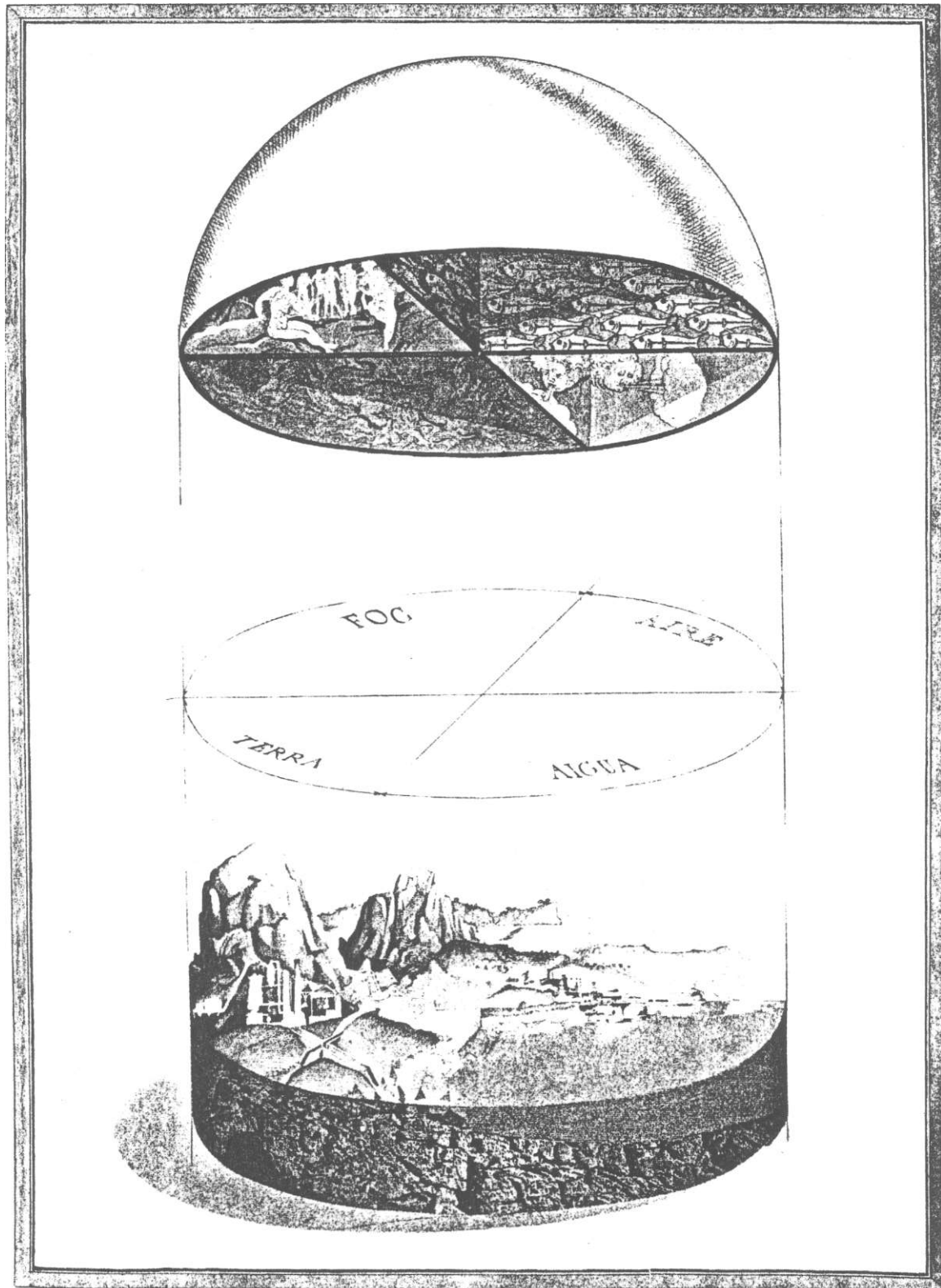


GEOLOGIA AMBIENTAL:



