

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.

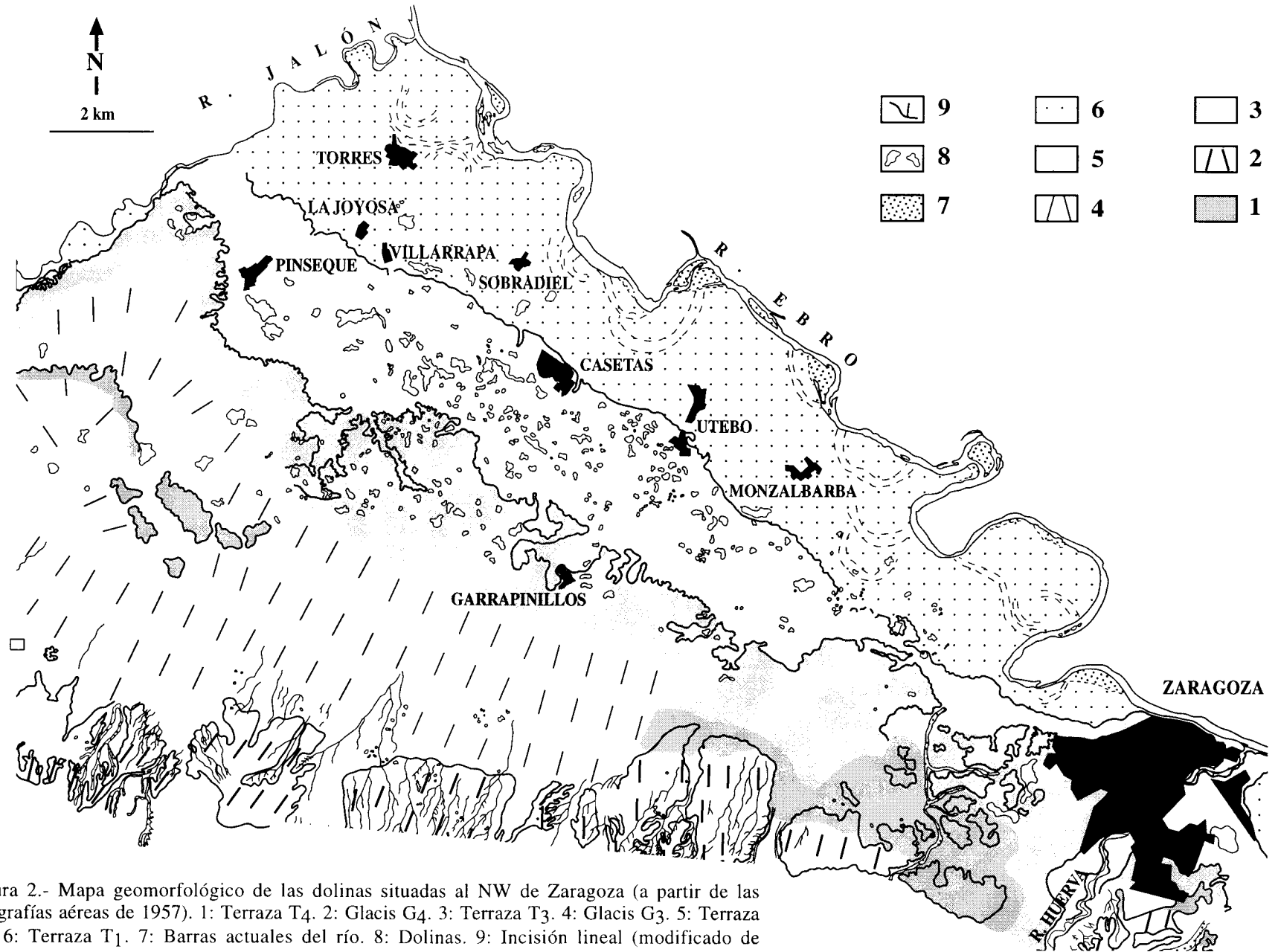


Figura 2.- Mapa geomorfológico de las dolinas situadas al NW de Zaragoza (a partir de las fotografías aéreas de 1957). 1: Terraza T4. 2: Glacis G4. 3: Terraza T3. 4: Glacis G3. 5: Terraza T2. 6: Terraza T1. 7: Barras actuales del río. 8: Dolinas. 9: Incisión lineal (modificado de SORIANO, 1990).

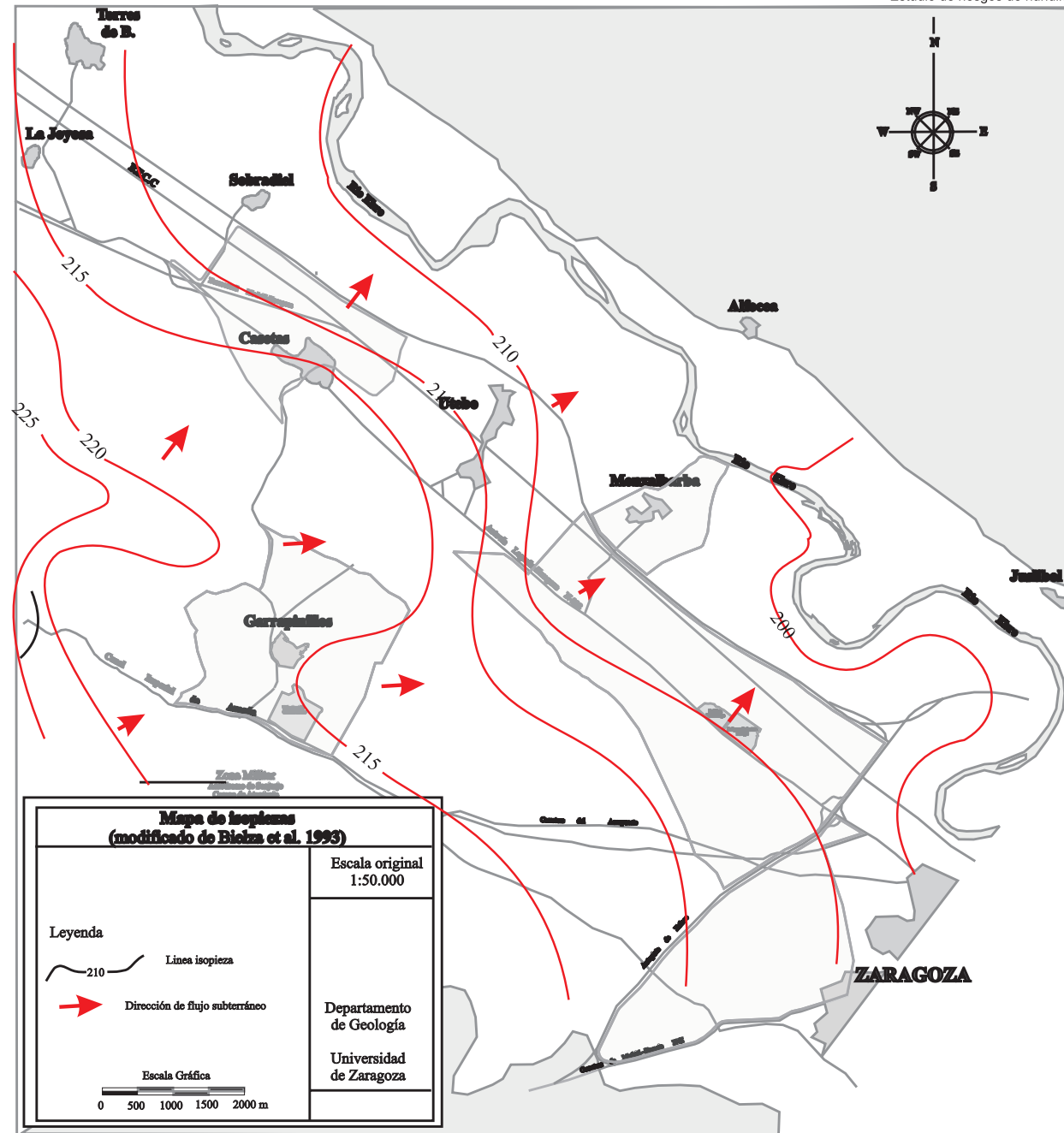


Figura 3

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.

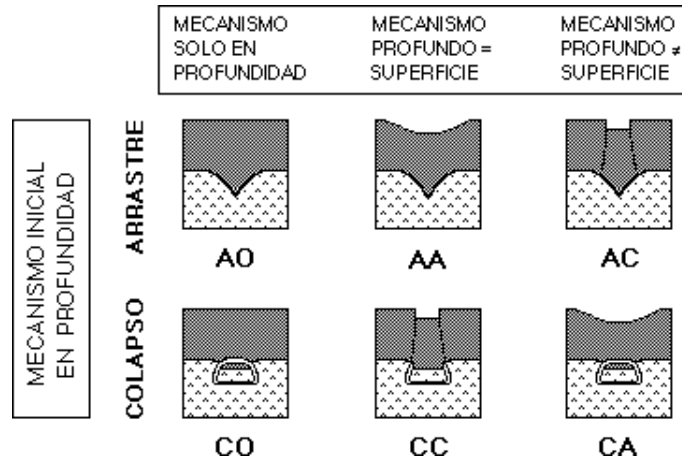
Se han propuesto diversos modelos para explicar la génesis de las dolinas y depresiones desarrolladas en karst yesíferos (WHITE *et al.*, 1986; BECK, 1986, 1988; BENITO, 1987; YUAN, 1988). Los elementos esenciales del proceso son dos:

(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.

