604	0.20	4356	0.12	5256	0.07	6336	0.04	7488	0.03	7776
B4	0.061	2.07	1244	1.32	2379	0.74	2647	0.21	4429	0.12	5344	0.07	6442	0.04	7613	0.03	7906
B5	0.057	1.94	1163	1.24	2223	0.69	2474	0.19	4138	0.12	4993	0.07	6019	0.04	7114	0.03	7387

SUBCUENCA C																	
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 2 AÑOS (mm/h)																	
Área barranco (km²)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	
Tempo de lluvia	10 minutos		30 minutos		1 hora		6 horas		12 horas		24 horas		48 horas		72 horas		
Intensidad	47.4 mm/h		27.0 mm/h		15.7 mm/h		4.7 mm/h		2.7 mm/h		1.7 mm/h		1 mm/h		0.7 mm/h		
C1	0.45	5.93	3555	3.38	6075	1.96	7065	0.59	12690	0.34	14580	0.21	18360	0.13	21600	0.09	22680
C2	0.116	1.53	916	0.87	1566	0.51	1821	0.15	3271	0.09	3758	0.05	4733	0.03	5568	0.02	5846
C3	0.144	1.90	1138	1.08	1944	0.63	2261	0.19	4061	0.11	4666	0.07	5875	0.04	6912	0.03	7258
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 5 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	67.2 mm/h		40.4 mm/h		23.1 mm/h		6.7 mm/h		3.9 mm/h		2.4 mm/h		1.4 mm/h		1 mm/h		
C1	0.45	8.40	5040	5.05	9090	2.89	10395	0.84	18090	0.49	21060	0.30	25920	0.18	30240	0.13	32400
C2	0.116	1.53	916	1.30	2343	0.74	2680	0.22	4663	0.13	5429	0.08	6682	0.05	7795	0.03	8352
C3	0.144	1.90	1138	1.62	2909	0.92	3326	0.27	5789	0.16	6739	0.10	8294	0.06	9677	0.04	10368
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 10 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	81 mm/h		49.6 mm/h		28 mm/h		8 mm/h		4.7 mm/h		2.9 mm/h		1.7 mm/h		1.2 mm/h		
C1	0.45	10.13	6075	6.20	11160	3.50	12600	1.00	21600	0.59	25380	0.36	31320	0.21	36720	0.15	38880
C2	0.116	2.61	1566	1.60	2877	0.90	3248	0.26	5568	0.15	6542	0.09	8074	0.05	9466	0.04	10022
C3	0.144	3.24	1944	1.98	3571	1.12	4032	0.32	6912	0.19	8122	0.12	10022	0.07	11750	0.05	12442
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 25 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	97.8 mm/h		61.0 mm/h		34.2 mm/h		9.6 mm/h		5.7 mm/h		3.5 mm/h		2.1 mm/h		1.4 mm/h		
C1	0.45	12.23	7335	7.63	13725	4.28	15390	1.20	25920	0.71	30780	0.44	37800	0.26	45360	0.18	45360
C2	0.116	3.15	1891	1.97	3538	1.10	3967	0.31	6682	0.18	7934	0.11	9744	0.07	11693	0.05	11693
C3	0.144	3.91	2347	2.44	4392	1.37	4925	0.38	8294	0.23	9850	0.14	12096	0.08	14515	0.06	14515
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 50 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	110.4 mm/h		69.6 mm/h		38.9 mm/h		10.9 mm/h		6.5 mm/h		4.0 mm/h		2.4 mm/h		1.6 mm/h		
C1	0.45	13.80	8280	8.70	15660	4.86	17505	1.36	29430	0.81	35100	0.50	43200	0.30	51840	0.20	51840
C2	0.116	3.56	2134	2.24	4037	1.25	4512	0.35	7586	0.21	9048	0.13	11136	0.08	13363	0.05	13363
C3	0.144	4.42	2650	2.78	5011	1.56	5602	0.44	9418	0.26	11232	0.16	13824	0.10	16589	0.06	16589
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 100 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	122.4 mm/h		78.0 mm/h		43.4 mm/h		12.1 mm/h		7.3 mm/h		4.4 mm/h		2.6 mm/h		1.8 mm/h		
C1	0.45	15.30	9180	9.75	17550	5.43	19530	1.51	32670	0.91	39420	0.55	47520	0.33	56160	0.23	58320
C2	0.116	3.94	2366	2.51	4524	1.40	5034	0.39	8422	0.24	10162	0.14	12250	0.08	14477	0.06	15034
C3	0.144	4.90	2938	3.12	5616	1.74	6250	0.48	10454	0.29	12614	0.18	15206	0.10	17971	0.07	18662

SUBCUENCA D																	
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 2 AÑOS (mm/h)																	
Área barranco (km²)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	
Tiempo de lluvia	10 minutos		30 minutos		1 hora		6 horas		12 horas		24 horas		48 horas		72 horas		
Intensidad	47.4 mm/h		27.0 mm/h		15.7 mm/h		4.7 mm/h		2.7 mm/h		1.7 mm/h		1 mm/h		0.7 mm/h		
D1	0.406	5.35	3207	3.05	5481	1.77	6374	0.53	11449	0.30	13154	0.19	16565	0.11	19488	0.08	20462
D2	0.07	0.92	553	0.53	945	0.31	1099	0.09	1974	0.05	2268	0.03	2856	0.02	3360	0.01	3528
D3	0.048	0.63	379	0.36	648	0.21	754	0.06	1354	0.04	1555	0.02	1958	0.01	2304	0.01	2419
D4	0.021	0.28	166	0.16	284	0.09	330	0.03	592	0.02	680	0.01	857	0.01	1008	0.00	1058
D5	0.048	0.63	379	0.36	648	0.21	754	0.06	1354	0.04	1555	0.02	1958	0.01	2304	0.01	2419
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 5 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	67.2 mm/h		40.4 mm/h		23.1 mm/h		6.7 mm/h		3.9 mm/h		2.4 mm/h		1.4 mm/h		1 mm/h		
D1	0.406	7.58	4547	4.56	8201	2.61	9379	0.76	16321	0.44	19001	0.27	23386	0.16	27283	0.11	29232
D2	0.07	0.92	553	0.79	1414	0.45	1617	0.13	2814	0.08	3276	0.05	4032	0.03	4704	0.02	5040
D3	0.048	0.63	379	0.54	970	0.31	1109	0.09	1930	0.05	2246	0.03	2765	0.02	3226	0.01	3456
D4	0.021	0.28	166	0.24	424	0.13	485	0.04	844	0.02	983	0.01	1210	0.01	1411	0.01	1512
D5	0.048	0.63	379	0.54	970	0.31	1109	0.09	1930	0.05	2246	0.03	2765	0.02	3226	0.01	3456
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 10 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	81 mm/h		49.6 mm/h		28 mm/h		8 mm/h		4.7 mm/h		2.9 mm/h		1.7 mm/h		1.2 mm/h		
D1	0.406	9.14	5481	5.59	10069	3.16	11368	0.90	19488	0.53	22898	0.33	28258	0.19	33130	0.14	35078
D2	0.07	1.58	945	0.96	1736	0.54	1960	0.16	3360	0.09	3948	0.06	4872	0.03	5712	0.02	6048
D3	0.048	1.06	648	0.66	1190	0.37	1344	0.11	2304	0.06	2707	0.04	3341	0.02	3917	0.02	4147
D4	0.021	0.47	284	0.29	521	0.16	588	0.05	1008	0.03	1184	0.02	1462	0.01	1714	0.01	1814
D5	0.048	1.06	648	0.66	1190	0.37	1344	0.11	2304	0.06	2707	0.04	3341	0.02	3917	0.02	4147
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 25 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	97.8 mm/h		61.0 mm/h		34.2 mm/h		9.6 mm/h		5.7 mm/h		3.5 mm/h		2.1 mm/h		1.4 mm/h		
D1	0.406	11.03	6618	6.68	12383	3.86	13885	1.08	23386	0.64	27770	0.39	34104	0.24	40925	0.16	40925
D2	0.07	1.90	1141	1.19	2135	0.67	2394	0.19	4032	0.11	4788	0.07	5880	0.04	7056	0.03	7056
D3	0.048	1.30	782	0.81	1464	0.46	1642	0.13	2765	0.08	3283	0.05	4032	0.03	4838	0.02	4838
D4	0.021	0.57	342	0.36	641	0.20	718	0.06	1210	0.03	1436	0.02	1764	0.01	2117	0.01	2117
D5	0.048	1.30	782	0.81	1464	0.46	1642	0.13	2765	0.08	3283	0.05	4032	0.03	4838	0.02	4838
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 50 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	110.4 mm/h		69.6 mm/h		38.9 mm/h		10.9 mm/h		6.5 mm/h		4.0 mm/h		2.4 mm/h		1.6 mm/h		
D1	0.406	12.45	7470	7.85	14129	4.39	15793	1.23	26552	0.73	31668	0.45	38976	0.27	46771	0.18	46771
D2	0.07	2.15	1288	1.35	2436	0.76	2723	0.21	4578	0.13	5460	0.08	6720	0.05	8064	0.03	8064
D3	0.048	1.47	883	0.93	1670	0.52	1867	0.15	3139	0.09	3744	0.05	4608	0.03	5530	0.02	5530
D4	0.021	0.64	386	0.41	731	0.23	817	0.06	1373	0.04	1638	0.02	2016	0.01	2419	0.01	2419
D5	0.048	1.47	883	0.93	1670	0.52	1867	0.15	3139	0.09	3744	0.05	4608	0.03	5530	0.02	5530
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 100 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	122.4 mm/h		78.0 mm/h		43.4 mm/h		12.1 mm/h		7.3 mm/h		4.4 mm/h		2.6 mm/h		1.8 mm/h		
D1	0.406	13.80	8282	8.80	15834	4.89	17620	1.36	29476	0.82	35566	0.50	42874	0.29	50669	0.20	52618
D2	0.07	2.38	1428	1.52	2730	0.84	3038	0.24	5082	0.14	6132	0.09	7392	0.05	8736	0.04	9072
D3	0.048	1.63	979	1.04	1872	0.58	2083	0.16	3485	0.10	4205	0.06	5069	0.03	5990	0.02	6221
D4	0.021	0.71	428	0.46	819	0.25	911	0.07	1525	0.04	1840	0.03	2218	0.02	2621	0.01	2722
D5	0.048	1.63	979	1.04	1872	0.58	2083	0.16	3485	0.10	4205	0.06	5069	0.03	5990	0.02	6221

SUBCUENCA E																	
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 2 AÑOS (mm/h)																	
Área barranco (km²)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	
Tiempo de lluvia	10 minutos		30 minutos		1 hora		6 horas		12 horas		24 horas		48 horas		72 horas		
Intensidad	47.4 mm/h		27.0 mm/h		15.7 mm/h		4.7 mm/h		2.7 mm/h		1.7 mm/h		1 mm/h		0.7 mm/h		
E1	0.12	1.58	948	0.90	1620	0.52	1884	0.16	3384	0.09	3888	0.06	4896	0.03	5760	0.02	6048
E2	0.035	0.46	277	0.26	473	0.15	550	0.05	967	0.03	1134	0.02	1428	0.01	1680	0.01	1764
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 5 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	67.2 mm/h		40.4 mm/h		23.1 mm/h		6.7 mm/h		3.9 mm/h		2.4 mm/h		1.4 mm/h		1 mm/h		
E1	0.12	2.24	1344	1.35	2424	0.77	2772	0.22	4824	0.13	5616	0.08	6912	0.05	8064	0.03	8640
E2	0.035	0.46	277	0.39	707	0.22	809	0.07	1407	0.04	1638	0.02	2016	0.01	2352	0.01	2520
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 10 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	81 mm/h		49.6 mm/h		28 mm/h		8 mm/h		4.7 mm/h		2.9 mm/h		1.7 mm/h		1.2 mm/h		
E1	0.12	2.70	1620	1.65	2976	0.93	3360	0.27	5760	0.16	6768	0.10	8352	0.06	9792	0.04	10368
E2	0.035	0.79	473	0.48	868	0.27	980	0.08	1680	0.05	1974	0.03	2436	0.02	2856	0.01	3024
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 25 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	97.8 mm/h		61.0 mm/h		34.2 mm/h		9.6 mm/h		5.7 mm/h		3.5 mm/h		2.1 mm/h		1.4 mm/h		
E1	0.12	3.26	1956	2.03	3660	1.14	4104	0.32	6912	0.19	8208	0.12	10080	0.07	12096	0.05	12096
E2	0.035	0.95	571	0.59	1068	0.33	1197	0.09	2016	0.06	2394	0.03	2940	0.02	3528	0.01	3528
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 50 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	110.4 mm/h		69.6 mm/h		38.9 mm/h		10.9 mm/h		6.5 mm/h		4.0 mm/h		2.4 mm/h		1.6 mm/h		
E1	0.085	2.61	1564	1.64	2958	0.92	3307	0.26	5559	0.15	6630	0.09	8160	0.06	9792	0.04	9792
E2	0.035	1.07	644	0.68	1218	0.38	1362	0.11	2289	0.06	2730	0.04	3360	0.02	4032	0.02	4032
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 100 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	122.4 mm/h		78.0 mm/h		43.4 mm/h		12.1 mm/h		7.3 mm/h		4.4 mm/h		2.6 mm/h		1.8 mm/h		
E1	0.085	2.89	1734	1.84	3315	1.02	3689	0.29	6171	0.17	7446	0.10	8976	0.06	10608	0.04	11016
E2	0.035	1.19	714	0.76	1365	0.42	1519	0.12	2541	0.07	3066	0.04	3696	0.03	4368	0.02	4536

SUBCUENCA F																	
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 2 AÑOS (mm/h)																	
Área barranco (km²)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	
Tiempo de lluvia	10 minutos	30 minutos	1 hora	6 horas	12 horas	24 horas	48 horas	72 horas									
Intensidad	47.4 mm/h	27.0 mm/h	15.7 mm/h	4.7 mm/h	2.7 mm/h	1.7 mm/h	1 mm/h	0.7 mm/h									
F1	0.373	4.91	2947	2.80	5036	1.63	5856	0.49	10519	0.28	12085	0.18	15218	0.10	17904	0.07	18799
F2	0.066	0.87	521	0.50	891	0.29	1036	0.09	1861	0.05	2138	0.03	2693	0.02	3168	0.01	3326
F3	0.025	0.33	198	0.19	338	0.11	393	0.03	705	0.02	810	0.01	1020	0.01	1200	0.00	1260
F4	0.04	0.53	316	0.30	540	0.17	628	0.05	1128	0.03	1296	0.02	1632	0.01	1920	0.01	2016
F5	0.095	1.25	751	0.71	1283	0.41	1492	0.12	2679	0.07	3078	0.04	3876	0.03	4560	0.02	4788
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 5 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	67.2 mm/h	40.4 mm/h	23.1 mm/h	6.7 mm/h	3.9 mm/h	2.4 mm/h	1.4 mm/h	1 mm/h									
F1	0.373	6.96	4178	4.19	7535	2.39	8616	0.69	14959	0.40	17456	0.25	21485	0.15	25066	0.10	26856
F2	0.066	0.87	521	0.74	1333	0.42	1525	0.12	2653	0.07	3089	0.04	3802	0.03	4435	0.02	4752
F3	0.025	0.33	198	0.28	505	0.16	578	0.05	1005	0.03	1170	0.02	1440	0.01	1680	0.01	1800
F4	0.04	0.53	316	0.45	808	0.26	924	0.07	1608	0.04	1872	0.03	2304	0.02	2688	0.01	2880
F5	0.095	1.25	751	1.07	1919	0.61	2195	0.18	3819	0.10	4446	0.06	5472	0.04	6384	0.03	6840
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 10 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	81 mm/h	49.6 mm/h	28 mm/h	8 mm/h	4.7 mm/h	2.9 mm/h	1.7 mm/h	1.2 mm/h									
F1	0.373	8.39	5036	5.14	9250	2.90	10444	0.83	17904	0.49	21037	0.30	25961	0.18	30437	0.12	32227
F2	0.066	1.49	891	0.91	1637	0.51	1848	0.15	3168	0.09	3722	0.05	4594	0.03	5386	0.02	5702
F3	0.025	0.56	338	0.34	620	0.19	700	0.06	1200	0.03	1410	0.02	1740	0.01	2040	0.01	2160
F4	0.04	0.90	540	0.55	992	0.31	1120	0.09	1920	0.05	2256	0.03	2784	0.02	3264	0.01	3456
F5	0.095	2.14	1283	1.31	2356	0.74	2660	0.21	4560	0.12	5358	0.08	6612	0.04	7752	0.03	8208
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 25 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	97.8 mm/h	61.0 mm/h	34.2 mm/h	9.6 mm/h	5.7 mm/h	3.5 mm/h	2.1 mm/h	1.4 mm/h									
F1	0.373	10.13	6080	6.32	11377	3.54	12757	0.99	21485	0.59	25513	0.36	31332	0.22	37598	0.15	37598
F2	0.066	1.79	1076	1.12	2013	0.63	2257	0.18	3802	0.10	4514	0.06	5544	0.04	6653	0.03	6653
F3	0.025	0.68	408	0.42	763	0.24	855	0.07	1440	0.04	1710	0.02	2100	0.01	2520	0.01	2520
F4	0.04	1.09	652	0.68	1220	0.38	1368	0.11	2304	0.06	2736	0.04	3360	0.02	4032	0.02	4032
F5	0.095	2.58	1549	1.61	2898	0.90	3249	0.25	5472	0.15	6498	0.09	7980	0.06	9576	0.04	9576
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 50 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	110.4 mm/h	69.6 mm/h	38.9 mm/h	10.9 mm/h	6.5 mm/h	4.0 mm/h	2.4 mm/h	1.6 mm/h									
F1	0.373	11.44	6863	7.21	12980	4.03	14510	1.13	24394	0.67	29094	0.41	35808	0.25	42970	0.17	42970
F2	0.066	2.02	1214	1.28	2297	0.71	2567	0.20	4316	0.12	5148	0.07	6336	0.04	7603	0.03	7603
F3	0.025	0.77	460	0.48	870	0.27	973	0.08	1635	0.05	1950	0.03	2400	0.02	2880	0.01	2820
F4	0.04	1.23	736	0.77	1392	0.43	1556	0.12	2616	0.07	3120	0.04	3840	0.03	4608	0.02	4608
F5	0.095	2.91	1748	1.84	3306	1.03	3696	0.29	6213	0.17	7140	0.11	9120	0.06	10944	0.04	10944
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 100 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	122.4 mm/h	78.0 mm/h	43.4 mm/h	12.1 mm/h	7.3 mm/h	4.4 mm/h	2.6 mm/h	1.8 mm/h									
F1	0.373	12.68	7609	8.08	14547	4.50	16188	1.25	27080	0.76	32675	0.46	39389	0.27	46550	0.19	48341
F2	0.066	2.24	1346	1.43	2574	0.80	2864	0.22	4792	0.13	5782	0.08	6970	0.05	8237	0.03	8554
F3	0.025	0.85	510	0.54	975	0.30	1085	0.08	1815	0.05	2190	0.03	2640	0.02	3120	0.01	3240
F4	0.04	1.36	816	0.87	1560	0.48	1736	0.13	2904	0.08	3504	0.05	4224	0.03	4992	0.02	5184
F5	0.095	3.23	1938	2.06	3705	1.15	4123	0.32	6897	0.19	8322	0.12	1032	0.07	11856	0.05	12312

SUBCUENCA G																	
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 2 AÑOS (mm/h)																	
Área barranco (km²)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	
Tiempo de lluvia	10 minutos	30 minutos	1 hora	6 horas	12 horas	24 horas	48 horas	72 horas									
Intensidad	47.4 mm/h	27.0 mm/h	15.7 mm/h	4.7 mm/h	2.7 mm/h	1.7 mm/h	1 mm/h	0.7 mm/h									
G1	0.73	9.61	5767	5.48	9855	3.18	11461	0.95	20586	0.55	23652	0.34	29784	0.20	35040	0.14	36792
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 5 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	67.2 mm/h	40.4 mm/h	23.1 mm/h	6.7 mm/h	3.9 mm/h	2.4 mm/h	1.4 mm/h	1 mm/h									
G1	0.73	1.36	818	0.82	1475	0.47	1686	0.14	2935	0.08	3416	0.05	4205	0.03	4906	0.02	5256
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 10 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	81 mm/h	49.6 mm/h	28 mm/h	8 mm/h	4.7 mm/h	2.9 mm/h	1.7 mm/h	1.2 mm/h									
G1	0.73	1.64	986	1.01	1810	0.57	2044	0.16	3504	0.10	4117	0.06	5081	0.03	5957	0.02	6307
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 25 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	97.8 mm/h	61.0 mm/h	34.2 mm/h	9.6 mm/h	5.7 mm/h	3.5 mm/h	2.1 mm/h	1.4 mm/h									
G1	0.73	1.98	1190	1.24	2227	0.69	2497	0.19	4205	0.12	4993	0.07	6132	0.04	7358	0.03	7358
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 50 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	110.4 mm/h	69.6 mm/h	38.9 mm/h	10.9 mm/h	6.5 mm/h	4.0 mm/h	2.4 mm/h	1.6 mm/h									
G1	0.73	2.24	1343	1.41	2540	0.79	2840	0.22	4774	0.13	5694	0.08	7008	0.05	8410	0.03	8410
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 100 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	122.4 mm/h	78.0 mm/h	43.4 mm/h	12.1 mm/h	7.3 mm/h	4.4 mm/h	2.6 mm/h	1.8 mm/h									
G1	0.73	2.48	1489	1.58	2847	0.88	3168	0.25	5300	0.15	6395	0.09	7709	0.05	9110	0.04	9461

SUBCUENCA W																	
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 2 AÑOS (mm/h)																	
Área barranco (km²)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	Q (m³/s)	Vol. (m³)	
Tiempo de lluvia	10 minutos	30 minutos	1 hora	6 horas	12 horas	24 horas	48 horas	72 horas									
Intensidad	47.4 mm/h	27.0 mm/h	15.7 mm/h	4.7 mm/h	2.7 mm/h	1.7 mm/h	1 mm/h	0.7 mm/h									
W	17.9	236	141410	134	241650	78	281030	23	504780	13	579960	8	730320	5	859200	3.48	902160
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 5 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	67.2 mm/h	40.4 mm/h	23.1 mm/h	6.7 mm/h	3.9 mm/h	2.4 mm/h	1.4 mm/h	1 mm/h									
W	17.9	334	200480	201	361580	115	413490	33	719580	19	837720	12	1031040	7	1202880	5	1288800
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 10 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	81 mm/h	49.6 mm/h	28 mm/h	8 mm/h	4.7 mm/h	2.9 mm/h	1.7 mm/h	1.2 mm/h									
W	17.9	403	241650	247	443920	139	501200	40	859200	23	1009560	14	1245840	8	1460640	6	1546560
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 25 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	97.8 mm/h	61.0 mm/h	34.2 mm/h	9.6 mm/h	5.7 mm/h	3.5 mm/h	2.1 mm/h	1.4 mm/h									
W	17.9	486	291770	303	545950	170	612180	48	1031040	28	1224360	17	1503600	10	1804320	7	1804320
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 50 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	110.4 mm/h	69.6 mm/h	38.9 mm/h	10.9 mm/h	6.5 mm/h	4.0 mm/h	2.4 mm/h	1.6 mm/h									
W	17.9	549	329360	346	622920	193	696310	54	1170660	32	1396200	20	1718400	12	2062080	8	2062080
INTENSIDAD LLUVIA PARA UN T DE 100 AÑOS (mm/h)																	
Intensidad	122.4 mm/h	78.0 mm/h	43.4 mm/h	12.1 mm/h	7.3 mm/h	4.4 mm/h	2.6 mm/h	1.8 mm/h									
W	17.9	609	365160	388	698100	216	776860	60	1299540	36	1568040	22	1890240	13	2233920	9	2319840

Todas estas estimaciones acerca de los caudales punta posibles deberían tener efectos decisivos a la hora de proceder a la ordenación del dominio público hidráulico, es decir, de los cauces y áreas inundables por los mismos. En nuestro caso el barranco de la Feria de

Muestras cae fuera de la zona considerada como urbanizable; su consideración en nuestros cálculos tiene importancia en relación con los caudales instantáneos que se pueden llegar a generar en el extremo occidental de la depresión de Valdespartera, con la capacidad de evacuación instantánea de esta depresión y, en consecuencia, con el ritmo de la posible acumulación de volúmenes de agua en la parte inundable de la depresión, es decir, en su extremo oriental.

De los barrancos del límite meridional de la zona de estudio; aunque también caen fuera del área urbanizable, nos interesa conocer sus eventuales caudales punta ya que, a través de sutiles vallonadas, se introducen en ella antes de llegar a la depresión. Son precisamente estas suaves vallonadas las que deben ser sometidas a una ordenación del suelo en relación con sus posibles inundaciones.

3.3.4. Determinación de los volúmenes de escorrentía

La determinación del volumen de escorrentía correspondiente a cada hipotético aguacero está justificada en relación con el riesgo de inundación del fondo de la depresión. No se trata de un riesgo potencial, imaginable, sino de un riesgo real constatado en diferentes ocasiones. En el plano 9 figura el contorno de la masa de agua acumulada en la ocasión del episodio lluvioso del 19 de agosto de 1996, en el que el fondo de la depresión llegó a estar anegado por una masa de agua que, de acuerdo con las informaciones verbales de testigos presenciales, puede ser estimada entre 0.20 y 0.50 m de altura.

En la determinación de los volúmenes de agua acumulables en el fondo inundable de la depresión podemos optar por la elección del método más desfavorable -entendiendo por tal el que mayor volumen de agua de escorrentía genere- o hacerlo por métodos menos maximalistas. Al primer caso correspondería la hipótesis basada en una consideración de que todo el volumen de lluvia se pudiera transformar en escorrentía. Esta hipótesis puede ser sostenida en el caso de áreas urbanizables. Sin embargo, ya que el entorno hidrográfico de los barrancos que estamos considerando en nuestros cálculos es periférico al área cuyos riesgos de inundación queremos conocer, sería más lógico proceder a una estimación de los volúmenes de lluvia basados en metodologías hidrológicas empíricas concebidas para pequeños barrancos no urbanizados en los que la mayor parte de su superficie se encuentra en estado natural o cubierta por cultivos. Nos estamos refiriendo a la conocida como "ecuación de transferencia lluvia-escorrentía" del Servicio de Conservación de Suelos de los E.E.U.U., que se formula en los siguientes términos:

$$E = (\Sigma P - P_0)^2 / (\Sigma P + 4P_0)$$

E: escorrentía generada expresada en mm.

ΣP: altura de lluvia neta (mm) caído en el tiempo de lluvia considerado.

P₀: umbral de lluvia, expresado en altura (mm), necesario para la generación de escorrentía.

La altura de escorrentía así determinada se multiplica por la superficie hidrográfica considerada y se obtiene el volumen de escorrentía. El problema que plantea esta metodología es la determinación de P₀, que es un parámetro experimental, característico de cada realidad; depende del tipo y estado de la cubierta vegetal, de la pendiente del terreno, del tipo y espesor de suelos edáficos y, en el caso de superficies cultivadas, depende también de las prácticas de cultivo. Por otra parte, P₀ no es un parámetro constante; varía en el tiempo en función del estado de humedad del suelo y del momento del ciclo vegetativo.

Sería pretencioso acercarnos al problema de los volúmenes de escorrentía procediendo de acuerdo con una metodología como la arriba descrita que implica la determinación previa del valor de P₀ en función de los parámetros arriba referidos. En su defecto hemos procedido a trabajar con diferentes hipótesis posibles del valor de ese P₀.

Dicho esto, en las tablas siguientes se presentan los caudales y volúmenes de lluvia generados para tres supuestos distintos de duración de lluvia neta: 1 hora, 6 horas y 24 horas.

CAUDALES DE LLUVIA Y VOLÚMENES DE AGUA Duración de la lluvia neta: 1 hora			
T Periodo de retorno	I _{1hora} Intensidad máx. (mm/h)	Q _{1hora} Caudal de lluvia (m ³ /s)	V _{1hora} Volumen de lluvia (hm ³)
2 años	15.7	108.0	0.39
5 años	23.1	158.9	0.57
10 años	28.0	192.6	0.69
25 años	34.2	235.2	0.85
50 años	38.9	267.6	0.96
100 años	43.4	298.5	1.07

CAUDALES DE LLUVIA Y VOLÚMENES DE AGUA Duración de la lluvia neta: 6 horas			
T Periodo de retorno	I _{6horas} Intensidad máx. (mm/h)	Q _{6horas} Caudal de lluvia (m ³ /s)	V _{6horas} Volumen de lluvia (hm ³)
2 años	4.7	32.3	0.7
5 años	6.7	46.1	1.00
10 años	8.0	55.0	1.19
25 años	9.6	66.0	1.43
50 años	10.9	75.0	1.62
100 años	12.1	83.2	1.80

CAUDALES DE LLUVIA Y VOLÚMENES DE AGUA Duración de la lluvia neta: 24 horas			
T Periodo de retorno	I _{24 horas} Intensidad máx. (mm/h)	Q _{24 horas} Caudal de lluvia (m ³ /s)	V _{24 horas} Volumen de lluvia (hm ³)
2 años	1.7	11.7	1.01
5 años	2.4	16.5	1.43
10 años	2.9	19.9	1.72
25 años	3.5	24.1	2.08
50 años	4.0	27.5	2.38
100 años	4.4	30.3	2.61

A partir de los volúmenes de lluvia así generados se han elaborado los gráficos de Umbral de escorrentía (P₀) / Volumen de agua de escorrentía para las tres hipótesis de lluvias consideradas; en cada una de ellas se representa la relación de P₀ (abscisa) frente al volumen de escorrentía generado de acuerdo con la ecuación general ya expuesta. Dentro de cada

figura, las 6 curvas representadas se refieren a los periodos de retorno comprendidos entre 2 y 100 años.

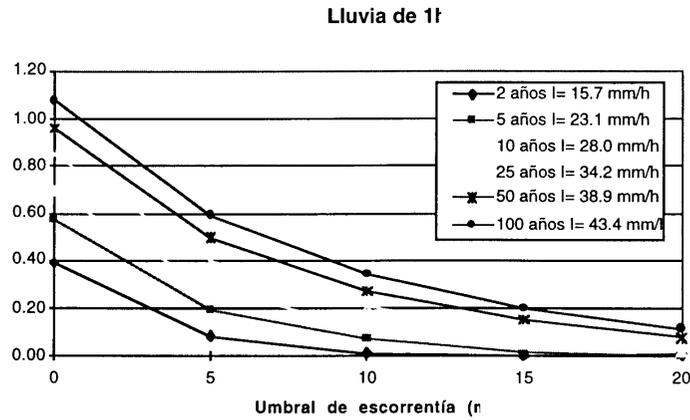


Fig.6.- Curvas de volumen de agua/umbral de escorrentía, en lluvias de 1 hora de duración para intensidades correspondientes a distintos periodos de retorno.

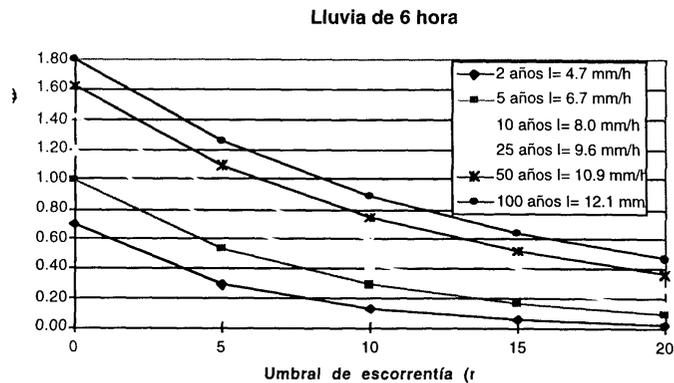


Fig.7.- Curvas de volumen de agua/umbral de escorrentía, en lluvias de 6 horas de duración para intensidades correspondientes a distintos periodos de retorno.

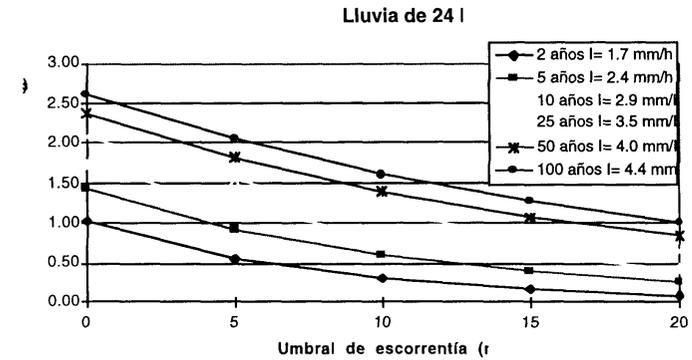


Fig.8.- Curvas de volumen de agua/umbral de escorrentía, en lluvias de 24 horas de duración para intensidades correspondientes a distintos periodos de retorno.

Se puede comprobar que los mayores volúmenes de agua no los generan los aguaceros cortos de fuerte intensidad, sino los de intensidad moderada y larga duración.

Escorrentías generadas para una lluvia neta de 1 hora

Sup. hidrográfica: 25.5 km²

Periodo de retorno T	Intensidad (mm/h)	Volumen de escorrentía (hm³)				
		P ₀ =0 mm	P ₀ =5 mm	P ₀ =10 mm	P ₀ =15 mm	P ₀ =20 mm
2 años	15.7	0.39	0.08	0.01	0.00	0.00
5 años	23.1	0.57	0.19	0.07	0.02	0.00
10 años	28	0.69	0.28	0.12	0.05	0.02
25 años	34.2	0.85	0.40	0.20	0.10	0.04
50 años	38.9	0.96	0.50	0.27	0.15	0.08
100 años	43.4	1.07	0.59	0.34	0.20	0.11

Escorrentías generadas para una lluvia neta de 6 horas

Sup. hidrográfica: 25.5 km²

Periodo de retorno T	Intensidad (mm/h)	Volumen de escorrentía (hm ³)				
		P ₀ =0 mm	P ₀ =5 mm	P ₀ =10 mm	P ₀ =15 mm	P ₀ =20 mm
2 años	4.7	0.70	0.28	0.12	0.05	0.02
5 años	6.7	1.00	0.52	0.29	0.16	0.09
10 años	8	1.19	0.69	0.42	0.26	0.16
25 años	9.6	1.43	0.91	0.59	0.39	0.26
50 años	10.9	1.62	1.09	0.74	0.52	0.36
100 años	12.1	1.80	1.26	0.89	0.64	0.46

Escorrentías generadas para una lluvia neta de 24 horas

Sup. hidrográfica: 25.5 km²

Periodo de retorno T	Intensidad (mm/h)	Volumen de escorrentía (hm ³)				
		P ₀ =0 mm	P ₀ =5 mm	P ₀ =10 mm	P ₀ =15 mm	P ₀ =20 mm
2 años	1.7	1.01	0.54	0.30	0.17	0.09
5 años	2.4	1.43	0.91	0.59	0.39	0.26
10 años	2.9	1.72	1.19	0.83	0.59	0.42
25 años	3.5	2.08	1.53	1.13	0.84	0.64
50 años	4.0	2.38	1.82	1.39	1.07	0.84
100 años	4.4	2.61	2.05	1.60	1.26	1.01

Para un periodo de retorno de 10 años ("crecidas ordinarias"), los volúmenes de lluvia aportados oscilarían entre 0.69 hm³ en 1 hora y 1.7 hm³ en 24 horas. Por comparación, los volúmenes de escorrentía deducidos con la ecuación referida oscilarían para ese mismo período de retorno entre los 0.12 hm³ en 1 hora y los 0.83 hm³, en una hipótesis de 24 horas, para una P₀ de 10 mm en ambos casos. Entendemos que un valor de P₀ de 10 mm nos acerca más a las realidades posibles que la hipótesis deducida a partir de la estimación del volumen de lluvia que asigna al coeficiente de escorrentía un valor del 100 %, que se corresponde a la hipótesis de un P₀ igual a cero.

3.3.5. Aspectos hidrogeológicos

Es escasa la información existente en la zona acerca de las aguas subterráneas. Las aguas utilizadas en regadío proceden de acequias y ramales derivados por gravedad del Canal Imperial de Aragón y de la acequia de la Almotilla, que toma sus aguas del Huerva. Una parte relevante de los regadíos situados propiamente dentro de la zona urbanizable, corresponde a cinco *pivots* que se alimentan con aguas derivadas del Canal; totalizan una superficie próxima a 100 ha.

La disponibilidad de aguas superficiales ha hecho que apenas haya pozos ni sondeos de captación que pudieran darnos información acerca de las características hidrológicas del subsuelo de esta zona. Pese a todo, hemos inventariado 4 pozos ordinario y 13 sondeos. Las

profundidades de los pozos oscilan entre los 4 y 7 metros; se trata de pozos ordinarios, excavados sobre débiles rellenos cuaternarios situados sobre el sustrato terciario de margas y yesos. A los pocos minutos de bombeo suelen quedarse secos, y tardan varias horas, incluso un día entero, en recuperar su nivel inicial. El nivel piezométrico registrado en esos pozos presenta oscilaciones estacionales relacionadas con la distribución de las épocas de riego, de forma que durante el verano tienden a ascender y a partir del otoño descienden. En cualquier caso se trata de niveles generalmente situados entre 2 y 3 m por debajo del suelo.

Existen una serie de sondeos (S₁ a S₈) realizados en su día por la empresa ARCOTECNOS (GRACIA y PEREZ, 1997), cuyas características figuran en el cuadro adjunto; figuran también los sondeos realizados por ENTECSA para las obras del A.V.E. (SPK5, 6 y 7). Carecemos de datos precisos de todos estos sondeos en relación con los potenciales hidráulicos que representan las medidas que nos han sido facilitadas. Cabe destacar las profundidades del nivel piezométrico registrado en los sondeos de ENTECSA, que oscila entre 2.5 y 8.3 m, y que aparentemente reflejaría la posición de la superficie freática del sustrato margo-yesífero terciario.

Tabla sintética de las características más importantes de los sondeos y pozos de que se ha tenido información.

Ref.	Prof. perforación (m)	Prof. sustrato inalterado (m)	Prof. sustrato alterado (m)	Prof. N.P. (m)	Fecha medicion N.P.
S1	9.4	2.5	1.8	2	17-4-98
S2	10.0	7.2	6.0	N.R.	17-4-98
S3	9.0	N.A.	N.A.	N.R.	17-4-98
S4	8.0	N.A.	N.A.	N.R.	17-4-98
S5	9.0	N.A.	N.A.	N.R.	17-4-98
S6	6.0	3.8	2.0	1.15	17-4-98
S7	6.0	3.0	1.8	1.80	17-4-98
S8	5.2	1.8	0.6	2.0	17-4-98
V1	5	3.5		N.R	21-5-98
P1	7			2	8-4-98
P2		3.5		0.4*	8-4-98
P3	5	3.5		2	21-4-98
P4	4	3		2	21-4-98
SEPK5+15		0.3	4.87	6-3-98	
SEPK5+400		5.0	5.4	27-3-98	
SEPK5+850		4.75	2.58	6-3-98	
SEPK6+00		3.5	8.1	6-3-98	
SEPK7+225		0.0	8.3	30-3-98	

* en el momento de realizar la medición se estaba regando el huerto de la parcela

N.P.: nivel piezométrico.

N.A.: nivel del sustrato no alcanzado.

N.R.: punto sin registro piezométrico o inexistente.

En el plano 2 figura la relación de puntos inventariados (pozos y sondeos) incluido un pequeño sondeo de 5 m de profundidad específicamente realizado para el presente estudio con la intención de reconocer el subsuelo del fondo de la zona inundable de la depresión de Valdespartera.

A pesar de no contar con una información suficientemente completa, se pueden distinguir cinco dominios hidrogeológicos diferentes: 1) la zona aluvial, 2) los glacis en los que derraman sus flujos los pequeños barrancos que limitan el flanco sur de la zona de estudio, 3) el tramo final del barranco de la Feria de Muestras, 4) el fondo plano de la depresión de Valdespartera, y 5) el acuitado terciario.

1) **Dominio hidrogeológico del aluvial.** No hay información hidrogeológica del subsuelo en el área ocupada por las formaciones aluviales, donde sin duda debe existir un acuífero, con su nivel freático bastante profundo. De acuerdo con Bielza *et al.* (1992), y teniendo en cuenta que nos encontramos en el nivel de terraza T₄, esa profundidad será probablemente superior a los 20 m. Respecto a la zona de glacis del borde surcabe cabe decir que los rellenos de material coluvial constituyen allí un pequeño nivel acuífero, muy pobre y efímero, de escasa potencia y baja transmisividad, que tiene como sustrato impermeable las formaciones terciarias margo-yesíferas, con frecuencia subalforantes.

2) **Dominio de los glacis del borde meridional de la depresión de Valdespartera.** El débil manto de materiales cuaternarios formado por la combinación de los derrames de los barrancos constituye una pequeña unidad hidrogeológica, de muy poco espesor y niveles freáticos efímeros, que se alimenta de los flujos subterráneos que proceden de los barrancos y de sus derrames ocasionales. El sustrato terciario, con frecuencia subalforante, actúa de nivel impermeable. La descarga subterránea tiene lugar en la propia depresión de Valdespartera. No hay ningún pozo en esta unidad; nuestra descripción está basada en la lógica hidrogeológica.

3) **Tramo final del barranco de la Feria de Muestras.** Este se resuelve antes de llegar a la depresión de Valdespartera en un extenso glacis sin cauces superficiales definidos, en el que los materiales cuaternarios constituyen un acuífero de escaso espesor, que se alimenta de los derrames ocasionales de agua que descienden por el barranco en momentos de fuertes aguaceros. Los flujos subterráneos de este acuífero descargan en la depresión de Valdespartera.

4) **Dominio de la depresión de Valdespartera.** Desde el punto de vista hidrogeológico ha actuado siempre como el área de descarga de todos los flujos de agua subterránea del entorno. Morfológicamente responde a una superficie totalmente plana, con una ligera caída de oeste a este en el sector hidrológicamente más activo (el occidental), en la que se observan pequeñas concavidades que hacen pensar en subsidencias incipientes del terreno.

En los años 50 la depresión de Valdespartera todavía constituía un extenso criptohumedal, es decir, una zona permanentemente húmeda en la que la descarga de agua subterránea no tiene entidad suficiente como para traducirse en una acumulación de agua en superficie. En cambio, el flujo ascendente -en su mayor parte del año de origen capilar- permite el mantenimiento de una vegetación hidrófita permanente, en este caso halófila, que indica la elevada humedad del suelo y la salinidad del agua. Posteriormente, el criptohumedal que tradicionalmente sirvió de lugar de pastoreo fue conquistado para los cultivos. Los problemas de formación de eflorescencias salinas debido al bombeo capilar fueron la tónica de los primeros años, hasta que la mitad occidental de la depresión fué saneada mediante la zanja de drenaje a la que ya nos hemos referido en el apartado de Hidrografía.

Hoy en día todo la superficie del viejo humedal ha sido ganada para el regadío; quiere esto decir que desde entonces está permanentemente sometida a un flujo de lavado. La mitad occidental se abastece a través de una elevación de 26 m desde el Canal Imperial, que alimenta un pivot de 40 ha además de una superficie menor que se riega con aguas rodadas procedentes de esa misma elevación. En estos momentos el monocultivo es la cebada, que es

un cereal muy tolerante a la sal. La zona topográficamente más baja (la que hemos denominado "zona palustre" en el capítulo anterior) es un lugar en el que se acumulan las aguas procedentes de las escorrentías; tiene un aspecto permanentemente más húmedo que el sector occidental; los cultivos dominantes son la alfalfa y el maíz.

Las aguas de drenaje de la zona oeste de la depresión son evacuadas a través de una sima ubicada al final de la zanja, unos 150 m al oeste de la salida de la Val de la Almotilla. Dicha sima no se ubica en el fondo de la depresión, sino en la base de la vertiente de enlace con el glacis G₄, a una altura de 0.5 m sobre el fondo más inmediato de la zona encharcada. Su ubicación precisa se muestra en el plano 2. No obstante, la formación de conductos (*pipes*) en los limos de las parcelas encharcadas por el riego es un fenómeno frecuente en esta zona más baja, lo cual constituye un mecanismo eficaz de drenaje del agua superficial. Es probable que estas redes de conductos estén conectadas en parte con un karst interno de los yesos, constituyendo por tanto vías preferentes de flujo vertical capaces de acelerar el ritmo de drenaje.

5) **El acuitado terciario.** El conjunto terciario subyacente en toda la zona de estudio actúa como un gran acuitado, con presencia de pequeños flujos que se canalizan a través de las redes de discontinuidades (diaclasas en general) que en determinadas circunstancias hidrológicas pueden llegar a generar importantes aparatos kársticos subterráneos. Carecemos de información concreta de la posición del nivel freático en este acuitado. Sabemos que fuera de la zona de estudio, en general, los niveles freáticos de los pequeños acuíferos cuaternarios se encuentran por debajo del nivel freático de este acuitado salvo en zonas próximas al cauce del Ebro, donde los potenciales se invierten, permitiendo el desarrollo de importantes flujos ascendentes que contribuyen a incrementar la salinidad del río. Fuera de esas zonas -este sería nuestro caso- los flujos serían descendentes.