II REUNIÓ NACIONAL

^IPcJjinaa · é^tírvri^ttj

CARACTERIZACION DE INESTABILIDADES GRAVITATORIAS

EN EL AREA DE BANYOLES (GIRONA)

*David Brusi Belmonte - Lluís Pallí Buxó - Miquel Sanz Parera
Dptos. de Geodinámica Externa e Hidrogeología (Universidad Autónoma
de Barcelona) y de Geología (Colegio Universitario de Girona).*

CARACTERIZACION DE INESTABILIDADES GRAVITATORIAS EN EL AREA DE BANYOLES (GIRONA)

David Brusi Belmonte - Lluís Palli Buxó - Miquel Sanz Parera
Dptos. de Geodinámica Externa e Hidrogeología (Universidad Autónoma
de Barcelona) y de Geología (Colegio Universitario de Girona).

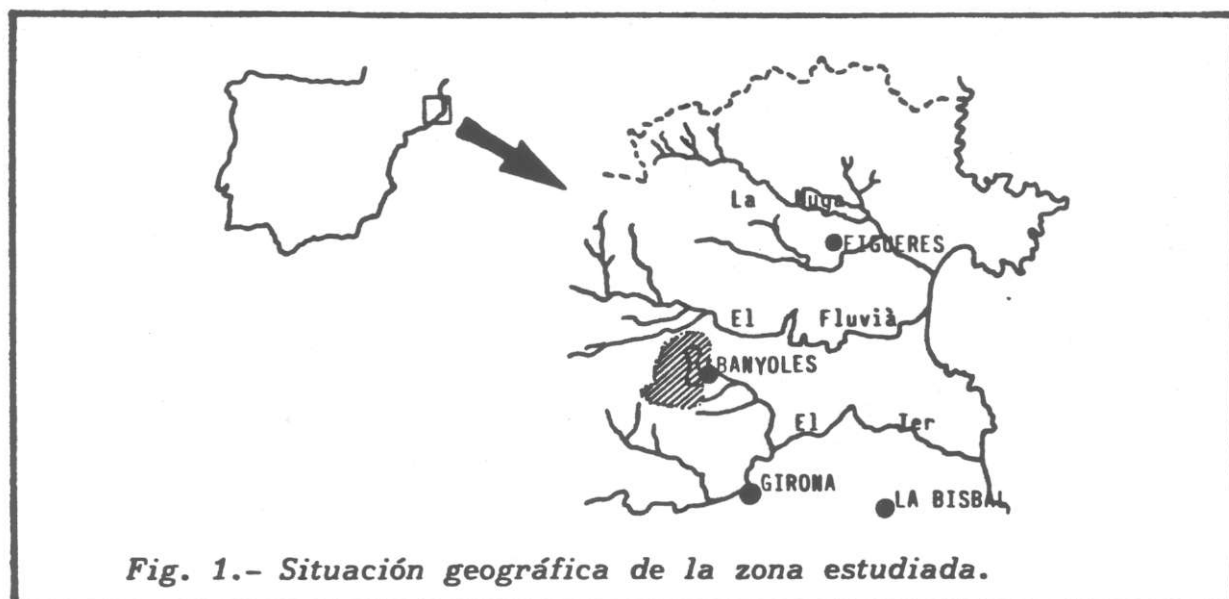
RESUMEN

El entorno de la Depresión donde se ubica el lago de Banyoles presenta unas especiales características litológicas, morfológicas e hidrogeológicas que se traducen en unos claros ejemplos de inestabilidad gravitatoria. Esta ocasiona, en general, rápidas modificaciones de la superficie topográfica, que delimitan el uso territorial de la zona. Son relativamente frecuentes los fenómenos de inestabilidad de laderas, siempre coincidentes con episodios pluviométricos de carácter extraordinario, así como manifestaciones gravitatorias de hundimiento por colapso, ligadas a la carstificación del material yesífero infra-yacente.

INTRODUCCION

La Depresión de Banyoles -marco geográfico del estudio- se halla situada aproximadamente en el centro geométrico de la provincia de Girona, a unos 15 Km al NO de la capital (Fig. 1). Adopta una forma rectangular, con una orientación de su eje mayor en dirección NNO-SSE.