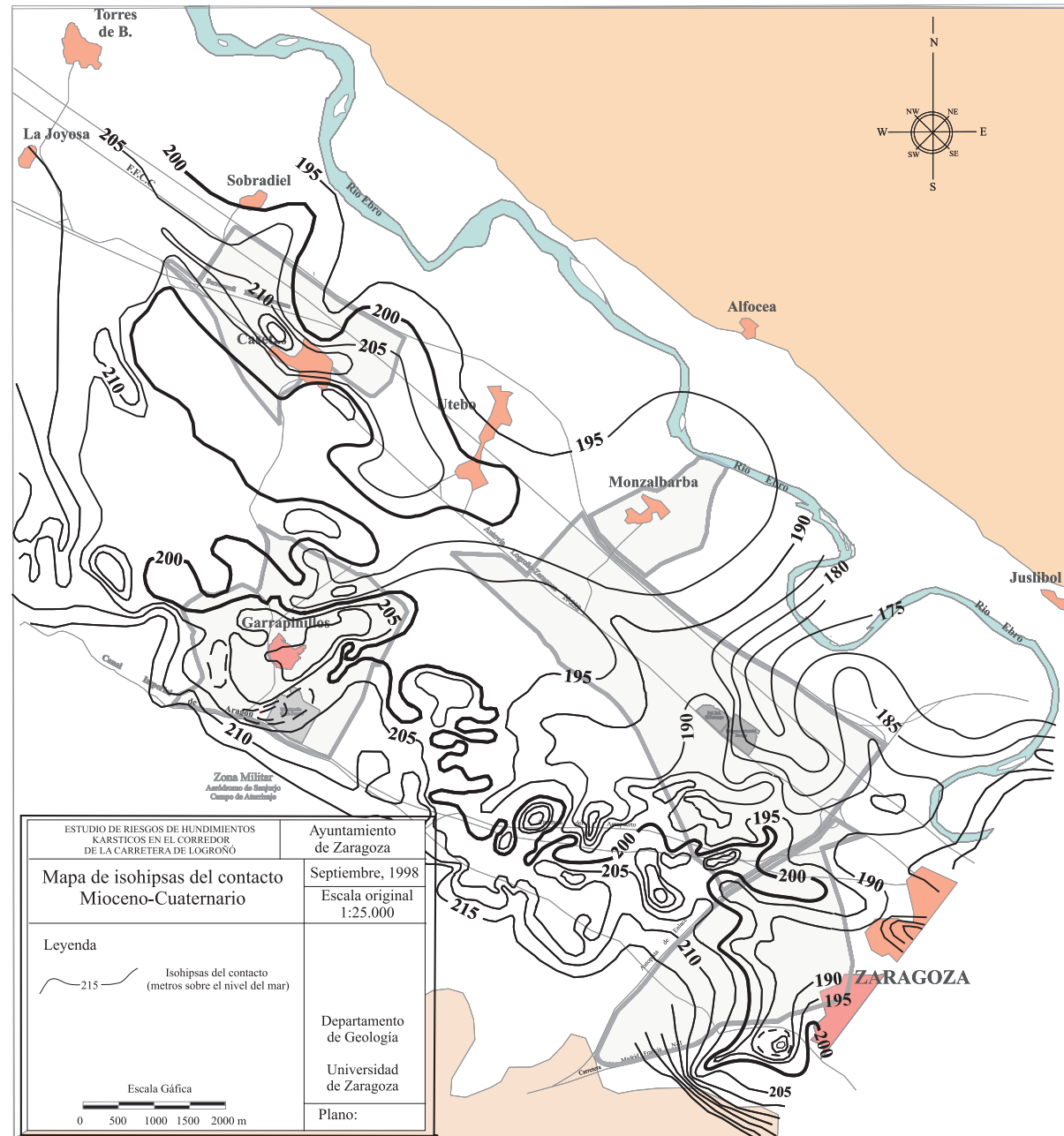


Figura 4

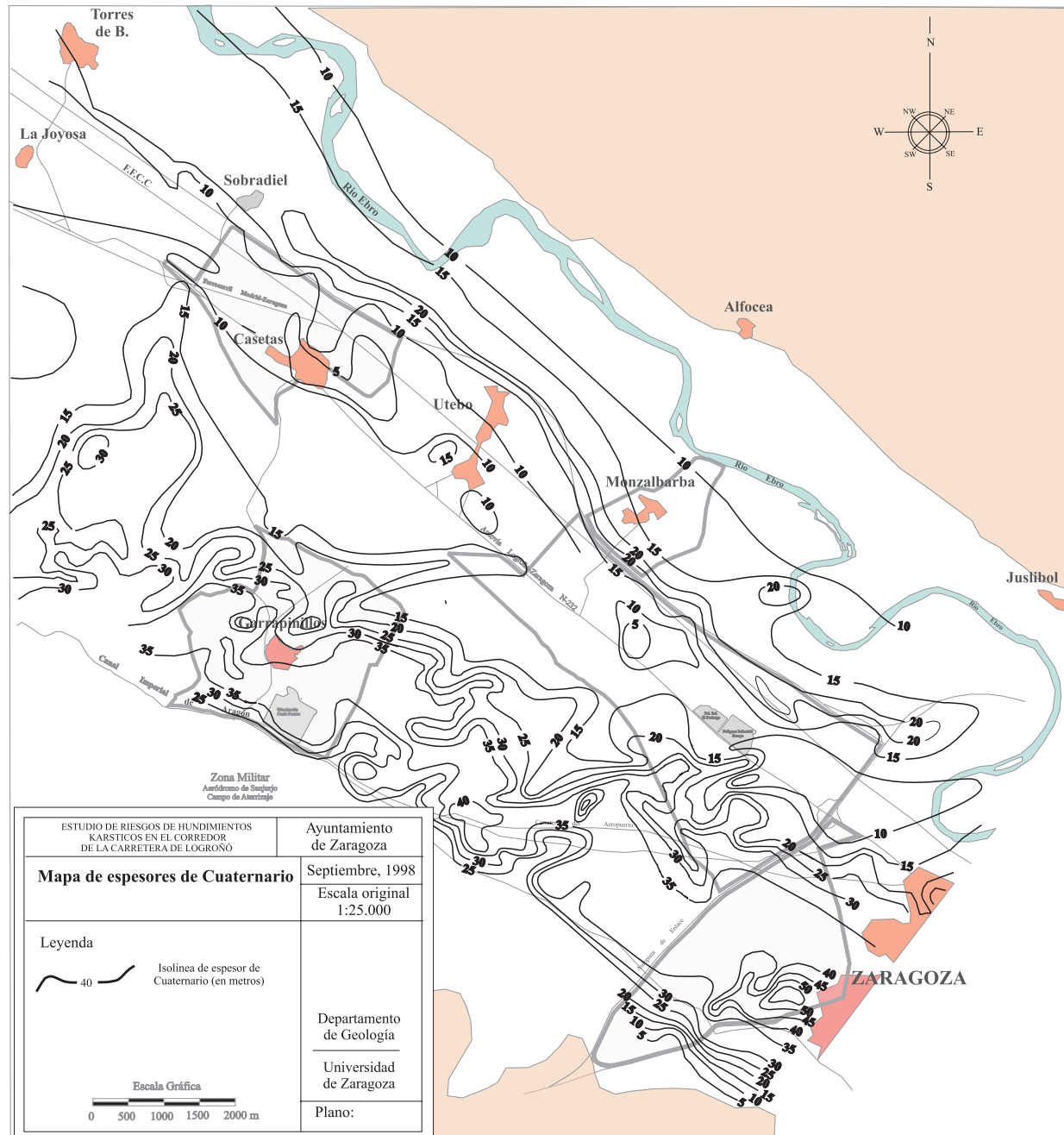


Figura 5

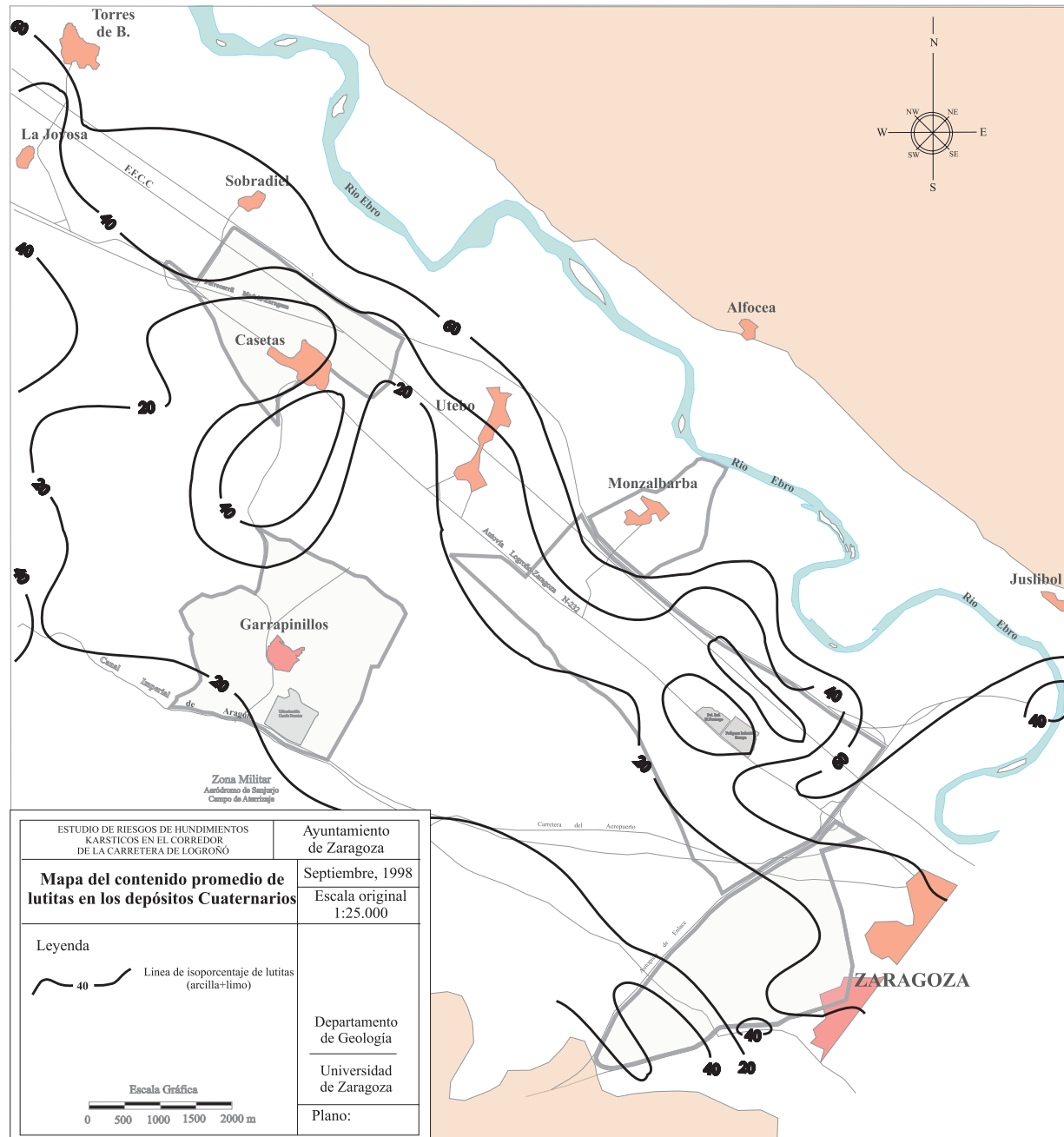


Figura 6

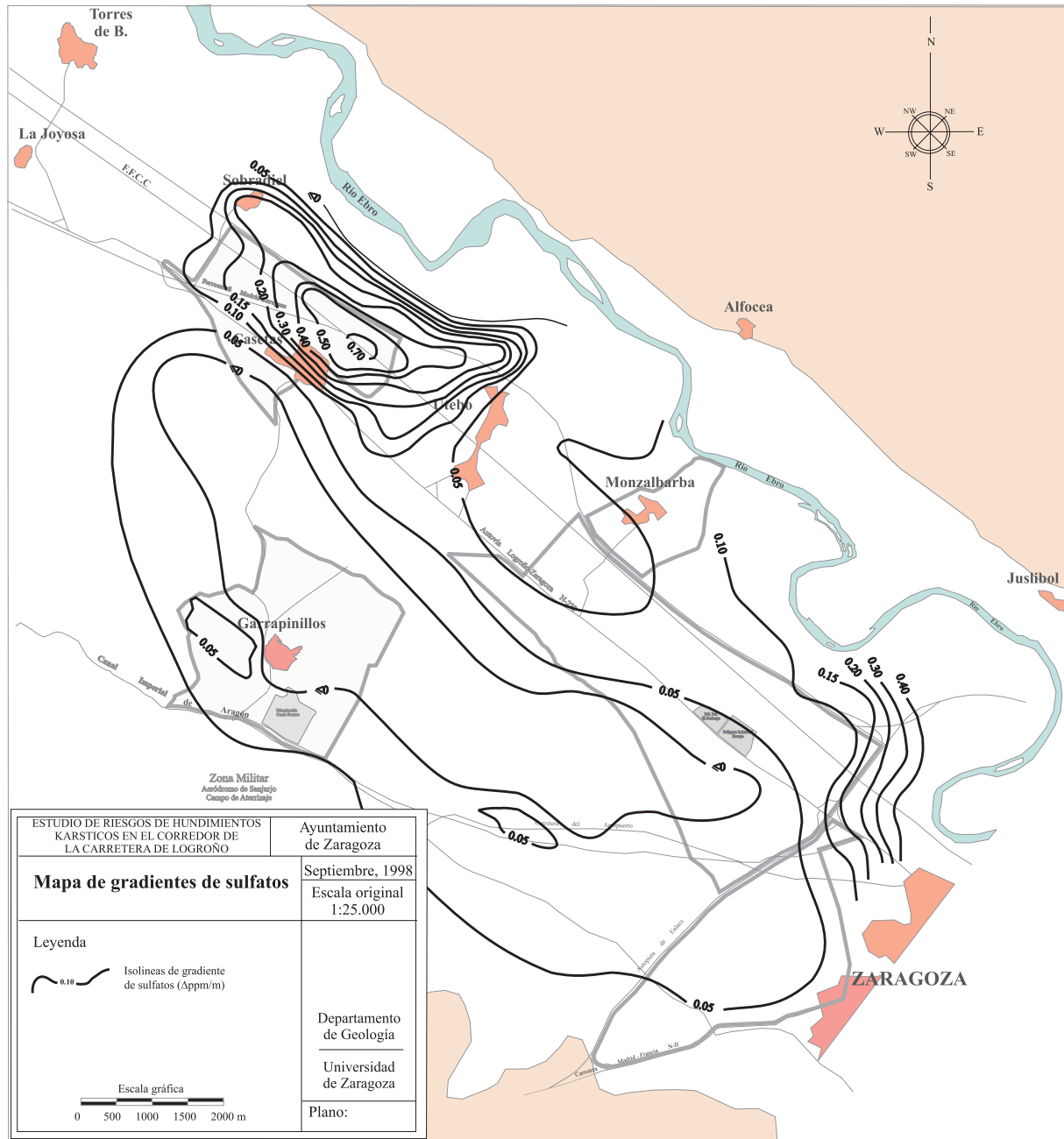


Figura 7

(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 geoeléctricos 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 geoelectricas o geosismicas 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**. Hutchinson.

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) **Litofacias 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 Acequiázo* 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 Acequiázo*, 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.