Precisiones más concretas a todo este contexto hidrogeológico requerirían un periodo de investigación específica, con instalación de piezómetros adecuados, y el correspondiente seguimiento de las evoluciones en el tiempo de los niveles freáticos, que certificaran en efecto la veracidad de nuestros esquemas.

3.3.6. Cálculo de la superficie inundable en la depresión de Valdespartera.

Una de las preocupaciones de esta parte del estudio es la determinación de la superficie inundable en el sector oriental de la depresión de Valdespartera, consecuencia de eventuales episodios lluviosos de excepcional intensidad y/o duración. El volumen de agua acumulable viene determinado por la simple formulación de la ecuación de la continuidad que, aplicada a un espacio de tiempo concreto, establece:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \pm \Delta \text{ Almacenamiento}$$

Las "entradas" vienen determinadas por las aportaciones volumétricas ya calculadas en el apartado 3.3.4. En una fase inicial de la inundación de la depresión, las "salidas" tienen lugar exclusivamente por vía subterránea, mediante infiltración bajo los limos del agua acumulada; la capacidad de evacuación por esta vía es, en cualquier caso, pequeña en relación con el flujo de las entradas, circunstancia que determina la acumulación progresiva del agua en la depresión.

La información referente a episodios de inundaciones o encharcamientos históricos nos ha llegado de dos fuentes: por una parte, diversos informes facilitados por la Feria de Muestras, en los que se detallan las fechas y características más sobresalientes de los eventos ocurridos en los diez últimos años; por otra parte, de las numerosas entrevistas de campo en las que se han obtenido testimonios de personas que presenciaron directamente las inundaciones o conocían bien algunos detalles de las mismas.

Así, es sabido que en agosto de 1996 se produjo una fuerte inundación consecuenta a una avenida súbita, provocada por un episodio de lluvia torrencial cuyo núcleo debió de estar

localizado en el área de La Muela. También se ha tenido conocimiento a partir de esas entrevistas de que alrededor de 1950 hubo una gran inundación en la que la lámina de agua acumulada llegó a alcanzar 2 m de altura. Otras fechas históricas han ido apareciendo a lo largo de las entrevistas de campo en relación con eventos pluviométricos de gran magnitud, sin haber llegado a precisar datos concretos que nos hayan permitido cartografiar la superficie inundada en cada caso. Se tienen noticias de tormentas anormalmente fuertes acompañadas de inundaciones en agosto de 1986, y en mayo y julio de 1990.

El carácter local de esos fuertes aguaceros hace que los datos procedentes de las estaciones meteorológicas más próximas no resulten representativos, siendo difícil realizar un análisis cuantitativo de los procesos acaecidos en relación con los registros de las estaciones meteorológicas de Zaragoza. Así, la inundación del 19 de agosto de 1996, que produjo daños en las instalaciones de la Feria de Muestras, se produjo como consecuencia de una precipitación local cuya duración, según los datos recogidos en los informes proporcionados por esa institución, fué de unos 45 minutos. Los pluviógrafos del Observatorio de Zaragoza registraron ese día una intensidad de lluvia de 28 litros en 30 minutos, lo que corresponde a una intensidad de 56 mm/h, que estaría por encima de la lluvia "ordinaria" (periodo de retorno de 10 años) para esa duración. Las apreciaciones de los técnicos de la Feria indican que la intensidad del aguacero observado en el área de las instalaciones fué bastante mayor que la registrada en el Observatorio de Zaragoza.

Pocos días antes del evento arriba descrito, se produjeron en la zona de estudio importantes precipitaciones, que sin duda debieron reducir la capacidad de infiltración del suelo y, en consecuencia, el valor del umbral de escorrentía (P_0). En el fondo de la depresión de Valdespartera se acumuló una lámina de agua que llegó a alcanzar los 0.5 m de altura, tardando de 10 a 15 días en desaparecer. Hemos llegado a perimetrar con aceptable precisión la zona encharcada en aquella ocasión; corresponde con el borde del escarpe que limita el fondo de la depresión hasta la zona de chalets allí ubicados que limitan con los dominios del complejo militar de Valdespartera (ver plano 2).

No disponemos de datos concretos de la inundación de alrededor de 1950; todo son vagas referencias (incluso la fecha) y descripciones personales que conviene reflejar con cierta prudencia. En cualquier caso, según esas informaciones, la lámina de agua pudo haber alcanzado los 2 m de altura, según marcas registradas en unas casetas allí ubicadas. El encharcamiento debió de permanecer entre 20 días y un mes.

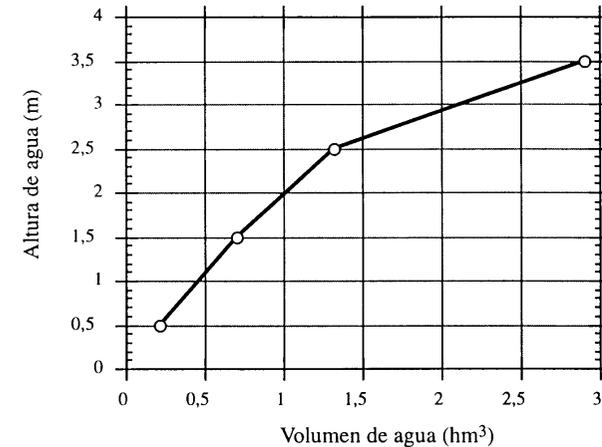
La zona inundable tiene, en cualquier caso, un límite que es el que le impone hoy en día el desagüe de la cota 250 -es decir a 3.5 m por encima del fondo de la depresión- que es donde la lámina de agua podría rebosar por encima del pequeño terraplén de la carretera que entra en la urbanización de Montecanal.

3.3.7. Cálculos estimativos de la capacidad de embalse de la zona inundable

Con el fin de estimar el agua potencialmente embalsable en la depresión natural de Valdespartera, hemos cubicado los volúmenes de embalse correspondientes a las cotas 247, 248, 249 y 250. En la figura adjunta se representa la relación entre capacidad de embalse (abscisas) y altura de la lámina de agua (ordenadas).

El gráfico nos permite hacer una estimación de los volúmenes agua de lluvia embalsada correspondientes a cada espesor de lámina. Así, para la inundación de 1950, en la que la lámina de agua habría alcanzado los 2 m de altura, el volumen de agua embalsada habría sido del orden de 1 hm³, cubriendo toda la superficie situada por debajo de la cota 248.5. En lo que respecta a la inundación de agosto de 1996, el volumen embalsado habría sido del orden de 0.17 hm³.

A partir de estos datos podríamos entrar en un intento de relacionar el evento pluviométrico excepcional de 1950 con las diferentes combinaciones posibles de intensidad, duración de la lluvia, umbral de escorrentía y periodo de retorno; pero es tal la cantidad de conjeturas posibles que a efectos prácticos no nos habría de llevar a ninguna conclusión relevante. En cualquier caso, podríamos atribuir a la inundación de agosto de 1996 el carácter de "ordinaria", correspondiente a un periodo de retorno de 10 años y un valor de P_0 de 10 mm.



Altura de lámina de agua en función del volumen de agua embalsada,

4. EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD DE HUNDIMIENTOS KARSTICOS.

4.1. Análisis de hundimientos constatados.

4.1.1. Descripción general de las dolinas y depresiones.

Ya hemos indicado que el reconocimiento de zonas que están afectadas por disolución de yeso y subsidencia se realiza mediante la detección de depresiones cerradas, bien sobre fotografías aéreas, bien directamente sobre el terreno o bien por testimonios de personas que las han conocido. Esta labor se ha recogido en el plano 3, donde se encuentran cartografiadas todas las dolinas y depresiones que hemos podido identificar en el área de estudio.

Las dolinas se encuentran desarrolladas casi exclusivamente sobre los materiales del nivel de terraza T₄ del Ebro. Muchas de ellas se sitúan en el fondo de los valles de fondo plano que disecan a la misma o bien próximas a sus escarpes. La morfología que presentan en planta es en su mayoría circular o elíptica, si bien en ocasiones esta forma es un poco más compleja debido a la coalescencia de dos o más dolinas (uvalas). Hay varias que presentan forma semicircular debido a que se han desarrollado en el contacto con algún accidente natural o antrópico (escarpes morfológicos, acequias).

Hay dos grandes grupos de dolinas:

(1) Dolinas de morfología suave y contornos en ocasiones difusos, generadas por la disolución del yeso y el arrastre de sedimentos detríticos y consecuente hundimiento paulatino de la cubierta cuaternaria.

(2) Dolinas con bordes netos que limitan una depresión con morfología en ventana o en embudo, consecuencia de la disolución del neógeno y el colapso repentino de la cubierta aluvial cuaternaria.

Las primeras se encuentran distribuidas por toda la zona, si bien donde son más frecuentes es al sur de la urbanización de Montecanal, en terrenos del actual campo de maniobras de Valdespartera. Las dolinas con morfología más abrupta se encuentran concentradas en una zona comprendida entre la N-II, la urbanización de Montecanal y la carretera de acceso a la misma desde la N-II.

Además se han señalado dos depresiones que engloban varias dolinas en la zona próxima a la N-II en su intersección con el Canal Imperial. Aunque pudieran tratarse originariamente de segmentos de un valle de fondo plano, en la actualidad se encuentran claramente rehundidas con respecto a los relieves circundantes (su altura en este lado de la carretera N-II es incluso inferior al que presentan en el opuesto). Otra zona incluyente en este mismo apartado sería la propia área central de la depresión de Valdespartera. Se encuentra entre 0,5-1 m. por debajo de la topografía circundante, bordeada por un pequeño escarpe. Su contorno presenta una morfología elíptica y sus dimensiones son de unos 1300 m de largo por 600 de ancho.

En el interior de la depresión de Valdespartera, se han señalado varias áreas donde se detectan procesos de *piping* (arrastre de material poco cohesionado en pequeños conductos subterráneos). Su desarrollo se encuentra restringido a las proximidades de los canales de riego de la zona, y claramente incentivado por las características litológicas del relleno (fundamentalmente limos).

4.1.2. Inventario de dolinas.

A continuación se expone la relación completa de las dolinas que se han encontrado en la zona de estudio. Los números que se les asignan son los mismos que sirven para identificarlas en el plano 3. Para cada una se da una ficha en la que se describen sus características más importantes y algunos rasgos de su evolución.

Dolina 1.

Situación: En el límite norte de la zona, junto al hipermercado Alcampo-Valdefierro.

Dimensiones: 70 x 50 m.

Morfología: En planta es redondeada aunque ligeramente irregular, probablemente debido a la coalescencia de dos dolinas. En perfil es una dolina en ventana.

Evolución: Se aprecia claramente en las cartografías realizadas a partir de los fotogramas aéreos de 1947 y 1957. Después fue cubierta y sobre ella se instaló la factoría Hispano-Carrocerá. Ya poco después de su construcción, a principios de los años 60, comenzó un hundimiento paulatino que afectó a parte de una nave de la factoría. Esta fue demolida parcialmente y no volvió a edificarse. En las imágenes de 1987 (a escala 1:3.000) se manifiesta claramente el contorno de dicha depresión por un leve escalón en el pavimento. Actualmente se encuentra construido en parte sobre ella el hipermercado Alcampo, para el que se diseñó una cimentación especial a fin de minimizar los riesgos.

Dolina 2.

Situación: En la intersección entre la N-II y el Canal Imperial de Aragón.

Dimensiones: 75 x 60 m.

Morfología: Circular en planta. En perfil, morfología en embudo, con varios escalones interiores que indican sucesivos rehundimientos.

Evolución: En todos los fotogramas disponibles y en el reconocimiento actual sobre el terreno no se han observado apenas variaciones. Es probablemente la única que se encuentra en su estado natural.

Dolina 3.

Situación: Próxima al Canal Imperial y a unos 550 m hacia el este de la nº 2.

Dimensiones: En torno a 35 x 35 m.

Morfología: Circular en planta. Perfil en ventana.

Evolución: Se observa en los fotogramas de 1947, 1957 y 1970. Después fué cubierta.

Dolina 4.

Situación: Al lado del Canal Imperial, a unos 250 m al este de la anterior y casi 200 m al noroeste de la antigua finca de los Escoriaza.

Dimensiones: 20 x 20 m.

Morfología: Circular en planta. Perfil en embudo.

Evolución: Se detecta en los fotogramas aéreos de 1957 y 1970. Está cubierta en la actualidad.

Dolina 5.

Situación: Inmediaciones del Canal Imperial en el límite norte de la antigua finca de los Escoriaza.

Dimensiones: 80 x 30 m.

Morfología: Planta de media luna a causa de su límite con el Canal.

Evolución: Se ha observado desde 1957 hasta la actualidad; su fondo se encuentra cultivado.

Dolina 6.

Situación: Fondo de una val que limita al barrio de Valdefierro por el oeste, cerca de la calle Hércules.

Dimensiones: 60 x 45 m.

Morfología: Elíptica en planta, presenta dos centros de hundimiento. En perfil es una dolina en embudo.

Evolución: Se reconoce en todos los fotogramas a partir de 1970. En la actualidad está casi totalmente enterrada por escombros procedentes de la explanación junto al nuevo hipermercado Alcampo.

Dolina 7.

Situación: Fondo de una val que limita al barrio de Valdefierro por el oeste, al sur de la anterior.

Dimensiones: 50 x 40 m.

Morfología: En planta es alargada (según las observaciones más recientes) y en perfil tiene morfología en cubeta.

Evolución: Se reconoce en todos los fotogramas a partir de los de 1970.

Dolina 8.

Situación: A unos 200 m al sur de la nº 2.

Dimensiones: 70 x 70 m. Presenta un centro algo más activo de unos 15 x15 m.

Morfología: Circular en planta. Perfil en cubeta.

Evolución: Se reconoce claramente en 1957, 1987; en la actualidad se distingue bien la zona de menores dimensiones. Ha sido recubierta por los agricultores en diversas ocasiones y rehundida sucesivamente.

Dolina 9.

Situación: A unos 300 m al este de la anterior.

Dimensiones: 80 x60 m.

Morfología: Elíptica algo irregular en planta. Perfil en cubeta.

Evolución: Se reconoce en los fotogramas de 1988.

Dolina 10.

Situación: Proximidades del Canal Imperial y junto al margen este de la antigua finca de los Escoriaza (zona del frontón).

Dimensiones: 45 x 35 m, aunque se observan indicios de que la zona de influencia alcance un diámetro de 75 m.

Morfología: Casi circular en planta. Perfil en embudo .

Evolución: Se reconoce en los fotogramas aéreos de 1947, 1957 y 1970. Posteriormente fue rellenada, y en 1987 se observa un rehundimiento que también se constata en la actualidad. El camino asfaltado próximo que sigue el trazado del canal presenta fracturas semicirculares que parecen asociadas a dicha dolina.

Dolina 11.

Situación: A unos 50 m de la anterior.

Dimensiones: 30 x 30 m.

Morfología: Casi circular en planta. Perfil en ventana, con escalones interiores que indican sucesivos rehundimientos.

Evolución: Se detecta en las fotografías de 1987. Posteriormente fué rellenada, y en la actualidad se han desarrollado grietas que señalan parcialmente el margen de la dolina. Desde el verano de 1997 hasta abril de 1998 se ha producido un aumento importante en las

dimensiones de las grietas, que alcanzan 4 m de profundidad y unos 20 m de perímetro en cada uno de los lados donde se observan.

Dolina 12.

Situación: A unos 200 m al sureste de la nº 8.

Dimensiones: 110 x 70 m.

Morfología: Elíptica en planta. Perfil en cubeta.

Evolución: Se observa a partir de los fotogramas de 1947 y 1988. Ha sido rellenada en diversas ocasiones. En la actualidad, aunque se aprecia la existencia de la depresión, sus dimensiones están algo reducidas respecto a las medidas señaladas debido a los rellenos sucesivos.

Dolina 13.

Situación: A 50 m al este de la anterior.

Dimensiones: 200 x 100 m

Morfología: Triangular en planta. En perfil se trata de una depresión en cubeta muy laxa.

Evolución: Se ha identificado a partir de los fotogramas aéreos de 1947, 1987, 1988 y también en el reconocimiento de campo. Sin duda está muy retocada por las labores agrícolas que se llevan a cabo, aunque se reconoce perfectamente su morfología cerrada.

Dolina 14.

Situación: A 300 m al este de la nº 13, en el margen de un ramal de la val que sale hacia Valdefierro.

Dimensiones: 75 x 50 m.

Morfología: Semicircular en planta. Perfil en cubeta.

Evolución: Se aprecia en los fotogramas aéreos de todos los años y se ha reconocido en campo. La forma inicial que tenía en 1947 y 1957 era más redondeada y de menor tamaño que el señalado, siendo claramente semicircular en la actualidad. Está lmitada por una acequia en cuyas paredes se aprecian deformaciones.

Dolina 15.

Situación: A unos 170 m al este de la anterior y al sur de la antigua finca de Escoriaza.

Dimensiones: 50 x 50 m.

Morfología: Cuadrada en planta y muy retocada antrópicamente.

Evolución: Se identifica a partir de 1986 y sigue observándose en la actualidad. Es indudable que se trata de una depresión en que la acción antrópica ha intervenido en su morfología actual.

Dolina 16.

Situación: A pocos metros al sur de la nº 12.

Dimensiones: 40 x 25 m.

Morfología: Elíptica en planta. Es difícil determinar la forma en perfil.

Evolución: Se reconoce solamente en los fotogramas de 1987. Se encuentra rellenada desde poco después y no se observan síntomas de rehundimientos posteriores.

Dolina 17.

Situación: A 150 m al oeste de la anterior.

Dimensiones: 50 x 50 m.

Morfología: Circular en planta. Perfil en cubeta.

Evolución: Se ha detectado en los fotogramas de 1988.

Dolina 18.

Situación: A 100 m. al sureste de la anterior.

Dimensiones: 15 x 15 m.

Morfología: Circular en planta. Perfil en ventana.

Evolución: Se ha detectado en los fotogramas de 1970 y 1988.

Dolina 19.

Situación: Próxima a las dos anteriores, junto al camino que se dirige a la cabecera de la val que pasa junto a Valdefierro.

Dimensiones: 60 x 60 m.

Morfología: Dependiendo de los años, su planta se ve bastante circular o bien tendiendo a triangular. En perfil tiene morfología en cubeta.

Evolución: Se ha observado todos los años de los que se tienen fotogramas y también en la actualidad, si bien los agricultores de la zona no la consideran como "sima" sino como una balsa natural. Su forma y situación dentro del contexto general indica que se trata de una dolina.

Dolina 20.

Situación: Contigua a la anterior.

Dimensiones: 150 x 90 m.

Morfología: Irregular en planta. Se trata de una depresión con bordes muy tendidos.

Evolución: Se ha visto en todos los fotogramas y sigue observándose en la actualidad a pesar de que es rellenada con frecuencia. Se aprecia muy bien un centro de rehundimiento muy próximo al camino. Su último relleno ha tenido lugar durante el periodo de realización de este trabajo (mayo de 1998).

Dolina 21.

Situación: A 350 m. al este de la nº 20.

Dimensiones: 60 x 60 m.

Morfología: Redonda en planta. Perfil en embudo.

Evolución: Se aprecia muy bien en los fotogramas de 1947, 1957 y 1970. Posteriormente fue tapada, y en 1987 (fotogramas de escala 1:3.000) se aprecia un ligero rehundimiento homogéneo sin que se observen grietas en el suelo, que se mantiene hasta la actualidad.

Dolina 22.

Situación: Contigua a la anterior.

Dimensiones: 20 x 30 m.

Morfología: Casi circular en planta, si bien en una de las observaciones se aprecia una forma más triangular y de mayores dimensiones (25 x 50 m). En perfil tiene morfología en embudo.

Evolución: Sólo se observa en los fotogramas de 1957 y 1970. Posteriormente fue cubierta junto con la anterior.

Dolina 23.

Situación: A unos 70 m al sur de la nº 20.

Dimensiones: 60 x 60 m.

Morfología: Circular en planta. Perfil en cubeta.

Evolución: Se identifica en 1970, 1986 y 1988.

Dolina 24.

Situación: A unos 40 m. al sur de la anterior.

Dimensiones: 75 x 40 m.

Morfología: Elíptica un poco irregular. En cubeta.

Evolución: Se ha observado a partir de los fotogramas de 1987 y 1988.

Dolina 25.

Situación: Contigua la anterior.

Dimensiones: 120 x 100 m en sus extremos mayores.

Morfología: Aproximadamente triangular aunque algo irregular en planta. Es una depresión con bordes muy tendidos.

Evolución: Se ha reconocido en los fotogramas de 1987.

Dolinas 26.

Situación: A unos 20 m. al este de la anterior.

Dimensiones: 10 x 10 m.

Morfología: Circulares en planta. Perfil en ventana.

Evolución: Son tres dolinas de pequeño tamaño que se han identificado en las fotografías de 1970. Una de ellas (la más próxima a la carretera que enlaza Montecanal con la N-II) se reconoce en la actualidad a pesar de haber sido rellenada.

Dolina 27.

Situación: Queda fuera de la zona pero muy próxima a su límite, en el margen oeste de la urbanización de Montecanal con la val que sale hacia Valdefierro.

Dimensiones: 50 x 20 m.

Morfología: Elíptica algo irregular. Perfil en cubeta.

Evolución: Se reconoce en 1970 y 1987.

Dolina 28.

Situación: Queda fuera de la zona pero muy próxima a su límite; se ubica a continuación de la anterior, en el margen de Montecanal.

Dimensiones: 40 x 20 m.

Morfología: Semicircular en planta. Perfil en cubeta.

Evolución: Se identifica en 1987.

Dolinas 29.

Situación: Contiguas a las anteriores.

Dimensiones: 15 x 10 m.

Morfología: Son dos dolinas, una de ellas circular y la otra elíptica. No se puede determinar su morfología en perfil.

Evolución: Se identifican en 1987.

Dolina 30.

Situación: Queda fuera de la zona pero contigua a su límite y muy próxima a la dolina anterior.

Dimensiones: 50 x 30 m.

Morfología: Elíptica en planta. Perfil en cubeta.

Evolución: Identificada a partir de los fotogramas de 1987.

Dolina 31.

Situación: Queda fuera de la zona pero muy próxima a su límite. Junto a la salida de la val de la depresión de Valdespartera, en el margen de Montecanal.

Dimensiones: 30 x 30 m.

Morfología: Forma circular. Perfil en cubeta.
Evolución: Se observa en 1988 y en la actualidad.

Dolina 32.

Situación: Queda fuera de la zona pero muy próxima a su límite. Al este de la anterior y próxima al fondo de la val, en el margen de Montecanal.
Dimensiones: 50 x 30 m.
Morfología: Semicircular en planta.
Evolución: Se identifica en 1987 y 88.

Dolina 33.

Situación: Queda fuera de la zona pero muy próxima a su límite. Al este de la anterior y próxima al fondo de la val, en el margen de Montecanal.
Dimensiones: Son varias dolinas de pequeño tamaño, con diámetros en torno a 15 m.
Morfología: Circular en planta.
Evolución: Se identifican sólo en los fotogramas de 1987.

Dolinas 34.

Situación: Quedan fuera de la zona pero muy próxima a su límite, en el ángulo que forma la parte oeste del campo militar de Valdespartera con la urbanización de Montecanal.
Dimensiones: 40 x 30 y 70 x 50 m, respectivamente.
Morfología: La de menor tamaño tiene forma triangular, la otra es más elíptica. Perfil en cubeta.
Evolución: La menor se reconoce en 1987 y en la actualidad; la mayor en 1957.

Dolinas 35.

Situación: En el límite oeste y norte de la zona dentro del campo de tiro de Valdespartera con Montecanal.
Dimensiones: 75 x 60 y otra de 100 x 25 m.
Morfología: La primera es algo triangular y la otra claramente alargada, sus contornos son poco definidos. Perfil en cubeta.
Evolución: Se han observado en los fotogramas de 1986.

Dolina 36.

Situación: Junto al límite entre el campo militar de Valdespartera y Montecanal, en las proximidades del depósito de esta urbanización.
Dimensiones: 100 x 75 m en el caso en que se ha observado su tamaño máximo.
Morfología: Es circular, aunque en ocasiones se ve algo irregular. Su perfil es de morfología en cubeta.
Evolución: Se identifica claramente en 1957, 1970, 1986 y 1988. También en la actualidad.

Dolina 37.

Situación: A unos 100 m al sur de la anterior.
Dimensiones: 45 x 40 m.
Morfología: Circular en planta. Perfil en cubeta
Evolución: Se reconoce en 1970.

Dolina 38.

Situación: A unos 20 m al sur de la anterior .
Dimensiones: 35 x 20 m.

Morfología: Elíptica en planta. Perfil en cubeta.
Evolución: Se reconoce sólo en 1970.

Dolina 39.

Situación: A unos 70 m. al sureste de la nº 38.
Dimensiones: 25 x 10 m
Morfología: Elíptica en planta. En cubeta.
Evolución: Se reconoce en 1987.

Dolina 40.

Situación: A unos 250 m. al este de la nº 22.
Dimensiones: 40 x 35 m
Morfología: Triangular en planta. En cubeta.
Evolución: Se reconoce en 1987.

Dolina 41.

Situación: A unos 300 m al sur de las nº 26, en el fondo de la depresión de Valdespartera.
Dimensiones: Dificiles de asignar.
Morfología: Posiblemente circular en planta. Perfil en cubeta.
Evolución: No se ha visto el contorno de la dolina, pero se interpreta su existencia a partir de las fracturas y del basculamiento evidente que presenta el muro de la edificación que hay en esa ubicación. Se ha reconocido en las campañas de campo de 1998.

4.2. Evaluación de la peligrosidad potencial.

4.2.1. Fundamentos teóricos y empíricos.

Los factores que parecen condicionar los procesos de hundimiento y el consiguiente desarrollo de dolinas aluviales son muy variados (BECK, 1986; LAMOREAUX y NEWTON, 1986; WHITE et al. 1986; BENITO, 1987; NEWTON y TANNER, 1987; TOULEMONT, 1987; UPCHURCH y LITTLEFIELD, 1988; YUAN, 1988; SORIANO, 1992). Desde el punto de vista de su origen pueden dividirse en tres grupos: factores físicos (solubilidad del sustrato, espesor, litología y características estructurales y geotécnicas de la cubierta), hidrológicos (infiltración de agua al subsuelo, gradiente hidráulico, profundidad del nivel freático, variaciones estacionales del mismo, quimismo del agua subterránea) y antrópicos (extracciones de agua, regadío intensivo, construcciones). Desde el punto de vista de sus efectos, hay algunos factores que inciden sobre las posibilidades de evacuación de material en el subsuelo (solubilidad, presencia de detriticos finos sueltos susceptibles de arrastre, infiltración, caudal y quimismo del agua) mientras otros lo hacen sobre la facilidad de colapso o subsidencia de la cobertera (litología, comportamiento geomecánico de la cubierta, profundidad y variaciones del nivel freático).

En trabajos anteriores (GRACIA *et al.*, 1991; SIMÓN *et al.*, 1991) realizamos un análisis regional de todos estos factores, a partir de la recopilación exhaustiva de información procedente de sondeos mecánicos, perfiles geoeléctricos y pozos para la captación de agua subterránea, así como de información geológica de carácter general. Dicha información se plasmó en una serie de mapas temáticos realizados a escala 1:50.000, sobre los que se realizó una selección de cinco variables para las que se encontraba una correlación más estrecha con la distribución de dolinas:

- Espesor de los depósitos cuaternarios.
- Topografía del contacto entre los depósitos terciarios y cuaternarios.

- (c) Contenido en lutitas de los depósitos cuaternarios.
- (d) Variación máxima anual del nivel freático.
- (e) Contenido en sulfatos del agua subterránea.

Mediante la utilización de un programa de cartografía automática se combinaron estas variables en una ecuación empírica que explicaba de forma bastante satisfactoria el reparto espacial de los fenómenos de hundimiento a escala 1: 50.000, y que pasó a constituir, por tanto, la expresión matemática del modelo de peligrosidad a dicha escala:

$$R_t = 850 / (0.5 S + 70 I_c + 5 L + 20 E - 125 V_{nf})$$

donde:

- R_t = Índice de riesgo teórico.
- S = Contenido en sulfatos del agua (en ppm).
- I_c = Índice de cota del contacto Mioceno-Cuaternario (valor arbitrario entre 1 y 5).
- L = Proporción de lutitas en el Cuaternario (% en espesor de la columna total).
- E = Espesor del Cuaternario (en m.).
- V_{nf} = Variación máxima anual del nivel freático (en m.).

En este trabajo hemos intentado aplicar dicha ecuación a nuestra zona de estudio a fin de realizar una primera aproximación a la peligrosidad potencial de hundimientos kársticos. Sin embargo, los resultados obtenidos no han sido satisfactorios. Creemos que esto se debe a dos razones:

(1ª) La escala de trabajo utilizada aquí (1:5.000) es muy superior a la empleada para aquel análisis regional (1:50.000). Ello supone que la densidad relativa de puntos de información y las variaciones espaciales de los parámetros y los fenómenos estudiados no son comparables.

(2ª) La zona que se analiza en los trabajos de GRACIA *et al.* (1991) y SIMÓN *et al.* (1991) es bastante homogénea desde el punto de vista geológico y geomorfológico, mientras en la nuestra hay dos sectores claramente diferenciados, el constituido por la propia depresión y el resto.

Por este motivo hemos optado por realizar sólo una valoración cualitativa de los factores de peligrosidad, considerando únicamente la distribución de aquellos tres para los que disponemos de una densidad de información aceptable: topografía del contacto entre los depósitos cuaternarios y terciarios, espesor del Cuaternario y contenido en lutitas de los materiales cuaternarios (este último con una información algo más pobre). La contribución de cada uno de estos tres factores es, al propio tiempo, la que mejor pudo ser valorada en una investigación experimental que llevamos a cabo mediante la simulación del fenómeno en modelos de laboratorio a escala reducida (SORIANO y SIMON, 1995). De este modo pudimos concluir que el desarrollo de dolinas aluviales se ve favorecido y acelerado, por orden de importancia, por:

- (a) la existencia de vaguadas en el contacto Terciario-Cuaternario por las que se produce un flujo preferente de agua,
- (b) la presencia de bajos espesores de la cubierta aluvial, y
- (c) la presencia de bajos porcentajes de lutitas (lo que proporciona permeabilidad).

Respecto a las otras dos "variables" relevantes (grado de saturación en sulfatos del agua y variaciones estacionales del nivel freático), el hecho de no poder controlar su distribución espacial en nuestra zona equivale, en la práctica, a considerarlas como "constantes". No obstante, partiendo del contexto regional, y precisamente por encontramos en una zona marginal del valle del Ebro y de su sistema de acuíferos, podemos razonablemente suponer que ambas alcanzan valores favorecedores de los procesos de disolución y colapso (bajo contenido en sulfatos y altas variaciones estacionales del freático, respectivamente).

4.2.2. Distribución espacial de los factores de peligrosidad.

Para cada una de las tres variables mencionadas se ha confeccionado un mapa de escala 1:5000 que recoge en forma de isóneas la distribución espacial de sus valores (planos 5, 6 y 7). La información en la que se basan es, fundamentalmente, la proporcionada por los sondeos y catas recopilados a partir de los trabajos mencionados en el apartado 1.2, cuya situación se detalla en el plano 4, completada con observaciones directas sobre el terreno. Obviamente, la fiabilidad de los mapas no es homogénea en toda su extensión, y está directamente condicionada por la desigual distribución de los puntos de información que muestra el plano 4.

(a) Topografía del contacto entre Terciario y Cuaternario. De modo general la cota de este contacto va disminuyendo paulatinamente desde el sur hacia el norte del área de estudio (ver plano 6). Sin embargo, a tenor de los datos disponibles del subsuelo, puede interpretarse en toda la zona la presencia de altos y bajos a modo de vaguadas y umbrales en dicho contacto. Los fondos de las vaguadas han sido destacados mediante una trama de puntos en el plano 6. De esta manera, en la depresión de Valdespartera es manifiesta la presencia de dos áreas de vaguada que provienen respectivamente del este y del oeste, y que convergen hacia el centro de la misma. Dada la escasa potencia del relleno cuaternario, estas vaguadas del sustrato no hacen sino reproducir el dispositivo general del relieve de superficie. El sistema de vaguadas continúa al norte hacia el barrio de Valdefierro, con dos ramas, una de dirección noroeste y otra noreste. Esta última coincide aproximadamente con el trazado de la Val de la Almotilla. Ambas ramas parecen converger de nuevo en las proximidades del hipermercado Alcampo, junto a la carretera N-II.

(b) Espesor de Cuaternario. El mapa de espesor de Cuaternario (plano 5) muestra cómo en la zona sur (depresión de Valdespartera) éste es muy bajo, nunca superior a 3 m. En el este el espesor ronda los 10 m, y es en la zona norte, ocupada fundamentalmente por los depósitos de terraza, donde se alcanzan los valores máximos (incluso superiores a 50 m). Este incremento parece bastante gradual, aunque presenta asimismo algunas irregularidades.

(c) Contenido en lutitas de los materiales cuaternarios. Para analizar este factor es preciso diferenciar entre la depresión de Valdespartera y el resto del área de estudio, ya que el contenido de estos materiales de grano fino varía de manera importante en ambos dominios. Dentro de la depresión de Valdespartera el contenido en lutitas aumenta desde el sur hacia el norte, según el sentido de transporte de las arroyadas predominantes. En el contacto con los materiales yesíferos terciarios los porcentajes se sitúan aproximadamente entre el 20 % de los conos aluviales y el 40 % del resto. Hacia el norte (hacia la zona más baja) los valores suben hasta el 90 %. En el sector este y norte ocupados por terrazas y glacis hay una gran diferencia de información según la zona considerada. De esta manera todo el entorno de Montecanal y el actual cuartel de Valdespartera carecen de datos de este tipo. Tan sólo se dispone de la información recabada en el campo observando las excavaciones llevadas a cabo para realizar distintas obras, con profundidades máximas observadas de unos 6 m. Esto sólo nos permite hacer una estimación aproximada del porcentaje de lutitas, que en general situamos por debajo del 20 %. En los extremos oeste y norte se ha podido disponer de más datos de sondeos y catas. El porcentaje de lutitas suele ser menor del 30 %, a excepción de la zona en que el glacis G₄ recubre parcialmente a la terraza T₄, donde los valores son mayores (hasta de 70%).

4.2.3.El mapa de peligrosidad potencial.

Entenderemos por áreas potencialmente peligrosas en relación con los hundimientos kársticos aquéllas en las que confluyan todos o algunos de los factores de riesgo indicados. Aunque hemos descartado la aproximación cuantitativa basada en la ecuación empírica expuesta anteriormente, ello no nos exime de elegir sendos valores umbrales para cada una de las variables, a fin de definir desde un principio qué entenderemos por "vaguada del contacto Terciario-Cuaternario", "espesor de Cuaternario suficientemente pequeño" y "porcentaje de lutitas suficientemente bajo".

Las zonas de vaguada han sido definidas gráficamente a partir del plano 6, y se encuentran destacadas en el mismo mediante una trama de puntos. Los valores umbrales de espesor y porcentaje de lutitas han sido fijados, respectivamente, en 40 m y 30 %. Estos umbrales se han elegido de acuerdo con la correlación real que se observa en la zona entre los tres mapas temáticos y el mapa de distribución de dolinas (plano 3). Por ejemplo, se aprecia ante todo una correlación bastante estrecha entre zonas de mayor densidad de dolinas y zonas de vaguada del contacto Terciario-Cuaternario; no obstante, dentro de una de estas vaguadas (la más septentrional), la presencia de dolinas aparece claramente limitada al sector con espesor de terraza inferior a 40 m (sector más occidental).

Se trata, en definitiva, de dibujar un cuadro de factores de riesgo que sea coherente con la realidad observada y a la escala a la que ésta se ha analizado. Cualquier otra aproximación "a ciegas" no resultaría útil para nuestros fines. Una vez dibujado este cuadro, comprobamos que la gran mayoría de las dolinas observadas se sitúan en zonas a las que hemos atribuido un riesgo potencial relativamente alto (la correlación, de todos modos, no es perfecta, creemos que debido a una influencia areal de los fondos de vaguada mayor al considerado en principio). A partir de ahí, el fundamento de nuestro análisis es suponer que aquellas áreas en las que concurre la misma combinación de variables que se da en el entorno de las dolinas observadas son asimismo potencialmente peligrosas.

Con todas estas premisas, la zonación de peligrosidad potencial de hundimientos kársticos se ha realizado como sigue (ver plano 8):

- **Zonas de peligrosidad muy alta.** Son aquéllas en las que se superponen los tres factores de riesgo: (A) vaguadas en el contacto Terciario-Cuaternario, (B) espesor de Cuaternario inferior a 40 m, y (C) contenido en lutitas inferior al 30 %.

- **Zonas de peligrosidad alta.** Son aquéllas en las que concurren las combinaciones de factores (A + B) o (A + C).

- **Zonas de peligrosidad media.** Son aquéllas en las que concurre la combinación de factores (B + C) o la presencia simplemente del factor A (el que los resultados empíricos mueven a considerar como más relevante).

- **Zonas de peligrosidad baja.** Incluyen el resto del área.

Cabe añadir dos anotaciones para aclarar el significado exacto del mapa de peligrosidad potencial. La primera es poner de manifiesto que en dicho mapa se han incluido asimismo los contornos de las vales que disecan el nivel de terraza T₄ del sector norte. La razón es que la presencia misma de las vales da lugar a un cambio brusco de dos de las variables de peligrosidad. Por un lado suponen un rebaje de la superficie y, para una determinada cota del contacto Terciario-Cuaternario, ello comporta una disminución del espesor de terraza (a veces de hasta 10 ó 15 m). Por otro, su relleno limo-arcilloso (hasta 7 m de espesor constatado) supone un incremento sustancial del porcentaje de lutitas en la columna local de Cuaternario. Se trata, por tanto, de dos factores que juegan en sentidos contrarios, el primero favoreciendo el desarrollo de dolinas y el segundo inhibiéndolo. El hecho de que muchas dolinas parezcan concentrarse precisamente en las zonas de vales sugiere que, como norma, el factor espesor

es más relevante que el contenido en lutitas. No obstante, el balance entre uno y otro dependerá en cada caso de sus valores cuantitativos, y no parece prudente establecer una norma fija para todo el territorio. En consecuencia, nos limitamos a señalar los bordes de las vales como llamada de atención sobre ese papel singular que juegan en nuestro caso, bien entendido que cualquier zonación de peligrosidad que pretendiera hacerse con mayor detalle en el futuro debería partir de una densidad de información mayor en tales zonas.

En segundo lugar, aunque las categorías de peligrosidad han sido asignadas con un criterio uniforme para toda el área estudiada, forzoso es decir que el significado que tienen es distinto en el sector norte y en la depresión de Valdespartera. Las características y espesor del relleno cuaternario en esta última dan lugar a un funcionamiento diferente de los procesos. Ya hemos comentado cómo en ella es frecuente observar (y su dispositivo geológico lo justifica plenamente) el desarrollo de *piping*. Sin embargo, no se ha apreciado prácticamente la presencia de dolinas propiamente dichas a pesar del bajo espesor de Cuaternario y de la presencia de sendos surcos longitudinales del contacto Terciario-Cuaternario a lo largo de su fondo. La única excepción la constituye la dolina nº 41, que se ha interpretado como tal a la vista de que los daños observados en una construcción (grietas y basculamientos de muros con un radio decamétrico) no son explicables únicamente por *piping*. Hay que entender, por tanto, que el grado de peligrosidad alto que se ha asignado a toda la banda central de la depresión se refiere a potenciales hundimientos por *piping*, más que a dolinas de foco profundo. Tales fenómenos son, ciertamente, muy activos, y se ven acelerados en las inmediaciones de canales de riego o zanjas drenantes. No obstante, la gestión del riesgo en este caso presenta menos dificultades por tratarse de un fenómeno más superficial y de menor escala, con lo que, por ejemplo, el coste de eventuales cimentaciones especiales para edificaciones sería mucho menor.

5. CONCLUSIONES: EL MAPA FINAL DE PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES Y HUNDIMIENTOS KARSTICOS.

5.1. Evaluación de la peligrosidad de inundaciones.

El diagnóstico y valoración precisos de la peligrosidad de inundaciones en la zona de estudio ha de centrarse necesariamente en la depresión de Valdespartera. En el cuadro siguiente se recogen los parámetros más relevantes en relación con las posibles situaciones de inundación del fondo de esta depresión. Entre las muchas hipótesis planteables hemos tomado como referencia el caso de una lluvia neta de 1 hora de duración y un valor de $P_0 = 10$ mm, ambos constantes para todos los casos.

Combinación de diferentes situaciones de inundación Duración de la lluvia neta: 1 hora $P_0 = 10$ mm						
Línea Perimetral	Evento histórico	Altura de lámina (m)	Volumen embalsado (hm^3)	Área inundada (ha)	Precipitación (mm)	Permanencia lámina agua (días)
Cota 146.9	Agosto 1996	0.4	0.17	31	28.0	10-15
Cota 147		0.5	0.2	42	34.2	
Cota 148		1.5	0.7	56	56.1	
Cota 148.5	$\cong 1950$	2	1.0	62	78.0	20-30

Algunos de los aspectos recogidos en este cuadro se plasman asimismo gráficamente en el mapa final de peligrosidad (plano 9). Concretamente, se han seleccionado los dos casos históricos de los que se tienen datos contrastados ($\cong 1950$, 1996) y se han representado las respectivas áreas inundadas. Con ello se obtiene una visión real del rango en el que pueden moverse los eventos de inundación de gran magnitud asociados a lluvias torrenciales con periodos de retorno entre 10 y más de 100 años. Hemos preferido hacer esto antes que reflejar en el mapa cualquier otra hipótesis que se derive exclusivamente de cálculos teóricos.

Se ha definido también una banda de entre 400 y 500 m de anchura, centrada en el eje de mínima cota, que enlaza la salida del "barranco oeste" con la zona inundable. Estos terrenos constituyen, tal y como atestiguan algunos encargados de las fincas del entorno, zonas en las que los episodios lluviosos de elevada intensidad soportan flujos laminares de arroyada con dirección a la zona inundable. Teniendo en cuenta la topografía de esa banda, el agua que circulase ocupándola por completo dispondría de una sección transversal media de unos 300 m^2 . Para una velocidad de 1 m/s, ello supone un caudal de 300 m^3/s , que excede prudentemente los 216 m^3/s de caudal punta que corresponden a la lluvia de una hora con periodo de retorno de 100 años (43.4 mm) y coeficiente de escorrentía del 100 %.

Finalmente, se ha resaltado la zona de desembocadura de los barrancos que orlan la depresión por el sur, en la medida en que constituye una superficie de laminación de las aguas de arroyada que eventualmente pudieran canalizar dichos barrancos. No se ha constatado la existencia histórica de caudales superficiales en dichos barrancos. En todo caso, los caudales punta generados no serían de gran magnitud.

5.2. Evaluación de la peligrosidad de hundimientos kársticos.

La evaluación final de la peligrosidad de hundimientos kársticos la realizaremos teniendo en cuenta la distribución espacial tanto de los hundimientos constatados (plano 3) como de la peligrosidad potencial (plano 8). La combinación de ambos y los criterios establecidos para la

zonificación final no dejan de constituir una operación sujeta fuertemente a la subjetividad. No obstante, la coherencia hallada entre ambos aspectos y la aplicación de ciertos criterios derivados de nuestra experiencia anterior en la región, justifican la solución adoptada.

En el mapa se establecen las siguientes categorías de peligrosidad:

Categoría 1: Peligrosidad real muy alta. En ella se incluyen aquellas dolinas constatadas cuya persistencia y actividad continuada se pone de manifiesto por haber sido observadas en todos o en la mayoría de los años de los que se tiene información, independientemente de que se hayan generado por colapso o por subsidencia lenta. Se trata, concretamente, de las dolinas nos 1, 2, 6, 8, 10, 21 y 22. Se ha delimitado un margen de seguridad de 15 m en torno a las mismas, y ello por dos razones. En primere lugar, para evitar posibles errores que se hayan cometido en su cartografía. En segundo lugar, debido a la tendencia observada en algunas grandes dolinas del entorno de Zaragoza a evolucionar por pequeños hundimientos centrados en su borde, con la consiguiente expansión de su contorno (GRACIA *et al.*, 1991; SIMON y SORIANO, 1995).

Categoría 2: Peligrosidad real alta. Se han considerado dentro de esta segunda categoría el resto de dolinas cartografiadas, incluyedo también un entorno de seguridad de 15 m. Teniendo en cuenta la experiencia regional y las velocidades de subsidencia medidas por nosotros en algunas dolinas (en torno a 5 cm/año: SORIANO y SIMON, 1995), puede considerarse que en las zonas asignadas a esta categoría y a la anterior la probabilidad de que en un plazo de 10-15 años los movimientos diferenciales del terreno produzcan daños en eventuales construcciones puede ser muy elevada.

Categoría 3: Peligrosidad bastante alta. Dentro de esta categoría incluimos las zonas que se extienden hasta un entorno de 50 m alrededor de cada dolina, así como aquellas otras consideradas de peligrosidad potencial muy alta (confluencia de factores A+B+C) en el mapa de peligrosidad potencial.