La zona se ubica en el límite más oriental del Sistema Transversal Catalán, y ya en contacto con la depresión neógena del Empordà.



Tanto el fondo plano de la Depresión, como los relieves que bordean el lago, reúnen, junto a una necesidad manifiesta de suelo para todo tipo de usos, el especial encanto de un paisaje verdaderamente excepcional. Por ello, cualquier intento de planificación territorial de la zona exige el conocimiento de algunas variables, que indudablemente limitarán su aprovechamiento. Entre ellas cabe destacar, por su importante trascendencia, los procesos de inestabilidad gravitatoria. Identificados, localizados y analizados éstos, incidirán en gran medida sobre cualquier proyecto de ordenación del territorio.

MARCO GEOLOGICO

Las formaciones geológicas implicadas en el estudio del área corresponden al Eoceno y al Cuaternario. Se adopta una descripción sintética de la litología de ambas, por ser ésta el rasgo más representativo frente a los procesos de índole gravitatorio y al mismo tiempo por marcar la frontera precisa entre sus comportamientos diferenciales.

El Eoceno (Fig. 2) está constituido esencialmente por una serie de litología margo-arcillosa (3) que aflora en la mayoría de las vertientes que circundan el lago. Sobre ésta, descansan unos materiales areniscos ocreos con algunos niveles de arcillas (4). Corona las partes más elevadas una esporádica presencia de arcillas rojas con cana-

les conglomeráticos (5) (PALLI, 1972). Todo este conjunto se apoya sobre un potente nivel de yesos con débiles intercalaciones margosas (2), aflorante puntualmente en la parte septentrional del lago, y reconocido en diversos sondeos (IRYDA, 1984). Su exagerada potencia evidencia un marcado carácter diapírico. También, y detectadas por sondeo, aparecen bajo el conjunto evaporítico, a una profundidad media de unos 250-300 m, unas calizas grises (1), compactas en la base y fisuradas hacia el techo.

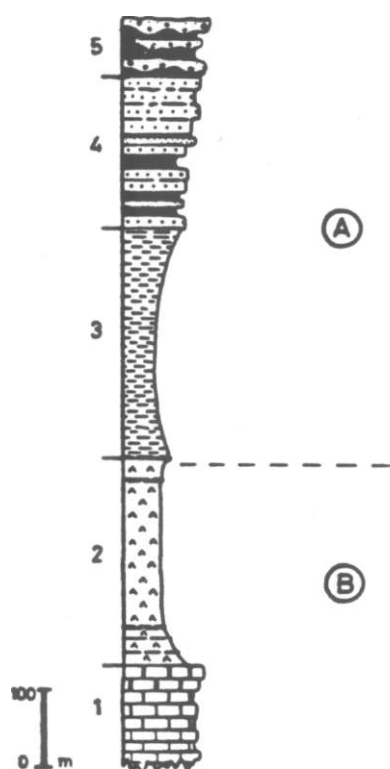


Fig. 2.- Columna sintética de la litología del sector estudiado.

1) Calizas grises, compactas en la base y fisuradas en el techo. 2) Yesos y anhidritas con intercalaciones de margas azuladas en la base. 3) Margas arcillosas azules. 4) Areniscas grises con niveles arcillosos. 5) Arcillas rojas con canales conglomeráticos.

(A) Serie superior según PALLI (1972).

(B) Serie inferior según sondeo de IRYDA (1984).

En discordancia clara con el Eoceno aflorante, aparecen unas acumulaciones edáfico-coluviales de textura arcillosa, y unas facies lacustres de carácter carbonático (travertinos), detrítico (arcillas y limos oscuros de desbordamiento), y turboso.

Las alineaciones estructurales de la región siguen las direcciones aproximadas E-0 y NNO-SSE. Este enrejado tectónico origina una fracturación y marca una diferenciación en bloques elevados (St. Patllari, Serra Llonga-Camos), y bloques hundidos (depresiones de Banyoles y St. Miquel de Campmajor).