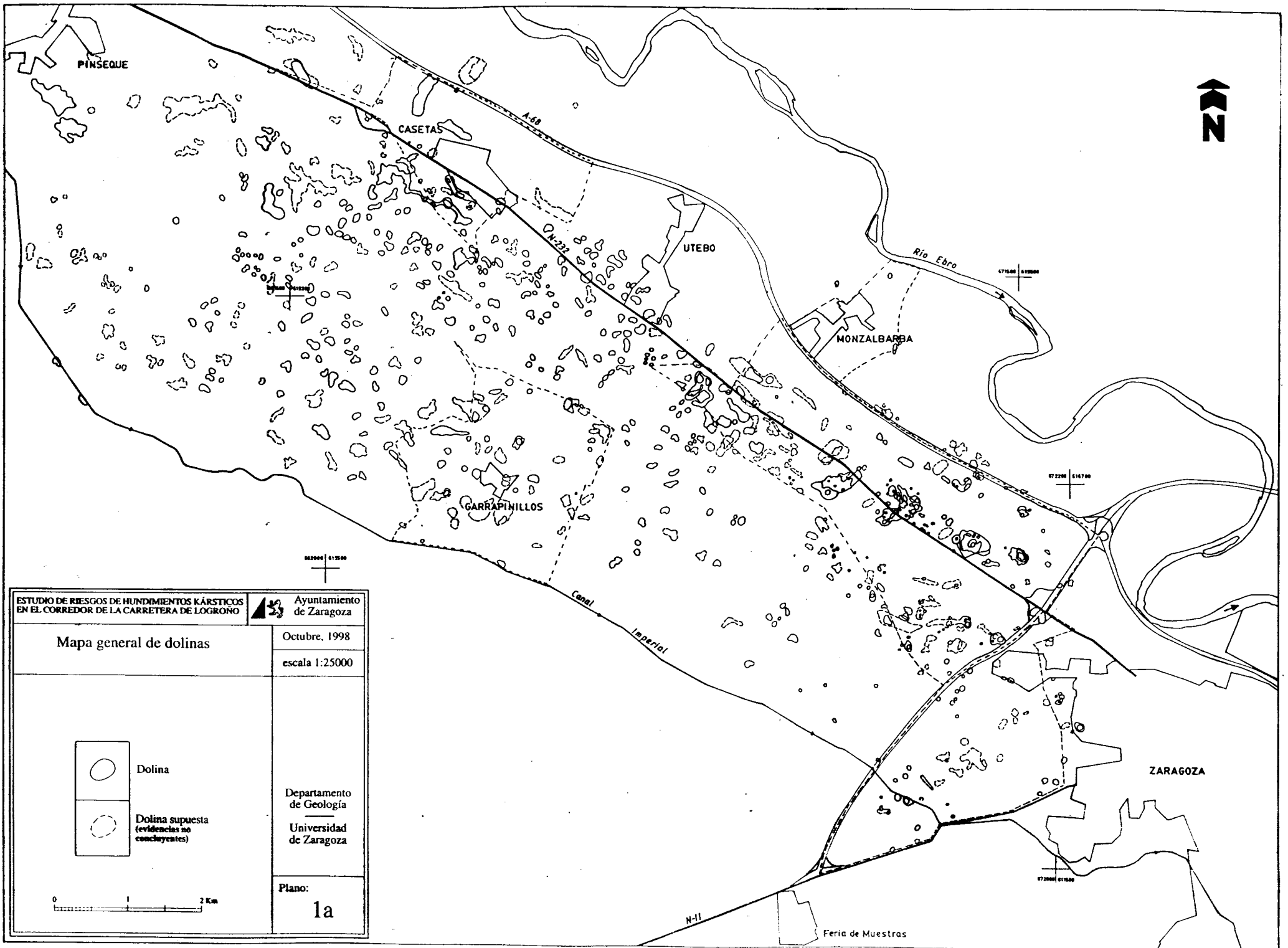
MON-2

Situación: Margen este de la subzona, 80 m al sur de la Plana Alta.

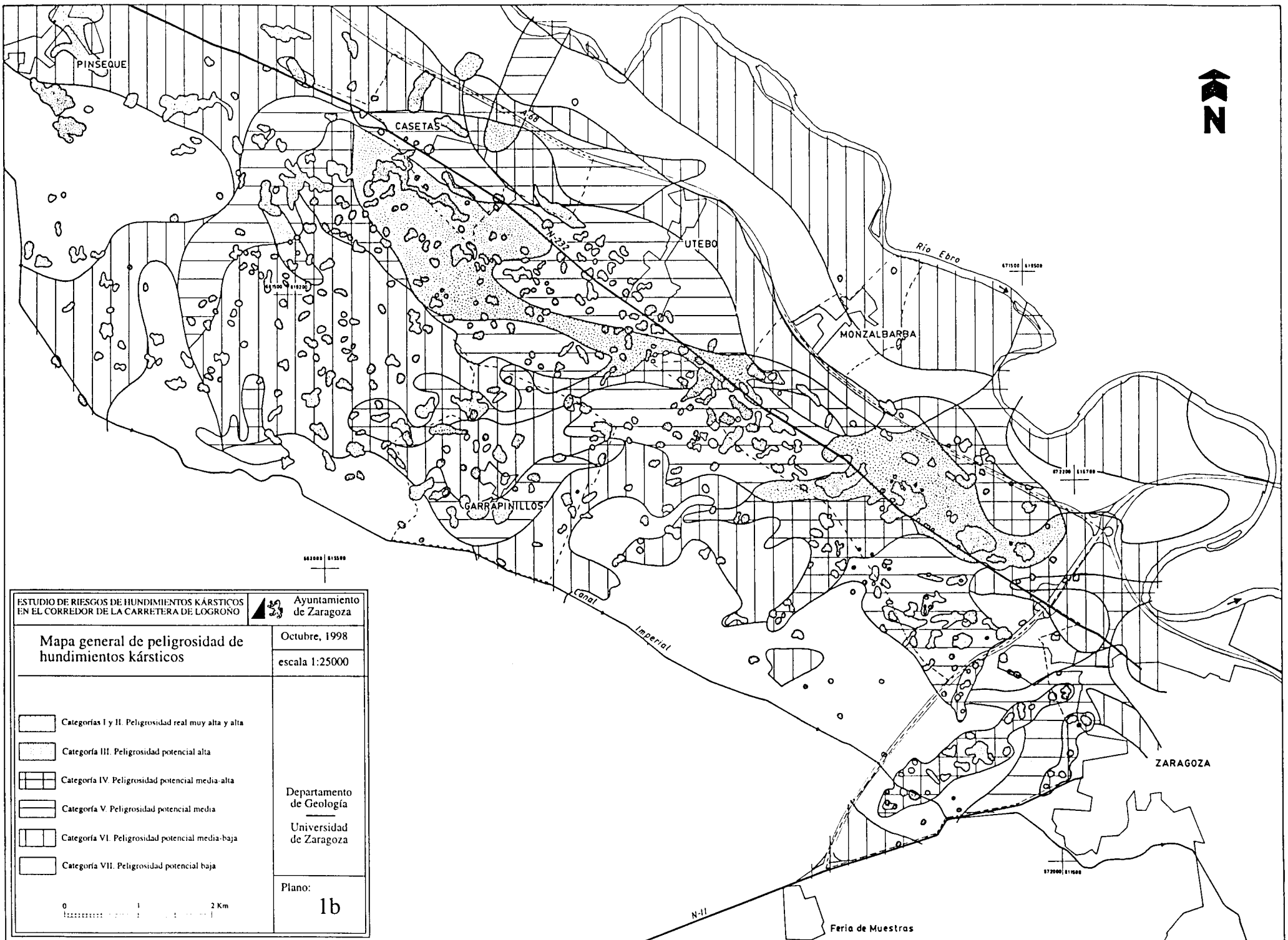
Dimensiones: 125 x 20.


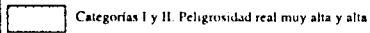

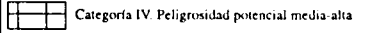
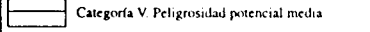
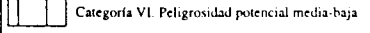
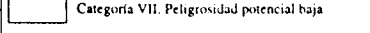
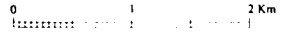
Morfología: Alargada. Bordes difusos.

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	Departamento de Geología Universidad de Zaragoza	
Dolina supuesta (evidencias no concluyentes)		
		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.

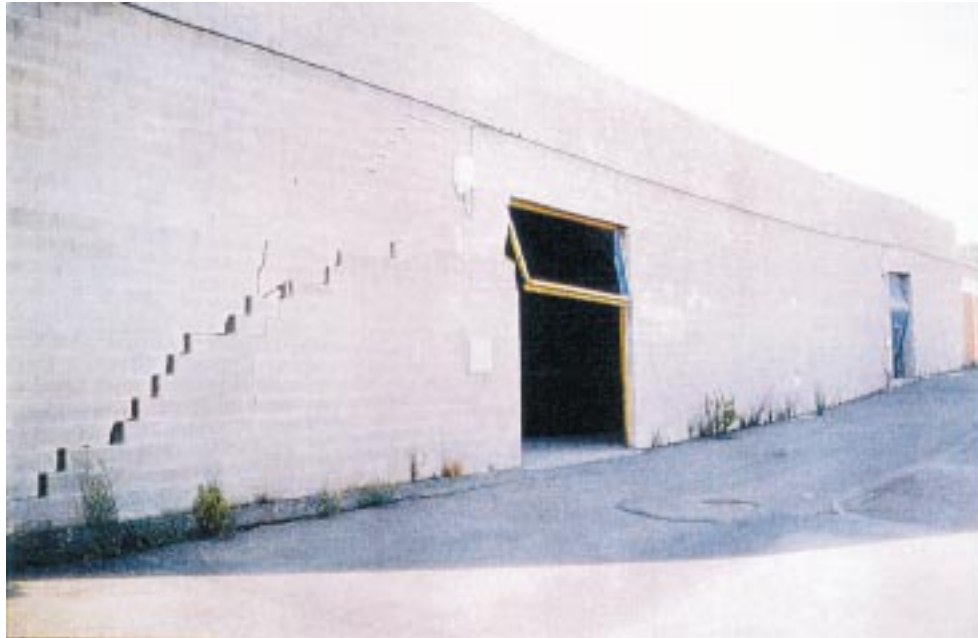
Dolina de grandes dimensiones, en estado natural e inundada permanentemente, junto a la Torre del Chocolatero (zona de la Venta del Olivar). Es la más meridional del grupo de dolinas nº 61 de la subzona *Autovía*, y una de las que se recomienda conservar en su estado actual.