Categoría 4: Peligrosidad media. Se asigna a las zonas que en el mapa de peligrosidad potencial alcanzan la categoría alta (factores A+B o A+C). Se han establecido dos subdivisiones:

Subcategoría 4a: Incluye el área cubierta por glacis y terraza, donde el proceso predominante es la formación de dolinas aluviales.

Subcategoría 4b: Abarca el sector correspondiente a la depresión de Valdespartera, donde predominan los fenómenos de *piping*, tal como se explicó en el apartado 4.2.3.

Categoría 5: Peligrosidad media-baja. Se engloba la categoría del mapa de peligrosidad potencial media.

Categoría 6: Peligrosidad baja. Corresponde a las zonas donde no existen indicios de hundimientos ni confluencia de factores de riesgo potencial.

5.3. Conclusiones y recomendaciones finales.

La denominada Orla Sudoeste de Suelo Urbanizable de Zaragoza es un territorio formado por varios dominios diferenciados desde el punto de vista geológico, geomorfológico e hidrogeológico. Los dos más relevantes y contrastados son la plataforma aluvial formada por el nivel de glacis y terraza G₄-T₄, al norte, y la depresión de Valdespartera, al sur. Desde el punto de vista geotécnico y de riesgos naturales, el comportamiento y el tipo de problemas esperables en uno y otro dominio son bien distintos.

Los espacios dominados por las formaciones aluviales de las terrazas altas del Ebro presentan una solidez general que no la tienen los entornos yesíferos, en especial cuando en aquellas el nivel piezométrico está profundo y existe un subsuelo cuya estabilidad está reforzada por un potente mallacán. Ello supone un comportamiento geotécnico intrínsecamente bueno y, dada su configuración topográfica, una ausencia prácticamente absoluta de peligro de inundaciones. Sin embargo, áreas concretas dentro de este ámbito en las que concurren circunstancias geológicas e hidrogeológicas específicas están sujetas a un peligro evidente de subsidencia o colapso en relación con dolinas aluviales activas. Concretamente, el desarrollo de dolinas aluviales se ve favorecido y acelerado por los siguientes factores: (a) la existencia de vaguadas en el contacto Terciario-Cuaternario por las que se produce un flujo preferente de agua; (b) la presencia de bajos espesores de la cubierta aluvial; (c) la presencia de bajos porcentajes de lutitas (lo que proporciona permeabilidad); (d) variación anual amplia del nivel freático, y (e) bajo grado de saturación en sulfatos del agua subterránea.

Las áreas en las que históricamente se ha comprobado la existencia de dolinas activas, junto a aquellas otras donde concurren los factores de riesgo arriba indicados deberían ser directamente excluidos de la consideración de suelo urbanizable. Ciertamente es que puede presentarse una necesidad real de edificar sobre ellos o utilizarlos como soporte de infraestructuras. En tal caso, debe extremarse la precaución, realizar estudios geológicos y geotécnicos que permitan una zonificación de peligrosidad con mayor detalle de la alcanzada en este trabajo y, en cualquier caso, estar dispuesto a invertir los recursos necesarios en una cimentación y un diseño de estructuras que minimice los riesgos.

La depresión de Valdespartera es otro dominio muy distinto. Los problemas que hay que afrontar en él vienen derivados, por un lado, del contexto topográfico e hidrológico: un área endorreica que recoge tanto la arroyada superficial de las avenidas como la descarga subterránea, tanto más relevante ésta cuanto más hacia abajo nos encontramos. Esta circunstancia hace que los niveles freáticos estén permanentemente próximos a la superficie, con los consiguientes problemas derivados del bombeo capilar, eflorescencias salinas, humedades en sótanos y mal drenaje para las áreas ajardinadas. Por otro lado está la composición eminentemente yesífera tanto del sustrato rígido como de su cubierta limosa. Es obligado recordar que los espacios de ambiente yesífero (afloramientos de yeso masivo, interestratos de margas y yesos, depósitos de limos yesíferos) en los que hay un manejo activo del agua -canales de riego no revestidos, superficies bajo regadío intensivo, etc.- son espacios intrínsecamente temibles. No es nuestro objetivo entrar a discutir los problemas habituales que presentan en general las obras civiles emplazadas en ambientes yesíferos (ataques al hormigón, disolución de minerales, corrosión de armaduras), que son cuestiones geotécnicas que exigen un estudio de reconocimiento específico y adecuado. Sin embargo, hay que poner de manifiesto que la concurrencia de este tipo de litología con la presencia de niveles freáticos someros ha de ser sin duda una fuente continua de problemas.

El carácter endorreico de la depresión obliga a abordar con especial atención el análisis de los riesgos hidrológicos ordinarios vinculados a las eventuales crecidas de los cauces, a la consiguiente invasión del dominio público hidráulico por las aguas de crecida y al encharcamiento de la zona más deprimida. La peligrosidad de crecidas e invasión del dominio público hidráulico no tiene apenas entidad en el contexto en el que se encuentra la zona de estudio. No hay en ella cauces superficiales que la atraviesen, y las pequeñas unidades hidrográficas que confluyen en ella apenas superan unas pocas decenas de hectáreas. Los eventuales flujos de escorrentía, consecuentes a los grandes episodios lluviosos de excepcional intensidad, dispersan sus aguas antes de entrar en la zona, en forma de extensos mantos de arroyada, lo que representa un alto poder de laminación natural.

Para la estimación de caudales previsible en las circunstancias de fuertes aguaceros se pueden utilizar diferentes metodologías. En cualquier caso, se trata de técnicas hidrogeológicas denominadas "de datos insuficientes", que suelen centrar su énfasis en la predeterminación de la intensidad de la lluvia asignada a un determinado período de retorno. Este tipo de metodología, pese a su carácter numérico y aparentemente preciso, apenas ofrece credibilidad,

en especial en la toma de decisiones en las que se pone en juego la vida de personas, la psicosis de riesgo permanente o el valor de determinados enseres. Sin embargo, este tipo de análisis es formalmente necesario, y por esta razón lo hemos desarrollado; el arte o buen hacer consiste en saber dar a los resultados obtenidos el valor que objetivamente tienen. Entendemos que en este tipo de problemas es más valioso una adecuada interpretación de la dinámica del sistema, su comprensión y el registro histórico de situaciones catastróficas acaecidas en él que cualquier metodología numérica y, en especial, estadística que no tenga en cuenta ese marco real.

La depresión de Valdespartera, pese a las acciones antrópicas correctoras allí realizadas en los últimos cincuenta años, sigue funcionando como el criptohumedal degradado que en realidad es. Desde el punto de vista hidrogeológico se comporta como una zona de descarga, en donde las aguas generadas por las ocasionales escorrentías no encuentran una salida natural fácil. El sentido común nos mueve a sugerir que la ordenación, destino y uso de la zona baja inundable no debería forzar sin necesidad su dinámica natural. Las aproximadamente 100 ha que comprende deberían ser destinadas al espacio natural que la propia dinámica del agua superficial y el contexto hidrogeológico le marcan, es decir, las de un área de descarga que alimenta un criptohumedal halófilo. Como recurso aprovechable, entendemos que su mejor uso es el escénico; una armoniosa mezcla de lo artificial con lo natural podría hacer de ese espacio un lugar húmedo singular en medio de un entorno excepcionalmente estepario.

Cualquier intento de intervenir sobre este espacio de una manera "traumática" debe ser estudiado y sopesado con cuidado. Ocuparlo con viales y edificaciones sería siempre una fuente de gastos y preocupación ciudadana. Tratar de construir un gran drenaje artificial sería técnicamente posible y no excesivamente gravoso. El lugar más apropiado sería su salida natural, la Val de la Almotilla, en cuyo arranque la conducción habría de salvar una distancia horizontal de unos 400-500 m para poder salir a superficie manteniendo una pendiente positiva hacia el norte. Sin embargo, tratar de evacuar todo el caudal punta de la avenida a fin de evitar completamente el encharcamiento (47 m³/s y 278 m³/s para las avenidas de 1996 y 1950, respectivamente) parece fuera de lugar, además de que no haría sino trasladar el problema aguas abajo. Construir un conducto o canalización de drenaje no forzado con unos pocos metros cuadrados de sección permitiría evacuar en unas horas o en pocos días, respectivamente, cada una de las dos avenidas mencionadas, pero un área que hubiese de sufrir el encharcamiento durante ese tiempo tampoco convendría que se encontrase ocupada por edificaciones. Por otro lado, no deben desdeñarse los posibles problemas que tal cambio de dinámica podría inducir en la cubierta limosa de la zona y en su funcionamiento hidrológico (aceleración de los procesos de piping, por ejemplo).

En resumen, el diagnóstico y la zonación de la peligrosidad a la que hemos llegado nos mueve a hacer las siguientes **recomendaciones finales**:

(1ª) Evitar la edificación y el trazado de infraestructuras y conducciones en las zonas de peligrosidad real alta y muy alta en relación con los hundimientos kársticos (categorías 1 y 2). Mantener como tales las escasas dolinas que en la actualidad se conservan en estado natural.

(2ª) Si se desea construir edificaciones o infraestructuras en las zonas con categorías de peligrosidad menores (3, 4 y 5), realizar estudios de detalle que permitan zonificar y valorar la presencia y distribución de posibles focos de hundimiento no manifestados claramente en superficie.

(3ª) Si no puede evitarse construir en las zonas anteriormente citadas, diseñar cimentaciones adecuadas a la peligrosidad de cada caso a fin de minimizar el riesgo.

(4ª) Evitar el riego excesivo en campos de labor y zonas ajardinadas dentro de las áreas de peligrosidad de hundimientos. Optar por espacios deportivos pavimentados o jardines de tipo árido o mediterráneo en las áreas de peligrosidad alta y muy alta. Evitar en lo posible las fugas de la red de abastecimiento y saneamiento.

(5ª) Preservar la zona más deprimida de Valdespartera (la comprendida en el perímetro de la inundación de 1950) como espacio natural de uso escénico, con su carácter de humedal halófilo y permitiendo libremente su encharcamiento.

(6ª) Evitar la edificación de viviendas y la construcción de infraestructuras y servicios esenciales en la zona expuesta a inundación transitoria por flujos laminares de agua de arroyada.

(7ª) Evitar la excavación de sótanos en todas las edificaciones incluidas en la zona anterior, y en general en todo el fondo de la depresión de Valdespartera. Para los hormigones de cimentaciones y estructuras subterráneas, emplear sistemas de protección contra las aguas selenitosas.

En Zaragoza, a 1 de Junio de 1998.

José Luis Simón Gómez

Fco. Javier Martínez Gil

Ma Asunción Soriano Jiménez

Luis E. Arlegui Crespo

Juan Caballero

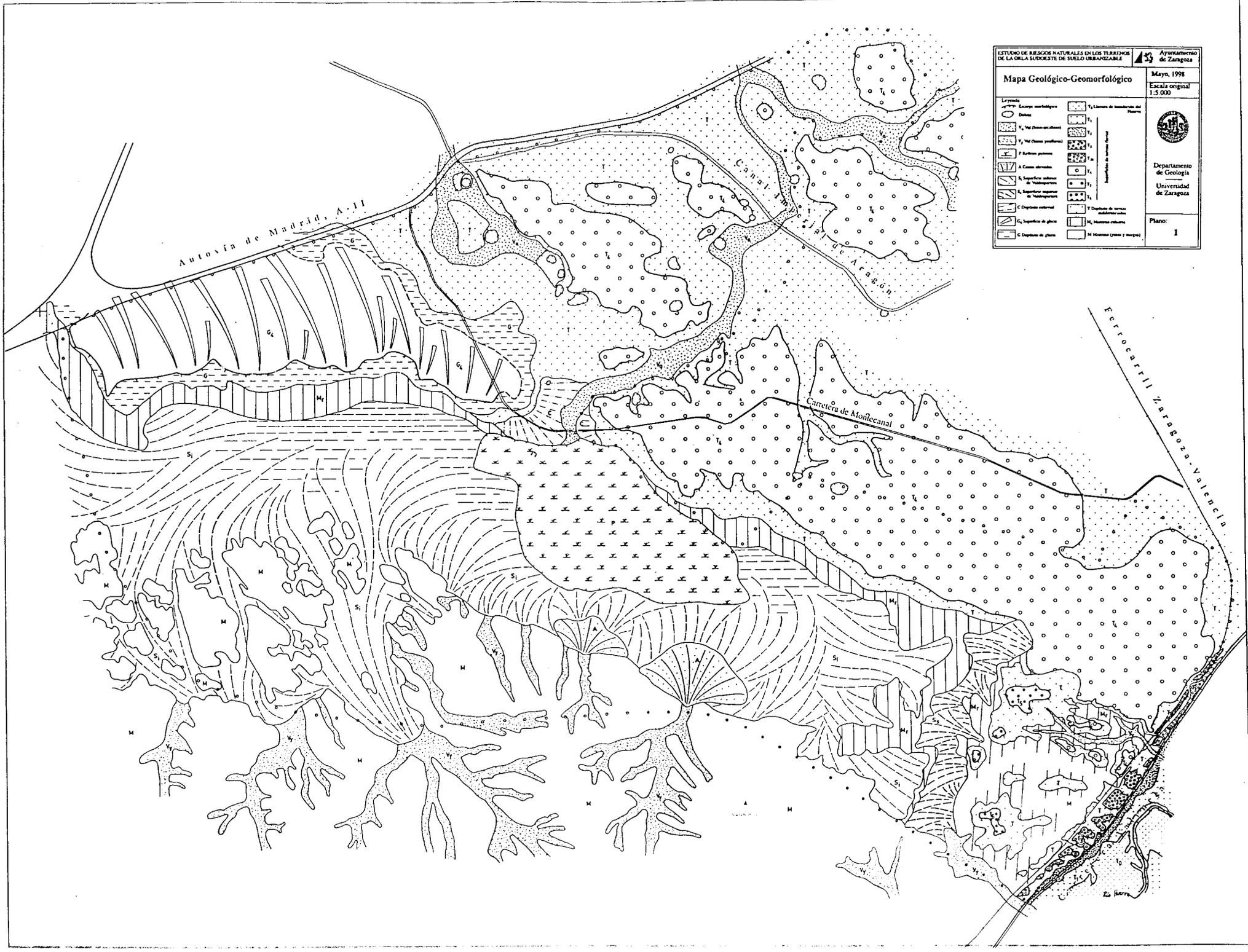
REFERENCIAS CITADAS.

- ARLEGUI, L.E. y SORIANO, M.A., 1996, Lineamientos y su influencia en los modelados del centro de la Cuenca del Ebro. *Cuadernos Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, **21**, pp.11-21.
- ARLEGUI, L.E. y SORIANO, M.A., 1998 Characterising lineaments from satellite images and field studies in the Central Ebro Basin (NE Spain) *International Journal of Remote Sensing*. (en prensa).
- BECK, B., 1986 A generalized genetic framework for the development of sinkholes and karst in Florida, U.S.A. *Environ. Geol. Water Sci.* vol **8**, pp. 5-18.
- BENITO, G 1987 Karstificación y colapsos kársticos en los yesos del sector central de la Depresión del Ebro. *Cuaternario y Geomorfología*, vol. **1**, pp. 61-76.
- BIELZA, V; MARTINEZ GIL, F.J; CARCELLER, T; GARRIDO, E.; NERÍN, C; SÁNCHEZ, Y. y DEL VALLE, J. 1993: *Contaminación del Manto Freático del Corredor del Ebro*. Fundación Nueva Empresa. Zaragoza.
- CATALÁ MORENO, F. 1989: *Cálculo de Caudales en las Redes de Saneamiento*. Colección Senior. Nº 5. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Demarcación Centro. Ed. Paraninfo, S.A. Madrid.
- CENTRO MUNICIPAL DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, 1998, *Estudios Previos: Condicionantes físicos para la ordenación de la Orla Sudoeste de Suelo Urbanizable*. Informe Interno Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. 1975: *Hidrología Subterránea*. Ed. Omega, S.A.. Barcelona.
- CVIJC, J. 1893. The dolines. Translate of Geog. Abhandlungen 5: 225-276. In Sweeting, M.M. (ed.) 1981 *Karst Geomorphology*. Hutchinson.
- DAVIS, S.N.; DE WIEST, R. 1966: *Hidrogeología*. Ed. Ariel. Barcelona.
- FERNÁNDEZ - ALARCÓN, R., 1966, *Estudio previo sobre las acciones a tomar para resolver los problemas de drenaje de la Feria de Muestras de Zaragoza*, Informe inédito, 8 pp.
- GAMS, I. 1978 *The polje: the problem of definition*. Z. Geograph. N.F. **22**, pp. 170-181.
- GRACIA, J.; SALVADOR, T.; SIMÓN, J.L. Y SORIANO, M.A. 1991. *Evaluación del riesgo de hundimientos a lo largo del trazado de tubería alternativa para el abastecimiento de agua al barrio de Casetas y polígonos intermedios*. Informe inédito. Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza.
- GRACIA y PÉREZ, 1997, *Estudio geológico- geotécnico para la planificación y el planteamiento de la urbanización Montecanal II (Zaragoza)*. Informe inédito, memoria y anexos.
- GUTIÉRREZ, M.; SIMÓN, J.L. Y SORIANO, M.A.1986 Algunos aspectos de la tectónica neógena y cuaternaria en el sector central de la depresión del Ebro. Bol. Geol. y Minero. **t. XCVII**, pp. 9-21.
- HERRERO CANTALAPIEDRA, E., 1984, *Estudio geotécnico del solar de la nueva Feria de Muestras de Zaragoza*. Informe Inédito, 12 pp y anexos.
- ICONA/MAPA 1979: *Precipitaciones máximas en España*. Monografía 21.

- IGME, 1987, *Mapa geológico y de riesgos geológicos de la ciudad de Zaragoza*, Instituto Geológico y Minero de España, 99 pp y mapas.
- ITGE 1998 *Mapa geológico de España, hoja de Zaragoza. Memoria y mapa geológico*.
- LAMOREAUX, P. E. Y NEWTON, J. G. 1986 Catastrophic subsidence: An environmental hazard, Shelby County, Alabama. *Environ. Geol. Water Sci.*, vol. **8**, pp. 25-40.
- MANDADO, J. 1987 *Litofacies yesíferas del sector aragonés de la cuenca terciaria del Ebro. Petrogénesis y Geoquímica*. Tesis doctoral. 433p. Universidad de Zaragoza.
- NEWTON, J.G. Y TANNER, J.M. 1987 Case histories of induced sinkholes in the eastern United States. *2nd Multidisciplinary Conference on sinkholes and the environmental impacts of karst*, pp. 15-23. Orlando.
- OLIVE, W.W. 1957 Solution subsidence troughs, Castile formation of gypsum Plain, Texas and New Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America* v.**66**, pp. 351-358.
- PALMQUIST, R. 1979. Geologic controls on doline characteristics in mantled karst. *Z. Geomorph. . Suppl. Bd.*, **32**: 90-106.
- PLUMED, O., y HERMÁNDEZ, V., 1996, *Estudio geotécnico en el antiguo solar de Hispano-Carrocería para Alcampo*, S.A. Informe ENTECSA.
- QUIRANTES, J. 1978. *Estudio sedimentológico y estratigráfico del terciario continental de los Monegros*. Zaragoza. Diputación Provincial de Zaragoza. 200 pp.
- RÉMÉNIÉRAS, G. 1965: *L'Hydrologie de l'Ingénieur. Collection du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou*. Ed. Eyrolles. Paris.
- SIMÓN, J.L. y SORIANO, M.A. 1985. Deformaciones cuaternarias en el área de Zaragoza. *Actas II Reun. Cuaternario Ibérico*, Lisboa, vol. **II**, 329-343.
- SIMÓN J.L. y SORIANO, M.A., 1986, Diapiric deformations in the Quaternary deposits of the central Ebro basin, Spain. *Geological Magazine*, **123**, 45-57.
- SIMÓN, J.L.; SORIANO, M.A.; GRACIA, J. y SALVADOR, T. 1991. Dolinas aluviales en las terrazas del Ebro al oeste de Zaragoza: un análisis empírico de los factores de riesgo. *Cuaternario y Geomorfología*, **5**, 139-148.
- SIRVENT.; GUTIÉRREZ, M. y DESIR, G. 1996 Erosión e Hidrología de áreas acaravadas En Lasanta y García-Ruiz (eds) *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. pp.109-135.
- SORIANO, M.A., 1986, Dolinas de disolución normal y dolinas aluviales en el sector centro-meridional de la Depresión del Ebro. *Bol. Geol. y Min.* t.**XCVII**, pp. 328-337.
- SORIANO, M.A. 1990. *Geomorfología del sector centro-meridional de la Depresión del Ebro*. Zaragoza. Diputación Provincial de Zaragoza. 269 p.
- SORIANO, M.A. 1992. Characteristics of the alluvial dolines developed because of gypsum dissolution in the central Ebro Basin *Z. fur Geomorphology Suppl. Bd*, **85**, pp. 59-72
- SORIANO, M.A. 1993. Descripción y estudio preliminar del origen de la Depresión de Valdespartera (Zaragoza). *Acta Geológica Hispánica*, v.**28**, pp.65-71.
- SORIANO, M.A. y SIMÓN, J.L. y SALVADOR, T. 1992, Estructura interna y mecanismos de los colapsos en yeso. Ejemplos del área de Calatayud (Zaragoza). *Estudios de geomorfología en España*, Geofoma Ed., 619-629.
- SORIANO, M.A. y SIMÓN, J.L. y SALVADOR, T. 1994, Alluvial sinkholes over gypsum in the Ebro Basin (Spain): genesis and environmental impact. *Hydrological Sciences Journal*, **39**, pp. 257-268.
- SORIANO, M.A. y SIMÓN, J.L. 1995. Alluvial dolines in the central Ebro basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. *Geomorphology* **11**, pp. 295-309.
- TOLOSA, P.; y BERNAD, F.J., 1992, *Estudio sobre las filtraciones de agua existentes en los muros del túnel y galerías de servicio en la Feria de Muestras de Zaragoza*. CADISA, informe inédito.
- TOULEMONT, M. 1987 *Les risques d'instabilité liés au karst gypseux lutétien de la région parisienne. Prevision en cartographie. Bull. liaison Labo. P et Ch.* **150-151**, pp. 109-116
- UPCHURCH, S.B. & Littlefield, J.R. 1988 Evaluation of data for sinkhole development risk models. *Environ. Geol. Water Sci.* vol.**12**, pp. 135-140.
- WHITE, E.L.; GERT, A. y WHITE, W.B. (1986) The influence of urbanization on sinkhole development in central Pennsylvania. *Environ. Geol. Water Sci.* vol. **8**, pp. 91-97.
- YUAN, D. (1988) Environmental and engineering problems of karst geology in China. *Environ. Geol. Water Sci.*, vol. **12**, pp. 79-87.

INDICE DE PLANOS ANEXOS A LA MEMORIA

- | | |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Plano 1. | Mapa geológico-geomorfológico. |
| Plano 2. | Mapa hidrogeológico de síntesis. |
| Plano 3. | Mapa de hundimientos kársticos constatados. |
| Plano 4. | Mapa de situación de sondeos mecánicos y catas. |
| Plano 5. | Mapa de espesores de Cuaternario. |
| Plano 6. | Mapa de isohipsas del contacto Mioceno-Cuaternario. |
| Plano 7. | Mapa del contenido promedio de lutitas en los depósitos cuaternarios. |
| Plano 8. | Mapa de peligrosidad potencial de hundimientos kársticos. |
| Plano 9. | Mapa de peligrosidad de inundaciones y hundimientos kársticos. |



ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES EN LOS TERRITORIOS DE LA ORLA SUDORIENTE DE SURO URBANIZABLE Ayuntamiento de Zaragoza

Mapa Geológico-Geomorfológico Mayo, 1998
Escala original 1:5.000

Departamento de Geología Universidad de Zaragoza

Plano: 1

Leyenda	
	T ₁ Llanura de inundación del Ebro
	T ₂
	T ₃
	T ₄
	T ₅
	T ₆
	T ₇
	T ₈
	T ₉ Depósito de arena (subdividido)
	M ₁ Muebles coluviales
	M ₂ Muebles (arena y arcilla)

ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES EN LOS TERRENOS DE LA ORLA SUDOESTE DE SUELO URBANIZABLE

Ayuntamiento de Zaragoza

Mapa hidrogeológico de síntesis

Mayo, 1998

Escala original 1:10.000

Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza

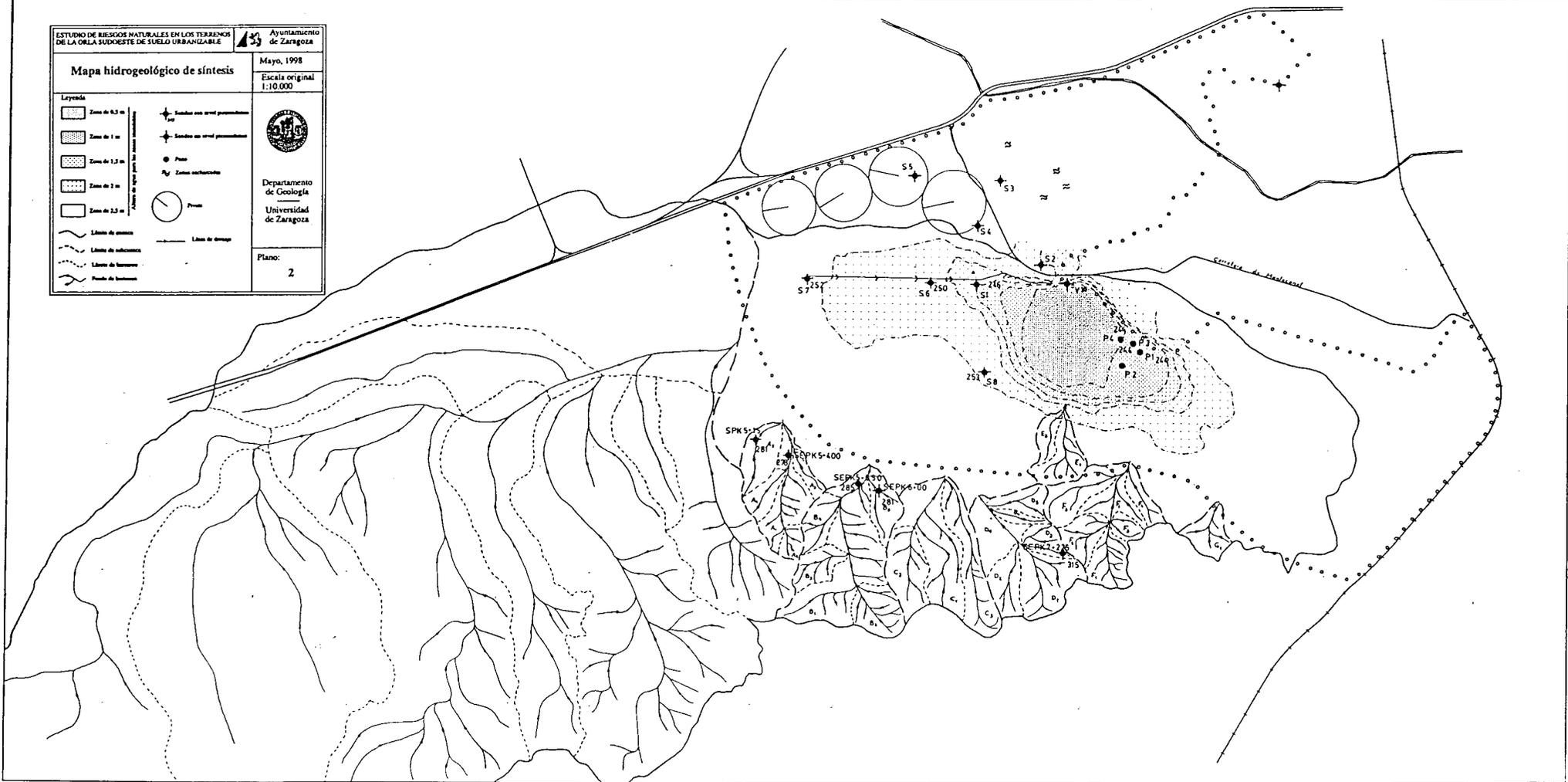
Plano: 2

Leyenda

- Zona de 0,3 m
- Zona de 1 m
- Zona de 1,3 m
- Zona de 2 m
- Zona de 3,2 m

+ Simbolos con nivel piezométrico
 + Simbolos con nivel piezométrico
 ● Puntos
 P₁ Cuenca subterránea
 ○ Puntos

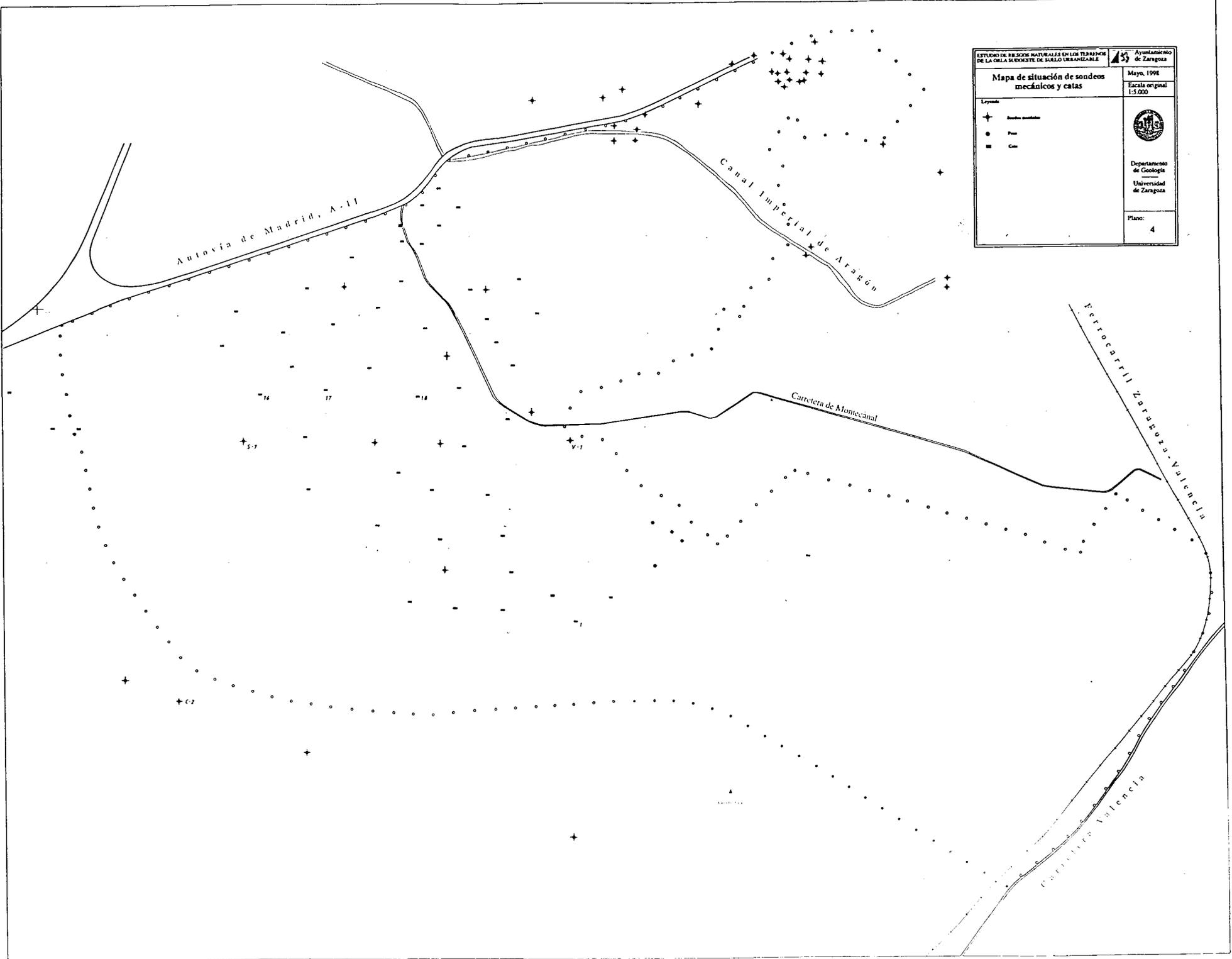
--- Líneas de contorno
 --- Líneas de subcuenca
 --- Líneas de terreno
 --- Puntos de terreno

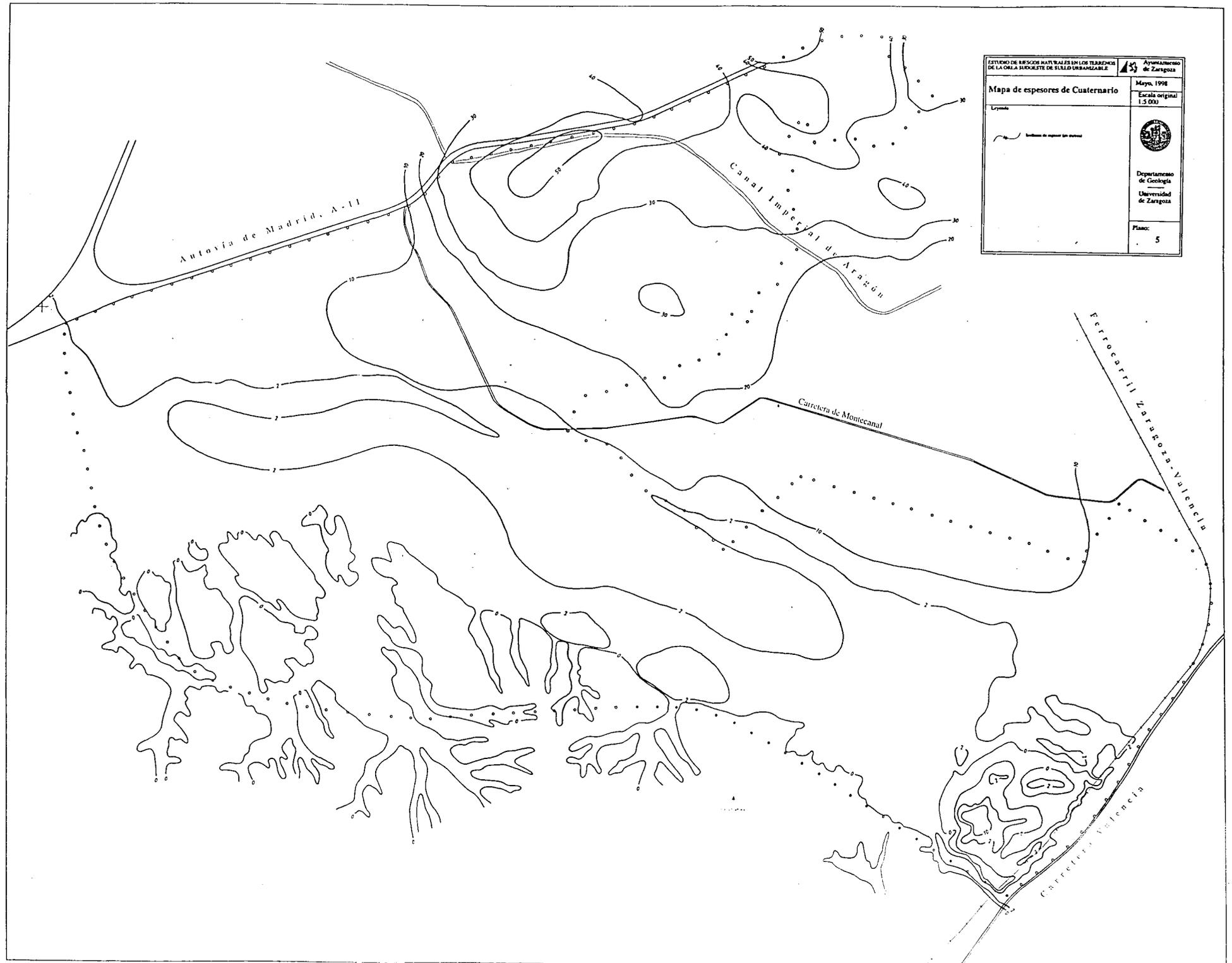




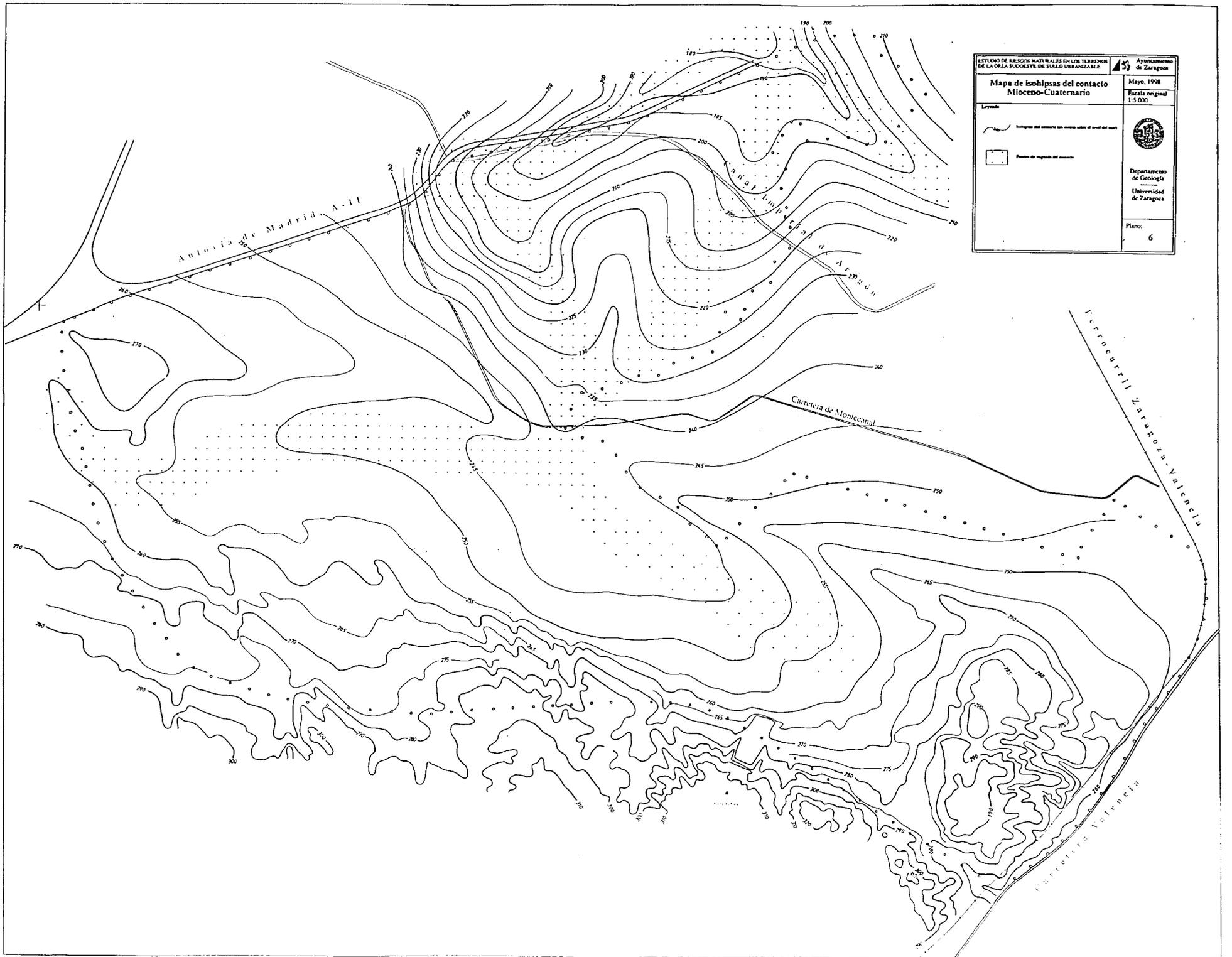
ESTUDIO DE BÚSCAS NATURALES EN LOS TERRENOS DE LA ORLA SUDOESTE DE SUELO URBANIZABLE		Ayuntamiento de Zaragoza
Mapa de hundimientos kársticos constatados		Mayo, 1998
Leyenda		Escala original 1:5.000
Departamento de Geología Universidad de Zaragoza		
Depósitos Zona de desarrollo de pozos		Plano: 3

ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES EN LOS TERRAJOS DE LA ORLA SUJETA DE SUELO URBANIZABLE		Ayuntamiento de Zaragoza	
Mapa de situación de sondeos mecánicos y calas		Mayo, 1998	
Escala original 1:5.000			
Leyenda  Sondeo puntual  Pasa  Calas		Departamento de Geología Universidad de Zaragoza	
Plano:		4	



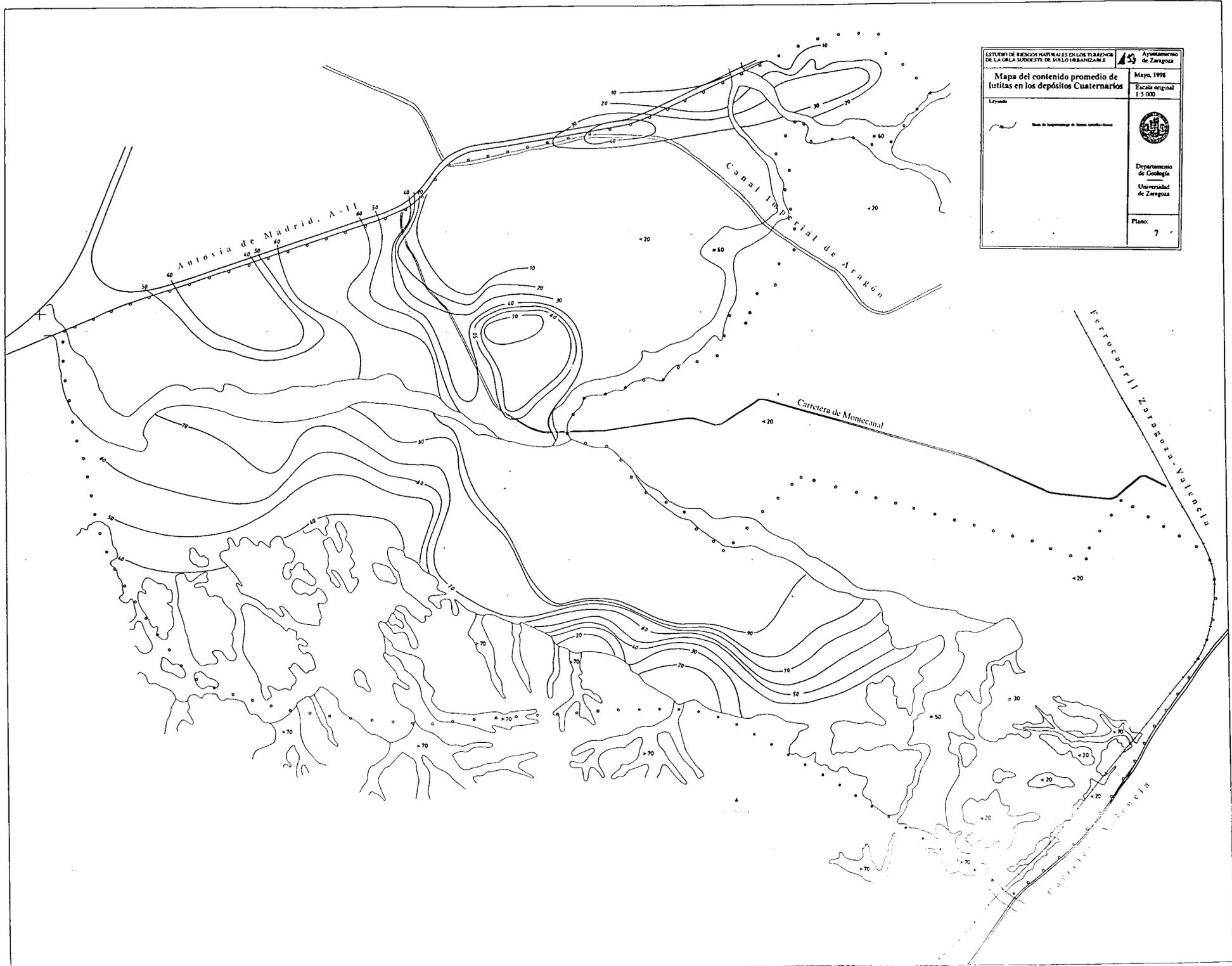


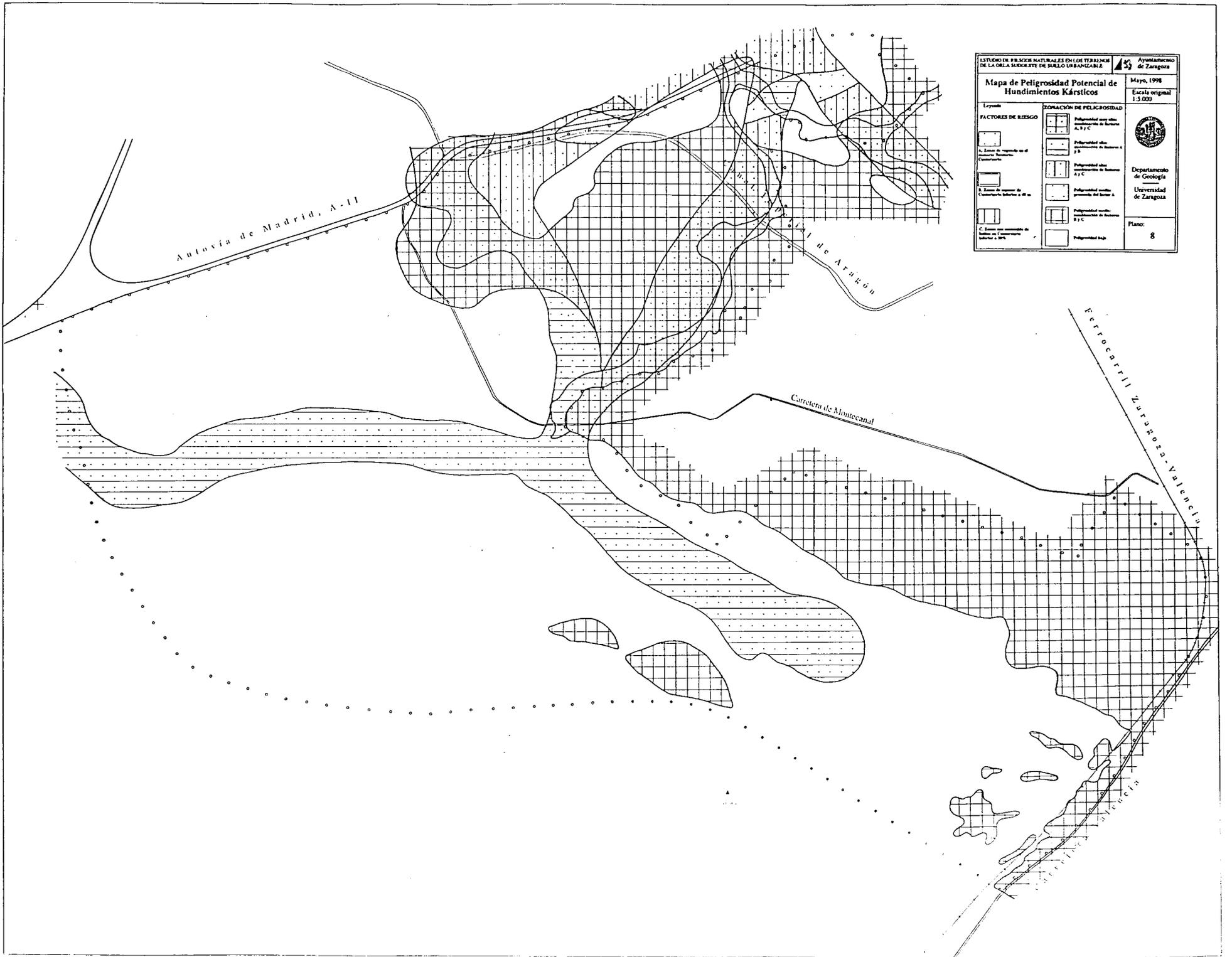
SISTEMA DE RESERVA NATURAL EN LOS TERRITORIOS DE LA OBLA SUROESTE DE ELLEO URBANIZABLE		Ayuntamiento de Zaragoza
Mapa de espesores de Cuaternario		Mayo, 1998
Leyenda		Escala original 1:5.000
Espesores de depósitos cuaternarios		
		Departamento de Geología Universidad de Zaragoza
		Plano: 5