INESTABILIDADES GRAVITATORIAS

En el área considerada es posible evidenciar la presencia actual o histórica de una fenomenología diversa en el campo de las inestabilidades gravitacionales. Aunque se dan activos procesos erosivos de carácter torrencial, localizados en las vertientes margo-arcillosas, sólo se analizan aquí aquellos movimientos de índole gravitatoria que, a pesar de su constancia histórica, presentan una instantaneidad en su desencadenamiento. Son aquellos procesos que, en ausencia de una diferenciación precisa, adoptan el mal empleado calificativo de "catástrofes".

Distinguimos, por su distinta génesis, las inestabilidades gravitacionales que afectan a las laderas, de los hundimientos repentinos, que se localizan en algunos sectores del fondo de la depresión. (Fig. 3).

1.- Inestabilidad de laderas

1.1.) Descripción

Atendiendo a la clasificación de Varnes (1978) es posible reconocer:

a) Desprendimiento de bloques rígidos.

Preferentemente localizados en los niveles basales de los tramos masivos areniscosos. Estos procesos tienen lugar a consecuencia de la erosión remontante de los torrentes, que eliminan los materiales margo-arcillosos infrayacentes. De este modo, excavan el basamento y generan cavidades, que aumentan de tamaño. Todo ello hasta conferir una inestabilidad suficiente a los materiales rígidos suprayacentes. Toda la cornisa comprendida entre Serra Llonga y St. Patllari presenta, o puede presentar, este tipo de manifestaciones.

b) Movimientos de flujo.

Constituye el fenómeno de mayor importancia y extensión areal de la región. Afecta sobremanera a los tramos donde afloran los niveles margo-arcillosos. Provoca el deslizamiento repentino de taludes, y aparece asociado a pulsaciones meteorológicas de máxima pluviometría. La acumulación de los materiales deslizados suele invadir la red viaria, con su consecuente peligrosidad. En ocasiones ha sido precisa una