1



2



3



4



5



6



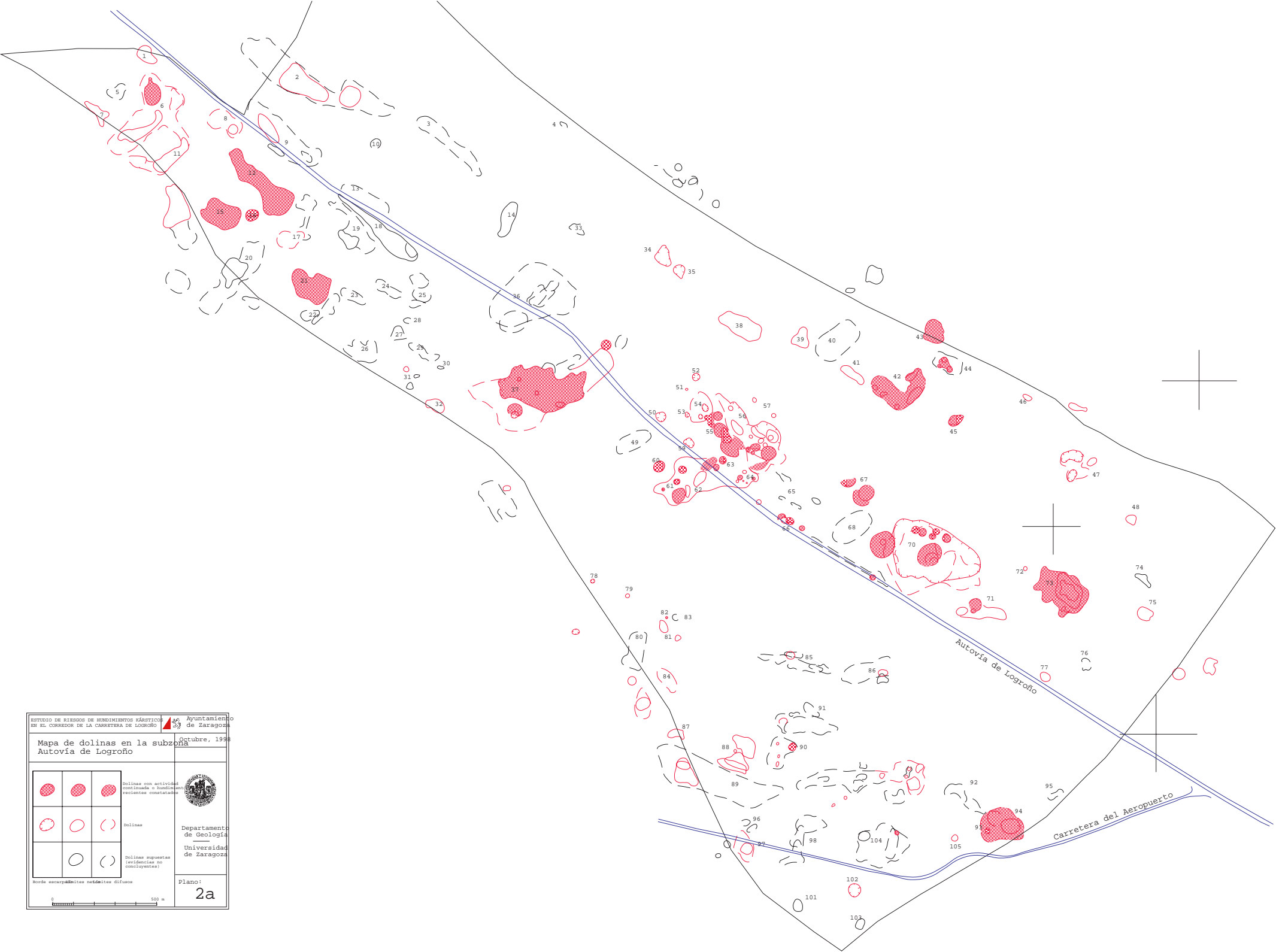
7



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

			Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados
			Dolinas
			Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)

Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza

Plano: 2a

0 500 m

Ayuntamiento de Zaragoza

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

Mapa de peligrosidad de hundimiento kárstico de la subzona Autovía

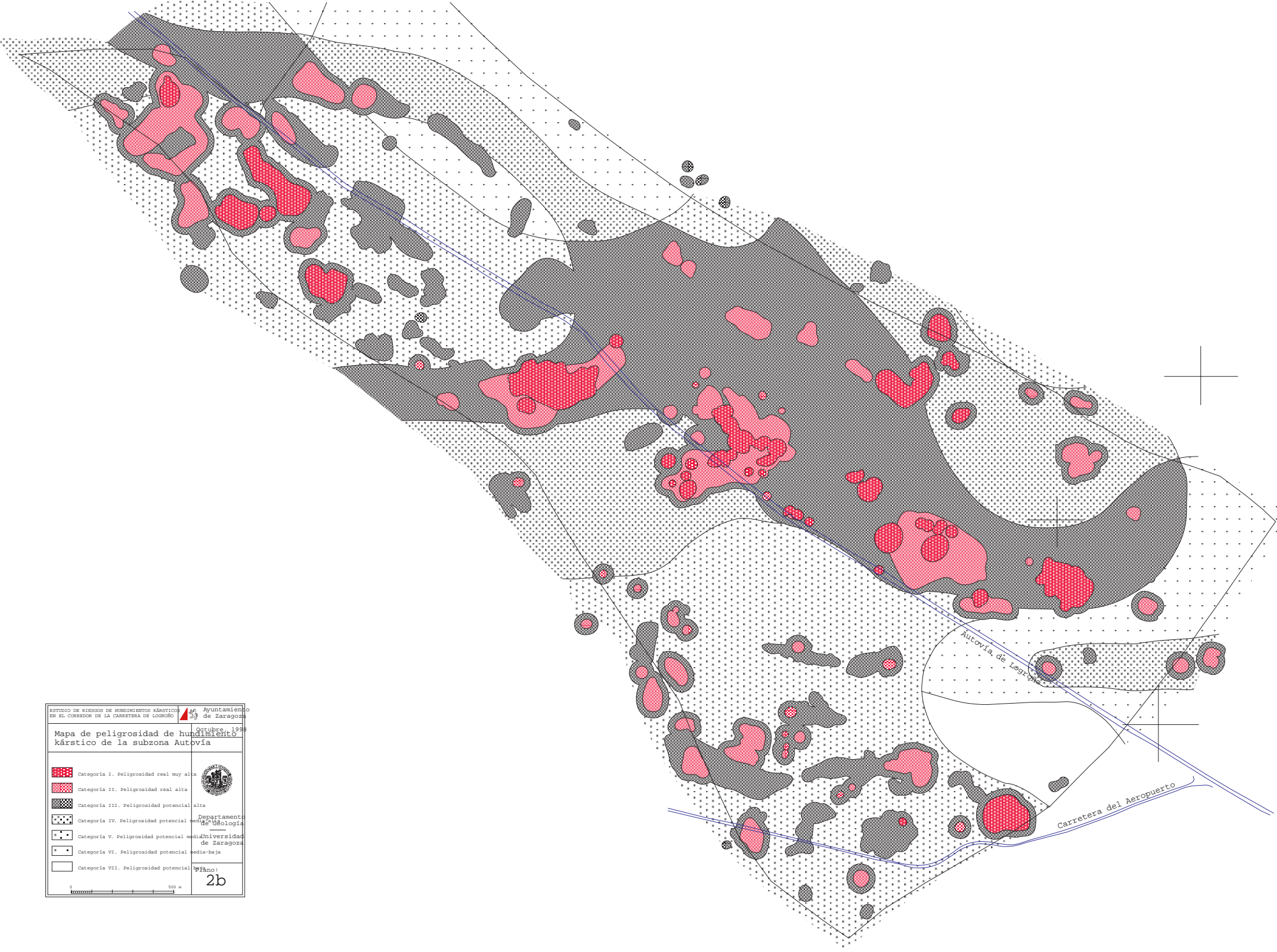
16 Ayuntamiento de Zaragoza
 33 de Zaragoza
 diciembre 1998