ESTUDIO DE ISOHIPAS MAJALES EN LOS TERREMOTOS DE LA OLA SUCESIVA DE 1980 UNIRANGABLE		Ayuntamiento de Zaragoza
Mapa de isohipsas del contacto Mioceno-Cuaternario		Mayo, 1998
Escala original 1:30 000		
Legenda: Isohipsas del terreno con intervalos de 5 metros del nivel del mar Puntos de cota del terreno		Departamento de Geología Universidad de Zaragoza
Plano: 6		

ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES EN LOS TERRENIOS DE LA ORLA SUCCESIVA DE SUELO URBANIZABLE		Ayuntamiento de Zaragoza	
Mapa del contenido promedio de lutitas en los depósitos Cuaternarios		Mayo, 1998	
Escala original 1:5 000			
Leyenda		Departamento de Geología Universidad de Zaragoza	
		Plano: 7	





ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES EN EL TERMINO DE LA OBLA SANEADORA DE SUELO URBANIZABLE Ayuntamiento de Zaragoza

Mayo, 1998

Mapa de Peligrosidad Potencial de Hundimientos Kársticos Escala original 1:3.000

Departamento de Geología Universidad de Zaragoza

Plano: 8

FACTORES DE RIESGO	ZONACIÓN DE PELIGROSIDAD
1. Tipo de terreno de la Obra Saneadora	Peligrosidad muy alta (honduras de sectores A, B y C)
2. Tipo de terreno de la Obra Saneadora	Peligrosidad alta (honduras de sectores A y B)
3. Tipo de terreno de la Obra Saneadora	Peligrosidad alta (honduras de sectores A y C)
4. Tipo de terreno de la Obra Saneadora	Peligrosidad media (honduras de sectores A)
5. Tipo de terreno de la Obra Saneadora	Peligrosidad media (honduras de sectores B y C)
6. Tipo de terreno de la Obra Saneadora	Peligrosidad baja

ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO

José Luis Simón Gómez
M^a Asunción Soriano Jiménez
Luis Arlegui Crespo
Juan Caballero Burbano

Con la colaboración de:

Javier Gracia Abadías
Tomás Salvador Martín
Eva Sicilia Til



Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza

Octubre, 1998

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.
 - 1.1. Planteamiento del problema.
 - 1.2. Antecedentes.
 - 1.3. Objetivos y metodología general.
 2. MARCO GEOLÓGICO.
 - 2.1. Características geológicas y geomorfológicas del área.
 - 2.2. Características hidrogeológicas.
 3. LAS DOLINAS DEL ENTORNO DE ZARAGOZA.
 - 3.1. Morfología y distribución de las dolinas.
 - 3.2. Mecanismos genéticos.
 - 3.3. Factores condicionantes.
 4. EL MAPA DE HUNDIMIENTOS CONSTATADOS.
 - 4.1. Fuentes de información en el inventario y cartografía de dolinas.
 - 4.2. El mapa general de dolinas a escala 1:25000.
 - 4.3. La leyenda del mapa de dolinas a escala 1:5000 criterios de identificación y categorización.
 - 4.4. Los mapas de dolinas a escala 1:5000 de las distintas subzonas. Resultados.
 5. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE RIESGO POTENCIAL
 - 5.1. Aproximación empírica a los factores que controlan el desarrollo de dolinas aluviales.
 - 5.2. Las variables relevantes en la evaluación de la peligrosidad potencial.
 - 5.3. Distribución espacial de las variables.
 - 5.4. Las categorías de peligrosidad potencial.
 6. EL MAPA FINAL DE PELIGROSIDAD DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS.
 - 6.1. Evaluación de la peligrosidad de hundimientos kársticos. Criterios generales.
 - 6.2. La leyenda de los mapas de peligrosidad de subzonas a escala 1:5000. Significado de las distintas categorías de peligrosidad definidas.
 - 6.3. La leyenda del mapa de peligrosidad general a escala 1:25000.
 - 6.4. El mapa regional de peligrosidad de hundimientos kársticos a escala 1:25000. Descripción general.
 - 6.5. Los mapas de peligrosidad de las subzonas a escala 1:5000. Descripción general.
 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES.
 - 7.1. Conclusiones y consideraciones generales.
 - 7.2. Consideraciones geotécnicas.
 - 7.3. Recomendaciones finales.
 8. BIBLIOGRAFÍA.
- ANEXO 1. DOLINAS.
- Fichero de dolinas.
 - Subzona Autovía.
 - Subzona Casetas.
 - Subzona Garrapinillos.
 - Subzona Miralbueno.
 - Subzona Monzalbarba.
- ANEXO 2. FOTOS.
- ANEXO 3. PLANOS.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Planteamiento del problema.

Los fenómenos de hundimiento y colapso de terrenos aluviales en el entorno de la ciudad de Zaragoza son bien conocidos desde hace tiempo y vienen causando gran cantidad de pérdidas económicas. Se manifiestan en el relieve por la presencia de depresiones cerradas, a veces irregulares y difusas, otras netas y de contorno circular o elíptico (*dolinas*). Cuando las dolinas presentan bordes escarpados y alcanzan una cierta profundidad pasan a entrar en la categoría de lo que popularmente se conoce como *simas*.

Las dolinas se forman como consecuencia, en primer lugar, de la movilización y evacuación de material infrayacente por el agua subterránea, con formación, por lo general, de cavidades en el subsuelo. Dicha movilización consiste fundamentalmente en la disolución de los yesos miocenos, pero también, en parte, en el arrastre mecánico subsuperficial (sufosión) de los propios materiales detríticos cuaternarios. A ella sigue una respuesta del terreno suprayacente que puede manifestarse bien por un colapso brusco (produciéndose entonces dolinas de bordes escarpados) o bien por subsidencia lenta (dando zonas de hundimiento de bordes difusos).

Los agricultores han mantenido secularmente su particular pelea con las dolinas. Donde la velocidad de hundimiento es escasa han conseguido mantener la superficie de cultivo rellenándolas periódicamente. En los casos de evolución más rápida optaron por abandonarlas. Los problemas derivados de la excesiva humedad del suelo debida a la acumulación de aguas pluviales y a la cercanía del nivel freático han sido combatidas en algunas zonas construyendo canales de drenaje. Dejadas en su estado natural, esas simas han sido colonizadas por la vegetación y, en muchos casos, convertidas en balsas naturales.

A partir de los años 60-70 se crea una situación nueva al acelerarse la expansión urbana e industrial de la ciudad. Grandes extensiones de suelo agrícola se urbanizan. Las antiguas simas son rellenadas y se construye sobre ellas ignorando el riesgo que ello comporta. Unos 10 ó 15 años más tarde comenzaban a verse las consecuencias: viviendas y naves industriales en estado de ruina, vías de comunicación y redes de abastecimiento sujetas a deterioro continuo.

El impacto económico de los hundimientos kársticos es, pues, considerable. En tal situación, si se desea realizar una planificación de usos del territorio armónica con los procesos naturales, se hace necesario conocer a fondo la fenomenología de los hundimientos kársticos, sus causas, factores condicionantes, distribución espacial y pautas de evolución temporal. La recopilación y tratamiento de la información y la elaboración de mapas de peligrosidad es un primer paso para ello. Posteriormente debería profundizarse mediante estudios geotécnicos de detalle que permitan establecer una zonificación más precisa.

1.2. Antecedentes.

La incidencia económica y social de los hundimientos kársticos justifica el interés que en los últimos años ha despertado su estudio, si bien la mayoría de los trabajos han estado orientados a la resolución de problemas puntuales. Un análisis regional del fenómeno y sus factores condicionantes fue realizado parcialmente por nuestro equipo en el año 1991 para el Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza, de cara a la evaluación de riesgo en el trazado de la nueva tubería de abastecimiento de agua a Casetas (GRACIA *et al.*, 1991). Se hace necesario cada vez más, dentro de las labores de planificación y ejecución urbanística, continuar con dicho estudio extendiéndolo a todo el corredor metropolitano de Zaragoza-Casetas, completando un banco de datos y documentos cartográficos de síntesis que permitan evaluar riesgos tanto de grandes áreas como de localizaciones concretas.

En el contexto de los trabajos de revisión del Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza, el Centro Municipal de Ordenación del Territorio mostró su interés por continuar esta tarea.

Entre marzo y mayo de 1998 realizamos, por encargo de dicho organismo, un estudio de riesgos naturales en la orla suroeste de suelo urbanizable de la ciudad de Zaragoza, en el que se incluía la evaluación de peligrosidad de hundimientos kársticos (SIMON *et al.*, 1998). El presente estudio constituye, en cierto modo, una continuación de aquél, realizado con una metodología similar y focalizado asimismo en una gran área de futura expansión urbanística de Zaragoza.

1.3. Objetivos y metodología general.

En este trabajo se pretende realizar una evaluación y cartografía de la peligrosidad de hundimientos kársticos en el área comprendida entre Zaragoza y Casetas, precisamente la más problemática en el entorno de la capital aragonesa (ver situación en figura 1). El trabajo se enfoca en dos niveles y a dos escalas de trabajo distintas. Por un lado, se elabora una cartografía de hundimientos constatados, tanto históricos como actuales. Por otro, se aborda un segundo nivel de estudio consistente en el análisis de riesgo potencial a partir de factores de peligrosidad que empíricamente se han puesto de manifiesto en estudios anteriores. Ambos enfoques se aplican, por una parte, al conjunto de la zona de estudio, en este caso a una escala de trabajo 1:25000. Por otra, se estudian en detalle cinco subzonas de mayor interés para las que se elaboran cartografías a escala 1:5000 (*Autovía, Casetas, Garrapinillos, Miralbueno y Monzalbarba*). Parte del trabajo a escala regional constituye una ampliación y actualización del realizado para el Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza en 1991 (GRACIA *et al.*, 1991), especialmente en la zona más próxima a Zaragoza.

La metodología general de trabajo sigue el esquema que se muestra a continuación. Algunos detalles sobre aspectos concretos de la misma se verán en los correspondientes apartados de la memoria.

1. Inventario de datos históricos sobre los fenómenos de hundimiento:

- 1.1. Cartografía de dolinas a partir de fotografías aéreas de los años 1946, 1957, 1970, 1982, 1986, 1987, 1988 y 1993.
- 1.2. Inventario de casos históricos a partir de una recopilación de información documental (cartografía, informes geológicos y geotécnicos), así como de entrevistas y testimonios directos.
- 1.3. Análisis espacial de los hundimientos y su evolución en el tiempo.

2. Recopilación de datos relacionados con los factores de riesgo: características de los materiales (yesos y cubierta cuaternaria), espesor del aluvial y morfología de su contacto con los yesos, características morfológicas y estructurales, funcionamiento hidrogeológico (evolución de los niveles piezométricos, quimismo del agua ...), datos acerca de la acción antrópica sobre el terreno y el agua subterránea, etc. La información se obtiene en general de estudios e informes realizados con anterioridad por otras empresas y organismos.

3. Elaboración de los mapas de hundimientos constatados a partir de la información cartográfica, fotogeológica e histórica (escala 1:25000 para el mapa general de la zona y escala 1:5000 para los mapas de detalle en las cinco subzonas). Elaboración de fichas complementarias de las dolinas comprendidas en estas últimas.

4. Análisis de peligrosidad potencial a partir de toda la información anterior y del análisis de las correlaciones espaciales y temporales entre los factores de riesgo y los fenómenos de hundimiento registrados.

5. Elaboración del mapa general de peligrosidad de hundimientos (a las mismas escalas 1:25000 y 1:5000).

2. MARCO GEOLÓGICO.

2.1. Características geológicas y geomorfológicas del área.

El área estudiada se localiza en el sector central de la Cuenca del Ebro, formada ésta por los aportes sedimentarios procedentes de las tres cordilleras que la enmarcan (Pirineo, Cordillera Ibérica y Cadenas Costero-Catalanas). Se encuentra rellena por materiales de edad terciaria, sedimentados en ambientes marinos al comienzo del Terciario y continentales a partir de finales del Eoceno. Estos últimos abarcan desde facies de abanicos aluviales en los márgenes de la cuenca (sedimentos detríticos gruesos) hasta de *playa-lake* en el centro de la misma (con depósitos carbonatados, yesíferos y halíticos).

La Formación Zaragoza es la formación yesífera más importante de este sector de la Depresión. Fué definida por QUIRANTES (1978), quien diferencia varios grupos según la zona considerada. Los Yesos de Mediana se encuentran limitados al norte por el río Ebro y al sur por las plataformas calcáreas de La Muela y La Plana. Son yesos masivos, concrecionales y nodulosos de tonos blanquecinos y blanco-grisáceos, con pequeñas intercalaciones de lutitas, margas y calizas margosas blancas (MANDADO, 1987). Es frecuente también encontrar en ellos pequeños niveles de anhidrita, epsomita y halita.

Desde el comienzo del Cuaternario se produjo la instalación y jerarquización de la red fluvial. Este hecho produjo la erosión de los materiales terciarios y una sedimentación aluvial muy importante, por un lado ligada directamente al Ebro y sus afluentes (terrazas fluviales), y por otro controlada por los relieves terciarios circundantes y enlazando éstos con los cursos fluviales (glacis).

Son varios los niveles de glacis y terrazas escalonados que se desarrollan como consecuencia de etapas alternantes de erosión y aluvionamiento. En el tramo comprendido entre los valles de los ríos Jalón y Huerva se encuentran hasta ocho distintos (SORIANO, 1990). Las terrazas se encuentran desarrolladas preferentemente en la margen derecha del Ebro, mientras en la izquierda afloran sedimentos terciarios, lo cual confiere al valle una clara asimetría. Los tres niveles de terraza más recientes del río (T₁, T₂ y T₃) tienen una gran continuidad desde la desembocadura del río Jalón hasta la ciudad de Zaragoza. Su altura relativa sobre el cauce actual del río Ebro es de 3 a 6, 10 a 14 y 29 a 34 m., respectivamente (SORIANO, 1990).

En toda la zona estudiada los depósitos de terraza recubren completamente el Terciario, de forma que éste no aflora en ningún punto. A grandes rasgos los sedimentos fluviales cuaternarios están constituidos por alternancias de niveles de arenas, limos y gravas, predominando claramente estos últimos. En la terraza más moderna (T₁) hay un aumento importante del contenido en lutitas (limos y arcillas). La composición de los cantos es heterogénea: cuarcitas, calizas mesozoicas, calizas neógenas, areniscas, etc., y su tamaño variable desde 2 hasta 25 cm. Presentan estructuras sedimentarias tales como estratificación cruzada planar y en surco, imbricación de cantos y, en ocasiones, mineralizaciones de Fe y Mn. La potencia total de estas terrazas es muy variable, oscilando entre los 3-4 m de la T₁ en Casetas y los 55 m en alguna zona del nivel T₃.

Sobre estos sedimentos cuaternarios es donde se forman las dolinas aluviales. Estas aparecen de manera especial sobre los niveles más recientes de terrazas del río Ebro (T₁, T₂ y T₃) (figura 2), correspondiendo la mayor densidad al nivel T₂ y observándose una disminución muy brusca al pasar a T₁. Los yesos (y en ocasiones los niveles de halita) de la Formación Zaragoza constituyen el sustrato infrayacente soluble que propicia su desarrollo.

2.2. Características hidrogeológicas.

Todos los materiales cuaternarios de la Cuenca del Ebro (glacis y terrazas) constituyen en su conjunto un solo acuífero regional libre. Su espesor, como acabamos de señalar, es muy variable. También lo es su permeabilidad, condicionada por el grado de cementación y la granulometría de los depósitos en cada punto, y que puede oscilar entre 100 y 1500 m/día. La porosidad eficaz estimada a partir de ensayos de bombeo ronda el 10%. Los caudales específicos medidos en algunos puntos superan los 40 l/s/m en el área de Casetas-Utebo (terrazas T₁ y T₂), mientras que en el sector de Garrapinillos (T₃) son inferiores a 20 l/s/m.

Los materiales yesíferos y margo-yesíferos de la Formación Zaragoza que yacen bajo el Cuaternario se encuentran a su vez saturados en agua (BIELZA *et al.*, 1993). La permeabilidad de este sustrato es en general muy poco relevante en comparación con la del acuífero aluvial. Se comportan, por tanto, como un acuitardo, aunque se les han atribuido valores de permeabilidad anormalmente elevados (10⁻² m/día) para lo que es usual en este tipo de materiales.

De manera general, la superficie freática se sitúa entre una cota mínima de 190 m.s.n.m. en las proximidades del Ebro en Zaragoza y los 220-225 m.s.n.m. de la zona al oeste de Garrapinillos (figura 3). El flujo general en todo el acuífero cuaternario se dirige hacia el Ebro, que constituye su nivel de base regional. El comportamiento efluente del Ebro es mucho más marcado precisamente en la margen derecha, en la que se centra este estudio, debido al gran desarrollo de las terrazas fluviales y sus importantes desniveles. La buena conexión hidráulica entre las terrazas, especialmente las bajas, se pone de manifiesto por la ausencia de gradientes anómalos en sus contactos.

Existen asimismo zonas de descarga local en una serie de depresiones que se convierten, de este modo, en terrenos pantanosos (BIELZA *et al.*, 1993). Estos sumaban históricamente una superficie considerable, pero con el tiempo han estado sujetos a intenso relleno antrópico que los ha hecho desaparecer y modificado de forma importante su topografía. Son especialmente importantes los situados entre el sur de Casetas y Pinseque, en buena parte drenados por un *escorredero* (el Acequiazo) que permite mantener los terrenos aptos para el cultivo. La aparición de estos humedales parece determinada por la presencia de umbrales del sustrato terciario transversales a las trayectorias de flujo.

La superficie freática sufre oscilaciones periódicas en relación con los periodos de recarga y descarga. En condiciones naturales, estos deberían estar controlados únicamente por los periodos estacionales de lluvias y los episodios de crecidas de los ríos. Sin embargo, en la zona que nos ocupa tienen más incidencia los propios excedentes de riego, que hacen que el nivel máximo se alcance entre finales del verano y principios del otoño, y el nivel mínimo entre el invierno y la primavera. Las variaciones máximas estacionales se sitúan normalmente entre 2 y 4 m, siendo en general crecientes al alejarnos del Ebro hacia las terrazas altas.

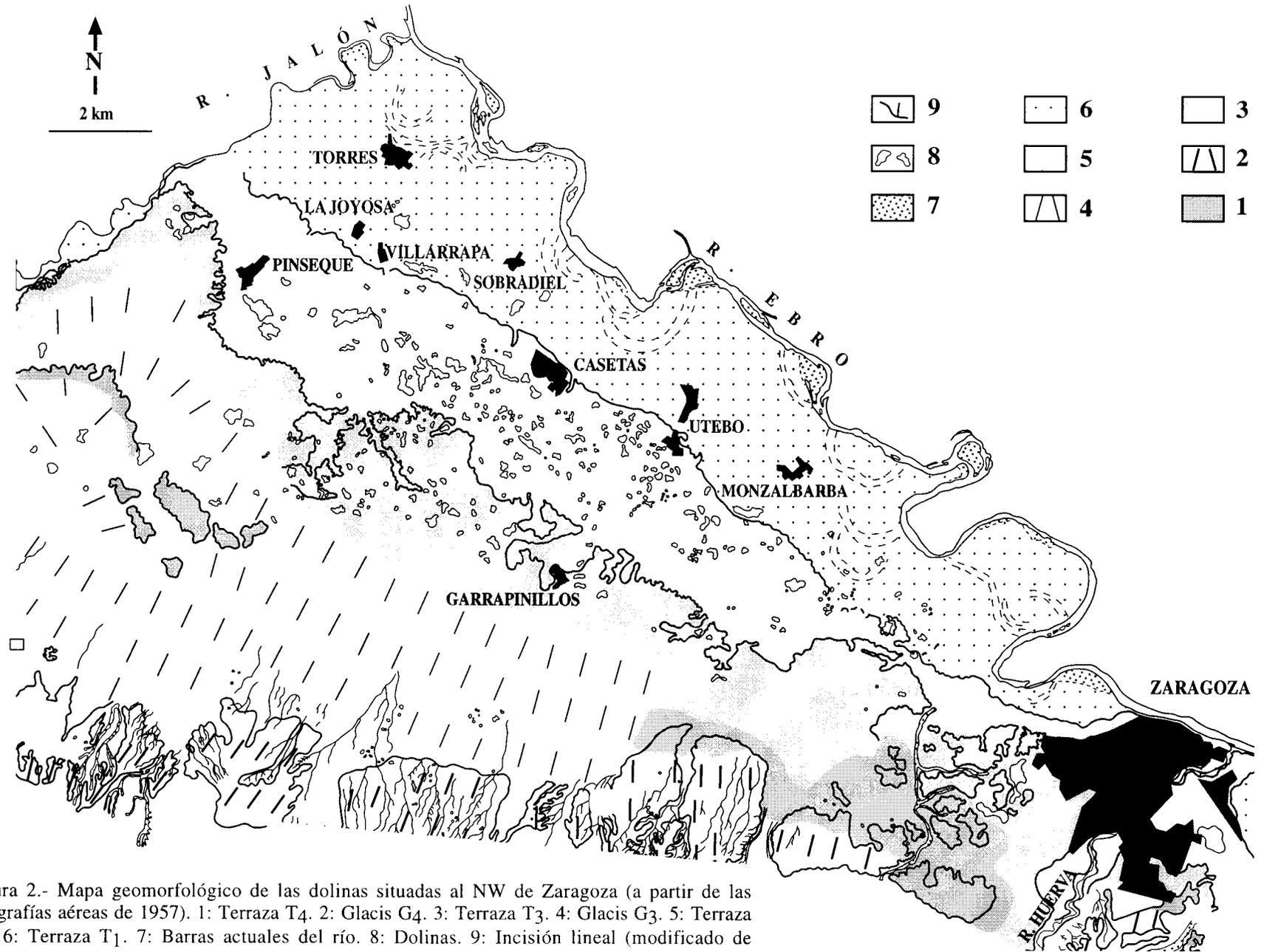


Figura 2.- Mapa geomorfológico de las dolinas situadas al NW de Zaragoza (a partir de las fotografías aéreas de 1957). 1: Terraza T4. 2: Glacis G4. 3: Terraza T3. 4: Glacis G3. 5: Terraza T2. 6: Terraza T1. 7: Barras actuales del río. 8: Dolinas. 9: Incisión lineal (modificado de SORIANO, 1990).

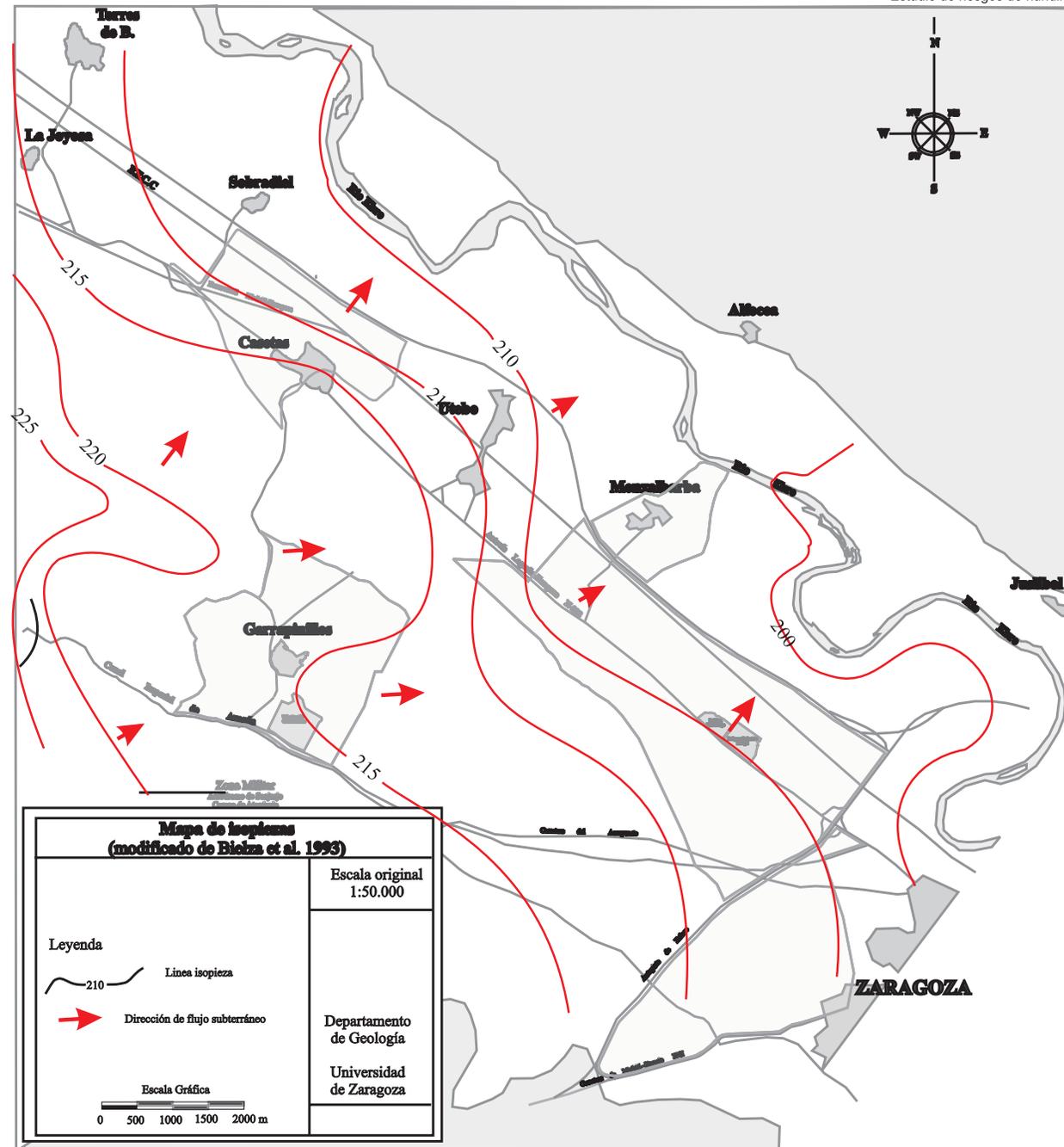


Figura 3

3. LAS DOLINAS DEL ENTORNO DE ZARAGOZA: DESCRIPCIÓN Y GÉNESIS.

3.1. Morfología y distribución de las dolinas.

Son numerosos los trabajos sobre geología y geomorfología del entorno de Zaragoza que han puesto de manifiesto la importancia de las dolinas aluviales desarrolladas sobre los sedimentos cuaternarios (VAN ZUIDAM, 1976; GUTIÉRREZ *et al.*, 1985; SORIANO, 1986; 1992; BENITO y GUTIÉRREZ, 1987; SIMÓN *et al.*, 1991; SORIANO *et al.*, 1992, 1994; SORIANO y SIMÓN, 1995, 1997). Ya hemos señalado que las dolinas aparecen de manera especial sobre los niveles más recientes de terrazas del río Ebro (T₁, T₂ y T₃) (figura 2). La mayor densidad de dolinas se produce en el nivel T₂, alcanzándose en alguna zona 22 dolinas/ km². Su disminución al pasar a T₁ es muy brusca, especialmente en el área de Utebo.

La morfología es variada, encontrándose los principales tipos descritos en la literatura tradicional sobre este tema (cubeta, embudo, ventana y fondo plano con paredes escarpadas) (CVIJIC, 1893 y PALMQUIST, 1979). La forma en planta y las dimensiones de las dolinas presentan una gran variabilidad. La longitud máxima observada está comprendida entre 10 y 1100 m, la anchura entre 10 y 600, y la profundidad entre 2 y 9 m. En las de menores dimensiones predominan las redondeadas y elípticas, mientras las que alcanzan mayores tamaños tienen una forma muy irregular.

La observación de fotografías aéreas de distintos años, desde la década de los 40 hasta la actual, ha permitido apreciar variaciones importantes en su número y dimensiones a través del tiempo. En distintos momentos, muchas de ellas han sido rellenadas por los agricultores en los campos de cultivo o explanadas en zonas de nueva urbanización. No obstante, su reactivación las ha vuelto a poner de manifiesto al cabo de los años. Esta reactivación no siempre ha afectado al contorno completo de la dolina, sino que frecuentemente se ha producido en forma de nuevos centros de hundimiento localizados cerca del borde o en sectores concretos de la misma.

3.2. Mecanismos genéticos.

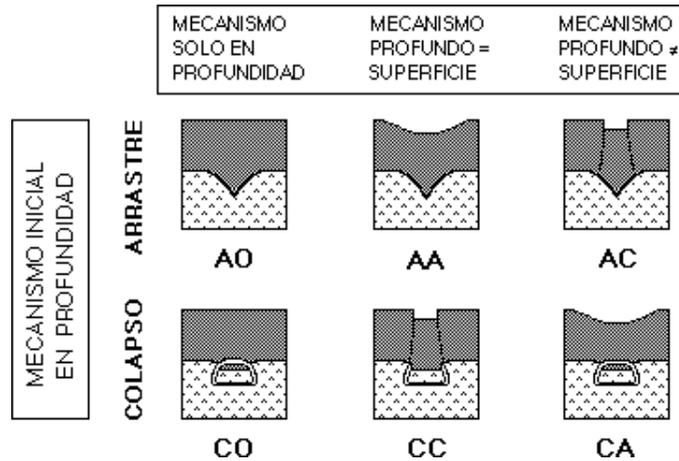
Se han propuesto diversos modelos para explicar la génesis de las dolinas y depresiones desarrolladas en karst yesíferos (WHITE *et al.*, 1986; BECK, 1986, 1988; BENITO, 1987; YUAN, 1988). Los elementos esenciales del proceso son dos:

(a) Movilización y evacuación del material por el agua subterránea, que generalmente llevan asociada la creación de cavidades en el subsuelo. Esta movilización puede deberse tanto a la disolución de los sedimentos yesíferos del Terciario como al arrastre mecánico de los depósitos detríticos cuaternarios. El primer mecanismo es en general el más importante, aunque muchos autores señalan que localmente también puede serlo el arrastre mecánico o *piping* (BENITO, 1987; YUAN, 1988; BECK, 1986, 1988; WHITE *et al.*, 1986; DOUGHERTY y PERLOW, 1988; SORIANO, 1992).

(b) Hundimiento de la cubierta aluvial suprayacente, hecho que a su vez puede deberse bien a un colapso brusco o bien a una subsidencia lenta. El primero se manifiesta en superficie por la formación de dolinas con paredes muy escarpadas. La segunda provoca que la cobertera se adapte paulatinamente a la disolución existente en el material karstificable, cuyo resultado morfológico son dolinas con paredes más tendidas (BENITO, 1987; YUAN, 1988).

En general, los procesos de disolución y creación de cavidades suelen dar lugar, a corto o medio plazo, a colapsos bruscos, mientras que el arrastre de materiales granulares suele propiciar la subsidencia lenta. Sin embargo, en una misma dolina pueden coexistir ambos tipos

de mecanismos en un momento dado, actuando cada uno a una profundidad distinta. En este sentido, caben muchas combinaciones posibles, según cuál sea el mecanismo en profundidad, según si el movimiento se ha transmitido o no a la superficie y, de haberlo hecho, si se ha transmitido por el mismo o por distinto mecanismo. SORIANO *et al.* (1992) proponen una clasificación y una notación simplificada mediante tres letras mayúsculas que representan la actuación del mecanismo de arrastre y subsidencia (A), la creación de oquedades y colapso (C) o la ausencia del proceso (O). Estas letras se combinan en parejas, de forma que la primera de ellas designa el mecanismo en profundidad y la segunda el mecanismo en superficie. El cuadro siguiente resume esta clasificación:



Por otra parte, los mecanismos también cambian en el tiempo. Esto queda demostrado por los datos que se tienen sobre la evolución de algunas dolinas, así como por los resultados de experimentos de laboratorio realizados sobre modelos a escala reducida (SORIANO y SIMÓN, 1997). Estos ponen de manifiesto que hay varias pautas evolutivas posibles, según el mecanismo inicial, las condiciones físicas del entorno y la velocidad del proceso. A veces puede incluso producirse una alternancia cíclica entre los mecanismos de arrastre-subsidencia y oquedad-colapso, que da lugar a paredes escalonadas en la estructura interna de la dolina. En cualquier caso, la tendencia general en dolinas muy evolucionadas es a culminar con eventos de colapso tanto en profundidad como en superficie.

3.3. Factores condicionantes.

Los factores que parecen condicionar los procesos de hundimiento y el consiguiente desarrollo de dolinas aluviales son muy variados. Desde el punto de vista de su origen pueden dividirse en tres grupos: factores **físicos** (relacionados con las características de los materiales implicados), **hidrológicos** (relacionados con la circulación y quimismo del agua subterránea) y **antrópicos** (actividades humanas que modifican el entorno).

(a) Factores físicos. Entre ellos se encontraría, en primer lugar, el *bajo espesor de la cubierta cuaternaria* que se superpone al material karstificable, que favorece el que la cavidad creada en él llegue a manifestarse en superficie (PALMQUIST, 1979; LAMOREAUX y NEWTON, 1986; WHITE *et al.*, 1986; YUAN, 1988; UPCHURCH y LITTLEFIELD, 1988). La *composición y características geotécnicas de la cubierta* cuaternaria (cohesión, textura porosa, ángulo de fricción, etc.) determinan que el agua pueda penetrar hasta los niveles karstificables y que su

resistencia ante el colapso sea mayor o menor (BENITO, 1987; TOULEMONT, 1987; JIANYI y JIAN, 1987; YUAN, 1988). La *fracturación* favorece la circulación de agua y crea una porosidad secundaria, como señalan PALMQUIST (1979), DEVEUGHELE y USEGLIO (1979), LAMOREAUX y NEWTON (1986) y SORIANO (1992), permitiendo que el agua subterránea pueda alcanzar las capas karstificables con más facilidad.

(b) Factores hidrogeológicos. La posibilidad de disolver el yeso depende de la cantidad de agua que circule y de su poder de disolución. Por tanto, los factores de tipo hidrogeológico juegan un importante papel en el desarrollo de las dolinas. Muchos autores consideran que un *elevado gradiente hidráulico* e importantes *variaciones estacionales del nivel freático* coadyuvan al desarrollo de este proceso (DEVEUGHELE y USEGLIO, 1979; PALMQUIST, 1979; LAMOREAUX y NEWTON, 1986; DOUGHERTY y PERLOW, 1988; YUAN, 1988). Algunos de estos autores indican que son especialmente frecuentes los colapsos después de haberse producido precipitaciones muy intensas en periodos de tiempo muy cortos. Una *baja profundidad del nivel freático* facilita también el desarrollo de los colapsos, ya que cuanto menor es el espesor de materiales secos, menor es también la resistencia del material superior y, además, la presencia de un importante espesor saturado implica una mayor posibilidad para arrastrar los materiales no cohesivos (DEVEUGHELE y USEGLIO, 1979).

(c) Factores antrópicos. De manera general, parece que las actividades humanas que más influyen en el desarrollo del karst son las *extracciones intensivas* de agua subterránea, lo que produce la formación de conos de depresión y consecuentemente un gradiente mayor del flujo subterráneo (ARRINGTON y LINDQUIST, 1987; LAMOREAUX y NEWTON, 1986; NEWTON y TANNER, 1987; DOUGHERTY y PERLOW, 1988). Otra acción importante la constituye el *regadío*, que contribuye a recargar el acuífero (PALMQUIST, 1979; LAMOREAUX y NEWTON, 1986; BENITO, 1987; PÉREZ DEL CAMPO y LANZAROTE, 1988; SORIANO, 1988). También puede haber gran cantidad de *construcciones* que provocan concentraciones importantes de flujos en zonas determinadas o bien aportes suplementarios al flujo subterráneo. Entre ellas estarían los canales y cunetas no cubiertos por un material impermeable, graveras, etc. (NEWTON y TANNER, 1987; MOORE, 1987; WHITE *et al.*, 1986).

Desde el punto de vista de sus efectos, hay algunos factores que inciden sobre las posibilidades de evacuación de material en el subsuelo (solubilidad, presencia de detriticos finos sueltos susceptibles de arrastre, infiltración, caudal y quimismo del agua), mientras otros lo hacen sobre la facilidad de colapso o subsidencia de la cobertera (litología, comportamiento geomecánico, profundidad y variaciones del nivel freático).

4. EL MAPA DE HUNDIMIENTOS CONSTATADOS.

4.1. Fuentes de información en el inventario y cartografía de dolinas.

El inventario de dolinas en el área de estudio tiene, por una parte, una expresión cartográfica en los mapas de dolinas a escala 1:25000 y 1:5000. Por otra, para el caso de las dolinas incluidas en las cinco subzonas que se estudian en detalle (*Autovía, Casetas, Garrapinillos, Miralbueno y Monzalbarba*), se encuentra recogido en forma de fichero en el apéndice 1 de esta memoria. Este inventario se ha basado en tres fuentes de información distintas:

(a) Estudio fotogeológico de los fotogramas aéreos correspondientes a distintos vuelos: 1946 (escala 1:43000), 1957 (escala 1:32000), 1970 (escala 1:20000), 1982 (escala 1:18000), 1986 (escala 1:18000), 1987 (escala 1:3000), 1988 (escala 1:20000) y 1993 (escala 1:3500). No todos los vuelos tienen la misma cobertura y la misma calidad, aparte de la diferencia evidente entre sus escalas. Ello hace que su utilidad sea diversa según los casos. Para la cartografía regional 1:25000 se han empleado fundamentalmente los vuelos más antiguos y de escala menor (1946, 1957), complementados con los de 1970 y 1986; los primeros tienen la ventaja de que reflejan un paisaje todavía poco alterado por la expansión urbana de Zaragoza, y su escala es adecuada para ese tipo de trabajo. Para las cartografías de detalle de las cinco subzonas, el reconocimiento de las dolinas en las fotos más antiguas sigue siendo muy útil, pero la diferencia de escala entre la imagen de referencia y el mapa en el que se trabaja puede originar errores de localización. Además, la necesidad de realizar, en estos casos, una cartografía lo más exhaustiva posible obliga a explotar al máximo y de forma sistemática toda la información disponible. Por ello, la cartografía de dolinas de las cinco subzonas se ha basado rigurosamente en las observaciones realizadas sobre los fotogramas de todos los vuelos mencionados.

(b) Observaciones y encuestas de campo en las cinco subzonas. Estas nos han permitido realizar un inventario de los casos recientes y actuales de hundimientos, manifestados fundamentalmente por los daños ocasionados en terrenos de cultivo y construcciones (viviendas aisladas y en zona urbana, infraestructuras, naves industriales). El trabajo de campo ha sido planificado a partir de la distribución de dolinas evidentes o sospechosas observadas en foto aérea, recorriéndolas luego de forma bastante exhaustiva. En la medida de lo posible se ha procurado obtener y contrastar información directa de los propietarios y habitantes de los terrenos en los que aparecen. Esto nos ha permitido, en unos casos, confirmar la presencia de dolinas para las que no había evidencias concluyentes en foto aérea; en otros, descartarlas por tratarse de sospechas falsas (oquedades correspondientes a antiguas graveras, por ejemplo). Por otra parte, hemos podido constatar la situación actual de las dolinas, valorar su grado de actividad reciente y, en los casos en que los testimonios de personas entrevistadas han proporcionado información más amplia y contrastada, conocer sus pautas de evolución en las últimas décadas.

(3) Información complementaria procedente de mapas topográficos (fundamentalmente de los más antiguos) o informes geotécnicos en los que se hayan detectado dolinas, bien por reconocerlas en superficie o por interpretar su presencia a partir de datos del subsuelo (sondeos mecánicos o perfiles geofísicos). El volumen de información procedente de estas fuentes es comparativamente mucho más pequeño.

4.2. El mapa general de dolinas a escala 1:25000.

La realización de una primera cartografía de dolinas a escala 1:25000 tiene como finalidad observar el fenómeno en su contexto regional. Ya hemos explicado que su base fundamental son las fotografías aéreas de los años 1946, 1957, 1970 y 1986. La metodología para su

realización es el levantamiento geomorfológico convencional a partir de las mismas, complementado con visitas generales de campo que nuestro equipo había ya realizado en campañas anteriores. El mapa correspondiente figura como anexo a esta memoria (plano 1a). En él no se diferencian tipos distintos de dolinas según la morfología, dado que la escala de dibujo prácticamente no lo permite. Sí se distinguen, en cambio, las dolinas "razonablemente seguras" de aquellas otras dolinas "supuestas" para las que no hay evidencias concluyentes. En todo caso, los criterios utilizados para la identificación de unas y otras, así como para la elaboración de la leyenda, son análogos, aunque simplificados, respecto a los aplicados en la cartografía de detalle a 1:5000, que serán expuestos en el siguiente apartado.

El mapa muestra que las dolinas aluviales salpican prácticamente toda la zona estudiada, exceptuando la franja más próxima al Río Ebro (terrazza T₁). La mayor densidad aparece en la terraza T₂, especialmente en la zona que va desde el sur de Casetas hasta el Polígono El Portazgo, éste ya en el límite con T₁. Dentro de la terraza T₃ abundan en el entorno y al NW de Garrapinillos, así como en una estrecha banda comprendida entre la autopista de circunvalación de Zaragoza y la autovía de Madrid.

En algunas áreas predominan las grandes depresiones laxas y de contorno irregular, muchas de las cuales no ofrecen evidencias definitivas de hundimiento kárstico (especialmente las localizadas dentro de la terraza T₁, en las proximidades del límite con T₂). Otras se corresponden con los humedales a los que hacíamos referencia en el apartado 2.2, que aparecen sobre todo entre Casetas y Pinseque. Su topografía deprimida probablemente es consecuencia de subsidencia por disolución, aunque no se descarta que coadyuven en su desarrollo otros mecanismos relacionados con anomalías del flujo subterráneo (BIELZA *et al.*, 1993). En otras áreas, especialmente de T₃, predominan las dolinas más pequeñas y de contorno circular o elíptico. En el área de los polígonos industriales Europa, Portazgo y Pikolín, así como al sur de los mismos, abundan las depresiones amplias y laxas en cuyo interior se localizan gran número de dolinas menores.