	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

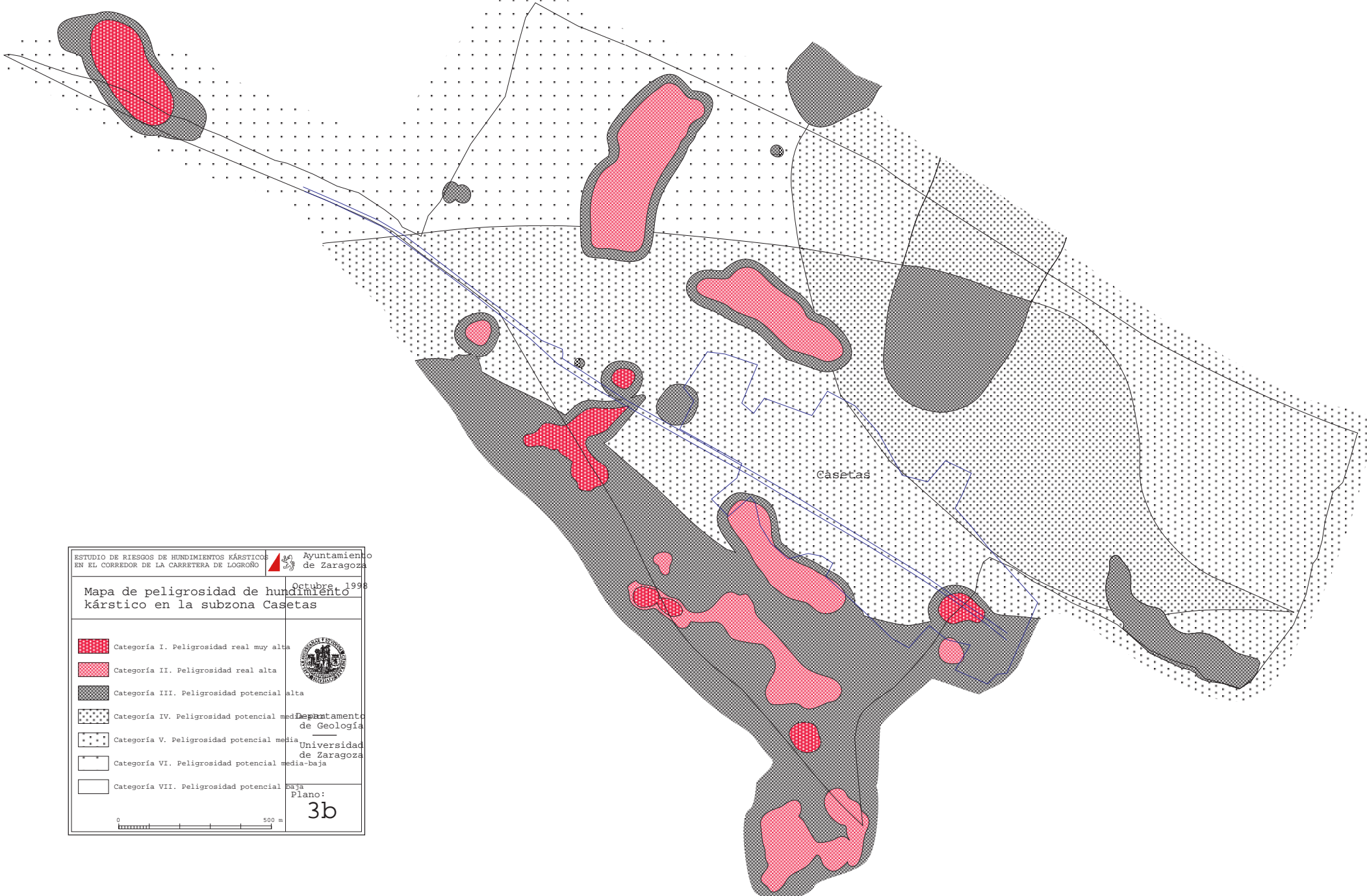
Plano: 2b

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		Octubre, 1998													
<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)	<p>Departamento de Geología Universidad de Zaragoza</p>	
			Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados												
			Dolinas												
			Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)												
<p>Borde escarpado límites netos límites difusos</p> <p>0 500 m</p> <p>Plano: 3a</p>															



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	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 actividades continuada o hundimientos recientes constatados

Dolinas

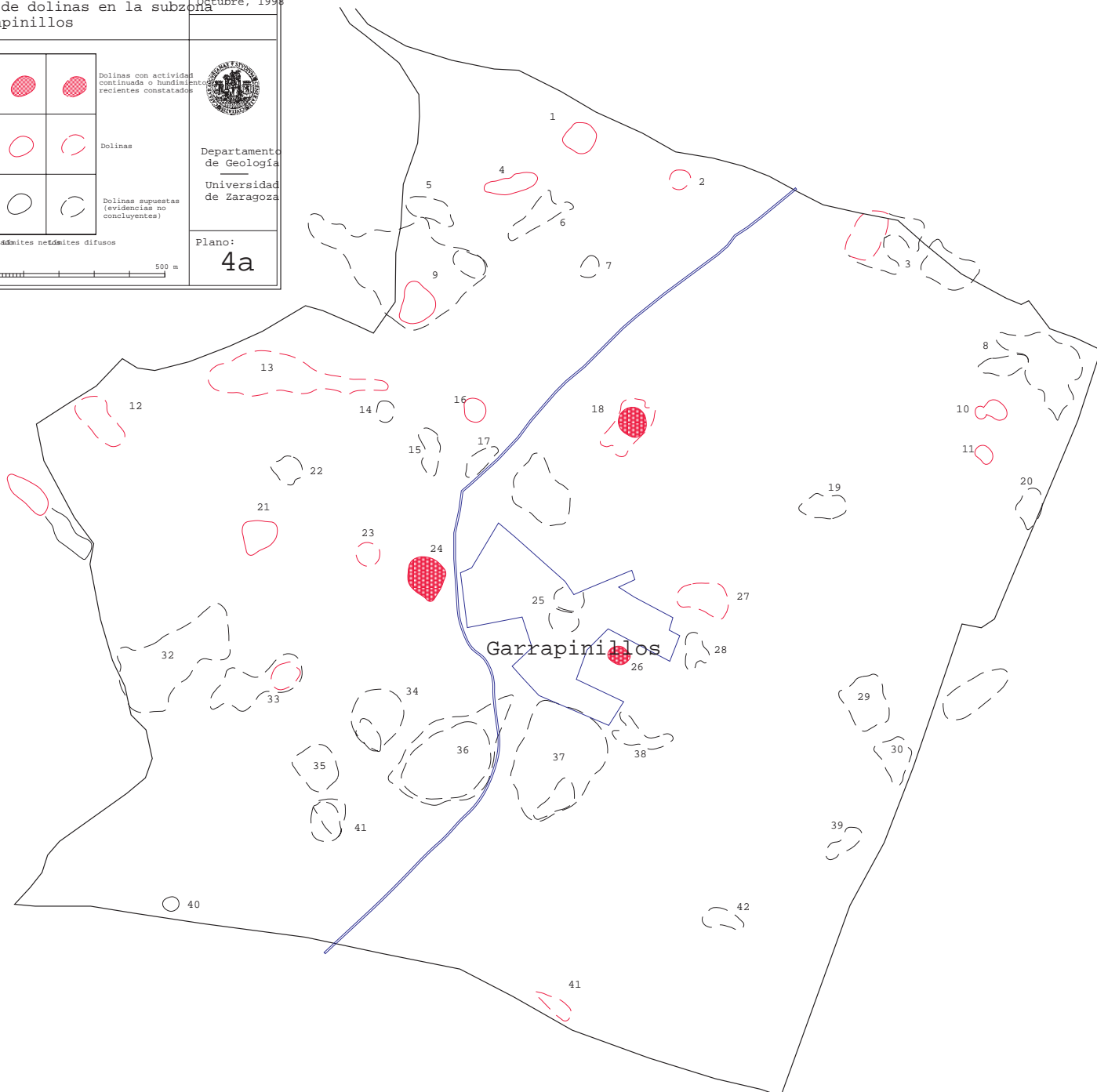
Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)










Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza

Plano:
4a

Borde escarpado / Borde neto / Borde difuso

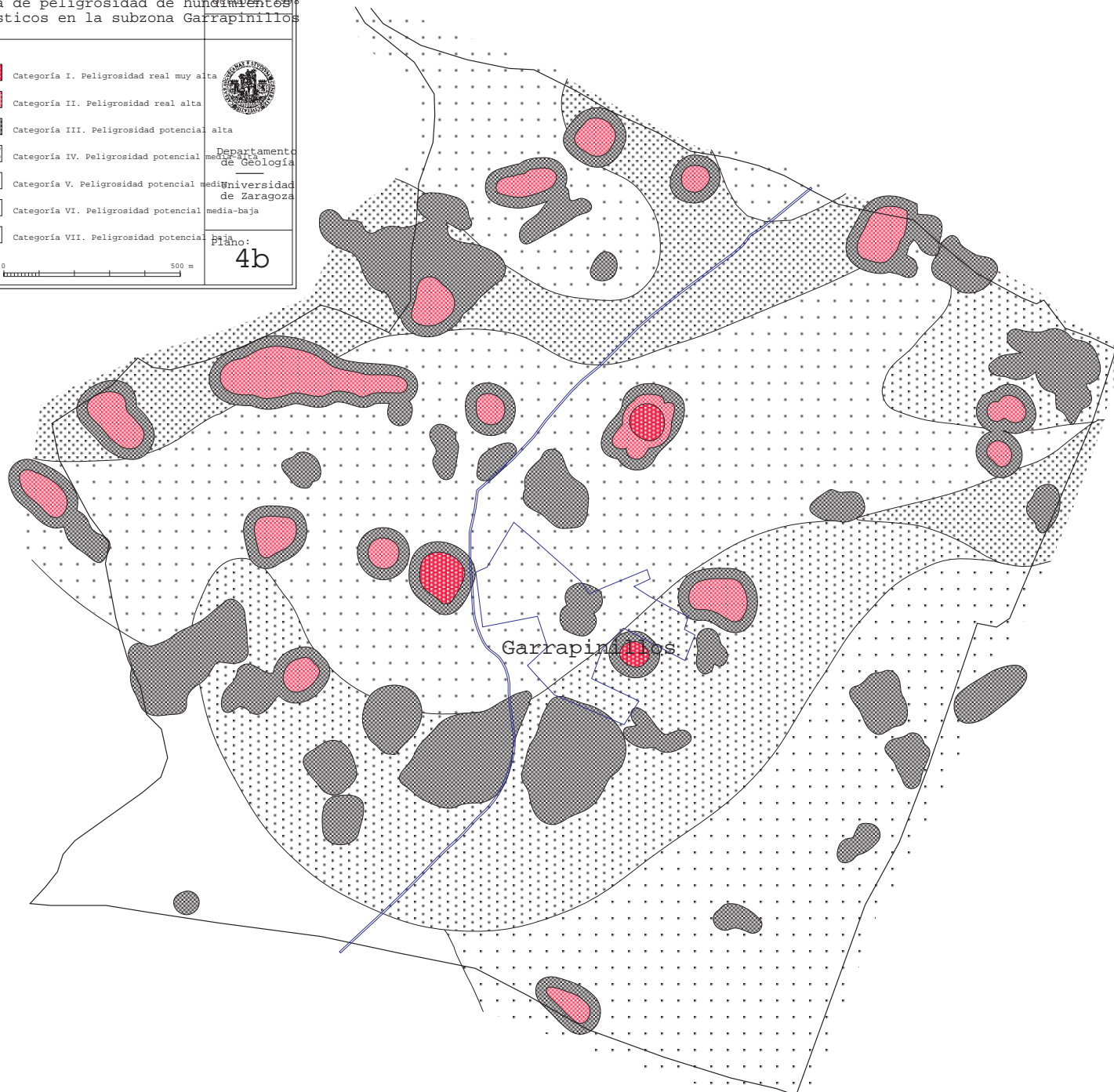




Mapa de peligrosidad de hundimientos kársticos en la subzona Garrapinillos

	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




ESTUDIO DE RIESGOS DE HUNDIMIENTOS KÁRSTICOS EN EL CORREDOR DE LA CARRETERA DE LOGROÑO  Ayuntamiento de Zaragoza