4.3. La leyenda del mapa de dolinas a escala 1:5000: criterios de identificación y categorización.

La leyenda de los mapas de subzonas a escala 1:5000 y los criterios que ésta conlleva para la clasificación y cartografía de detalle de las dolinas requieren una explicación más detenida. Las depresiones se han diferenciado, en primer lugar, según la morfología de su borde. Se han distinguido tres tipos:

(a) Dolinas de borde escarpado. Algunas de ellas corresponden a verdaderas dolinas en ventana que han registrado eventos de colapso en algún momento de su evolución. Dicho borde escarpado puede no verse en la actualidad por haber sufrido relleno posterior, pero sí haberse observado con claridad en fotografías aéreas de años pasados.

(b) Dolinas de borde neto. Son las depresiones que, sin presentar escarpe, sí muestran un límite neto y pueden ser, por tanto, cartografiadas con exactitud a partir de la foto aérea. También se incluyen aquellas otras que muestran actualmente en el campo grietas concéntricas sin desplazamiento vertical apreciable (de otro modo habrían sido incluidas en el apartado anterior).

(c) Dolinas de borde difuso. Son aquellas cuyo límite es suave e impreciso, lo que implica un cierto grado de incertidumbre a la hora de representarlo en el mapa. Algunas de ellas son dolinas de contorno circular o elíptico que, según la clasificación morfológica tradicional, podrían identificarse como dolinas en cubeta. Otras muchas presentan un contorno muy irregular en planta y se apartan sin duda de lo que convencionalmente se considerarían dolinas. No obstante, su origen debe buscarse también en los mismos procesos de evacuación continua de material y subsidencia lenta de la superficie que dan lugar a las dolinas en cubeta.

La morfología del borde ha variado en casi todas las dolinas en el lapso de tiempo del que se tiene información. Los bordes se han suavizado a veces, e incluso desaparecido, por relleno y enrasamiento de las mismas. Otras veces se han hecho más escarpados al sufrir rehundimientos. El tipo de borde representado en el mapa para cada dolina es el más neto o de mayor categoría (a, b, c) de los que se han observado en algún momento de su evolución. Por otra parte, la evolución de muchas depresiones conlleva rehundimientos, no de toda su superficie, sino sólo de determinados sectores o puntos de la misma. Por ello es frecuente que los contornos de dolinas formen en el mapa sistemas complejos anastomosados, en los que depresiones de bordes difusos suelen encerrar en su interior dolinas de contorno más regular y bordes netos o escarpados.

El segundo criterio clasificatorio usado en la leyenda del mapa de dolinas es un criterio práctico que intenta reflejar de modo aproximado su grado de peligrosidad. Este criterio, a su vez, es mixto. Por una parte se trata de diferenciar los casos de dolinas seguras (que aparecen en el mapa con el contorno coloreado en rojo) de aquellas otras que sólo se consideran dolinas probables o supuestas (delineadas en negro) por no presentar evidencias concluyentes. Por otro lado se trata de dar alguna estimación de su grado de actividad reciente.

Los indicios de campo y foto aérea que hemos empleado para identificar las dolinas pueden resumirse en la siguiente lista:

(a) Áreas deprimidas y cerradas.

(b) Manchas o áreas singulares que contrastan con el entorno por el color más claro o más oscuro del terreno, con límite neto y contorno circular o elíptico.

(c) Áreas con mayor vegetación silvestre (mayor humedad) o, por el contrario, pobre desarrollo de los cultivos (exceso de encharcamiento) o anomalías en general en el crecimiento de las plantas.

(d) Áreas dentro de campos de cultivo en las que aparecen rellenos antrópicos de origen exótico (incluidos frecuentemente escombros y cascotes), o de las que se tienen testimonios directos sobre su continuo rebaje, encharcamiento y relleno.

(e) Sistemas de grietas concéntricas en terreno natural, con o sin desplazamiento vertical.

(f) Sistemas de grietas, socavones o inclinaciones anómalas en pavimentos de zonas urbanizadas.

(g) Grietas en edificios, no achacables a defectos estructurales o a simples asentamientos diferenciales.

En general, la presencia de uno sólo de estos indicios no se considera concluyente. Ciertamente, entre ellos, los hay más determinantes que otros. Por ejemplo, una depresión cerrada y de bordes escarpados tiene muchísimas probabilidades de ser una dolina; una simple mancha con mayor humedad es un indicio menos claro. Sin embargo, en el primer caso podría tratarse también de una gravera, y será su forma geométrica en planta y los resultados de las entrevistas a personas conocedoras del lugar los que permitan dilucidarlo. En líneas generales, y para terrenos naturales o cultivados, los indicios (a), (d) y (e) son más concluyentes que los (b) y (c). Los indicios (f) y (g) para zonas urbanizadas son también determinantes y, junto con el (e), revelan la actividad reciente y actual de los hundimientos.

Teniendo en cuenta todo esto, los criterios para definir las tres categorías de dolinas que luego se traducirán en grados de peligrosidad, son los siguientes:

(1) Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados.

Se han atribuido a esta categoría las dolinas que cumplen alguna de estas dos condiciones: (a) Que hayan sido observadas de forma recurrente en fotos aéreas de vuelos suficientemente espaciados en el tiempo, concretamente en un mínimo de tres vuelos en los que estén representados tanto las primeras décadas (1946, 1957) como las últimas (1982, 1986, 1987, 1988, 1993). (b) Que existan testimonios contrastados sobre hundimientos en los últimos 15-20 años o evidencias sobre el terreno de grietas recientes o de daños a edificaciones o pavimentos. La asignación de las dolinas a esta primera categoría no pretende ser exhaustiva, y sólo se hace en los casos en los que efectivamente existen esas evidencias. Es probable que muchas dolinas consideradas en la categoría anterior hayan sufrido también hundimientos recientes de los que no se tiene información.

(2) Dolinas.

En este grupo se incluyen las depresiones en las que la concurrencia de varios de los indicios señalados anteriormente permite interpretar con un grado de certidumbre suficiente que se trata de dolinas aluviales.

(3) Dolinas supuestas.

Se consideran como tales aquellas depresiones topográficas en las que existen sospechas fundadas de un origen kárstico, si bien las evidencias no son concluyentes al respecto. Normalmente se trata de áreas en las que aparece uno solo de los indicios expresados en los primeros lugares del listado anterior (a, b, c, d).

4.4. Los mapas de dolinas a escala 1:5000 de las distintas subzonas. Resultados.

Subzona Autovía (plano 2a). Es esta la zona de mayor superficie y, a la vez, la que soporta una densidad de dolinas mayor. La morfología que presentan en planta es en muchos casos circular o elíptica, especialmente para las dolinas de pequeño tamaño. En ocasiones esta forma es un poco más compleja debido a la coalescencia de dos o más dolinas (uvalas). Las depresiones de mayor tamaño suelen ser más laxas y de contorno más irregular. Entre estas últimas, las localizadas en los sectores sur y noroeste (la mayoría de ellas en suelo agrícola) tienen bordes más difusos y pueden no mostrar evidencias claras de hundimiento kárstico. Sin embargo, las localizadas en la parte central de la subzona, la mayoría de ellas en suelo urbanizado, registran actividad reciente constatada y pueden cartografiarse con precisión, tanto los contornos externos de las grandes depresiones como los hundimientos de pequeño tamaño que se multiplican en su interior.

Subzona Casetas (plano 3a). El reparto de dolinas en esta área es muy desigual, con una mitad meridional en la que la densidad es bastante alta (comparable a la de la subzona anterior y, en general, a toda la terraza T₂) y una mitad septentrional casi exenta de las mismas. En todos los casos predominan las depresiones irregulares, con algunas depresiones circulares en su interior en las que las evidencias de hundimiento son mayores.

Subzona Garrapinillos (plano 4a). El número de depresiones cartografiadas en esta subzona es bastante elevado, si bien en su mayoría se trata de casos sospechosos sin evidencias concluyentes de hundimiento kárstico. Sólo tres dolinas en el sector central registran síntomas seguros de actividad reciente importante. Sin embargo, toda la morfología de esta subzona, constituida por una sucesión de lomas y hoyas suaves, irregulares y ajenas a los patrones de jerarquización de la red fluvial, sugiere que los procesos de hundimiento lento y generalizado por disolución han tenido un papel importante en su desarrollo.

Subzona Miralbueno (plano 5a). La distribución de dolinas en esta subzona es un tanto inhomogénea, concentrándose en una banda longitudinal muy marcada que discurre entre el Canal Imperial y el sur de Miralbueno. Otras agrupaciones significativas aparecen junto a la autopista de circunvalación y al oeste del barrio Oliver. Excepto algunas depresiones dudosas en el sector central, la mayoría de las dolinas son aquí de pequeñas dimensiones y contorno circular o elíptico. Las que presentan evidencias de hundimientos recientes se reparten de modo aleatorio por toda la subzona y sus márgenes.

Subzona Monzalbarba (plano 6a). Esta subzona es la más pequeña y también la más escasa en dolinas aluviales. Se encuentra situada íntegramente en terrenos de la terraza inferior (T₁) y participa, en ese sentido, en la tónica general de esta última.

5. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE RIESGO POTENCIAL.

5.1. Aproximación empírica a los factores que controlan el desarrollo de dolinas aluviales.

Ya hemos comentado anteriormente cómo los factores que parecen condicionar los procesos de hundimiento y el consiguiente desarrollo de dolinas aluviales pueden ser tanto de índole geológica-geotécnica como hidrológica o antrópica. En trabajos nuestros anteriores (GRACIA *et al.*, 1991; SIMÓN *et al.*, 1991; SORIANO y SIMÓN, 1995) realizamos una aproximación empírica al papel que cada uno de los distintos factores puede jugar realmente en la zona geográfica que estamos estudiando. Para ello se realizó una recopilación exhaustiva de información procedente de sondeos mecánicos, catas, perfiles geoelectrónicos y pozos de agua subterránea, así como de información geológica de carácter general. Dicha información fue plasmada en un principio en una serie de mapas temáticos:

- (a) Espesor de los depósitos cuaternarios.
- (b) Cota de la superficie del contacto entre Terciario y Cuaternario.
- (c) Características litológicas del Cuaternario (especialmente de su porcentaje en lutitas).
- (d) Características litológicas y solubilidad de los materiales yesíferos miocenos.
- (e) Direcciones de fracturación principales en el Mioceno y Cuaternario.
- (f) Isopiezas y direcciones de flujo teórico del agua subterránea.
- (g) Profundidad del nivel freático.
- (h) Espesor saturado del aluvial cuaternario.
- (i) Variación máxima anual del nivel freático.
- (j) Parámetros geotécnicos de los materiales cuaternarios.
- (k) Contenido en sulfatos del agua subterránea.
- (l) Residuo sólido total en el agua subterránea.
- (m) Isoconductividad eléctrica.

Posteriormente, para aquellas variables en las que se encontró una relación más estrecha entre su distribución espacial y la de las dolinas, se realizaron mapas digitalizados utilizando el programa *Cartographie* diseñado para ordenador Apple Macintosh. Un procedimiento de aproximaciones sucesivas mediante el ensayo de distintas combinaciones de variables y su comparación con el mapa de densidad de dolinas (todo ello, empleando nuevamente el programa *Cartographie*) permitió seleccionar cinco de dichas variables como más significativas (las señaladas como a, b, c, i y k).

La combinación de estas cinco variables mediante una ecuación empírica permitía explicar de una forma aceptable, a escala 1: 50.000, el reparto espacial de los fenómenos de hundimiento. Tal expresión matemática del modelo de riesgo teórico o potencial es la siguiente:

$$R_t = 850 / (0.5 S + 70 I_c + 5 L + 20 E - 125 V_{nf})$$

donde:

R_t	=	Índice de riesgo teórico
S	=	Contenido en sulfatos del agua (en ppm)
I_c	=	Índice de cota del contacto Mioceno-Cuaternario (valor entre 1 y 5)
L	=	Porcentaje de lutitas en el Cuaternario (en espesor de la columna total)
E	=	Espesor del Cuaternario (en m)
V_{nf}	=	Variación máxima anual del nivel freático (en m)

Así pues, cinco son las variables seleccionadas en el área de las terrazas inferiores del Ebro al NW de Zaragoza que han mostrado una mayor eficacia para justificar la presencia de dichos hundimientos en ciertas zonas preferentes: el bajo contenido en sulfatos del agua, las zonas de vaguada en la superficie de contacto entre Mioceno y Cuaternario, el bajo porcentaje de lutitas en este último, las elevadas variaciones anuales del nivel freático y el reducido espesor de la cubierta aluvial. Los cuatro primeros factores, propiciarían el aumento de la disolución y arrastre y la consiguiente creación de cavidades, mientras el último favorecería la posibilidad de colapso o subsidencia del suelo.

No se quiere expresar con ello que éstas sean las únicas variables que condicionan los procesos de hundimiento. Ya hemos discutido cómo existen otros factores que presumiblemente tienen una gran incidencia, bien sobre la capacidad de disolución o arrastre de materiales y la consiguiente creación de cavidades en el subsuelo, o bien sobre el comportamiento geomecánico de la cobertera y sus posibilidades de colapso o subsidencia. Sin embargo, los resultados de aquel análisis empírico sugieren que tales variables deben actuar a una escala más amplia (de carácter regional) o bien a un nivel de mayor detalle, de forma que no fue posible detectar su influencia a la escala de trabajo 1: 50.000.

Entre las primeras se encontraría, por ejemplo, la solubilidad del substrato mioceno, muy elevada en general en toda el área estudiada, pero cuyas variaciones de unas áreas a otras son difíciles de controlar. Por consiguiente, esta variable, que sí explica bien la aparición de los fenómenos de hundimiento de una forma generalizada en toda el área de Zaragoza-Casetas, no puede en cambio aducirse para justificar sus variaciones relativas de densidad de unos puntos a otros.

En el otro extremo, existen factores que seguramente operan a una escala mucho más pequeña que la que admite un estudio regional. Por ejemplo, la fracturación del Mioceno es sin duda un factor que coadyuva a los procesos de disolución, pero la identificación de sistemas de fracturas concretos susceptibles de favorecer tal proceso en un punto determinado es difícil debido al recubrimiento continuo de depósitos aluviales. Lo mismo ocurre con las características geomecánicas de la cobertera cuaternaria, de las que tenemos sólo una información fragmentaria.

5.2. Las variables relevantes en la evaluación de la peligrosidad potencial.

En el presente trabajo hemos tratado de realizar una primera aproximación a la peligrosidad potencial de hundimientos kársticos en el conjunto de la zona aplicando la ecuación empírica expuesta en el apartado anterior. Sin embargo, frente al relativo grado de confianza que nos merecieron los resultados de los trabajos anteriores mencionados, los resultados obtenidos aquí no son satisfactorios, ya que el grado de correlación entre densidad de dolinas y valores que arroja la ecuación es insuficiente para el conjunto de la zona y para algunas subzonas en particular.

Creemos que son varias las razones por las que ocurre esto. En primer lugar, la escala de trabajo utilizada en la cartografía de detalle de las subzonas (1:5000) es muy superior a la empleada para el primer análisis regional (1:50000). Ello supone que la densidad relativa de puntos de información y las variaciones espaciales de los parámetros y los fenómenos estudiados no son comparables. Este argumento quizá no sirve para nuestro trabajo regional, ya que éste se realiza a una escala 1:25000 (no tan diferente, por tanto, de la escala 1:50000). Sin embargo, la zona estudiada duplica la superficie de aquella otra de la que provenían los datos en los que se basó el modelo teórico (ver GRACIA *et al.*, 1991; SIMÓN *et al.*, 1991). Dichos datos han sido, además, actualizados, lo que ha obligado a modificaciones parciales en los mapas de las distintas variables implicadas.

En nuestro trabajo anterior sobre los riesgos de hundimiento en la orla suroeste de Zaragoza (SIMÓN *et al.*, 1998) nos encontramos con un problema similar. En aquel caso optamos por realizar una valoración cualitativa de los factores de peligrosidad, considerando únicamente la distribución de aquellos tres para los que disponemos de una densidad de información aceptable: topografía del contacto entre los depósitos cuaternarios y terciarios, espesor del Cuaternario y contenido en lutitas de los materiales cuaternarios (este último con una información algo más pobre). La contribución de cada uno de estos tres factores era, al propio tiempo, la que mejor pudo ser valorada en una investigación experimental que llevamos a cabo mediante la simulación del fenómeno en modelos de laboratorio a escala reducida (SORIANO y SIMÓN, 1997). De este modo pudimos concluir que el desarrollo de dolinas aluviales se ve favorecido y acelerado, por orden de importancia, por:

- (A) la existencia de vaguadas en el contacto Terciario-Cuaternario por las que se produce un flujo preferente de agua,
- (B) la presencia de bajos espesores de la cubierta aluvial, y
- (C) la presencia de bajos porcentajes de lutitas (lo que proporciona mayor permeabilidad y, en general, menor cohesión).

Respecto a las otras dos variables que fueron consideradas en la ecuación empírica (variaciones estacionales del nivel freático y grado de saturación en sulfatos del agua), es necesario hacer algunas precisiones. Acerca de las variaciones estacionales del freático es cierto que disponíamos de un mapa en el que se plasmaba una información útil *a priori* (SORIANO *et al.* 1994). Sin embargo, una valoración crítica de la misma nos ha aconsejado no tomarla en consideración. Hemos tenido en cuenta fundamentalmente el carácter marcadamente diacrónico de los datos de partida, fruto de campañas realizadas por distintos organismos y autores en distintos años. Esto hace que las alturas del freático no sean fácilmente comparables y que el mapa de variaciones máximas estacionales pueda no ser representativo. Por otro lado, la tendencia regional de tales variaciones es muy simple, con un crecimiento sistemático de su valor al alejarnos del Ebro, mientras que las variaciones fuertes debidas a efectos antrópicos locales (inyecciones, bombeos), que son las que pueden tener un efecto importante en algunas zonas, están lejos de ser controladas.

El contenido en sulfatos también es una variable de la que en algunas áreas se tienen datos no suficientemente representativos. El valor obtenido se encuentra muy limitado por las condiciones técnicas del muestreo (profundidad del sondeo, profundidad que se adentra en el sustrato terciario, punto exacto en que se ha tomado la muestra...), lo que obliga a un análisis muy crítico de la información. Por otro lado, parece que no existe una base teórica firme para suponer que variaciones de la concentración de sulfatos dentro del rango en que nos movemos en la zona de estudio (250 a 500 ppm, según el mapa elaborado por SORIANO *et al.*, 1994) den lugar a variaciones significativas en el poder de disolución del agua. La curva que expresa la tasa de disolución del yeso, publicada por JAMES y LUPTON (1978), muestra que la velocidad de disolución apenas varía con la concentración del mismo mientras no se alcanza un valor en torno al 80% del punto de saturación, que para las condiciones nuestras sería superior a los

2000 ppm. Dado que este valor está bastante por encima del máximo hallado en nuestra zona al acercarnos al Ebro, no parece conveniente emplear esta variable en el sentido en que se usó en trabajos anteriores, es decir, como *factor* de peligrosidad.

Ahora bien, es posible otra aproximación diferente que consiste en emplear el contenido en sulfatos como *síntoma* de peligrosidad. El objetivo es tratar de detectar las zonas en las que más activa es la disolución del sustrato merced a su identificación con las áreas que presentan mayores gradientes del contenido en sulfatos. Para obtener una imagen fiable de dichos gradientes necesitamos, no obstante, partir de un mapa de isosulfatos basado en una campaña de muestreo lo más rigurosa y lo más concentrada en el tiempo posible, a fin de eliminar la influencia de las variaciones estacionales debidas al regadío y los problemas de representatividad de las muestras. Para ello se han empleado los resultados de una campaña llevada a cabo durante cuatro semanas entre febrero y marzo de 1993, en la que se obtuvieron mapas fiables de isopiezas e isosulfatos (BIELZA *et al.*, 1993). La elaboración del mapa de gradientes de concentración de sulfatos en el agua subterránea (figura 7) comienza por la discretización de la zona de estudio mediante su división en celdas, a las que se ha asignado un vector de flujo y unos valores inicial y final de contenido en este ion asociados a ambos extremos del mismo. De este modo, integrando los datos del flujo subterráneo (responsable de la disolución) y del contenido en sulfatos (evidencia de dicha disolución) se aplica a cada celda un valor de gradiente y, finalmente, se refleja todo ello en un mapa de isogradientes.

5.3. Distribución espacial de las variables.

Para cada una de las cuatro variables que finalmente son consideradas se ha confeccionado un mapa temático que recoge en forma de isolíneas la distribución espacial de sus valores (figuras 4, 5, 6, 7). La escala original de trabajo para elaborar estos mapas ha sido 1:25000, aunque finalmente se han reproducido a una escala aproximada 1:60000. La información en la que se basan es, fundamentalmente, la proporcionada por los sondeos y catas recopilados a partir de los trabajos mencionados en el apartado 5.1. Obviamente, la fiabilidad de los mapas no es homogénea en toda su extensión, y está directamente condicionada por la desigual distribución de los puntos de información.

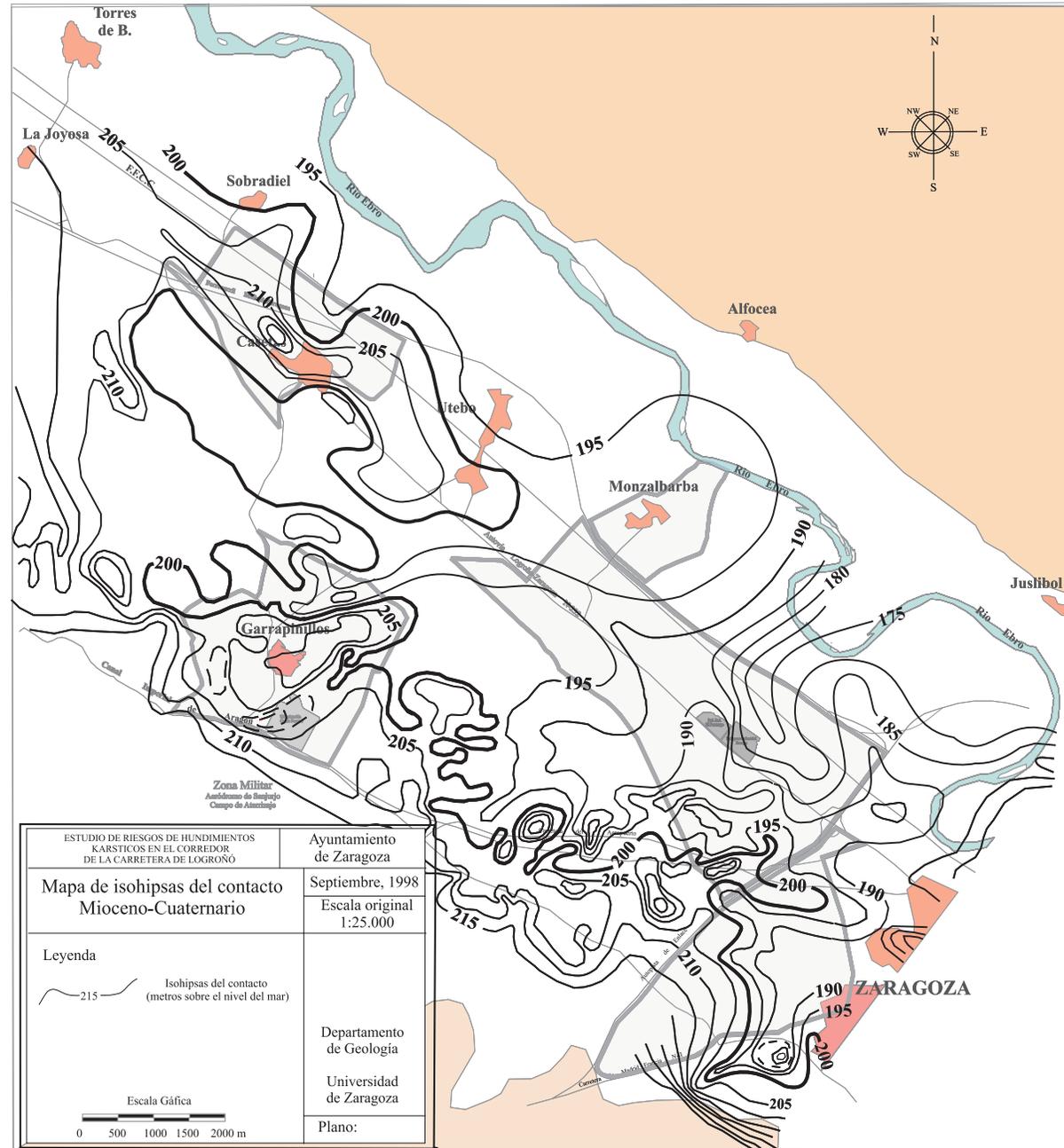


Figura 4

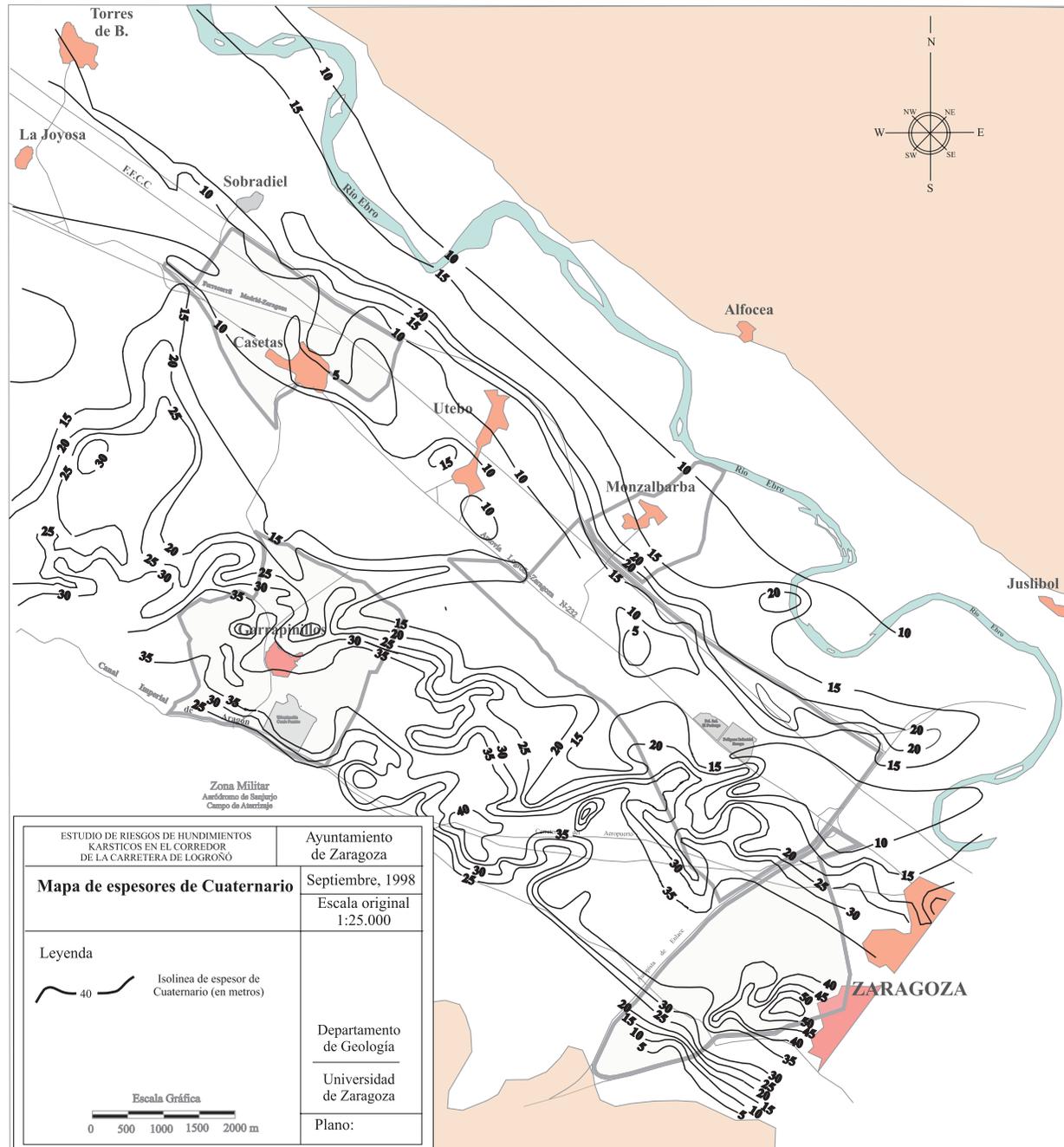


Figura 5

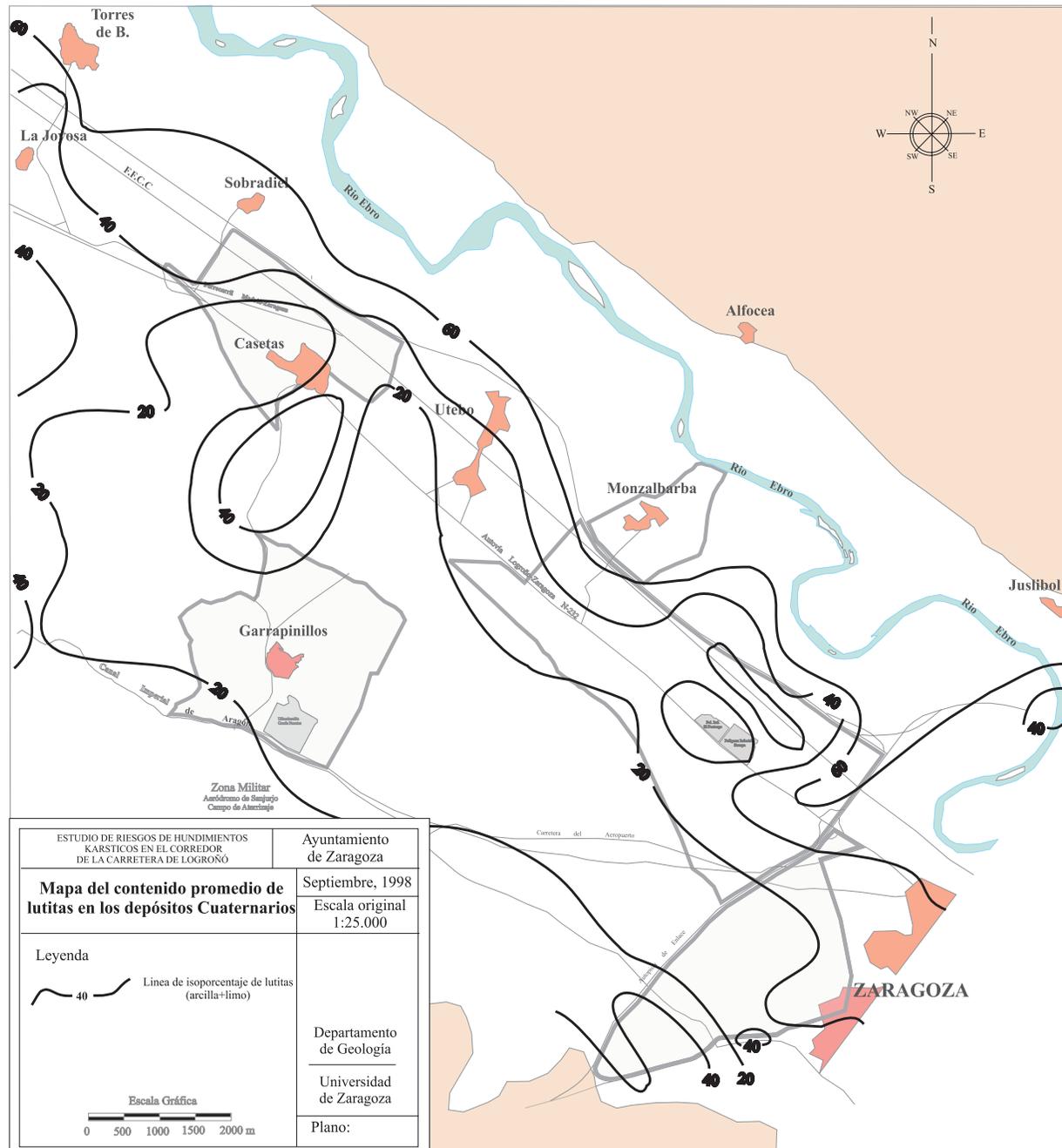


Figura 6

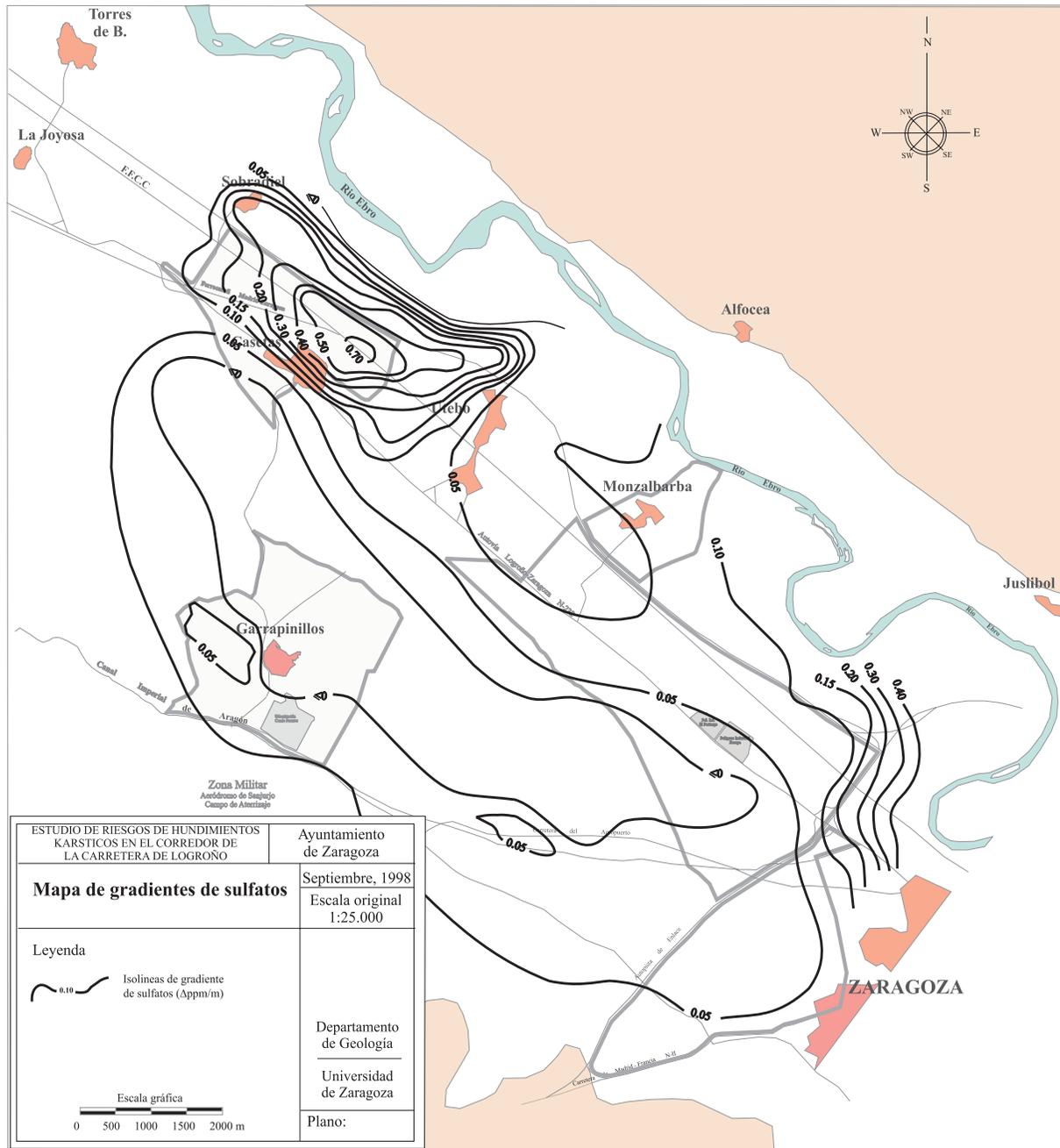


Figura 7

(A) Topografía del contacto entre Terciario y Cuaternario. De modo general la cota de este contacto va disminuyendo paulatinamente desde el sur hacia el norte del área de estudio (ver figura 4). Sin embargo, a tenor de los datos disponibles del subsuelo, puede interpretarse en toda la zona la presencia de altos y bajos a modo de vaguadas y umbrales en dicho contacto. De esta manera, en la zona entre Garrapinillos y Casetas se dibujan dos vaguadas que confluyen hacia Monzalbarba. La más meridional discurre hacia el ENE, casi paralela, por tanto, a la dirección del flujo subterráneo, por lo que puede ser aprovechada fácilmente por éste. La más septentrional, situada justo al sur de Casetas, es longitudinal al límite de terrazas al igual que el umbral que tiene al norte, al que hemos hecho referencia en el apartado 2.2. Su papel en el flujo subterráneo es probable, por tanto, que sea diferente por orientarse más transversal al mismo. Entre Garrapinillos y Zaragoza se diferencian otras áreas de vaguada que provienen de la parte más meridional de la zona y son transversales a los límites de terrazas. La principal de ellas se dirige hacia los polígonos industriales Europa y Portazgo procedente de la zona del aeropuerto.

(B) Espesor de Cuaternario. Este parámetro varía en la zona aproximadamente entre 3 y 55 m (figura 5). Los valores mayores se encuentran en la terraza T₃, con un valor modal en torno a los 35 m. Los mínimos, en general, en la T₁, donde son normalmente inferiores a 15 m. No obstante, el mínimo absoluto se localiza dentro de la terraza T₂, en el umbral que discurre longitudinalmente por su parte central, con valores que se sitúan en torno a los 5-10 m. Por el contrario, en la zona de la terraza T₁ existe un surco longitudinal contiguo al escarpe de contacto con T₂ donde los espesores superan los 20 m.

(C) Contenido en lutitas de los materiales cuaternarios. La proporción de lutitas en la columna de materiales cuaternarios conocida por sondeos mecánicos o geoelectrónicos es muy variable en el área. Alcanza un mínimo (por debajo del 20%) en una buena parte de las terrazas T₂ y T₃, mientras aumenta hasta un 60-70% en las zonas más bajas de la T₁ (figura 6). El tránsito entre una zona y otra no es gradual, sino que se halla complicado por algunos máximos y mínimos de menor entidad dispuestos transversalmente a los límites entre terrazas. La densidad de dolinas es más alta precisamente en las terrazas que tienen una proporción de lutitas menor (T₂ y T₃, inferior siempre al 40 %). Ello sugiere que la disminución, a veces brusca, de densidad que se produce al entrar en T₁ se debe precisamente a este factor litológico.

(D) Gradiente de la concentración en sulfatos del agua subterránea. Ya hemos comentado que los valores de sulfatos disueltos en el agua subterránea oscilan en la zona entre unos 250 y 500 ppm. Se observa en general un crecimiento hacia el Ebro, lógico si tenemos en cuenta que éste es el sentido de flujo del agua; ésta va disolviendo los yesos miocenos y cargándose progresivamente en sulfatos conforme desciende hacia el nivel de base (SORIANO *et al.*, 1994). En el mapa de gradientes de sulfatos, elaborado para este trabajo a partir de los datos de BIELZA *et al.* (1993), vemos cómo hay una zona de gradiente muy superior a lo normal al norte del casco urbano de Casetas, donde se alcanzan valores de 0.7 ppm/metro (figura 7). Es, por tanto, esa zona donde la disolución actual parece ser más activa, o al menos así se mostró durante la época en que se realizó el muestreo en que se basa dicho mapa (febrero-marzo de 1993).

5.4. Las categorías de peligrosidad potencial.

Una vez enumerados los factores que consideramos tienen una mayor incidencia en el desarrollo de dolinas aluviales, definiremos la peligrosidad potencial de cada zona a partir de la confluencia espacial de dichos factores. Aunque hemos descartado la aproximación cuantitativa basada en la ecuación empírica expuesta anteriormente, ello no nos exime de elegir valores umbrales para cada una de las variables, a fin de definir desde un principio qué entenderemos por "vaguada del contacto Terciario-Cuaternario", "espesor de Cuaternario suficientemente pequeño", "porcentaje de lutitas suficientemente bajo" o "gradiente de sulfatos elevado".

Hay que decir, en primer lugar, que dichos umbrales no han sido elegidos con carácter fijo para toda la región estudiada, sino que varían de unas áreas a otras basándose en la correlación real que se encontraba con la distribución de la densidad de dolinas. Por ejemplo, no en todos los sitios un valor determinado del espesor de terraza ha de ser necesariamente el umbral por debajo del cual la inestabilidad de la terraza crece de forma decisiva. La combinación con los valores que alcanzan el resto de las variables puede aumentar o rebajar ese umbral según los casos. Se trata, en definitiva, de aplicar un criterio flexible basado en la ponderación y en el sentido común que exige cada caso más que un criterio cuantitativo estricto.

(A) Las zonas de vaguada han sido definidas a partir del mapa de la figura 4, seleccionando como tales franjas de terreno centradas en el eje más deprimido de la vaguada y situadas hasta un máximo de 5-10 m por encima del mismo.

(B) Para el espesor de Cuaternario se han establecido dos categorías de riesgo: B1) las que tienen valores inferiores a 15 metros, y B2) las que tienen valores inferiores a 30 m. Este último umbral, no obstante, ha sido modificado en algunas zonas a fin de simplificar sus contornos, aumentándolo hasta 35-40 m.

(C) Para el porcentaje de lutitas se ha utilizado un umbral variable entre el 20 y el 40 %. Se ha empleado el 20% en la parte meridional de la zona, incluyendo la subzona de Garrapinillos. Se ha empleado el 30% en las partes oriental (incluyendo la subzona de Miralbueno) y noroccidental (Casetas). Finalmente, se ha usado un umbral del 40% en la parte central (subzona Autovía) y occidental (al sur de Pinseque).

(D) El gradiente del contenido en sulfatos muestra valores bastante pequeños y homogéneos en casi toda la zona, excepto en su sector noroccidental (inmediatamente al norte de Casetas). En esa zona se ha delimitado, de forma arbitraria, un área con presencia de dicho factor de riesgo que coincide con el valor del gradiente de sulfatos superior a 0.3.

Se trata, en definitiva, de dibujar un cuadro de factores de riesgo que sea coherente con la realidad observada y a la escala a la que ésta se ha analizado. Una vez dibujado este cuadro, comprobamos que la mayoría de las dolinas observadas se sitúan en zonas a las que hemos atribuido un riesgo potencial relativamente alto. La correlación no es perfecta, debido probablemente a una falta de control detallado de los valores de las variables consideradas, así como a la influencia de otros factores locales no considerados. No obstante, creemos que constituye la aproximación más razonable de acuerdo con la información disponible. A partir de ahí, el fundamento de nuestro análisis es suponer que *aquellas áreas en las que concurre la misma combinación de variables que se da en el entorno de las dolinas observadas son asimismo potencialmente peligrosas.*

Con todas estas premisas, la zonación de peligrosidad potencial de hundimientos kársticos se ha realizado como sigue:

- **Áreas de peligrosidad potencial alta.** Son aquéllas en las que se superponen los tres factores de riesgo fundamentales: (A) vaguada en el contacto Terciario-Cuaternario, (B1) espesor de Cuaternario inferior a 15 m, y (C) contenido en lutitas inferior al umbral del 20-40 % (según subzonas).

- **Áreas de peligrosidad potencial media-alta.** Son aquéllas en las que concurren la combinación de factores (A + B1) o bien la (A + B2 + C), correspondiendo B2 a las zonas con espesor de Cuaternario menor de 30 m.

- **Áreas de peligrosidad potencial media.** Son aquéllas en las que concurre alguna de las siguientes combinaciones de factores: (A + B2), (A + C) ó (B1 + C).

- **Áreas de peligrosidad potencial media-baja:** Son aquéllas en las que concurre alguna de las siguientes combinaciones de factores: (A), (B1) ó (B2 + C) .

- **Áreas de peligrosidad potencial baja.** Incluyen el resto del área.

La presencia añadida del factor D (gradiente de sulfatos superior a 0.3) en el sector inmediatamente al norte de Casetas hace aumentar un grado de peligrosidad a las áreas a las que afecta.

Hay que señalar, finalmente, que en la subzona de Miralbueno se ha asignado con carácter excepcional una categoría IV (peligrosidad potencial media-alta) a tres áreas en las que no concurren, en principio, los factores de riesgo estipulados para la misma. Se da la circunstancia de que en esta subzona la correlación espacial entre los factores teóricos de riesgo y la distribución de dolinas no sólo es muy baja sino que es incluso inversa respecto a la prevista por nuestro modelo empírico. Sin embargo, la mayoría de las dolinas se agrupan allí en tres bandas perfectamente definidas, la mayor de ellas coincidiendo con el eje de simetría longitudinal de la subzona. Parece lógico suponer que esa distribución no es casual, y que obedece a una confluencia de factores que por el momento nos resulta desconocida. No obstante, hemos de suponer que tal confluencia de factores propicia para el desarrollo de dolinas está presente en todas esas bandas, y es obligado asignarles una categoría de riesgo mayor que la prevista por el modelo. El que la categoría asignada sea la IV es totalmente arbitrario; obedece al criterio de quedarnos justo por debajo de la máxima categoría de riesgo potencial, que es la III.

6. EL MAPA FINAL DE PELIGROSIDAD DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS.

6.1. Evaluación de la peligrosidad de hundimientos kársticos. Criterios generales.

Para realizar la evaluación final de la peligrosidad de hundimientos kársticos vamos a tener en cuenta la distribución espacial tanto de los hundimientos constatados como de la peligrosidad potencial. La combinación de ambos y los criterios establecidos para la zonificación final no dejan de constituir una operación sujeta fuertemente a la subjetividad. No obstante, la razonable compatibilidad hallada entre ambos aspectos y la aplicación de ciertos criterios derivados de nuestra experiencia anterior en la región justifican la solución adoptada.

Dicho esto, forzoso es destacar la diferencia de fondo que existe entre ambas aproximaciones. Aunque el análisis empírico muestre la coherencia entre combinaciones de factores de riesgo y ocurrencia real de hundimientos kársticos, de cara a una evaluación realista de la peligrosidad son sin duda los segundos los que representan la evidencia inequívoca de peligro. Las categorías de peligrosidad potencial resultan de la aplicación de criterios teóricos, en buena medida subjetivos, que no pueden ser valorados en la misma medida que las evidencias directas y constatadas. Por tanto, *el nivel en el que tiene que ser leído y valorado ante todo el mapa de peligrosidad es el que incluye las categorías de peligrosidad real.*

Dentro de éstas se han distinguido tres según los tipos de dolinas cartografiadas: (1) dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados; (2) dolinas (en general), y (3) dolinas supuestas. En los mapas de peligrosidad a escala 1:5000 (planos anexos 2b, 3b, 4b, 5b, 6b) se han coloreado las dos primeras en rojo para destacar su diferencia cualitativa respecto al resto de categorías. A continuación se han colocado las categorías de peligrosidad potencial. Un aspecto sujeto a subjetividad es el encaje entre las dos escalas. Finalmente, se han hecho equivaler en la escala de peligrosidad la tercera de las categorías de peligro real (dolinas supuestas) con la primera de las de peligrosidad potencial, y ello por una razón de tipo práctico: después de una valoración global de los datos manejados y de los criterios empleados para definir ambas, no hemos encontrado argumentos claros para dar preeminencia a una sobre otra.

Puesto que se ha trabajado a dos escalas diferentes, 1:25000 y 1:5000, y aunque los criterios generales son los mismos en ambos casos, existen diferencias de detalle en la presentación formal de ambos tipos de mapas. Así, los mapas de detalle de las subzonas a escala 1:5000 recogen exhaustivamente los criterios aplicados y contienen una diferenciación completa de todas las categorías, resaltando en rojo, tal como hemos comentado, las dos primeras (peligrosidad real). En el mapa general a 1:25000 (plano anexo 1b) se simplifica algo la presentación, usando únicamente tramas de línea y englobando en una sola las dos primeras categorías. A continuación, una vez explicados los criterios que definen los grados de peligrosidad, vamos a hacer una descripción sistemática de cada uno de ellos. Aunque esto conlleva una exposición reiterativa respecto al contenido de otros apartados anteriores, creemos que es necesario para compendiar de forma clara todas las explicaciones relativas a la leyenda de los mapas de peligrosidad a escalas 1:5000 y 1:25000.

6.2. La leyenda de los mapas de peligrosidad de subzonas a escala 1:5000. Significado de las distintas categorías de peligrosidad definidas.

Categoría I. Peligrosidad real muy alta. En ella se incluyen las dolinas con actividad continuada o que muestran reactivación reciente constatada. Para ello han de cumplir alguna de estas dos condiciones:

(a) Que hayan sido observadas de forma recurrente en fotos aéreas de vuelos suficientemente espaciados en el tiempo, concretamente en un mínimo de tres vuelos en los que estén representados tanto las primeras décadas (1946, 1957) como las últimas (1982, 1986, 1987, 1988, 1993).

(b) Que existan testimonios contrastados sobre hundimientos en los últimos 15-20 años o evidencias sobre el terreno de grietas recientes o de daños a edificaciones o pavimentos.

El área de dichas dolinas se ha incrementado añadiendo un margen de seguridad de 10 m en torno a las mismas para evitar posibles errores que se hayan cometido en su cartografía.

Categoría II. Peligrosidad real alta. Se han considerado dentro de esta segunda categoría el resto de depresiones cartografiadas en las que la concurrencia de varios indicios objetivos permite interpretar con un grado de certidumbre suficiente que se trata de dolinas aluviales. También en este caso se han ampliado con un entorno de seguridad de 10 m.

Categoría III. Peligrosidad potencial alta. En ella se incluyen tres tipos de áreas:

(1) Las correspondientes a dolinas supuestas, es decir, depresiones topográficas en las que existen sospechas fundadas de un origen kárstico, si bien las evidencias no son concluyentes al respecto, incrementadas con el margen de 10 m.

(2) Las que tienen asignada la máxima categoría de peligrosidad potencial, en las que se superponen los tres factores de riesgo fundamentales: (A) vaguada en el contacto Terciario-Cuaternario, (B1) espesor de Cuaternario inferior a 15 m y (C) contenido en lutitas inferior al umbral del 20-40 % (según subzonas).

(3) Las áreas periféricas de las dolinas de categoría I ó II hasta una distancia de 40 m, entendiéndose que su evolución futura puede conllevar probablemente la ampliación de sus límites actuales.

Categoría IV. Peligrosidad potencial media-alta. Son aquéllas en las que concurren la combinación de factores (A + B1) o bien la (A + B2 + C), correspondiendo B2 a las zonas con espesor de Cuaternario menor de 30 m.

Categoría V. Peligrosidad potencial media. Son aquéllas en las que concurre alguna de las siguientes combinaciones de factores: (A + B2), (A + C) ó (B1 + C).

Categoría VI. Peligrosidad potencial media-baja: Son aquéllas en las que concurre alguna de las siguientes combinaciones de factores: (A), (B1) ó (B2 + C) .

Categoría VII. Peligrosidad potencial baja. Incluyen el resto del área.

6.3. La leyenda del mapa de peligrosidad general a escala 1:25000.

El mapa de peligrosidad final de toda la zona estudiada a escala 1:25000 (plano anexo 1b) se ha elaborado siguiendo el mismo procedimiento que los mapas de subzonas. No obstante contiene las siguientes particularidades y simplificaciones:

- No se emplea el color rojo para representar las dos primeras categorías (riesgo real).

- Estas dos primeras categorías se engloban dentro de una misma trama. La razón estriba en que en el conjunto de la zona estudiada no disponemos de la misma cantidad de información que en las subzonas estudiadas en detalle, a fin de poder caracterizar las dolinas con actividad continuada o con reactivaciones recientes.

- La distinción entre dolinas "seguras" y "supuestas" no se ha realizado de forma tan rigurosa como en las subzonas estudiadas en detalle. Ello obliga a tomar con cautela la diferenciación hecha entre depresiones de categorías II y III fuera de dichas subzonas.

- No se han representado las orlas de categoría III de 40 m de anchura en torno a las dolinas de categorías I y II para no complicar la representación a escala 1:25000.

6.4. El mapa regional de peligrosidad de hundimientos kársticos a escala 1:25000. Descripción general.

El mapa resultante (plano anexo 1b) muestra que las áreas de mayor peligrosidad real salpican prácticamente toda la zona estudiada, exceptuando la franja más próxima al Río Ebro (terrazza T₁). La mayor densidad aparece al sur de Casetas, en el entorno de Garrapinillos, en una amplia franja situada sobre y al sur de la autovía de Logroño entre el término de Utebo y la autopista de circunvalación, así como en otra estrecha banda entre esta última y la autovía de Madrid.

La peligrosidad potencial más acusada (categoría III) se encuentra asimismo al sur de Casetas, en una franja que se prolonga desde ahí hacia Utebo, y en otra zona amplia comprendida entre la Venta del Olivar, la factoría Pikolín y la Autopista Vasco-Aragonesa.

Todo este conjunto de áreas de mayor peligrosidad ocupan más o menos la parte central de la zona estudiada. Desde ahí disminuye, en general, el nivel de peligrosidad, tanto hacia el NE (hacia el Ebro) como al NW y al SW (Canal Imperial).

6.5. Los mapas de peligrosidad de las subzonas a escala 1:5000. Descripción general.

Subzona Autovía (plano 2b). Ya hemos indicado que es esta la zona que soporta una densidad de dolinas mayor, lo que redundará en un nivel de peligrosidad también más elevado. Hay un sector central comprendido entre la Venta del Olivar y la factoría Pikolín en la que se concentran tanto las áreas con mayor densidad de hundimientos constatados (muchos de ellos activos) como la gran mancha de peligrosidad potencial alta. Hacia el NW y SE la peligrosidad potencial disminuye hasta niveles medio-bajos, pero sin embargo continúa existiendo una densidad de dolinas significativa, condicionada por factores de los que no se tiene un conocimiento preciso.

Subzona Casetas (plano 3b). El sector situado justo al sur del casco urbano de Casetas es el que presenta mayor peligrosidad, tanto real como potencial. Hacia el norte aparecen sólo dos grandes depresiones aisladas y zonas de riesgo potencial medio.

Subzona Garrapinillos (plano 4b). El número de depresiones existentes en esta subzona es elevado, aunque la falta de evidencias concluyentes de hundimiento kárstico hace que en su mayoría aparezcan asignadas a la categoría III. Es esta una subzona con rasgos muy particulares. Su especial relieve alomado, formado por una trama compleja de altos y depresiones con una morfología en planta poco acorde con una jerarquización normal de la red fluvial, mueve a pensar en una incidencia generalizada de los procesos kársticos. Sin embargo, las evidencias de hundimientos activos escasean. Es probable que la subsidencia sea en general muy lenta y no lleguen apenas a individualizarse dolinas con un contorno definido. Es ésta, por consiguiente, la subzona donde debería extremarse el cuidado en los estudios geotécnicos de mayor detalle allí donde se proyecte construir cualquier obra. Por lo demás, las áreas de peligrosidad tanto real como potencial se reparten de una manera bastante homogénea por toda ella.

Subzona Miralbueno (plano 5b). Las dolinas en esta subzona se concentran en una banda central muy marcada que discurre con dirección NE-SW entre el sur de Miralbueno y el Canal Imperial, así como en otras dos agrupaciones menores situadas junto a la autopista de circunvalación y al SW del barrio Oliver. Ya hemos comentado anteriormente cómo estas concentraciones de zonas de peligrosidad real alta no se corresponden con áreas de gran peligrosidad potencial, sino más bien al contrario. No obstante, tal concentración de dolinas no puede ser casual, aunque los factores que la determinan no hayan podido ser controlados, y es por ello por lo que se le ha asignado un grado de peligrosidad potencial mayor.

Subzona Monzalbarba (plano 6b). La peligrosidad real en esta subzona se limita a un par de dolinas, hecho que se muestra coherente con la asignación de un nivel de peligrosidad potencial bajo.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES.

7.1. Conclusiones y consideraciones generales.

La zona comprendida entre Zaragoza y Casetas, constituida por las formaciones aluviales de las terrazas altas del Ebro que reposan sobre el sustrato yesífero terciario, están sujetas a una peligrosidad en general elevada de hundimiento o subsidencia por karst cubierto. Las llamadas dolinas aluviales se forman por una secuencia de procesos que incluye dos fases: (a) movilización y evacuación de material del subsuelo por el agua subterránea (por disolución o arrastre mecánico), que generalmente lleva asociada la creación de cavidades; (b) hundimiento de la cubierta aluvial suprayacente, bien por colapso brusco o subsidencia lenta.

El desarrollo de dolinas aluviales se ve favorecido y acelerado, fundamentalmente, por los siguientes factores: (a) la existencia de vaguadas en el contacto Terciario-Cuaternario por las que se produce un flujo preferente de agua; (b) la presencia de bajos espesores de la cubierta aluvial, que facilita la manifestación superficial de las cavidades existentes en profundidad; (c) la presencia de bajos porcentajes de lutitas, lo que proporciona permeabilidad; (d) bajo grado de saturación en sulfatos del agua subterránea, lo cual la hace más agresiva; la existencia de disolución activa puede detectarse por la presencia de gradientes elevados de la concentración en sulfatos.

De las cinco subzonas estudiadas en detalle, sólo una, la de Monzalbarba, se halla prácticamente libre de peligro de hundimientos kársticos. Las otras cuatro muestran una distribución muy densa de dolinas constatadas, algunas de ellas con síntomas de actividad reciente y actual que ha tenido ya consecuencias nefastas para algunas construcciones e infraestructuras. No todas las dolinas se han detectado y localizado con la misma fiabilidad. Estas diferencias han procurado ser reflejadas en la cartografía, a fin de adecuar las categorías de peligrosidad definidas a las evidencias realmente existentes.

Teniendo esto en cuenta, así como las evidencias de actividad reciente o continuada en algunas depresiones y la confluencia de los factores potenciales de riesgo, se han definido una serie de categorías de peligrosidad agrupadas en dos niveles diferentes:

- **Categorías de peligrosidad real.** Son aquéllas en las que hay suficientes evidencias de la existencia del fenómeno kárstico y, por consiguiente, se considera muy probable que éste continúe activo en el futuro. Son las que representan un peligro cierto y deben ser tenidas necesariamente en cuenta en cualquier planificación de usos del territorio.

- **Categorías de peligrosidad potencial.** Son aquéllas derivadas de sospechas fundadas pero no concluyentes sobre la existencia de dolinas aluviales, así como de la confluencia espacial de los diferentes factores de riesgo conocidos. No constituyen un peligro cierto, pero la prudencia aconseja tenerlas en cuenta e implementar los estudios de detalle pertinentes para confirmar o desmentir en su caso el peligro de hundimientos kársticos.

La relación completa de todas las categorías de peligrosidad, tal como han sido definidas y usadas en los mapas a escala 1:5000, es la siguiente:

Categoría I. Peligrosidad real muy alta. Dolinas con actividad continuada o que muestran reactivación reciente constatada.

Categoría II. Peligrosidad real alta. Depresiones en las que la concurrencia de varios indicios objetivos permite interpretar con un grado de certidumbre suficiente que se trata de dolinas aluviales. Las áreas correspondientes a estas dos primeras categorías se han ampliado con un entorno de seguridad de 10 m.

Categoría III. Peligrosidad potencial alta. (1) Dolinas supuestas incrementadas con el margen de 10 m. (2) Áreas de máxima peligrosidad potencial, en las que se superponen los tres factores de riesgo fundamentales: (A) vaguada en el contacto Terciario-Cuaternario, (B1) espesor de Cuaternario inferior a 15 m y (C) contenido en lutitas inferior al 20-40 %, según subzonas. (3) Áreas periféricas de las dolinas de categoría I ó II hasta una distancia de 40 m.

Categoría IV. Peligrosidad potencial media-alta. Áreas en las que concurren la combinación de factores (A + B1) o bien la (A + B2 + C), correspondiendo B2 a las zonas con espesor de Cuaternario menor de 30 m.

Categoría V. Peligrosidad potencial media. Concurrencia de alguna de las siguientes combinaciones de factores: (A + B2), (A + C) ó (B1 + C).

Categoría VI. Peligrosidad potencial media-baja: Concurrencia de alguna de las siguientes combinaciones de factores: (A), (B1) ó (B2 + C) .

Categoría VII. Peligrosidad potencial baja. El resto del área.

Debe quedar bien entendido que la asignación de dolinas a la categoría I no es exhaustiva, puesto que depende del hallazgo efectivo o no de evidencias de actividad. Las posibilidades de contar con tal tipo de evidencias es mayor en general en zonas urbanizadas, por lo que la distribución de peligrosidad máxima puede quedar sesgada en ese sentido. Las evidencias en zonas cultivadas están sujetas a la aleatoriedad derivada de su continuo relleno y allanado por los agricultores.

7.2. Consideraciones geotécnicas.

Las áreas en las que históricamente se ha comprobado la existencia de dolinas activas deberían ser en principio excluidas de la consideración de suelo urbanizable. Si se presenta la necesidad real de edificar sobre ellos deben extremarse las precauciones, realizando estudios geológicos y geotécnicos adecuados y, en cualquier caso, adoptar las soluciones constructivas que minimicen los riesgos.

Tal y como indica la Norma Tecnológica de la Edificación, NTE-CEG (Cimentaciones. Estudios Geotécnicos), es obligatorio un reconocimiento geotécnico del terreno previo o simultáneo a la redacción del proyecto de construcción en las zonas con peligrosidad de hundimientos kársticos. Tales reconocimientos han de plantearse de un modo particular respecto a lo dictaminado en la NTE, ya que ésta establece en su artículo 1 que "en los terrenos con precedentes de oquedades subterráneas naturales o artificiales no es de aplicación esta norma"; es decir, en tales casos es necesario el desarrollo de una investigación específica en cada punto.

La complejidad del problema hace necesaria la utilización de técnicas interdisciplinares durante la etapa de reconocimiento de campo y el trabajo de gabinete, siendo menos importantes en general los resultados de los ensayos de laboratorio, que pueden servir como apoyo pero no han de considerarse como definitivos. Por ejemplo, la presencia de una capa superficial de *mallacán* no representa un apoyo seguro de la cimentación, ya que, a pesar de que su resistencia es considerable, no garantiza la seguridad por debajo de la misma. Otro tanto sucede si a cierta profundidad se encuentra un sustrato rocoso firme y con suficiente capacidad portante, ya que los procesos de karstificación pueden continuar por debajo del mismo.

Las investigaciones geológicas y geotécnicas deben centrarse en el reconocimiento lo más exacto posible de los límites de las dolinas constatadas o supuestas, en la confirmación, en su caso, del carácter de éstas últimas y en la caracterización geomecánica de su eventual relleno. Hay que tener siempre en cuenta que el fenómeno kárstico es un proceso vivo que evoluciona

con el tiempo, por lo que una zona calificada actualmente como de riesgo bajo puede incrementar su peligrosidad en el futuro o viceversa. Los factores que intervienen en tal evolución son impredecibles en la mayor parte de los casos, y probablemente dependerán de actividades antrópicas tales como las prácticas de regadío, bombeo, movimiento de tierras, etc.

Cualquier información geológica y geotécnica del subsuelo es útil en todo momento, pero la especial problemática de los hundimientos kársticos hace que unos métodos sean más adecuados que otros. Calcular únicamente la resistencia del terreno o su capacidad portante puede ser engañoso si no se ubica el dato en su contexto geológico. Las catas realizadas con excavadora pueden profundizar hasta un máximo de 5-6 metros, pero se trata de un método "agresivo" que finalmente sólo proporciona información de los niveles más superficiales. En la práctica sólo sirve para comprobar la existencia de rellenos de antiguas dolinas. El ensayo de penetración tipo Borros es inadecuado debido a la existencia en toda la zona de gravas superficiales e incluso mallacán, que restringen a veces la profundidad de la investigación a sólo unos pocos metros o decímetros. Los ensayos *in situ* tales como placas de carga o ensayos presiométricos aportan información sobre las condiciones del terreno, pero poco o nada respecto a la peligrosidad kárstica.

Los métodos de reconocimiento directos más simples y eficaces son los sondeos mecánicos. Los sondeos con recuperación continua de testigo y toma de muestras inalteradas (en los casos en que sea posible) son el método de investigación directa más adecuado, ya que proporciona la columna geológica del subsuelo hasta la profundidad que se determine antes o durante la ejecución de los trabajos. Es importante este control simultáneo, que requerirá siempre la presencia de un técnico (preferentemente geólogo) con experiencia en el trabajo a pie de sondeo. El será quien determine la continuación o finalización de cada sondeo, así como la correcta toma de muestras. La experiencia del sondista en la determinación de "fallos" en la perforación, caídas de varillaje, etc. es también importante para definir la profundidad de las oquedades.

El número de sondeos dependerá del tipo de obra, del contexto geológico en el que se encuentre y del grado de peligrosidad asignado, incrementándose la profundidad y el detalle de la investigación conforme aumente dicho grado. Respecto a las muestras inalteradas obtenidas, éstas pueden ser objeto de ensayos de laboratorio, que aportarán información para determinar los parámetros de diseño de la cimentación. Sin embargo, éstos no aportan en general datos relevantes respecto a la peligrosidad de hundimientos kársticos, por lo que no es prudente dedicar a ellos una atención excesiva en detrimento de la investigación geológica global.

Los métodos de reconocimiento indirecto tales como geofísica eléctrica o sísmica pueden ser adecuados para investigar grandes áreas, y darnos buenos resultados puntuales siempre y cuando los límites de terrenos con determinadas propiedades geoeléctricas o geosísmicas hayan sido previamente "calados" mediante sondeos mecánicos adecuadamente situados. El georadar, aunque algo más costoso, da buenos resultados en la detección de cavidades subterráneas someras y puede constituir, por tanto, un complemento útil de los estudios geológicos directos.

En cuanto a posibles recomendaciones para el diseño de la cimentación de edificaciones y estructuras, éstas se encuentran fuera de los objetivos de un estudio general como éste. En casos en los que tanto el sustrato terciario como la cubierta cuaternaria presenten buenas condiciones geotécnicas y se encuentren fuera de las zonas de peligrosidad real bastaría con una cimentación superficial, preferentemente arriostrada para paliar, en su caso, los efectos de asientos diferenciales. Si se detectan oquedades cerca de la superficie, se deberá recurrir a cimentaciones profundas mediante pilotaje, siempre y cuando se asegure la calidad del sustrato de apoyo mediante los oportunos reconocimientos.

7.3. Recomendaciones finales.

(1ª) Evitar la edificación y el trazado de infraestructuras y conducciones en las zonas de peligrosidad real muy alta y alta (categorías I y II).

(2ª) Si se desea construir edificaciones o infraestructuras en las zonas con peligrosidad potencial media y alta (categorías III, IV y V), realizar estudios de detalle que permitan zonificar y valorar la presencia y distribución de posibles focos de hundimiento no manifestados claramente en superficie. Dichos estudios no deben ir orientados a la simple caracterización geotécnica del terreno superficial, sino que deben incluir campañas de sondeos mecánicos y reconocimientos geológicos y geomorfológicos adecuados que permitan abordar el problema en profundidad.

(3ª) Si no puede evitarse construir en las zonas anteriormente citadas, y siempre tras realizar los preceptivos estudios geológicos y geotécnicos, diseñar cimentaciones profundas (pilotajes) adecuadas a la peligrosidad de cada caso. El riesgo habrá de ser minimizado (para un plazo de tiempo razonable de acuerdo con la durabilidad de la estructura) buscando apoyar siempre tales cimentaciones en niveles firmes bajo los que esté descartada la existencia de oquedades. Cualquier construcción puede ser posible, aun en los casos más desfavorables, mediante la utilización de las técnicas ingenieriles adecuadas, pero hay que evaluar cuál es el coste tanto en la ejecución de las mismas como en el mantenimiento que deberá realizarse, con toda seguridad, durante su vida útil.

(4ª) Evitar el riego excesivo en campos de labor y zonas ajardinadas dentro de las áreas de peligrosidad real y potencial media y alta. Optar por espacios deportivos pavimentados o jardines de tipo árido o mediterráneo en las áreas de peligrosidad real. Evitar en lo posible las fugas de la red de abastecimiento y saneamiento.

(5ª) Mantener en estado natural o seminatural las escasas dolinas que en la actualidad se conservan como tales (efectuando los trabajos de limpieza y desescombro que se precisen en algunos casos). Todas ellas pueden tener un papel como espacios verdes singulares dentro de la planificación urbanística y paisajística. Entre ellas podrían incluirse aquéllas cuyos números se relacionan a continuación:

- Subzona *Autovía*: 52 y 61 (las dos más meridionales).
- Subzona *Casetas*: 19 y 22.
- Subzona *Miralbueno*: 23 y 24.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- ARRINGTON, D.V. y LINDQUIST, R.C. (1987) Thickly mantled karst of the Interlachen, Florida area. **2nd Multidisciplinary Conference on sinkholes and the environmental impacts of karst**, pp 31-39. Orlando.
- BECK, B. (1986) A generalized genetic framework for the development of sinkholes and karst in Florida, U.S.A. **Environ. Geol. Water Sci.** vol 8, pp. 5-18.
- BECK, B. (1988) Environmental and Engineering effects of sinkholes- The processes behind the problems. **Environ. Geol. Water Sci.** vol 12, pp. 71-78.
- BENITO, G (1987) Karstificación y colapsos kársticos en los yesos del sector central de la Depresión del Ebro. **Cuaternario y Geomorfología**, vol. 1, pp. 61-76.
- BIELZA, V; MARTINEZ GIL, F.J; CARCELLER, T; GARRIDO, E.; NERÍN, C; SÁNCHEZ, Y. Y DEL VALLE, J. 1993. **Contaminación del Manto Freático del Corredor del Ebro**. Fundación Nueva Empresa. Zaragoza.
- CVIJIC, J. (1893) The dolines. Translate of **Geog. Abhandlungen** 5 pp. 225-276. In SWEETING, M.M. (ed.) 1981 **Karst Geomorphology**. Hutchinsonson.
- DEVEUGHELE, M. y USSEGLIO, J.M. (1979) Cartographie des zones exposées aux risques liés aux dissolutions de la fraction gypseuse du marno-calcaire de Saint-Ouen dans les 19ème et 20ème arrondissements de la ville de Paris. **Bulletin de l'Association Internationale de Geologie de l'Ingenieur** nº 19, pp. 121-125.
- DOUGHERTY, P. H. y PERLOW, M. (1988) The Macungie sinkhole, Leigh Valley, Pennsylvania: Cause and repair. **Environ. Geol. Water Sci.**, vol. 12, pp. 89-98.
- GRACIA, J.; SALVADOR, T.; SIMÓN, J.L. y SORIANO, M.A. 1991, **Evaluación del riesgo de hundimientos a lo largo del trazado de tubería alternativa para el abastecimiento de agua al barrio de Casetas y polígonos intermedios**. Informe inédito. Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza.
- GUTIÉRREZ, M.; IBÁÑEZ, M.J.; PEÑA, J.L.; RODRÍGUEZ, J. y SORIANO, M.A. (1985) Quelques exemples de karst sur gypse dans la Depression de l'Ebre. **Karstologia** 6, pp. 29-36.
- JAMES, A.N. y LUPTON A.R.R.(1978) Gypsum and anhydrite in foundations of hydraulic structures. **Geotechnique**, 28, pp. 249-272.
- JIANYI, T. y JIAN, C. (1987) Preliminary study of karst collapse forecast method. **Endins** nº 13, pp. 99-104.
- LAMOREAUX, P. E. y NEWTON, J. G. (1986) Catastrophic subsidence: An environmental hazard, Shelby County, Alabama. **Environ. Geol. Water Sci.**, vol. 8, pp. 25-40.
- MANDADO, J. (1987) **Litofacies yesíferas del sector aragonés de la cuenca terciaria del Ebro. Petrogénesis y Geoquímica**. Tesis doctoral. 433p. Universidad de Zaragoza.
- MOORE, H.L. (1987) Sinkhole development along untreated highway dichlines in East Tennessee. **2nd Multidisciplinary Conference on sinkholes and the environmental impacts of karst**, pp. 115-119. Orlando.
- NEWTON, J.G. y TANNER, J.M. (1987) Case histories of induced sinkholes in the eastern United States. **2nd Multidisciplinary Conference on sinkholes and the environmental impacts of karst**, pp. 15-23. Orlando.

PALMQUIST, R. (1979) Geologic controls on doline characteristics in mantled karst. **Z. Geomorph. N.F.** Suppl. Bd. 32, pp. 90-106.

PÉREZ del CAMPO, P y LANZAROTE, A. (1988) La problemática de los colapsos kársticos en las infraestructuras de la Depresión del Ebro. **II Congreso de Geología**, v.2. pp. 333-336.

QUIRANTES, J. (1978) **Estudio sedimentológico y estratigráfico del terciario continental de los Monegros**. Institución Fernando el Católico. 200 p.

SIMÓN, J.L.; SORIANO, M.A.; GRACIA, J. y SALVADOR, T. (1991), Dolinas aluviales en las terrazas del Ebro al oeste de Zaragoza: un análisis empírico de los factores de riesgo. **Cuaternario y Geomorfología**, 5, 139-148.

SIMÓN, J.L.; MARTÍNEZ, J.; SORIANO, M.A.; ARLEGUI, L.; CABALLERO, J. (1998) **Estudio de riesgos naturales en los terrenos de la orla sudoeste de suelo urbanizable**. Informe inédito. Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza.

SORIANO, M.A., (1986) Dolinas de disolución normal y dolinas aluviales en el sector centro-meridional de la Depresión del Ebro. **Bol. Geol. y Min. t.XCVII**, pp. 328-337.

SORIANO, M.A. (1988) Dolinas aluviales y su impacto ambiental en las proximidades de Zaragoza. **II Congreso de Geología**, v.2, pp. 39-46.

SORIANO, M.A. (1990) **Geomorfología del sector centro-meridional de la Depresión del Ebro**. Zaragoza. Diputación Provincial de Zaragoza. 269 p.

SORIANO, M.A. (1992) Characteristics of the alluvial dolines developed because of gypsum dissolution in the central Ebro Basin **Z. fur Geomorphology Suppl. Bd** , 85. pp. 59-72

SORIANO, M.A. ; SIMÓN, J.L. y SALVADOR, T. (1992) Estructura interna y mecanismos de los colapsos en yeso. Ejemplos del área de Calatayud (Zaragoza). **Estudios de Geomorfología en España**. Geoforma Ed., 619-629.

SORIANO, M.A. ; SIMÓN, J.L.; GRACIA, J. Y SALVADOR, T. (1994) Alluvial sinkholes over gypsum in the Ebro Basin (Spain): genesis and environmental impact. **Hydrological Sciences Journal** , 39 , pp. 257-268.

SORIANO, M.A. y SIMÓN, J.L. (1995) Alluvial dolines in the central Ebro basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. **Geomorphology** 11, pp. 295-309.

SORIANO Y SIMÓN, J.L. (1997) Analogue models of alluvial doline development. **Géologie Méditerranéenne**, tome XXIV, nº 1-2, pp. 3-13.

TOULEMONT, M. (1987) Les risques d'instabilité liés au karst gypseux lutétien de la région parisienne. Prevision en cartographie. **Bull. liaison Labo. P et Ch.** 150-151, pp. 109-116

UPCHURCH, S.B. & LITTLEFIELD, J.R. (1988) Evaluation of data for sinkhole development risk models. **Environ. Geol. Water Sci.** vol.12, pp. 135-140.

YUAN, D. (1988) Environmental and engineering problems of karts geology in China. **Environ. Geol. Water Sci.**, vol. 12, pp. 79-87.

WHITE, E.L.; GERT, A. y WHITE, W.B. (1986) The influence of urbanization on sinkhole development in central Pennsylvania. **Environ. Geol. Water Sci.** vol. 8, pp. 91-97.

ZUIDAM van, R.A. (1976) **Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain. Processes and landforms related to climatic changes in a large Mediterranean river basin.** (ITC) 221 p. Enschede.

ANEXO 1
FICHERO DE DOLINAS

FICHERO DE DOLINAS

Este fichero contiene la relación completa de las dolinas que se han encontrado y cartografiado en la zona de estudio. Para cada una existe una ficha en la que se describen sus características más importantes y algunos rasgos de su evolución. El modelo de ficha contiene la siguiente información:

Sigla: Las letras coinciden con las iniciales de la subzona correspondiente. Los números son los mismos que sirven para identificarlas en los mapas de escala 1:5000.

Situación: Se hace referencia a uno o más puntos o topónimos de la subzona identificables en las bases topográficas 1:5000.

Dimensiones: Longitud x anchura x profundidad (en metros). Suele faltar el dato de profundidad por no haberse podido observar actualmente en el campo.

Morfología: En planta. En perfil

Evolución: Se explican brevemente los cambios sufridos cuando hay datos disponibles procedentes de observaciones de campo o de testimonios directos de personas entrevistadas.

SUBZONA AUTOVÍA

A-1

Situación: Entre la antigua carretera y la autovía. Junto al inicio de la variante de Casetas.
Dimensiones: 100 x 45.
Morfología: Arriñonada. Borde neto.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1988. Actualmente con vegetación de humedal.

A-2

Situación: Entre la autovía de Logroño y el ferrocarril, al sur de la propiedad de CAMPSA.
Dimensiones: 750 x 100.
Morfología: Alargada. Borde difuso. En el interior tiene dos áreas más deprimidas con bordes netos.
Evolución: Contorno externo visto en la foto aérea de los años 1946, 1987 y 1993; las áreas más deprimidas en 1946 y 1970.

A-3

Situación: Al sur de Torre del Conde.
Dimensiones: 400 x 50
Morfología: Alargada. Bordes difusos.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946 y 1987. Actualmente muy retocada.

A-4

Situación: Entre el ferrocarril y la autopista, al sur de Torre de San Juan.
Dimensiones: 50 x 25.
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en foto aérea de 1986. La valla de la autopista está ligeramente combada en la actualidad.

A-5

Situación: 200 m al SO del inicio de la variante de Casetas.
Dimensiones: 100 x 50.
Morfología: Irregular. Borde difuso.
Evolución: Vista en foto aérea de 1988.

A-6

Situación: 100 m al sur de la confluencia de la variante de Casetas con la autovía.
Dimensiones: 450 x 100.
Morfología: Zona amplia irregular que envuelve otras áreas más hundidas. Bordes difusos en el margen norte y más netos en el resto.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1982, 1986 y 1988.

A-7

Situación: A 300 m al sur de la variante de Casetas, al NE de los Llanos.
Dimensiones: 150 x 30.
Morfología: Alargada irregularmente. Bordes netos.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946 y 1988.

A-8

Situación: Sobre el camino de Torre Martínez.
Dimensiones: 200 x 50.
Morfología: Ovalada con bordes difusos y un núcleo circular de bordes netos.
Evolución: La envolvente se vio en la foto aérea de 1986 y el núcleo interior en la foto de 1970.

A-9

Situación: Al norte de la autovía y al oeste del camino viejo del cementerio (Venta del Cano).
Dimensiones: 425 x 50.
Morfología: Depresión alargada de bordes difusos con dos centros, uno de ellos con bordes netos y el otro con bordes difusos.
Evolución: Vistas en foto aérea de los años 1946, 1957 y 1986.

A-10

Situación: 250 m al SE de la Venta del Cano.
Dimensiones: 50 x 50.
Morfología: Redondeada. Difusa.
Evolución: Vista en foto aérea de 1970

A-11

Situación: 80 m al este de Torre Martínez.
Dimensiones: 280 x 60.
Morfología: En "C" invertida. Bordes netos.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1970, 1982, 1986 y 1993. Actualmente zona de humedal con depresiones suaves.

A-12

Situación: A 150 m al sur de la autovía.
Dimensiones: 490 x 90.
Morfología: Alargada irregularmente. Bordes netos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1982, 1986, 1987 y 1993 y observable asimismo en el campo actualmente.

A-13

Situación: Al norte de la autovía, entre el camino viejo del cementerio y el camino nuevo de Monzalbarba.
Dimensiones: 220 x 50.
Morfología: Alargada en el sentido de la autovía. Borde difuso (el borde sur queda tapado por la autovía).
Evolución: Vista en foto aérea de 1957.

A-14

Situación: El Fresno, al sur del camino viejo de Monzalbarba.
Dimensiones: 175 x 60.
Morfología: Alargada en dirección N-S. Bordes netos.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1982, 1986 y 1993.

A-15

Situación: Al norte del camino de la Torre del Martínez y al NE del camino de la Torre del Gitanillo.
Dimensiones: 175 x 120.
Morfología: Irregular. Borde neto.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1957, 1982, 1986 y 1988.

A-16

Situación: Entre el camino de la Torre del Martínez y el camino de Las Balsas.
Dimensiones: Diámetro de 60 m.
Morfología: Redondeada. Bordes netos.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1970, 1986 y 1988.

A-17

Situación: Al oeste de La Noria, junto al camino de la Balsa.

Dimensiones: 280 x 65.
Morfología: Irregular de bordes difusos con algunos centros también de bordes difusos.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1982 y 1986.

A-18
Situación: Entre el polígono Ruiseñores y la Venta del Cano.
Dimensiones: 500 x 60.
Morfología: Depresión alargada paralelamente a la autovía. Tiene un centro en su terminación oriental. Borde neto.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1957, 1987 y 1993.

A-19
Situación: Al sur de la autovía a la altura del polígono Ruiseñores.
Dimensiones: 300 x 120.
Morfología: Irregular. Bordes difusos. En su parte suroeste tiene un centro diferenciado de bordes netos y forma irregular.
Evolución: Observada en fotos aéreas de 1957, 1982, 1986 y 1993. El centro de hundimiento diferenciado, en las de 1982 y 1986.

A-20
Situación: Entre el camino de la Torre del Gitanillo y de la Torre de Martínez.
Dimensiones: 420 x 150.
Morfología: Alargada de bordes difusos y con centro de borde neto.
Evolución: Se ha visto en fotos aéreas de 1946 a 1988.

A-21
Situación: Al sur de la Noria y al norte del camino de los Perdigones.
Dimensiones: 200 x 150.
Morfología: Contorno irregular. Borde neto. Centro de hundimiento pequeño en la parte NE encharcado en la actualidad.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1982, 1986, 1987 y 1988.

A-22
Situación: A unos 500 m del camino de Las Balsas y al norte del camino de los Perdigones.
Dimensiones: 200 x 50.
Morfología: Alargada, formada por dos dolinas. Bordes difusos.
Evolución: Observada en su morfología completa en la foto aérea de 1986. Una de las dolinas individuales reconocida en el año 1970.

A-23
Situación: A unos 500 m del camino de Las Balsas y al N del camino de los Perdigones.
Dimensiones: 145 x 50.
Morfología: Alargada. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea del año 1982.

A-24
Situación: Al norte del camino de Los Perdigones.
Dimensiones: 150 x 50.
Morfología: Alargada. Bordes difusos.
Evolución: Vista en foto aérea de 1946. Actualmente se observa un campo ligeramente deprimido.

A-25
Situación: Junto al camino de los Perdigones y al oeste del camino del Zuquerero.
Dimensiones: 50 m de diámetro medio.
Morfología: Grupo de tres depresiones redondeadas. Bordes difusos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1987. Una de ellas también en la de 1957.

A-26
Situación: El Abejar.
Dimensiones: 150 x 100.
Morfología: Irregular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

A-27
Situación: Al SE del camino de los Perdigones y oeste del camino del Zuquerero.
Dimensiones: Diámetro de 70 m.
Morfología: Irregular. Bordes difusos.
Evolución: Observada en la foto aérea de 1993.

A-28
Situación: Al SE del camino de los Perdigones y oeste del camino del Zuquerero.
Dimensiones: Diámetro de 40 m.
Morfología: Redondeada. Bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1986 y 1993.

A-29
Situación: Sobre el camino del Zuquerero.
Dimensiones: 150 x 40.
Morfología: Alargada de bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

A-30
Situación: Entre la acequia del Fresno y el camino del Zuquerero.
Dimensiones: 20 x 15.
Morfología: Redondeada. Bordes netos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

A-31
Situación: Al oeste del camino del Zuquerero y lindante con el límite de la subzona.
Dimensiones: Diámetro de 20 m.
Morfología: Tres dolinas redondeadas de bordes netos.
Evolución: Observada en la foto aérea de 1986. Una de ellas también en la de 1970.

A-32
Situación: Entre la acequia del Fresno y el camino del Zuquerero.
Dimensiones: 90 x 50.
Morfología: Redondeada. Bordes netos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1970.

A-33
Situación: Al este de polígono industrial Ruiseñores
Dimensiones: 80 x 45.
Morfología: Irregular. Bordes difusos.
Evolución: Observada en la foto aérea de 1993.

A-34
Situación: 150 m al norte de la Torre de la Condesa .
Dimensiones: 125 x 80.
Morfología: Alargada. Borde con escarpe.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1982, 1986 y 1993.

A-35

Situación: 100 m al norte de la Torre de la Condesa.

Dimensiones: 75 x 60.

Morfología: En forma de gota. Borde con escarpe.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970 y 1986. Actualmente rellena y nivelada.

A-36

Situación: En la parte norte de la Torre del Olivar.

Dimensiones: Envoltente de 430 x 280 que encierra varias dolinas menores.

Morfología: Planta triangular. Bordes difusos.

Evolución: Observadas en las fotos aéreas de 1946, 1982, 1986 y 1987.

A-37

Situación: En la parte sur de la Torre del Olivar.

Dimensiones: Envoltente de 8000 x 300 que encierra varias dolinas menores.

Morfología: Irregulares. Límite neto y, en algunos casos, con escarpe. En la parte sur tiene borde difuso.

Evolución: Vistas en fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1982, 1986, 1987 y 1993. En estos últimos años las dimensiones se han visto reducidas porque se han cubierto parcialmente. Asociado al conjunto, en su límite norte, se distingue un hundimiento actual desarrollado sobre zona urbanizada y otra dolina con borde difuso y forma elíptica en zona no urbana.

A-38

Situación: Torre del Chocolatero.

Dimensiones: 225 x 100.

Morfología: Contorno alargado. Límites netos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970. Actualmente rellena y nivelada.

A-39

Situación: 150 m al norte de la Torre de la Condesa.

Dimensiones: 100 x 80.

Morfología: Triangular. Bordes netos.

Evolución: Observada en la foto aérea de 1970.

A-40

Situación: Atravesando el ferrocarril al norte de la Torre de la Condesa.

Dimensiones: 225 x 125.

Morfología: Rectangular. Bordes difusos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1987. Actualmente rellena y nivelada.

A-41

Situación: En la línea del ferrocarril, al este de la Torre de la Condesa.

Dimensiones: 125 x 65.

Morfología: Alargada. Borde neto.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1946. Actualmente rellena y nivelada.

A-42

Situación: Al final del camino de la casilla del ferrocarril.

Dimensiones: 260 x 120.

Morfología: Depresión irregular de borde difuso que incluye en su interior cinco hundimientos con borde neto.

Evolución: Observada en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1986, 1987 y 1993. Todos los centros de hundimiento localizados se ven en la foto de 1970. Hay evidencias actuales de relleno antrópico y hundimiento posterior.

A-43

Situación: Al sur de Marconchel, en la autopista.

Dimensiones: 110 x 90 x 2.

Morfología: Redondeada. Bordes netos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1982, 1986, 1987 y 1993. Con evidencias actuales de relleno antrópico y hundimiento posterior.

A-44

Situación: Al sur de Marconchel y de la autopista.

Dimensiones: 140 x 100 x 2.

Morfología: Depresión rectangular de bordes difusos con tres centros netos en su interior. Bordes difusos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1957, 1970, 1982, 1986 y 1987. Con evidencias actuales de relleno antrópico y hundimiento posterior.

A-45

Situación: 300 m al norte del polígono Europa.

Dimensiones: 75 x 50.

Morfología: Depresión ovalada. Bordes netos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1986 y 1987. Con evidencias actuales de relleno antrópico y hundimiento posterior.

A-46

Situación: 200 m al sur de El Plano, junto a la autopista.

Dimensiones: 50 x 20 x 1.

Morfología: Alargada. Contorno neto.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1982. Con evidencias actuales de relleno antrópico y hundimiento posterior.

A-47

Situación: 100 m al sur del camino que pasa sobre la autopista.

Dimensiones: 150 x 145.

Morfología: Tres dolinas ovaladas de contorno neto, dos de ellas con escarpe.

Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1946 y 1957. Actualmente rellenas y niveladas.

A-48

Situación: 400 m al NE de San Miguel.

Dimensiones: 50 x 40.

Morfología: Dolina redondeada de bordes netos.

Evolución: Vista en fotos aéreas de 1957 y 1970. Actualmente rellena y nivelada.

A-49

Situación: Venta del Olivar.

Dimensiones: 190 x 75.

Morfología: Dolina alargada. Borde difuso.

Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970.

A-50

Situación: Al norte de la Venta del Olivar.

Dimensiones: Diámetro de 45 m.

Morfología: Contorno redondeado. Borde neto con escarpe.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1986 y 1987. Rellenada hacia 1990. En la foto de 1993 parece percibirse un ligero rehundimiento.

A-51

Situación: Torre de San Antonio

Dimensiones: Diámetro < 10 m.
Morfología: Redondeada. Borde neto con escarpe.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1957, 1970 y 1993.

A-52

Situación: Torre de San Antonio.
Dimensiones: Diámetro de 40 m.
Morfología: Redondeada. Borde neto con escarpe.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1982, 1986, 1987 y 1993.

A-53

Situación: Al norte de la Venta del Olivar.
Dimensiones: Diámetro de 15 m.
Morfología: Redondeada. Borde neto con escarpe.
Evolución: Vista en foto aérea de 1982.

A-54

Situación: Tres dolinas pequeñas incluidas en un área deprimida. Intersección del camino de Monzalbarba, camino de Torre de la Condesa y acequia de la Almozara.
Dimensiones: 130 x 110.
Morfología: Contorno general circular. Bordes netos con escarpe.
Evolución: Vistas en fotos aéreas de 1946 y 1957. El contorno envolvente se observa en las de 1946 y 1987. Actualmente rellenas y niveladas.