Octubre, 1998

Mapa de dolinas en la subzona Miralbueno

			Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados
			
			Dolinas
			Dolinas supuestas (evidencias no concluyentes)

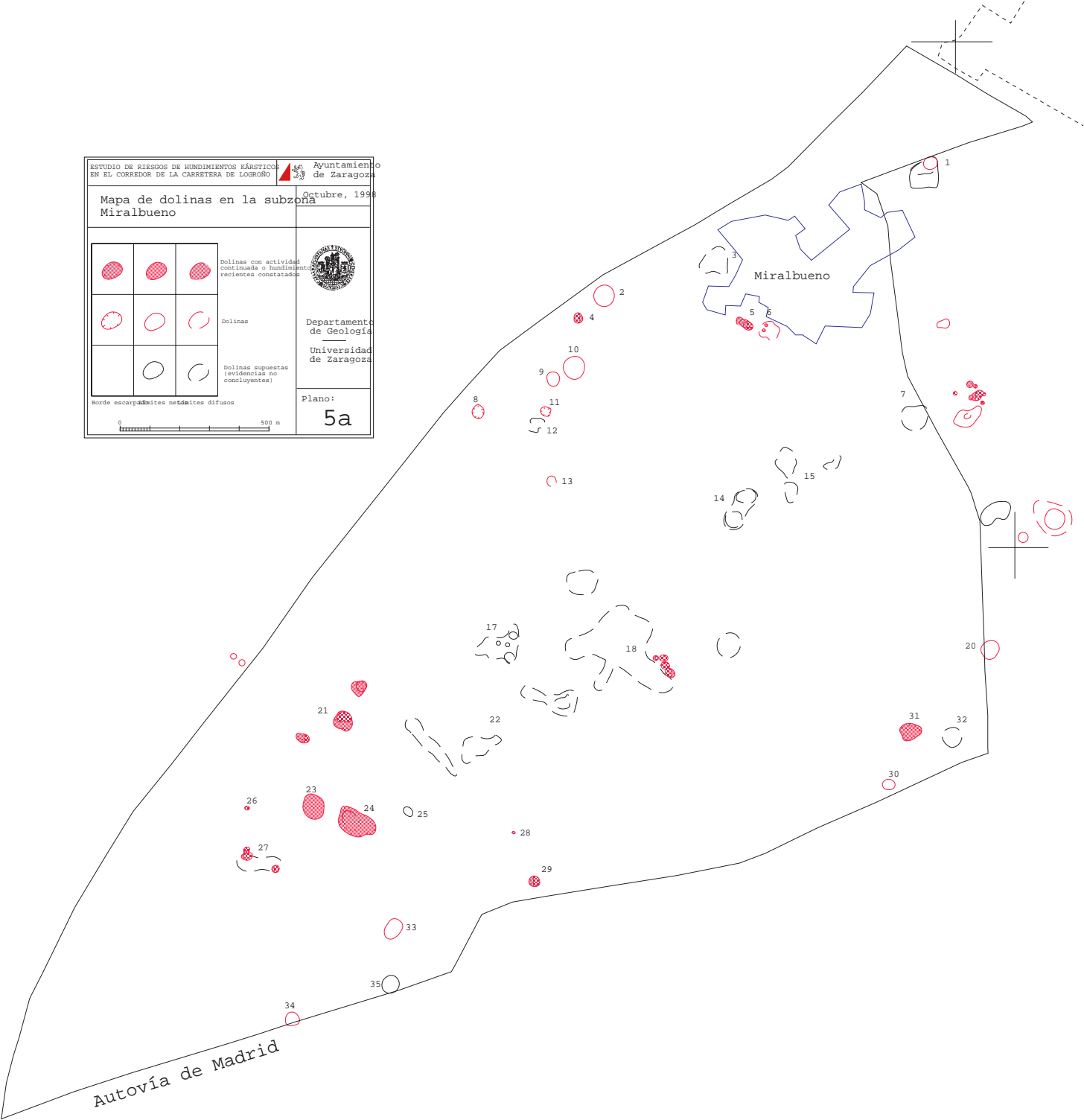
Borde escarpamiento delimita difusos













Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza


Plano:
5a

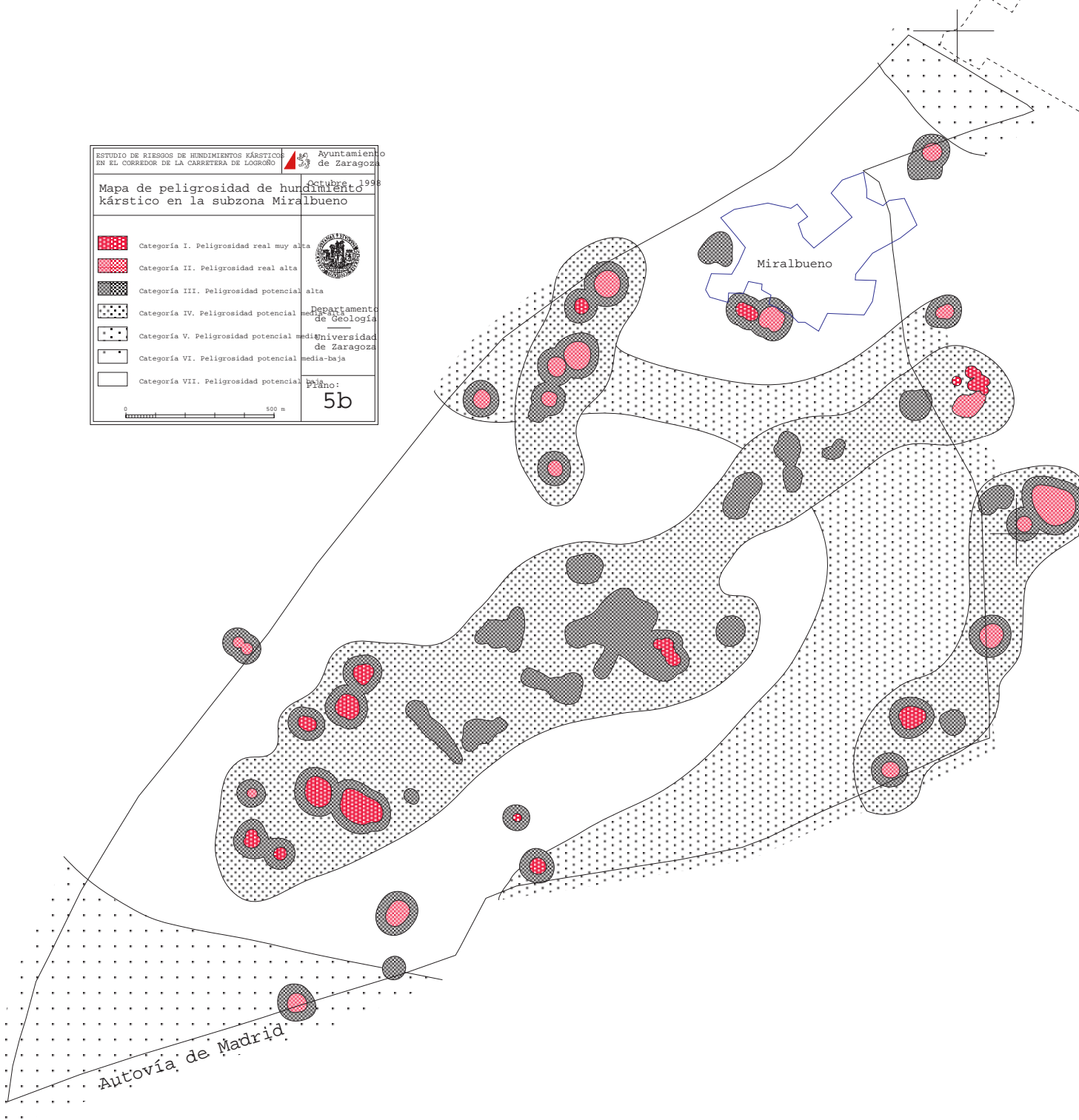


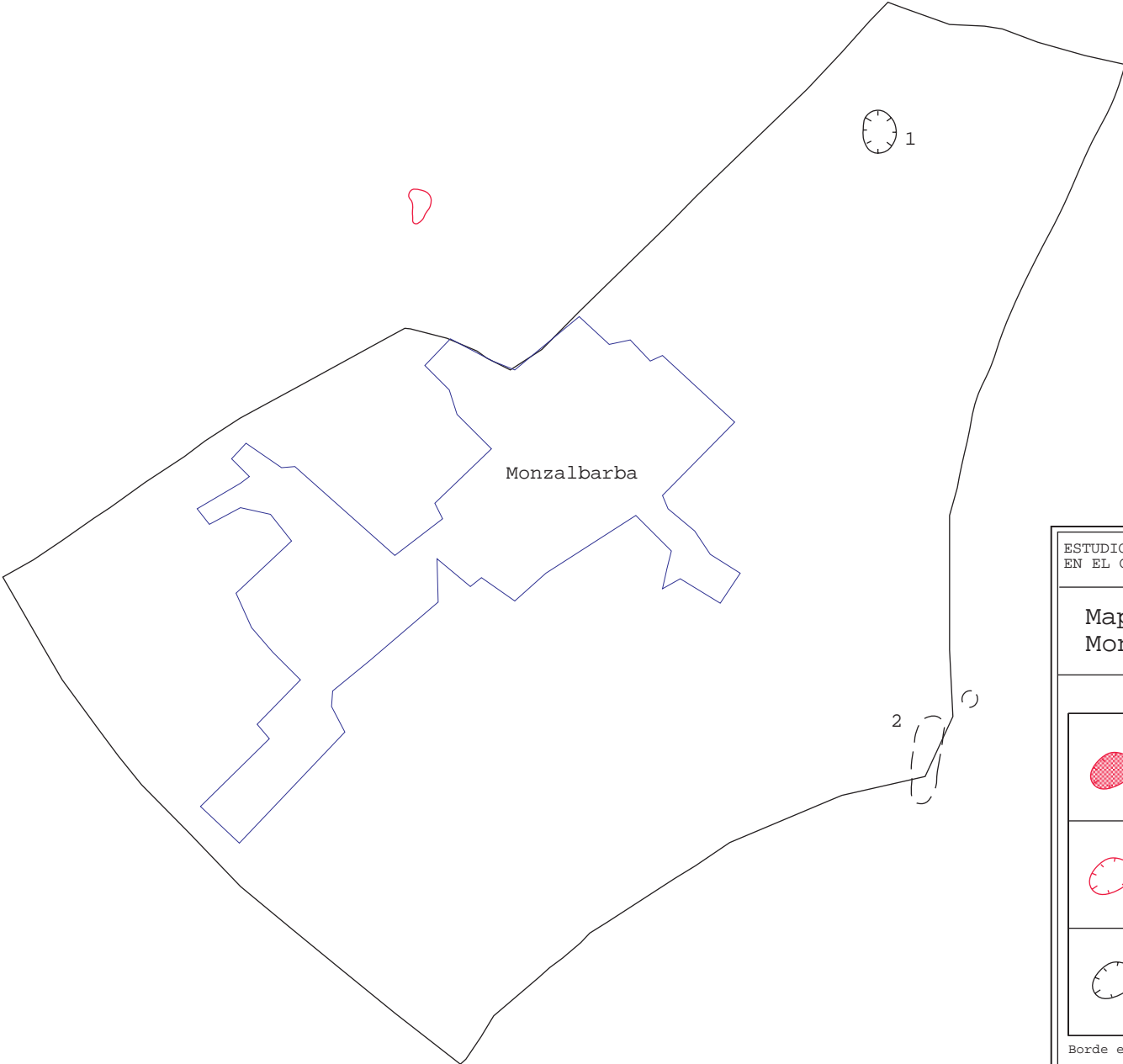
Mapa de peligrosidad de hundimiento kárstico en la subzona Miralbueno



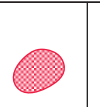


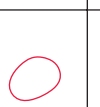

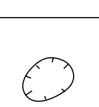
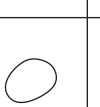


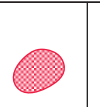


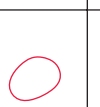

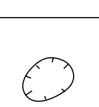
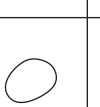



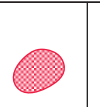


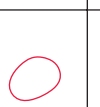

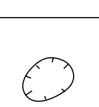
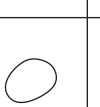


	Categoría I. Peligrosidad real muy alta
	Categoría II. Peligrosidad real alta
	Categoría III. Peligrosidad potencial alta