A-55

Situación: Conjunto de varias dolinas en la zona de la Torre de San Antonio, entre la acequia de la Almozara y el camino de Monzalbarba.
Dimensiones: El conjunto: 160 x 60. Diámetros individuales entre 40 y 80 m.
Morfología: Contorno circular o alargado, según los casos.
Evolución: La pareja de dolinas situada más al sur ha sido observada en las fotos aéreas de 1957 y 1987, respectivamente. Esta última ha registrado una reactivación reciente (hacia 1994), arruinando totalmente una nave industrial. Los otros tres centros de hundimiento situados más al norte se han detectado únicamente por su afección a zonas urbanizadas, habiendo sido asimismo causa de ruina en otras dos naves en la última década.

A-56

Situación: Seis dolinas pequeñas incluidas en una depresión irregular, situada 250 m al sur de la Torre de la Condesa, junto a la acequia de la Almozara.
Dimensiones: El conjunto: 320 x 100. Diámetros individuales entre 15 y 70 m.
Morfología: En general circular, para las dolinas pequeñas. Bordes netos. La depresión que las envuelve tiene escarpe en la parte norte.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1957, 1970 y 1987.

A-57

Situación: Dos dolinas situadas al norte de las anteriores.
Dimensiones: 20 m de diámetro cada una.
Morfología: Contorno circular. Borde neto.
Evolución: Vistas en fotos aéreas de 1957.

A-58

Situación: Conjunto de hundimientos localizados al NE del polígono industrial El Portazgo.
Dimensiones: 200 x 130. Diámetros individuales entre 15 y 80 m.
Morfología: Circulares o alargados.
Evolución: Cuatro centros de hundimiento han sido detectados en zonas urbanizadas. El otro es una dolina vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957.

A-59

Situación: Al norte de la Venta del Olivar, junto al margen norte de la autovía.
Dimensiones: 55 x 40.
Morfología: Contorno elíptico. Borde neto con escarpe.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970. Rellenada y edificada hacia 1990.

A-60

Situación: Junto al Colegio Antonio Machado, al sur de la Venta del Olivar.
Dimensiones: Diámetro de 55 m.
Morfología: Contorno circular. Borde neto.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1970, 1982, 1986, 1987 y 1993. Hundimiento reciente que afecta parcialmente al patio del colegio.

A-61

Situación: Conjunto de cuatro dolinas en estado natural, en la Torre del Chocolatero.
Dimensiones: 200x125
Morfología: Contorno circular; bordes netos con escarpe.
Evolución: Vistas en fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1982, 1986, 1987 y 1993. Las dos situadas más al sur están en estado seminatural. La mayor de ellas está cercada por un muro de piedra y convertida en un estanque cuya profundidad sobrepasa probablemente los 25 metros. El muro externo contiguo a la carretera local ha sufrido varios hundimientos parciales en los últimos años.

A-62

Situación: Dos dolinas en la zona de la Torre del Chocolatero.
Dimensiones: 150 x 50.
Morfología: Contorno elíptico. Bordes netos.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1946 y 1957.

A-63

Situación: Conjunto de cuatro hundimientos en la zona de la Torre del Chocolatero.
Dimensiones: 175 x 100.
Morfología: Contorno circular a elíptico.
Evolución: Detectados en la actualidad en zona urbanizada.

A-64

Situación: Conjunto de seis pequeñas dolinas 300 m al este de la Torre del Chocolatero. Este conjunto, así como los designados con las siglas A-61, A-62 y A-64, se encuentran englobados en una depresión irregular.
Dimensiones: Los diámetros están comprendidos entre 5 y 25 m.
Morfología: Contorno circular. Bordes netos. El margen sur de la depresión general presenta borde con escarpe y el margen norte aparece más difuso.
Evolución: Cinco de las dolinas se han observado en las fotografías aéreas de 1946 y 1957. Dos de ellas, así como la sexta, se han detectado en la actualidad afectando a zonas urbanizadas.

A-65

Situación: Conjunto constituido por cinco dolinas en el polígono industrial El Portazgo.
Dimensiones: La mayor mide 60 x 30; la menor tiene un diámetro de 15 m.
Morfología: Formas alargadas, circulares y con contornos variados, netos y difusos.
Evolución: Observadas en las fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970.

A-66

Situación: Conjunto de cuatro dolinas entre el polígono El Portazgo y el polígono Europa, junto a la autovía.
Dimensiones: En su conjunto ocupan un área de 120 x 40.

Morfología: Circulares y bordes netos; una de ellas con borde escarpado.
Evolución: Observadas en las fotos aéreas de 1987 y 1993. Tres de ellas presentan hundimientos constatados en zona urbana.

A-67

Situación: Sector norte del polígono Europa.
Dimensiones: 175 x 100.
Morfología: Conjunto formado por dos hundimiento en zona urbana.
Evolución: Observada en la foto aérea de 1987.

A-68

Situación: Polígono industrial Europa.
Dimensiones: 210 x 120.
Morfología: Depresión con forma elipítica. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1957.

A-69

Situación: Conjunto formado por un hundimiento constatado en zona urbana y una depresión dudosa, situados a lo largo de la autovía, frente al polígono Europa.
Dimensiones: 440 x 40.
Morfología: El hundimiento constatado tiene forma circular. La depresión es alargada y con borde difuso.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957.

A-70

Situación: Al este del polígono industrial Europa.
Dimensiones: 450 x 250.
Morfología: Es un conjunto en el que se incluye una dolina de forma irregular y borde escarpado con siete hundimientos en zonas urbanas desarrollados en su interior.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970.

A-71

Situación: Conjunto formado por dos dolinas y dos hundimientos en zona urbana. Frente a la Colonia de San Lamberto, en el margen opuesto de la autovía.
Dimensiones: 250 x 120.
Morfología: Una dolina alargada con bordes difusos y la otra circular con bordes netos.
Evolución: Observadas en las fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970.

A-72

Situación: 350 m al oeste de San Miguel.
Dimensiones: Diámetro de 15 m.
Morfología: Dolina circular en planta. Borde neto.
Evolución: Observada en las fotos aéreas de 1946 y 1957

A-73

Situación: San Miguel.
Dimensiones: 250 x 200.
Morfología: Depresión con morfología irregular y con tres centros de hundimiento más desarrollados. Borde neto.
Evolución: Observadas en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1982, 1986 y 1987.

A-74

Situación: 250 m al este de San Miguel, junto a la línea ferroviaria.
Dimensiones: 190 x 80.
Morfología: Dolina con forma irregular. Borde neto.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1947.

A-75

Situación: 300 m al SE de San Miguel.
Dimensiones: 70 x 60.
Morfología: Forma cuadrangular. Borde neto.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970.

A-76

Situación: 300 m al este del cruce de la autopista con la autovía.
Dimensiones: 55 x 40.
Morfología: Elíptica. Borde difuso
Evolución: Vista en la foto aérea de 1970.

A-77

Situación: 150 m al este de la colonia San Lamberto, en el margen opuesto de la autovía.
Dimensiones: 55 x 45.
Morfología: Circular. Borde neto.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1957 y 1982.

A-78

Situación: 400 m al oeste de la urbanización Maitena.
Dimensiones: 15 m de diámetro.
Morfología: Forma circular. Borde neto con escarpe.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1946.

A-79

Situación: 350 m al oeste de la urbanización Maitena.
Dimensiones: 20 m de diámetro.
Morfología: Forma circular. Borde neto.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946.

A-80

Situación: Entre el camino de Vistabella y la acequia de Vistabella.
Dimensiones: 180 x 70
Morfología: Depresión rectangular. Borde difuso.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1987. Se manifiesta en la actualidad por hundimiento del campo.

A-81

Situación: Conjunto de dos dolinas junto a la acequia de Vistabella.
Dimensiones: El conjunto ocupa 125 x 40. Una de ellas, 60 x 30; la otra, 30 x 30.
Morfología: Una elíptica y otra circular. Bordes netos.
Evolución: Una de ellas vista en 1970 y la otra en 1982.

A-82

Situación: Junto a la acequia de Vistabella.
Dimensiones: Diámetro de 20m.
Morfología: Circular. Bordes netos con escarpes.
Evolución: Vista en la actualidad.

A-83

Situación: Urbanización Maitena.
Dimensiones: Diámetro de 35m
Morfología: Forma circular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la actualidad.

A-84

Situación: Junto a la acequia de Vistabella
Dimensiones: 140 x 60.
Morfología: Elíptica. Borde difuso.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1970, 1987 y 1988. Actualmente se observa un campo rehundido.

A-85

Situación: Parte sur de la urbanización Maitena.
Dimensiones: 90 x 20.
Morfología: Depresión alargada que coincide con un fondo de val y que muestra rehundimientos locales. Alargada. Borde difuso. Algunos rehundimientos tienen borde neto.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1970, 1982 y 1986. En la actualidad se observa un campo rehundido.

A-86

Situación: Al Este de la urbanización Maitena, junto al camino de San Miguel.
Dimensiones: 250 x 80.
Morfología: Depresión alargada que coincide con un fondo de val y que muestra rehundimientos locales. Alargada. Borde difuso. Algunos rehundimientos tienen borde neto
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1982, 1986, 1987 y 1993

A-87

Situación: Junto a la urbanización El Cerezal.
Dimensiones: 75 x 35.
Morfología: Planta irregular. Borde neto.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1988. En la actualidad se observa un campo rehundido.

A-88

Situación: Junto a la urbanización El Cerezal.
Dimensiones: 160 x 140.
Morfología: Conjunto de varias depresiones con morfología irregular o circular. Bordes netos.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1957, 1982, 1986 y 1993.

A-89

Situación: Al sur de la urbanización El Cerezal.
Dimensiones: 600 x 125.
Morfología: Depresión con morfología rectangular. Borde difuso. Incluye en su margen oeste zonas con mayor hundimiento y límites más netos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1982 y 1986. En la actualidad se ha observado hundimiento en extremo oeste.

A-90

Situación: 300 m al este de la urbanización El Cerezal.
Dimensiones: Diámetro de 35 m.
Morfología: Morfología circular. Borde neto con escarpe. Englobada, junto a otras dolinas pequeñas, dentro de una depresión de bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970.

A-91

Situación: Entre el riego de San Miguel y el camino de Vistabella.
Dimensiones: 280 x 75.
Morfología: Conjunto de dolinas ovaladas en torno a una depresión mayor de contorno alargado y bordes difusos.
Evolución: La depresión grande y una de las dolinas se han observado en las fotos aéreas de los años 1946, 1957, 1970, 1982, 1986, 1987, 1993. El resto de dolinas se han detectado por hundimiento actual en los campos de cultivo.

A-92

Situación: 150 m al oeste de la urbanización Valles Verdes.
Dimensiones: 225 x 40.
Morfología: Irregular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1970, 1987 y 1988.

A-93

Situación: Conjunto formado por dos dolinas, 100 m al norte del cruce de la carretera del aeropuerto con la autopista.
Dimensiones: En conjunto ocupan un área de 75 x 25; las dolinas individuales tienen 35 x 20 y 30 x 25, respectivamente.
Morfología: Elíptica. Bordes netos.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970.

A-94

Situación: Conjunto de varios hundimientos sobre zonas rústicas y urbanas inmediatas a la autopista, a 100 m al norte de su cruce con la carretera del aeropuerto.
Dimensiones: Conjunto: 160 x 100. Los núcleos centrales mayores tienen diámetros en torno a 80 m.
Morfología: Circular. Bordes netos. La envolvente es cuadrangular con los bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970. En los últimos años se ha producido la ruina de dos naves situadas sobre los bordes norte y sur de la depresión general, la primera antes de 1987, y la segunda en 1996. El edificio de una industria de fundición que hay en su margen sur también sufrió daños hacia 1980. Los campos de labor situados al oeste, así como los muros que limitan el solar de las antiguas naves industriales, muestran hundimientos actuales.

A-95

Situación: 50 m al SE de la urbanización Valles Verdes.
Dimensiones: 80 x 30
Morfología: Alargada. Borde difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1970.

A-96

Situación: Conjunto de dos dolinas entre el camino de Vistabella y la carretera del aeropuerto.
Dimensiones: Conjunto: 95 x 50. Una dolina mide 40 x 25 y la otra 50 x 15.
Morfología: Elíptica. Bordes difusos.
Evolución: Una de ellas vista en la foto aérea de 1982; la otra se ha observado sólo en campo.

A-97

Situación: Sobre la carretera del aeropuerto.
Dimensiones: 150 x 100.
Morfología: Depresión irregular. Bordes difusos. Incluye un centro de hundimiento con contorno circular y bordes netos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1982, 1986 y 1988. También se ha observado rehundimiento actual sobre el terreno.

A-98

Situación: Conjunto formado por tres depresiones situadas sobre la carretera del aeropuerto.
Dimensiones: Conjunto: 250 x 75. Cada una tiene alrededor de 100 m de diámetro.
Morfología: Morfología irregular. Bordes difusos.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1982 y 1986.

A-99

Situación: Conjunto de dos dolinas en el margen sur del camino de Vistabella.
Dimensiones: Conjunto: 85 x 20. Cada una: 20 x 15.

Morfología: Circular. Bordes netos.

Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1970 y 1982. Una de ellas vista en el campo.

A-100

Situación: Margen norte del camino de Vistabella.

Dimensiones: 610 x 115.

Morfología: Depresión alargada que coincide con un fondo de val y que muestra varios rehundimientos locales. Borde difuso. Algunos rehundimientos tienen borde neto. En el extremo oriental presenta un hundimiento fuera de la val y los rehundimientos en su interior muestran un borde más neto.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1982, 1986 y 1988.

A-101

Situación: Margen sur del camino de Bárboles.

Dimensiones: 65 x 45.

Morfología: Circular. Bordes netos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1988. En la actualidad los muros de una edificación situada en su interior muestran grietas.

A-102

Situación: Margen sur del camino de Barbones

Dimensiones: Diámetro de 50 m.

Morfología: Dolina circular. Borde neto con escarpe.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957. A finales de los años 50 se rellenó. Desde entonces ha sufrido rehundimiento de aproximadamente 1 m.

A-103

Situación: Al pie de la autopista, en el margen Sur de la subzona.

Dimensiones: 50 x 40.

Morfología: Elíptica. Borde neto.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1957 y 1988. En la actualidad el campo de cultivo se encuentra nivelado aunque parece apreciarse en él una ligera depresión.

A-104

Situación: Depresión que engloba dos dolinas más pequeñas, entre la carretera del aeropuerto y el camino de Vistabella.

Dimensiones: La depresión general mide 250 x 215. La dolina con bordes escarpados tiene dimensiones 7 x 7 x 2.

Morfología: Depresión con morfología irregular. Bordes difusos. Engloba dos depresiones, una de ellas con borde neto, así como una pequeña dolina de borde escarpado localizada junto a su borde norte.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1986, 1987 y 1988. La dolina de borde escarpado se ha rellenado recientemente y se ha vuelto a hundir el último año.

A-105

Situación: Junto al camino que une el camino de Vistabella con la carretera del aeropuerto.

Dimensiones: Diámetro de 30 m.

Morfología: Circular. Borde neto.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1986 y 1988. En la actualidad se ve un hundimiento suave del terreno.

SUBZONA CASETAS.

C-1

Situación: Extremo NO de la zona, atravesando la línea del ferrocarril.

Dimensiones: 450 x 175.

Morfología: Alargada. Bordes netos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957, y en la actualidad sobre el terreno.

C-2

Situación: Margen SO del área de descanso ARS de la autopista.

Dimensiones: 15 x 15 x 1.

Morfología: Circular. Borde neto.

Evolución: Sólo se ha observado en campo en la actualidad, como un humedal.

C-3

Situación: Entre las líneas ferroviarias de Bilbao y de Madrid.

Dimensiones: 500 x 100

Morfología: Alargada. Borde neto.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1946 y 1982. Actualmente rellena y nivelada.

C-4

Situación: Dos posibles dolinas al norte del ferrocarril Madrid-Zaragoza, junto a la acequia de la Almozara.

Dimensiones: 70 x 40.

Morfología: Contorno en "ocho". Borde neto.

Evolución: Observadas en la foto aérea de 1970. En campo se identifica una grieta vertical en una nave adyacente.

C-5

Situación: Junto a la autovía, en el margen oeste de la subzona

Dimensiones: 600 x 125.

Morfología: Alargada. Borde difuso.

Evolución: Observada en la foto aérea de 1946, 1957, 1970 y 1982.

C-6

Situación: Al pie de la autovía, después de la harinera y unos 250 m después de la urbanización Alameda.

Dimensiones: Tres núcleos de entre 5 y 8 metros de diámetro y una zona envolvente de 40 m.

Morfología: Circular. Bordes netos para los tres núcleos y difuso para el exterior.

Evolución: Vista en campo. En el borde SO hay una vivienda afectada por grietas.

C-7

Situación: Parte trasera de la harinera.

Dimensiones: No se pueden precisar.

Morfología: No se puede precisar.

Evolución: Se sospecha su existencia por evidencias de campo en zona urbanizada, como son algunas grietas en muros y ventanales posiblemente deformados.

C-8

Situación: Entre el margen sur del casco urbano de Casetas y el cementerio.

Dimensiones: 450 x 70.

Morfología: Alargada. Borde difuso.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1946, 1987 y 1993 en puntos contiguos. Hay indicios de una depresión actual en el campo, pero es difícil de diagnosticar debido a los retoques antrópicos.

C-9

Situación: Depresión dudosa con dos centros, en solar al este del cementerio.

Dimensiones: Dos centros de 40 m y 15 m de diámetro, respectivamente, y zona envolvente de 175 x 75.

Morfología: Bordes difusos.

Evolución: Vista sólo en campo.

C-10

Situación: Casa-cuartel de la Guardia Civil y edificios colindantes.

Dimensiones: 90 m de diámetro.

Morfología: Ovalada, algo asimétrica, con varios núcleos difícilmente diferenciables por encontrarse en el casco urbano y estar sometida a continuos retoques debido a su rápida evolución.

Evolución: A comienzos de los años 80 su actividad afectó gravemente a una vivienda y un taller, que hubieron de ser derribados. Otros contiguos que se mantuvieron muestran grietas en muros y badenes en las aceras. El cuartel de la Guardia Civil, que se construyó en parte sobre el mismo solar en el que se encontraban los edificios derribados, sufre desde hace casi diez años el hundimiento del suelo, que ha provocado graves daños estructurales en una de sus alas.

C-11

Situación: Polígono industrial al este de la subzona.

Dimensiones: Más de 500 m de longitud y 150 m de anchura.

Morfología: Alargada siguiendo el escarpe de la terraza T₂. Bordes difusos.

Evolución: Se ha visto en fotos aéreas desde 1946 hasta la actualidad. Actualmente muestra humedales y un relieve irregular.

C-12

Situación: Parte NO de la subzona, entre la variante y la autovía.

Dimensiones: Dentro de la subzona está incluida una zona deprimida de 50 x 50, pero a lo largo de *El Acequiazo* se prolonga una depresión de dimensiones hectométricas.

Morfología: Irregular. Bordes difusos.

Evolución: Vista en fotos aéreas desde 1946 hasta la actualidad.

C-13

Situación: 250 m al SE de *El Acequiazo*, al pie de la variante.

Dimensiones: 35 m de diámetro.

Morfología: Subcircular. Bordes difusos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1987. En la actualidad hay sospechas de su existencia basadas en el aspecto de la vegetación y la topografía.

C-14

Situación: 200 m al SE de la anterior, al pie de la variante.

Dimensiones: 45 x 30.

Morfología: Triangular. Bordes difusos.

Evolución: Vista en 1946. Actualmente no hay evidencias.

C-15

Situación: Contigua a C-14, al este de la misma.

Dimensiones: 120 x 40.

Morfología: Alargada. Bordes difusos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1987 y sospechas en la actualidad.

C-16

Situación: Al sur de las anteriores.

Dimensiones: 65 x 40.

Morfología: Una dolina neta de planta elíptica y borde neto incluida en una depresión alargada y laxa de bordes difusos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1984, 1987 y 1988.

C-17

Situación: Conjunto de hundimientos en un campo agrícola 150 m al NO del cementerio.

Dimensiones: Conjunto: 150 x 55. Dolinas individuales: 5 a 30 m de diámetro.

Morfología: Conjunto de hundimientos circulares de bordes netos. Envolvente alargada con bordes difusos.

Evolución: Se ha observado en la foto aérea de 1982 y hay sospechas en la actualidad.

C-18

Situación: Entre el cementerio y el casco urbano.

Dimensiones: 470 x 75

Morfología: Alargada con bordes difusos. Incluye tres zonas más deprimidas con bordes difusos.

Evolución: Cada uno de los centros se ha visto en las fotos aéreas de 1947, 1987 y 1993. En la actualidad ha sido retocado pero se observa un basculamiento en la superficie del suelo.

C-19

Situación: Rosario de dolinas al este y oeste del campo de fútbol ubicado detrás del cementerio.

Dimensiones: En su conjunto ocupan una longitud de 700 m y una anchura de hasta 200 m. Los hundimientos que se reconocen actualmente tienen 130 x 50 y 250 x 150, respectivamente.

Morfología: Alargada.

Evolución: Localizadas en las fotos aéreas desde 1946. A lo largo de los años el hundimiento se manifiesta en distintos puntos. Actualmente existe, al pie de la variante, una dolina en embudo con humedal y con una zona ligeramente hundida a su alrededor; asimismo, al sur del cementerio, un solar ligeramente hundido con agua.

C-20

Situación: Entre el conjunto anterior y la variante de Casetas.

Dimensiones: 90 x 55.

Morfología: Alargada. Borde difuso.

Evolución: Vista en la actualidad como una zona hundida con agua

C-21

Situación: Al pie de la variante, en la parte sur de la subzona.

Dimensiones: 70 x 50.

Morfología: Subcircular. Bordes netos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1970 y 1982.

C-22

Situación: Extremo sur de la zona, sobre la variante de Casetas.

Dimensiones: 100 x 50.

Morfología: Alargada. Bordes difusos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957. Actualmente está tapada por la traza de la variante, pero se observan grietas en algunos edificios de alrededor.

C-23

Situación: Contigua a C-22, al sur de ésta.

Dimensiones: 150 x 40.

Morfología: Alargada. Bordes difusos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957. En la actualidad se observa zona con agua.

SUBZONA GARRAPINILLOS.

G-1

Situación: Extremo norte de la subzona, en Los Llanos.
Dimensiones: 70 m de diámetro.
Morfología: Circular. Bordes netos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1988.

G-2

Situación: Al norte de la urbanización Torre Pinar.
Dimensiones: 50 x 45.
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.
Evolución: Observada en la foto aérea de 1957.

G-3

Situación: Entre la urbanización Torre Pinar y Los Llanos, a ambos lados del camino de Hijueta de Lorente.
Dimensiones: 400 x 200.
Morfología: Es un conjunto de dos dolinas de morfología irregular. La que se sitúa más al oeste comprende en su interior una zona más deprimida. Bordes difusos.
Evolución: Observada en las fotos aéreas de 1986 y 1988.

G-4

Situación: La Bodega.
Dimensiones: 240 x 70.
Morfología: Ovalada. Bordes netos
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1988 y 1993.

G-5

Situación: Torre del Barranco.
Dimensiones: 150 x 80.
Morfología: Alargada. Bordes difusos.
Evolución: Observada en la foto aérea de 1957.

G-6

Situación: Entre la Torre del Barranco y las Chispas.
Dimensiones: 200 x 70.
Morfología: Alargada. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

G-7

Situación: Las Chispas.
Dimensiones: 60 x 50.
Morfología: Circular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1987.

G-8

Situación: Sobre el límite NE de la subzona.
Dimensiones: 300 x 300.
Morfología: Irregular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en fotos aéreas de 1957, 1970, 1987 y 1988. Actualmente los edificios colindantes presentan grietas pero éstas no son concluyentes.

G-9

Situación: Entre el Cilindro y la Torre del Barranco.

Dimensiones: 520 x 300.

Morfología: Depresión irregular ligeramente alargada y de bordes difusos, que presenta en su interior dos núcleos subredondeados, uno con los bordes difusos y el otro con los bordes netos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1988. En 1986 ocupaba una zona más amplia y difusa. En la actualidad se observa una zona ligeramente deprimida al oeste de esta dolina.

G-10

Situación: Al este de la Sagrada.
Dimensiones: 120 x 60.
Morfología: Dos depresiones circulares unidas. Bordes netos.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1987 y 1988 y en la actualidad sobre el terreno.

G-11

Situación: Urbanización Torre de las Monjas.
Dimensiones: 65 x 50.
Morfología: Circular. Bordes netos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1988.

G-12

Situación: Al oeste del barrio de la Clavería.
Dimensiones: 150 x 100.
Morfología: Alargada. Bordes difusos.
Evolución: Observada en la foto aérea de 1957. En la actualidad se observan grietas en algunas tapias de edificaciones en su interior.

G-13

Situación: Barrio de Clavería.
Dimensiones: 400 x 120.
Morfología: Alargada. Bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1957, 1970, 1988 y 1993. En la actualidad es una zona ligeramente deprimida.

G-14

Situación: Urbanización de los Albergeros.
Dimensiones: 60 x 50.
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1993.

G-15

Situación: Al sur de la Urbanización de los Albergeros.
Dimensiones: 175 x 75.
Morfología: Alargada. Bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1957, 1970 y 1993.

G-16

Situación: La Carretería.
Dimensiones: 60 m de diámetro.
Morfología: Circular. Bordes netos.
Evolución: Observada en la foto aérea de 1957.

G-17

Situación: Conjunto de dos depresiones al sur de la urbanización de los Albergeros y 200 m al norte del casco urbano.
Dimensiones: 300 x 200.
Morfología: Una depresión es alargada y la otra irregular, Ambas con bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1987 y 1993.

G-18

Situación: 200 m al este de la Carretería.
Dimensiones: 150 x 100.
Morfología: Irregular. Bordes difusos.
Evolución: Vista con distintas formas en las fotos aéreas de 1957, 1986 y 1993.

G-19

Situación: Junto a la urbanización Torre de las Monjas.
Dimensiones: 140 x 70.
Morfología: Alargada. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1988.

G-20

Situación: En el margen este de la zona. Al SE de la urbanización Torre de las Monjas.
Dimensiones: 125 x 100.
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1946. En la actualidad se observa una amplia zona deprimida de bordes difusos.

G-21

Situación: 150 m al sur de Codera del Valenciano, en Torre Cascante.
Dimensiones: 180 x 160.
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1993 y en la actualidad.

G-22

Situación: Codera del Valenciano.
Dimensiones: 80 x 90.
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1988. En la actualidad no se aprecia en el terreno.

G-23

Situación: 250 m al SE de Codera del Valenciano.
Dimensiones: Diámetro de 100 m.
Morfología: Circular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1986, 1987 y 1993.

G-24

Situación: Al oeste del casco urbano. En la confluencia de los caminos de Clavería y Ganaderos.
Dimensiones: 150 x 120.
Morfología: Subcircular. Bordes netos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1986, 1987 y 1993.

G-25

Situación: En el casco urbano de Garrapinillos.
Dimensiones: No pueden estimarse.
Morfología: No puede precisarse.
Evolución: Sospechas a partir de la observación de grietas actuales en edificios.

G-26

Situación: 80 m al este del casco urbano de Garrapinillos.
Dimensiones: 60 x 50.
Morfología: Subcircular. Bordes netos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1957, 1970 y 1993.

G-27

Situación: Extremo NE del casco urbano.
Dimensiones: 150 x 85.
Morfología: Ovalada. Bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1986, 1987, 1988 y 1993.

G-28

Situación: 200 m al este del casco urbano.
Dimensiones: 100 x 65.
Morfología: Irregular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1970.

G-29

Situación: 300 m al norte de San Lamberto, junto al margen oeste del camino de la Espinilla.
Dimensiones: 450 x 250 x 8.
Morfología: Zona ligeramente deprimida de planta cuadrangular. Bordes difusos.
Evolución: Distintos núcleos sospechosos de hundimiento observados en las fotos aéreas de 1946, 1957 y 1988. En la actualidad se observa una amplia zona deprimida de bordes difusos.

G-30

Situación: Entre el camino de la Espinilla y la acequia de San Lamberto.
Dimensiones: 125 x 110.
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.
Evolución: Observada en las fotos aéreas de 1946 y 1988.

G-31

Situación: Al este de la zona, entre el camino de la Espinilla y el camino de Asirón.
Dimensiones: 5 m de diámetro.
Morfología: Circular. Bordes netos.
Evolución: Vista sólo en campo en la actualidad.

G-32

Situación: Al Sur del camino de Cascante y junto al margen oeste de la subzona.
Dimensiones: 300 x 75.
Morfología: Irregular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1957 y 1986.

G-33

Situación: En Contracanal del Valenciano.
Dimensiones: 300 x 125.
Morfología: Dos núcleos subcirculares ligeramente enlazados. Bordes difusos.
Evolución: Observada en las fotos aéreas de 1986, 1987 y 1993. En la actualidad se distingue una zona ligeramente deprimida en su parte oriental.

G-34

Situación: 200 m al este de Contracanal del Valenciano.
Dimensiones: 280 x 160.
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1957, y con dimensiones más reducidas en 1988. En la actualidad se observa una amplia depresión sospechosa de bordes difusos.

G-35

Situación: 150 m al SE de Contracanal del Valenciano.
Dimensiones: 120 x 100.
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.

Evolución: Observada en la foto aérea de 1988. En la actualidad aparece como una zona ligeramente deprimida y con bordes difusos.

G-36

Situación: 200 m al oeste de la urbanización Conde Fuentes, junto al camino de la dehesa.

Dimensiones: 425 x 240.

Morfología: Alargada, con un núcleo menor de hundimiento en su interior. Bordes difusos.

Evolución: Observada en la foto aérea de 1957.

G-37

Situación: Margen este del camino Merenchel Sagrada.

Dimensiones: Núcleo de 35 m de diámetro y una envolvente de 300 x 225.

Morfología: Núcleo circular y envolvente irregular. Bordes difusos.

Evolución: Vista sólo en el campo.

G-38

Situación: 150 m al norte de la urbanización Conde Fuentes.

Dimensiones: 130 x 45.

Morfología: Irregular. Bordes difusos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

G-39

Situación: Al este del Barrio del Cañón.

Dimensiones: 100 x 30.

Morfología: Ligeramente arriñonada. Bordes difusos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

G-40

Situación: Margen SO de la zona, entre el canal y el camino de Bárboles.

Dimensiones: Diámetro de 40 m.

Morfología: Circular. Bordes netos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1957. En el campo se observan diferencias en la vegetación, suelo rellenado y allanado y grietas en una tapia cercana.

G-41

Situación: 250 m al SO de Contra canal del Valenciano.

Dimensiones: 160 x 65.

Morfología: Irregular. Bordes difusos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957 y actualmente en el campo.

G-42

Situación: Margen sur de la urbanización Conde Fuentes.

Dimensiones: 125 x 40.

Morfología: Alargada. Bordes difusos.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1957, 1970, 1986 y 1988.

G-43

Situación: Entre la urbanización Conde Fuentes y el Barrio del Cañón.

Dimensiones: 120 x 50.

Morfología: Alargada. Bordes difusos.

Evolución: Observada en la foto aérea de 1986.

SUBZONA MIRALBUENO.

M-1

Situación: Carretera del aeropuerto, a 350 m de la autovía de Logroño.

Dimensiones: 110 x 105.

Morfología: Depresión cuadrangular que incluye un centro circular. Bordes netos.

Evolución: Vista en foto aérea de 1946, 1957, y 1970. Actualmente explanado.

M-2

Situación: 50 m al norte del campo de fútbol, al pie de la autopista.

Dimensiones: 75 m de diámetro.

Morfología: Circular. Borde con escarpe.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957.

M-3

Situación: Entre la autopista y el casco urbano.

Dimensiones: 100 x 120.

Morfología: Irregular. Borde difuso.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

M-4

Situación: Junto al campo de fútbol de Miralbueno.

Dimensiones: Diámetro de 30 m.

Morfología: Circular. Borde neto.

Evolución: En la actualidad se observa el muro externo del campo de fútbol combado y agrietado.

M-5

Situación: Margen sur del casco urbano.

Dimensiones: 75 x 35.

Morfología: Alargada. Bordes netos.

Evolución: Observada en la actualidad en un maizal inmediato a la zona urbanizada.

M-6

Situación: Margen sur del casco urbano.

Dimensiones: Núcleos de 10 m de diámetro y envolvente de 50 m.

Morfología: Dolina circular. Envolvente difusa y núcleos de bordes netos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1986. En la actualidad se observan perfectamente dos centros de hundimiento y la depresión laxa envolvente.

M-7

Situación: En el margen este de la subzona, a 300 m del camino de Épila.

Dimensiones: 90 x 70.

Morfología: Circular. Bordes difusos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1987. En la actualidad el terreno se encuentra algo rebajado pero los síntomas de hundimiento no son claros.

M-8

Situación: Al pie de la autopista, junto a la acequia de Cadeiro.

Dimensiones: Diámetro de 30 m.

Morfología: Circular. Borde escarpado.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957. En la actualidad se observa la depresión con cierta claridad.

M-9

Situación: 120 m al SE de la autopista y 200 m al SO del campo de fútbol.
Dimensiones: Diámetro de 60 m.
Morfología: Circular. Bordes netos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1957.

M-10

Situación: 50 m al sur del campo de fútbol.
Dimensiones: 75 x 50.
Morfología: Alargada. Bordes netos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1986 y 1988. El campo de cultivo en el que se encuentra sufre, según testigos directos, continuos rehundimientos.

M-11

Situación: Entre la acequia del Cadeiro y la Torre Carceller.
Dimensiones: Diámetro de 30 m.
Morfología: Circular. Borde con escarpes.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1946.

M-12

Situación: Junto a la acequia del Cadeiro.
Dimensiones: 50 x 45.
Morfología: Irregular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1970.

M-13

Situación: 200 m al sur de la anterior.
Dimensiones: 35 x 30.
Morfología: Circular. Bordes difusos.
Evolución: Según testimonios actuales se trata de una zona que se hunde y se rellena continuamente.

M-14

Situación: A unos 300 m al NNW de la intersección entre la acequia del Caidero y el camino de Borgas.
Dimensiones: 150 x 70.
Morfología: Alargada con dos centros de hundimiento circulares. Bordes difusos.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1986 y 1987.

M-15

Situación: A unos 300 m al N de la intersección entre la acequia del Caidero y el camino de Borgas.
Dimensiones: 110 x 80, 60 x 45 y 65 x 25.
Morfología: Formas irregulares. Bordes difusos.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1946 y 1986.

M-16

Situación: 200 m al sur de la bifurcación del camino de Épila y la acequia del Cadeiro.
Dimensiones: 100 x 80
Morfología: Subcircular. Bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

M-17

Situación: 250 m al norte de El Buro.
Dimensiones: 140 x 130.

Morfología: Depresión irregular de bordes difusos que incluye tres centros circulares de bordes netos y uno alargado con bordes difusos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

M-18

Situación: Conjunto de una depresión grande y, al menos, cuatro dolinas pequeñas en la zona de La Mangranera.
Dimensiones: Depresión grande: 400 x 280. Dolinas pequeñas de diámetro en torno a 25 m.
Morfología: La depresión mayor es irregular con bordes difusos. Las depresiones pequeñas son circulares y con borde neto.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1986 y 1987. Actualmente hay evidencias de hundimiento en al menos dos de ellas, que afectan a una granja de cerdos en estado de cuasi ruina.

M-19

Situación: Al este del camino de Borgas y de la Mangranera.
Dimensiones: Diámetro de 80 m.
Morfología: Circular. Bordes difusos.
Evolución: En la actualidad se observa una depresión sospechosa en un campo de maíz.

M-20

Situación: Margen este de la zona, al sur de la acequia del Plano.
Dimensiones: Diámetro de 60 m.
Morfología: Circular. Bordes netos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1957.

M-21

Situación: Conjunto de tres dolinas al oeste de El Buro.
Dimensiones: Diámetros de 40, 50 y 60 m, respectivamente.
Morfología: Circulares. Borde con escarpe.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1946, 1957 y 1970.

M-22

Situación: Conjunto de dos dolinas en El Buro.
Dimensiones: 250 x 40 y 150 x 70.
Morfología: Alargadas. Bordes difusos.
Evolución: Vistas en las fotos aéreas de 1986.

M-23

Situación: Junto a la margen sur del Canal Imperial.
Dimensiones: 80 x 60.
Morfología: Alargada. Borde con escarpe.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1986, 1987 y 1988.

M-24

Situación: Junto a la margen sur del Canal Imperial.
Dimensiones: 140 x 80.
Morfología: Una depresión irregular con escarpe que incluye un centro con varios escarpes.
Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946, 1957, 1970, 1986 y 1987.

M-25

Situación: Junto a la margen norte del Canal Imperial.
Dimensiones: 40 x 20.
Morfología: Subcircular. Bordes netos.
Evolución: Vista en la foto aérea de 1986.

M-26

Situación: Entre el camino de la ribera del Jalón y el Canal Imperial.

Dimensiones: 10 x 10 x 4.

Morfología: Circular. Con escarpe.

Evolución: Vista en la actualidad en el campo. Muestra rehundimiento reciente.

M-27

Situación: Conjunto de tres depresiones entre el camino de la ribera del Jalón y el Canal Imperial.

Dimensiones: Conjunto: 150 x 100. La depresión mayor tiene dimensiones 150 x 50; las otras, 50 x 40 y 20 x 20.

Morfología: La depresión mayor es alargada con bordes difusos. Las otras dos son circulares, una con bordes netos y otra con escarpe.

Evolución: Vistas en la foto aérea de 1946. Actualmente se observan en el suelo grietas y escalones recientes sin cubrir.

M-28

Situación: Campo de Albergeros 200 m al sur de El Montón.

Dimensiones: 2 x 2 x 0.5.

Morfología: Circular. Borde escarpado.

Evolución: Observada en la actualidad sobre el terreno, con grietas de hundimiento reciente.

M-29

Situación: Junto a la carretera de Madrid, en el tramo que discurre contigua al Canal Imperial.

Dimensiones: 10 x 10 x 2.

Morfología: Circular. Borde con escarpe.

Evolución: Según testimonios directos, hace 10-15 años se rellenó y actualmente se ha rehundido.

M-30

Situación: Junto a Industrias del Cartonaje, en el extremo SE de la subzona.

Dimensiones: 35 x 35 x 3.

Morfología: Circular. Bordes netos.

Evolución: Vista en campo en la actualidad.

M-31

Situación: Extremo SE de la subzona.

Dimensiones: 75 x 55.

Morfología: Subcircular. Bordes con escarpe.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1956, 1957 y 1970.

M-32

Situación: Junto a la carretera de Madrid, en el extremo SE de la subzona.

Dimensiones: Diámetro de 70 m.

Morfología: Circular. Bordes difusos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1987.

M-33

Situación: Orilla norte del camino de la ribera del Jalón.

Dimensiones: 65 x 55.

Morfología: Alargada. Borde neto.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1946. Actualmente deprimida y encharcada.

M-34

Situación: Junto a la carretera de Madrid, a 500 m del enlace con el camino de la ribera del Jalón.

Dimensiones: Diámetro de 50 m.

Morfología: Circular. Borde neto.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1987.

M-35

Situación: Junto a la carretera de Madrid, a 100 m del enlace con el camino de la ribera del Jalón.

Dimensiones: Diámetro de 60 m.

Morfología: Circular. Borde neto.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1946, pero de forma no concluyente.

SUBZONA MONZALBARBA.

MON-1

Situación: Junto al río Ebro.

Dimensiones: 80 x 60.

Morfología: Subcircular. Borde neto con escarpe.

Evolución: Vista en las fotos aéreas de 1946 y 1957, aunque de forma no concluyente (podría haber sido una antigua gravera). En la actualidad el terreno está removilizado y explanado.

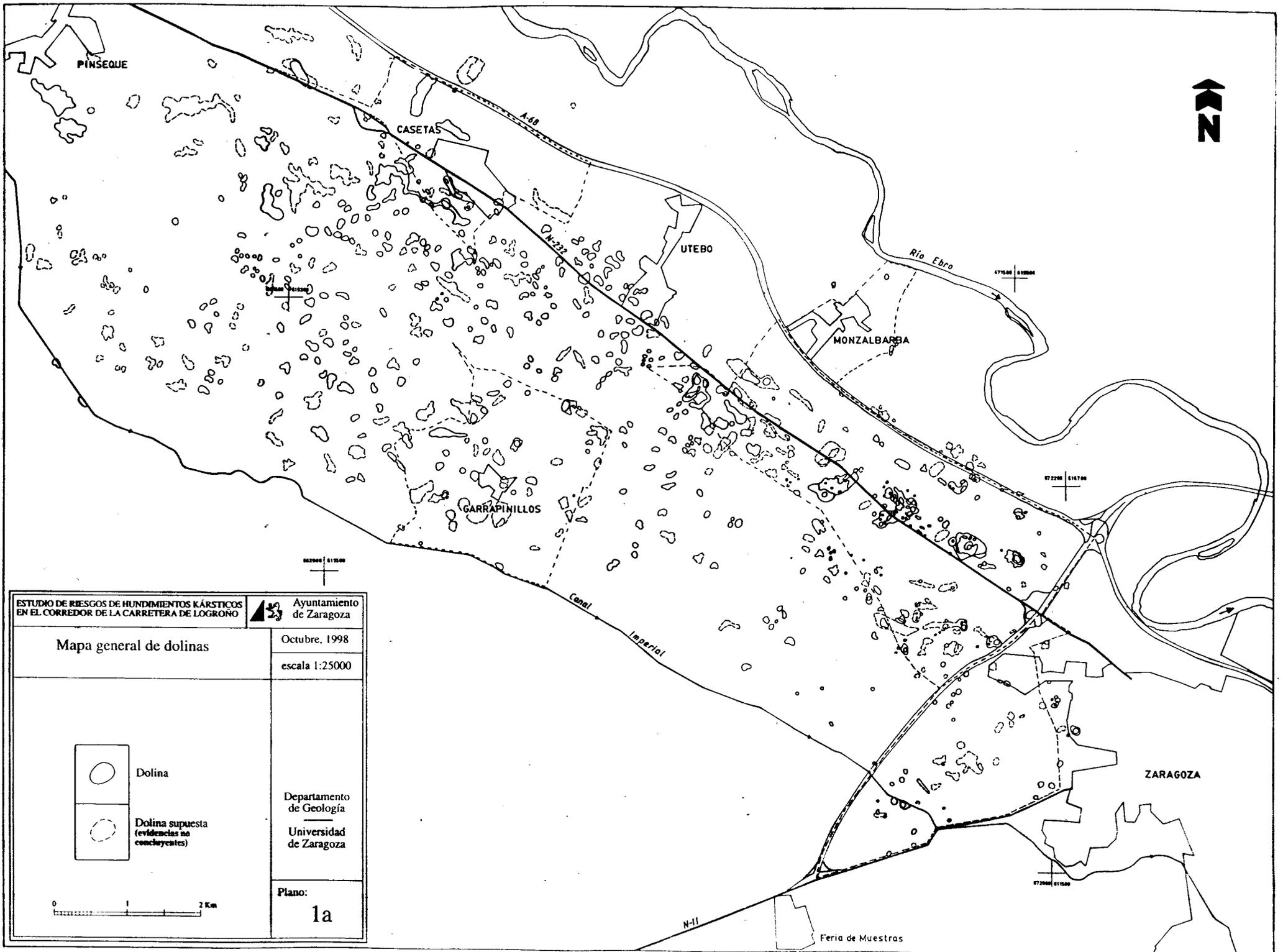
MON-2

Situación: Margen este de la subzona, 80 m al sur de la Plana Alta.

Dimensiones: 125 x 20.

Morfología: Alargada. Bordes difusos.

Evolución: Vista en la foto aérea de 1982. En campo se ve una zona algo rehundida y con vegetación de humedal.



ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS
EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO



Ayuntamiento
de Zaragoza

Mapa general de dolinas

Octubre, 1998

escala 1:25000



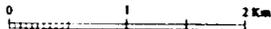
Dolina

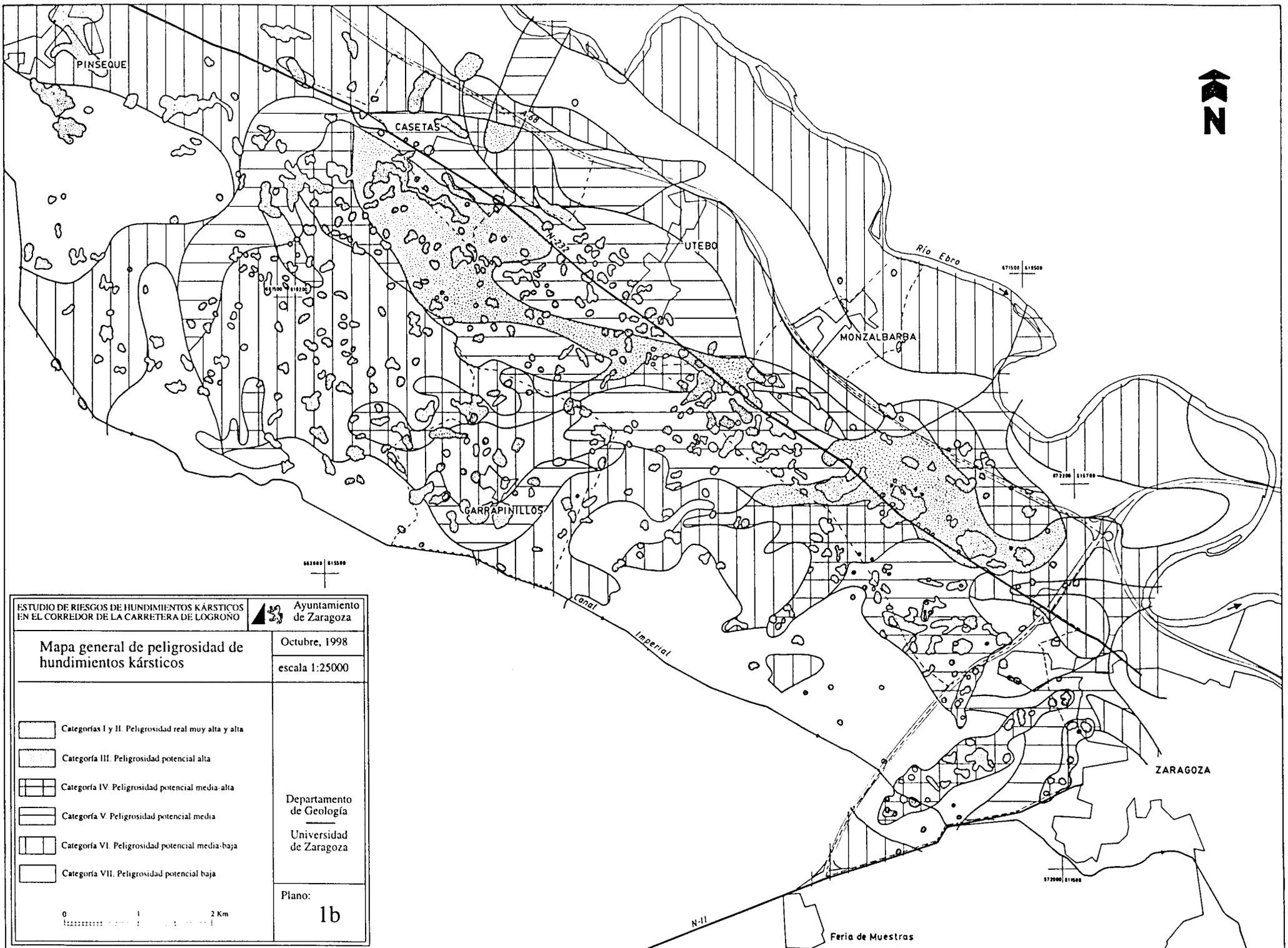
Dolina supuesta
(evidencias no
concluyentes)

Departamento
de Geología
Universidad
de Zaragoza

Plano:

1a





ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO		Ayuntamiento de Zaragoza	
Mapa general de peligrosidad de hundimientos kársticos		Octubre, 1998	
		escala 1:25000	
	Categorías I y II. Peligrosidad real muy alta y alta	Departamento de Geología Universidad de Zaragoza	
	Categoría III. Peligrosidad potencial alta		
	Categoría IV. Peligrosidad potencial media-alta		
	Categoría V. Peligrosidad potencial media		
	Categoría VI. Peligrosidad potencial media-baja		
	Categoría VII. Peligrosidad potencial baja	Plano:	1b

ANEXO 2
FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1.

Naves industriales en estado de ruina en el Polígono Europa. La nave situada al fondo (COBRE, S.A.) presenta toda su estructura combada por el hundimiento de una dolina en la zona central. La nave en primer término se encuentra basculada hacia la izquierda por el hundimiento de otra pequeña dolina situada bajo su fachada anterior. Grupos de dolinas nº 55 en la subzona *Autovía*.

FOTOGRAFÍA 2.

Detalle de los daños en la fachada de la nave de COBRE, S.A. El centro de hundimiento se sitúa hacia la derecha de la imagen. Grupo de dolinas nº 55 en la subzona *Autovía*.

FOTOGRAFÍA 3.

Fachada de nave industrial dañada por el hundimiento reciente (en torno a 1993) de una dolina en el Polígono Europa. La zona es contigua a la representada en las fotografías anteriores. Grupo de dolinas nº 55 en la subzona *Autovía*.

FOTOGRAFÍA 4.

Interior de la nave industrial representada en la fotografía anterior. La dolina ha colapsado la solera de la nave, además de dañar la estructura y los muros. Grupo de dolinas nº 55 en la subzona *Autovía*.

FOTOGRAFÍA 5.

Pequeña dolina de colapso en un campo de cultivo. El escarpe curvo muestra una superficie estriada producto del último rehundimiento. Corresponde al hundimiento activo localizado en el borde norte de la depresión nº 104 de la subzona *Miralbueno*.

FOTOGRAFÍA 6.

Granja porcina situada en la zona de La Mangranera, al sur de Miralbueno. Se encuentra afectada por varias dolinas en su interior y en el entorno, con amenaza de ruina evidente. Las dolinas activas corresponden al grupo nº 18 de la subzona *Miralbueno*.

FOTOGRAFÍA 7.

Dolina de bordes escarpados inundada por las aguas freáticas, en un campo de cultivo al norte del Polígono Europa (nº 52 de la subzona *Autovía*).

FOTOGRAFÍA 8.

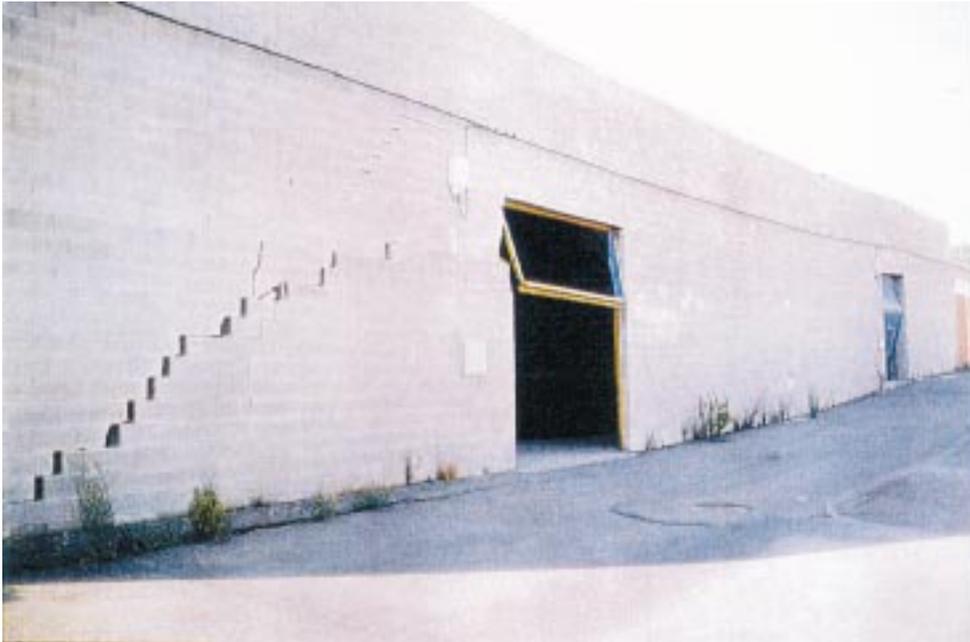
Dolina de grandes dimensiones, en estado natural e inundada permanentemente, junto a la Torre del Chocolatero (zona de la Venta del Olivar). Es la más meridional del grupo de dolinas nº 61 de la subzona *Autovía*, y una de las que se recomienda conservar en su estado actual.



1



2



3



4



5



6



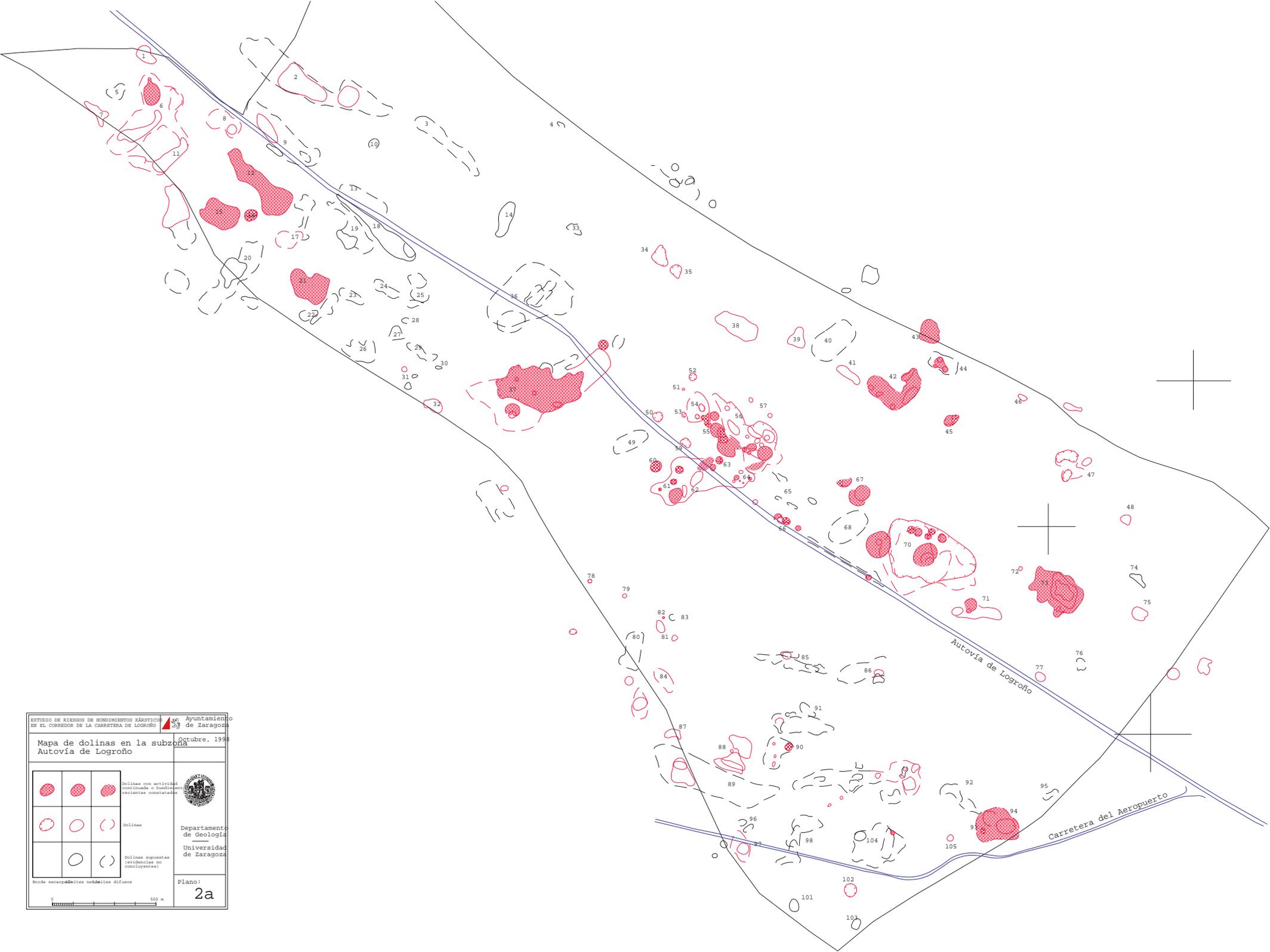
7



8

ANEXO 3
PLANOS

PLANOS REDUCIDOS
(ORIGINALES EN COLOR A ESCALA 1/5.000)



ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS CÁRSICOS EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO

Mapa de dolinas en la subzona Autovía de Logroño

10 de Octubre, 1998

Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza

Plano: 2a

500 m

			Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados
			Dolinas
			Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)

Escala gráfica: 0 a 500 m

Ayuntamiento de Zaragoza

ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS EN EL CONSORCIO DE LA CARRETERA DE LOGROÑO

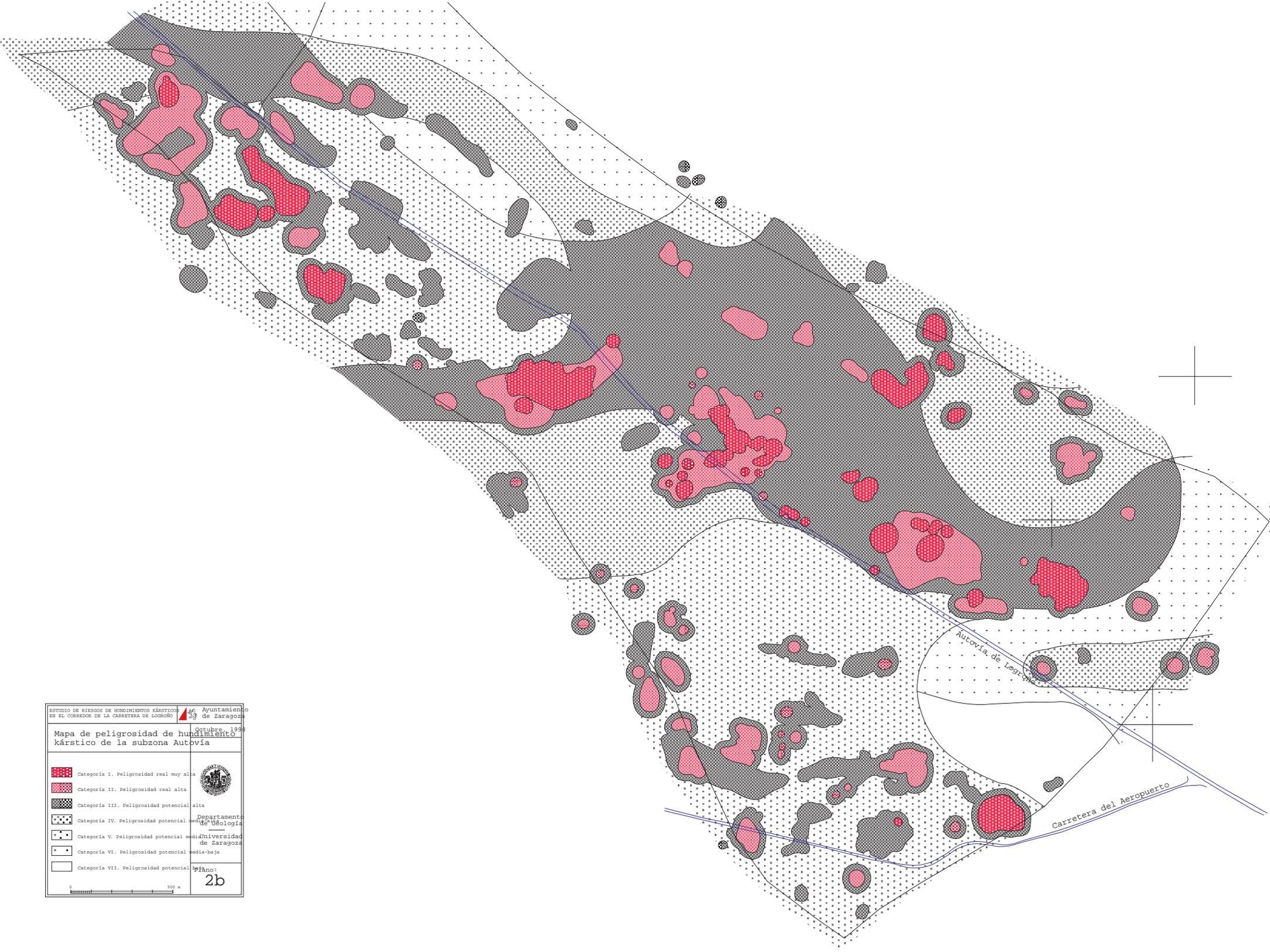
Mapa de peligrosidad de hundimiento kárstico de la subzona Autovía

16 Ayuntamiento de Zaragoza
 33 de Zaragoza
 diciembre 1998

Departamento de Geología
 Universidad de Zaragoza
 plano: 2b

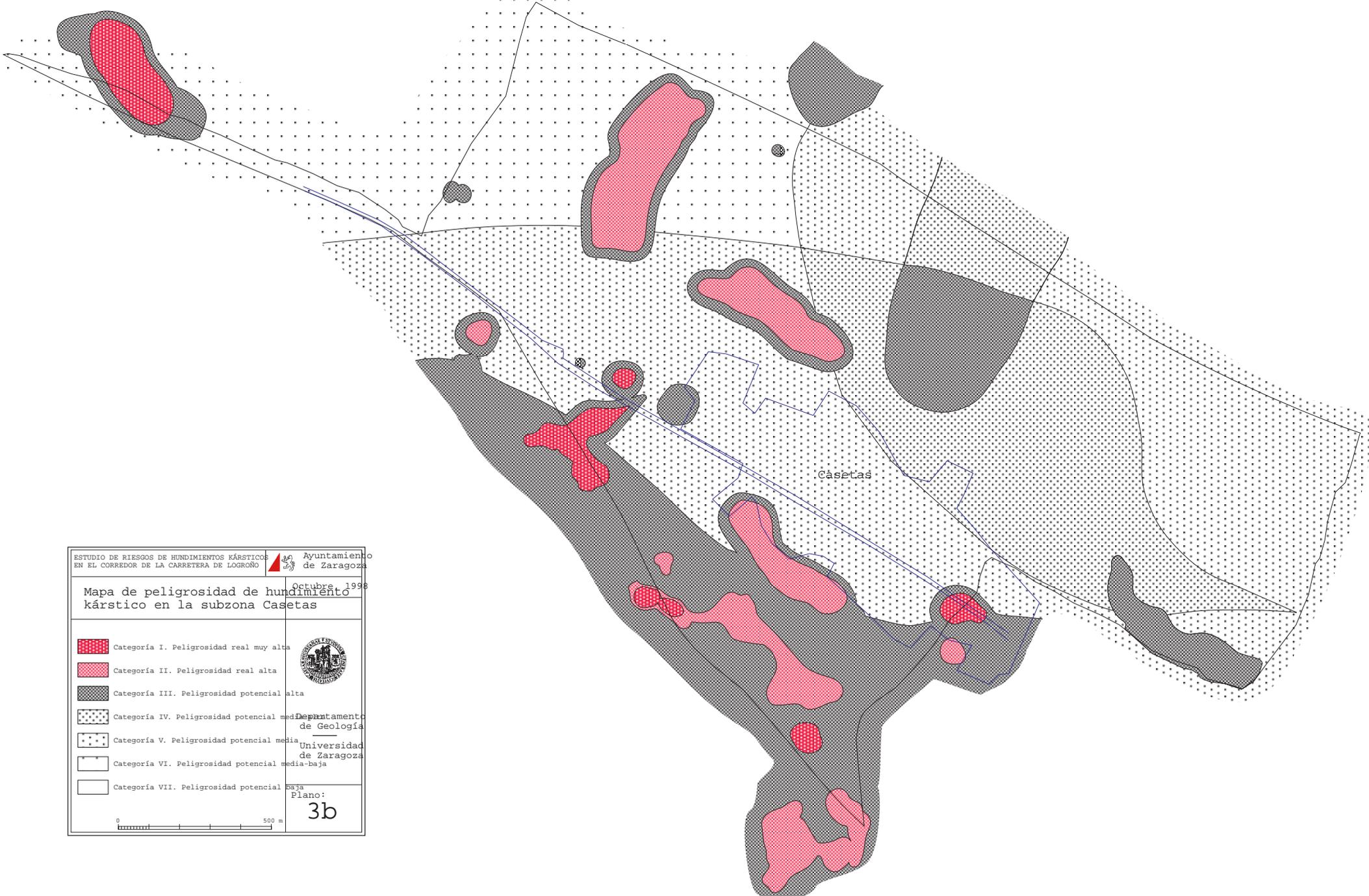
	Categoría I. Peligrosidad real muy alta
	Categoría II. Peligrosidad real alta
	Categoría III. Peligrosidad potencial alta
	Categoría IV. Peligrosidad potencial media-alta
	Categoría V. Peligrosidad potencial media
	Categoría VI. Peligrosidad potencial media-baja
	Categoría VII. Peligrosidad potencial baja

0 500 m





ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO		 Ayuntamiento de Zaragoza												
Mapa de dolinas en la subzona Casetas														
<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Dolinas</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)</td> </tr> </table>					Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados				Dolinas				Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)	 Departamento de Geología Universidad de Zaragoza
			Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados											
			Dolinas											
			Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)											
Borde escarpado límites netos límites difusos														
		Plano: 3a												



ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO		Ayuntamiento de Zaragoza	
Mapa de peligrosidad de hundimiento kárstico en la subzona Casetas		Octubre, 1998	
	Categoría I. Peligrosidad real muy alta	Departamento de Geología Universidad de Zaragoza	Esja Plano: 3b
	Categoría II. Peligrosidad real alta		
	Categoría III. Peligrosidad potencial alta		
	Categoría IV. Peligrosidad potencial media		
	Categoría V. Peligrosidad potencial media-baja		
	Categoría VI. Peligrosidad potencial baja		
	Categoría VII. Peligrosidad potencial muy baja		



Octubre, 1998

Mapa de dolinas en la subzona Garrapiniillos

Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados

Dolinas

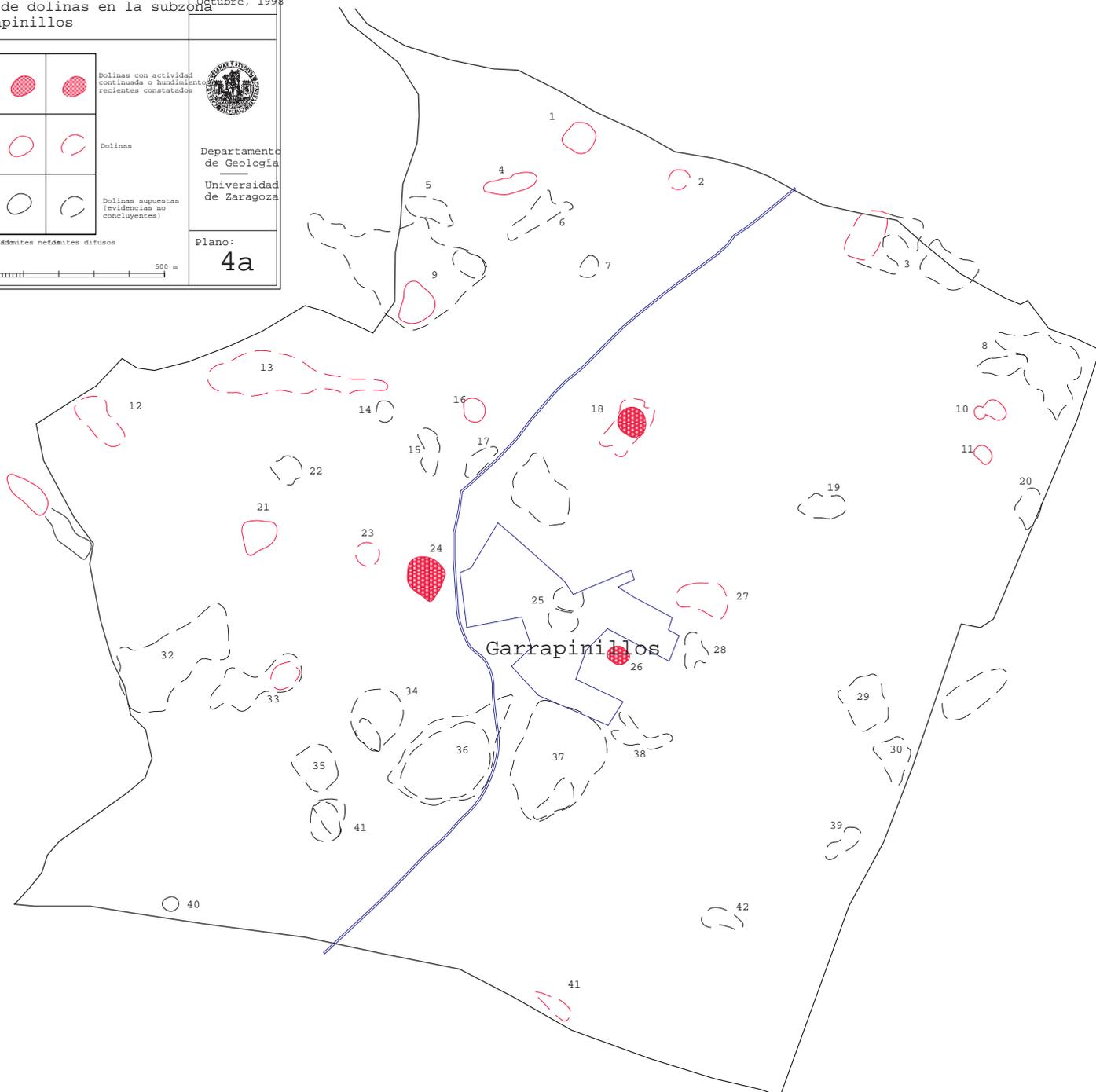
Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)



Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza

Plano: 4a

Borde escarpado límites difusos

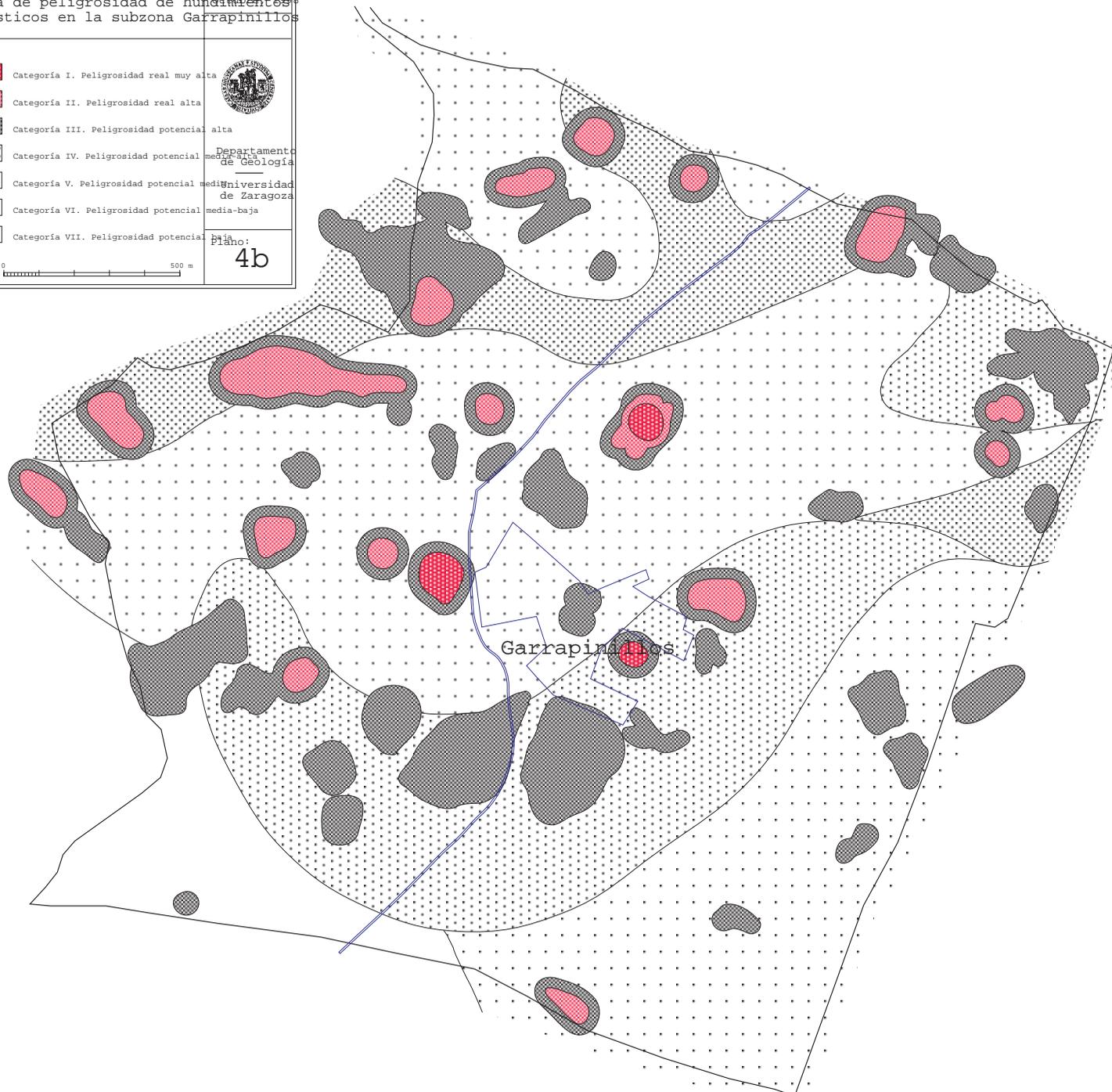


Mapa de peligrosidad de hundimientos kársticos en la subzona Garrapinillos

	Categoría I. Peligrosidad real muy alta
	Categoría II. Peligrosidad real alta
	Categoría III. Peligrosidad potencial alta
	Categoría IV. Peligrosidad potencial media-alta
	Categoría V. Peligrosidad potencial media-baja
	Categoría VI. Peligrosidad potencial baja
	Categoría VII. Peligrosidad potencial muy baja

Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza

Plano: 4b





Mapa de dolinas en la subzona Miralbueno

Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados



Dolinas

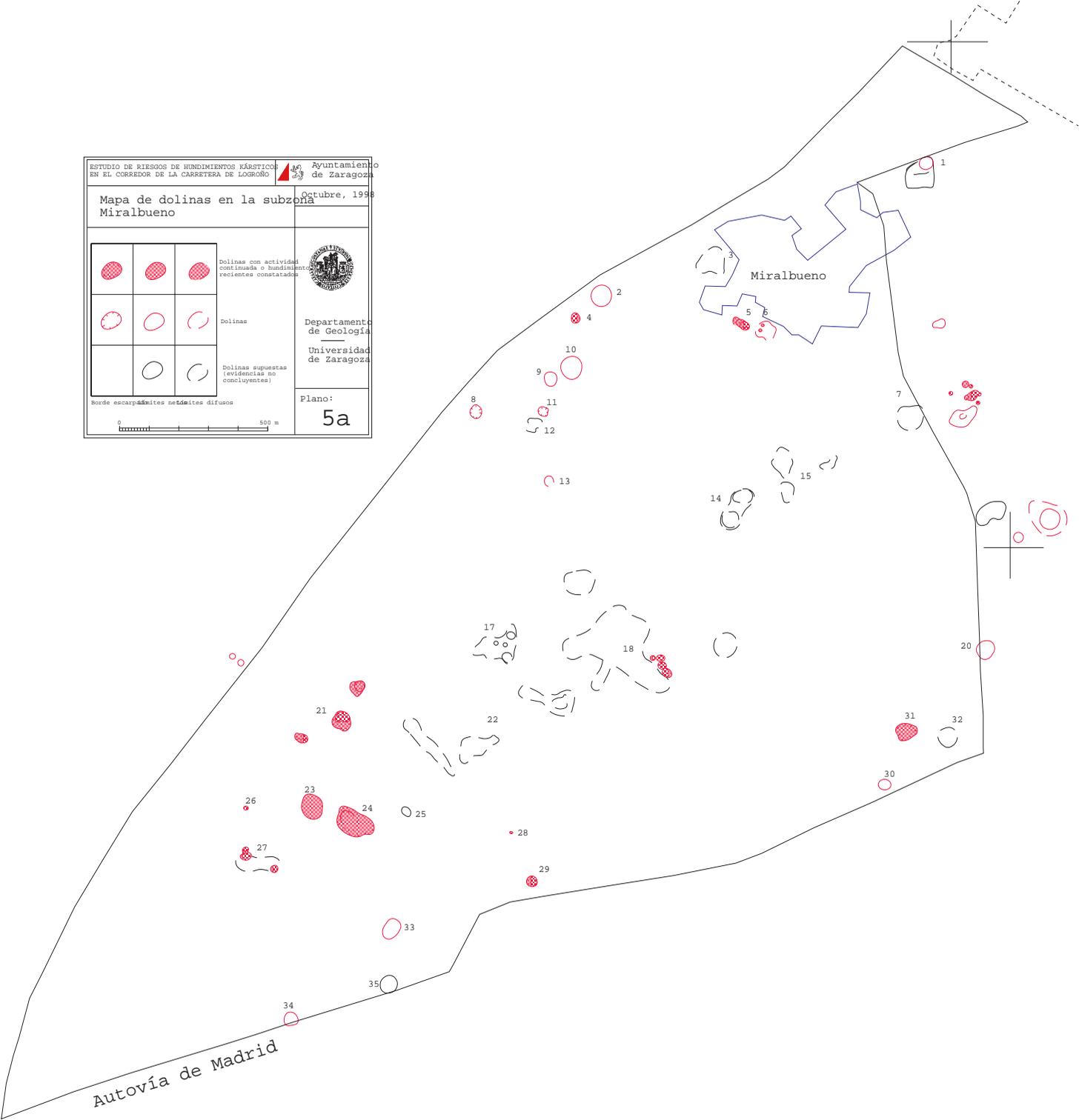
Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza

Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)

Plano:

5a

Borde escarpado de dolinas difusas



Mapa de peligrosidad de hundimiento kárstico en la subzona Miralbueno

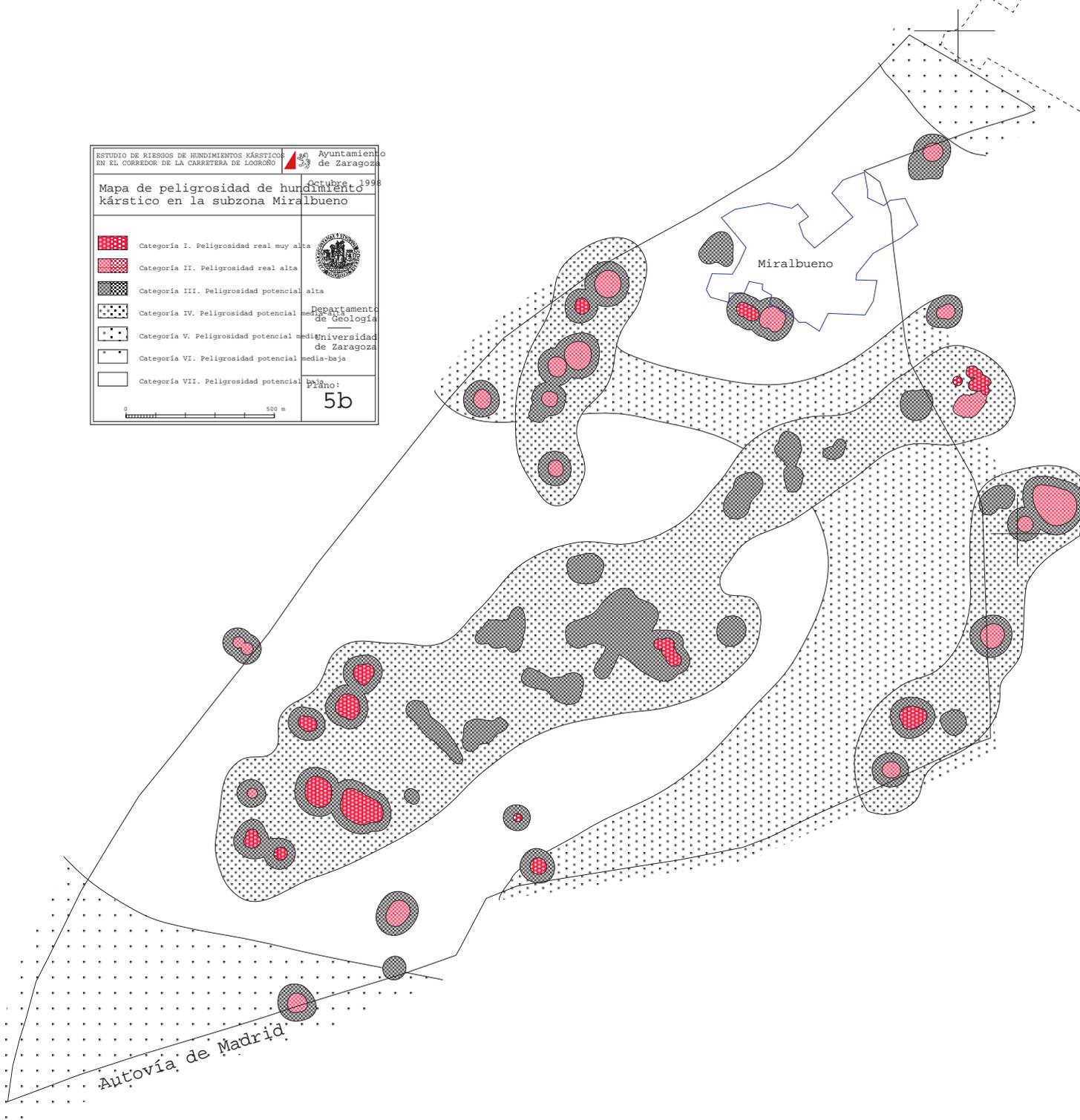
	Categoría I. Peligrosidad real muy alta
	Categoría II. Peligrosidad real alta
	Categoría III. Peligrosidad potencial alta
	Categoría IV. Peligrosidad potencial media-alta
	Categoría V. Peligrosidad potencial media
	Categoría VI. Peligrosidad potencial media-baja
	Categoría VII. Peligrosidad potencial baja

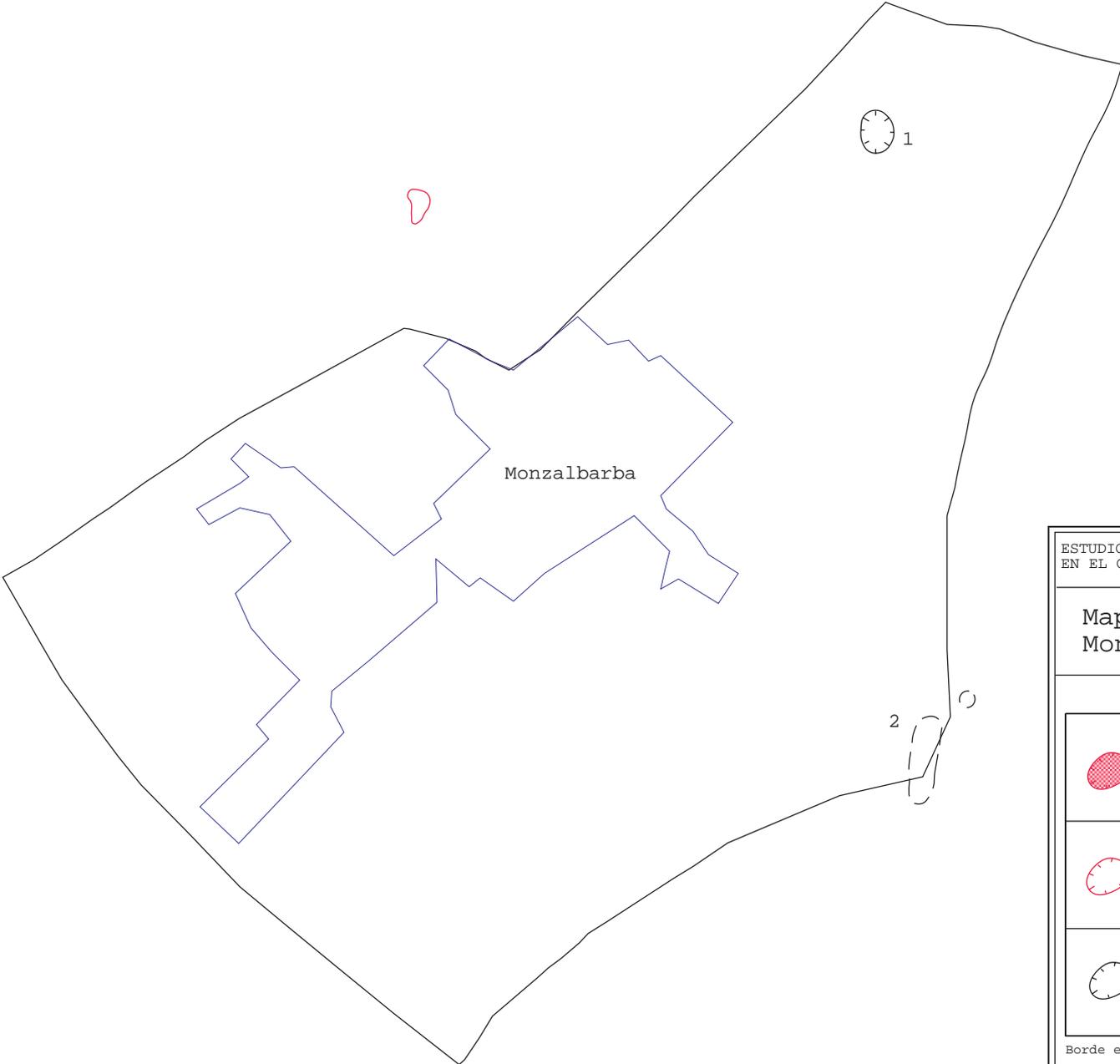
500 m

Plano: 5b



Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza





ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO  Ayuntamiento de Zaragoza

Mapa de dolinas en la subzona Monzalbarba

Octubre, 1988

Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados

Dolinas

Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)

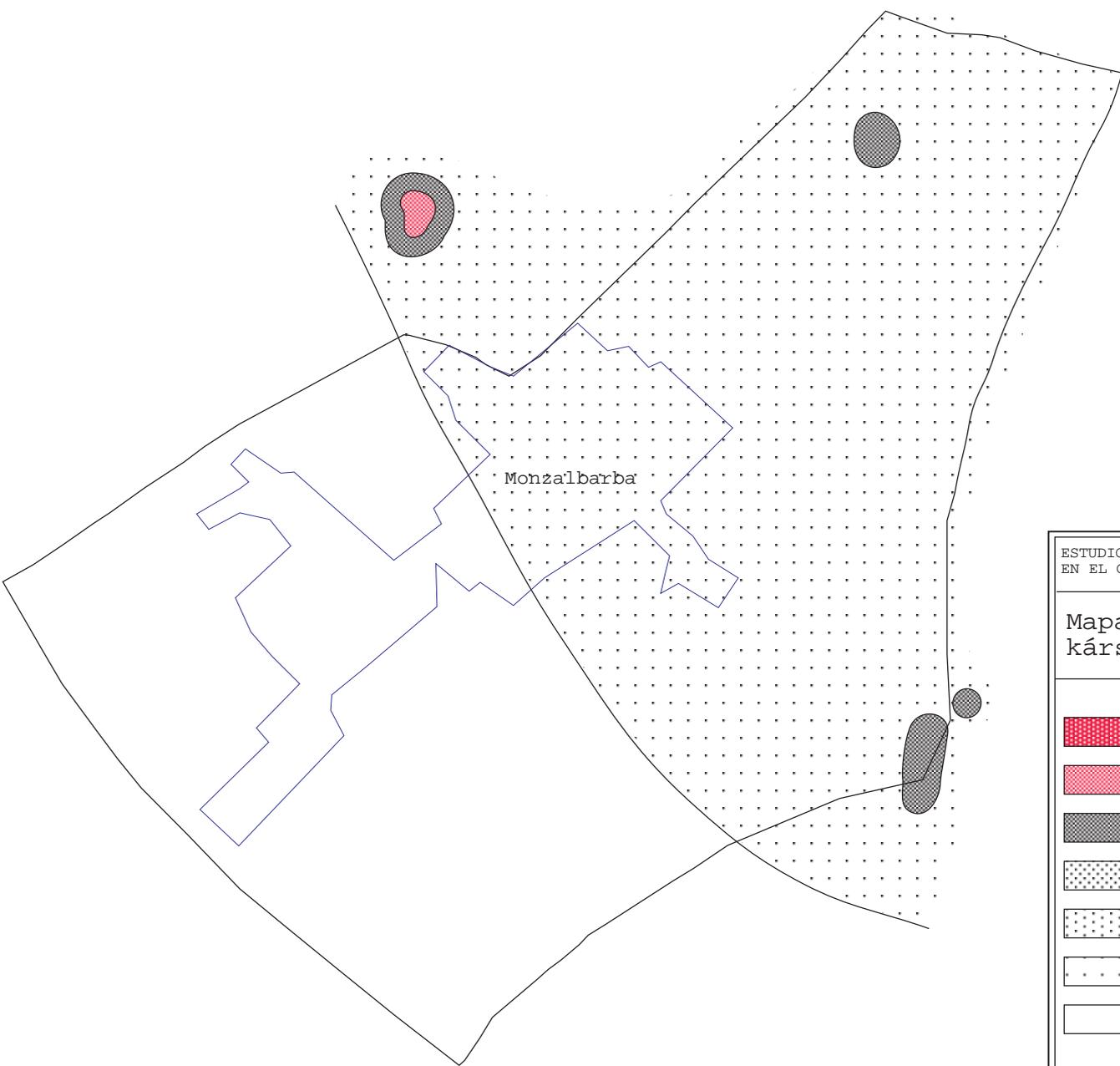
Borde escarpado Borde difuso



Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza

Plano:

6a



ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO  Ayuntamiento de Zaragoza

Mapa de peligrosidad de hundimientos kársticos de la subzona Monzalbarba Octubre, 1988

-  Categoría I. Peligrosidad real muy alta
-  Categoría II. Peligrosidad real alta
-  Categoría III. Peligrosidad potencial alta
-  Categoría IV. Peligrosidad potencial media-alta
-  Categoría V. Peligrosidad potencial media
-  Categoría VI. Peligrosidad potencial media-baja
-  Categoría VII. Peligrosidad potencial baja



Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza



Plano:
6b