	Categoría IV. Peligrosidad potencial media-alta
	Categoría V. Peligrosidad potencial media
	Categoría VI. Peligrosidad potencial media-baja
	Categoría VII. Peligrosidad potencial baja

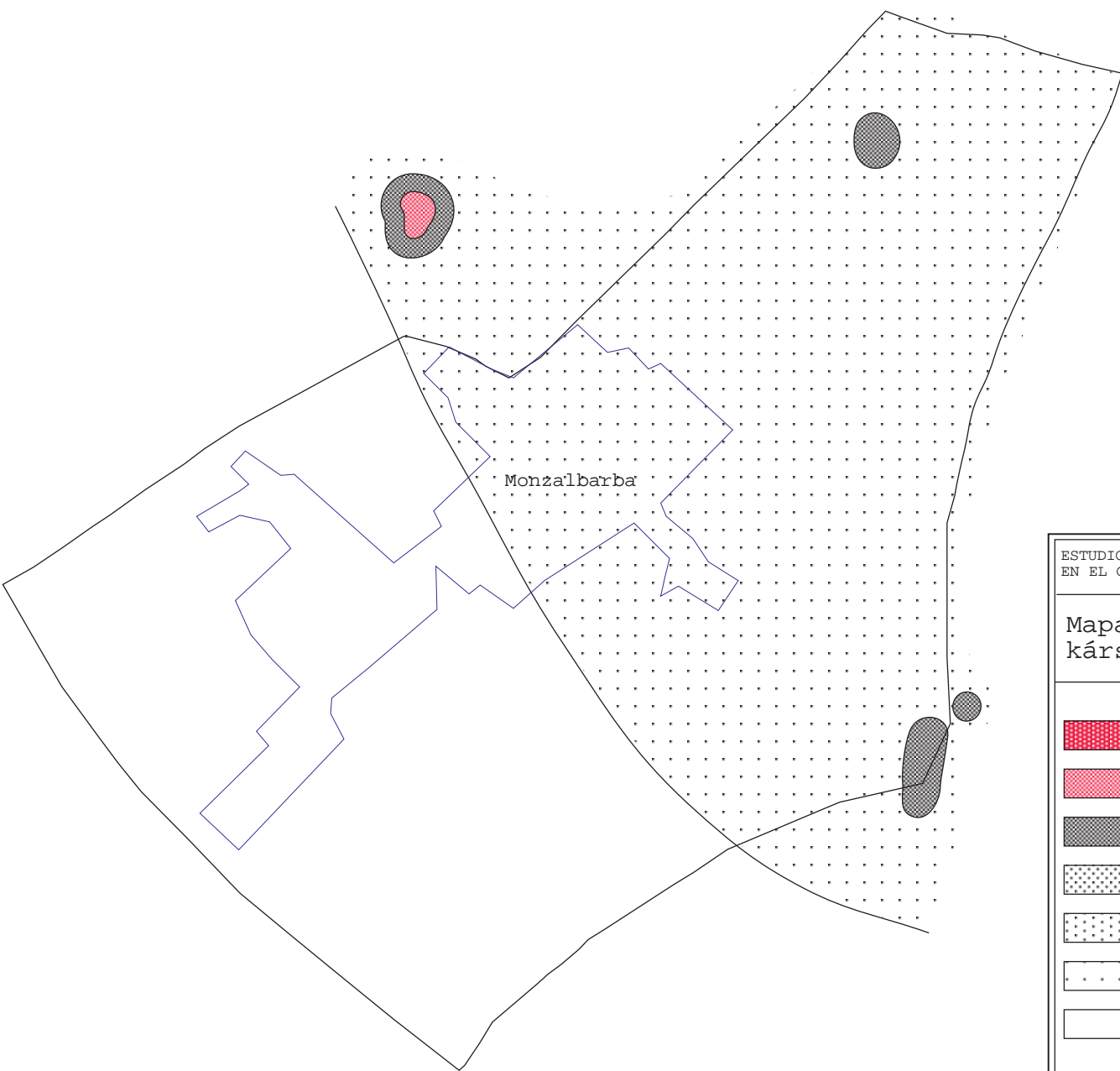
 500 m











 Departamento de Geología
Universidad de Zaragoza
Plano: **5b**





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										
<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3"> Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados </td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados							 Departamento de Geología Universidad de Zaragoza
			Dolinas con actividad continuada o hundimientos recientes constatados									
												
												
Borde escarpado límites netos límites difusos		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	 Departamento de Geología Universidad de Zaragoza	
	Categoría II. Peligrosidad real alta		
	Categoría III. Peligrosidad potencial alta		
	Categoría IV. Peligrosidad potencial media		
	Categoría V. Peligrosidad potencial media		
	Categoría VI. Peligrosidad potencial media-baja		
	Categoría VII. Peligrosidad potencial baja		
		Plano: 6b	