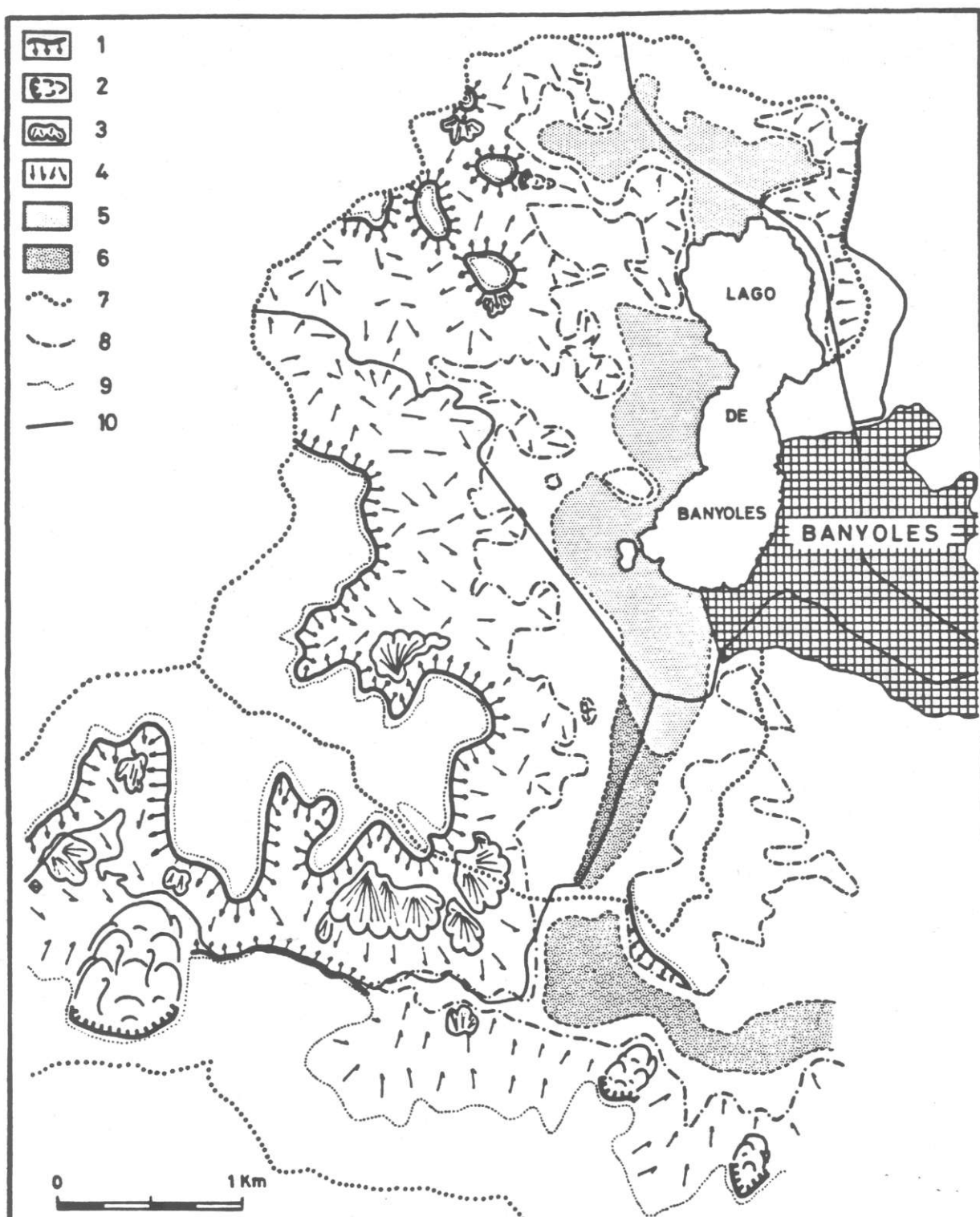


Fig. 3.- Inestabilidades gravitatorias.

1) Áreas susceptibles de desprendimiento de bloques. 2) Áreas afectadas por modernos movimientos de flujo complejos. 3) Áreas afectadas por antiguos movimientos de flujo complejos. 4) Áreas que pueden quedar afectadas por movimientos de flujo. 5) Áreas que pueden quedar frecuentemente afectadas por hundimientos. 6) Áreas que pueden quedar muy esporádicamente afectadas por hundimientos. 7) Límite de cuenca. 8) Contacto entre materiales eocénicos y posteocénicos. 9) Contacto entre materiales eocénicos. 10) Carreteras.

rectificación del trazado de las calzadas. Tal es el caso del punto kilométrico 29,5 de la carretera comarcal de Banyoles a Sta. Pau.

c) *Deslizamientos complejos*

Son movimientos rotacionales, asociados a procesos de fluidificación. De hecho pueden considerarse como una resultante, a gran escala, del deslizamiento de materiales margosos. Producen unas importantes cicatrices en semicírculo, a veces superiores a 250 m de diámetro. Asimismo dan lugar a unas acumulaciones lingüiformes, al pie de las vertientes, con estructuras internas caótico-slumpizadas, visibles gracias a los tramos más rígidos y compactos de las margas. Entre ellas, podemos distinguir dos tipos de formas. Unas que pueden calificarse como recientes, aunque sin datos históricos de su aparición. Presentan marcada cicatriz de despegue de superficie cóncava, y morfología plano-convexa de los materiales deslizados. Tal es el caso del "Clot del Pou de Ca'n Pigem", entre otros localizados en la ladera septentrional de la Serra Llarga.

Otras, relictas, de deslizamientos antiguos, evidenciadas tan solo por los buzamientos anómalos y por una carencia de estructura interna que facilita su erosionabilidad. Prueba de ello, es su frecuente coincidencia con zonas de acaravamiento manifiesto que enmascara su antigua morfología y génesis. Buenos ejemplos se presentan en las vertientes que rodean St. Patllari. En ambos casos se generan superficies de pendiente reducida, por lo que propician el asentamiento humano (agrícola o residencial).

1.2.) *Causas de la inestabilidad de laderas*

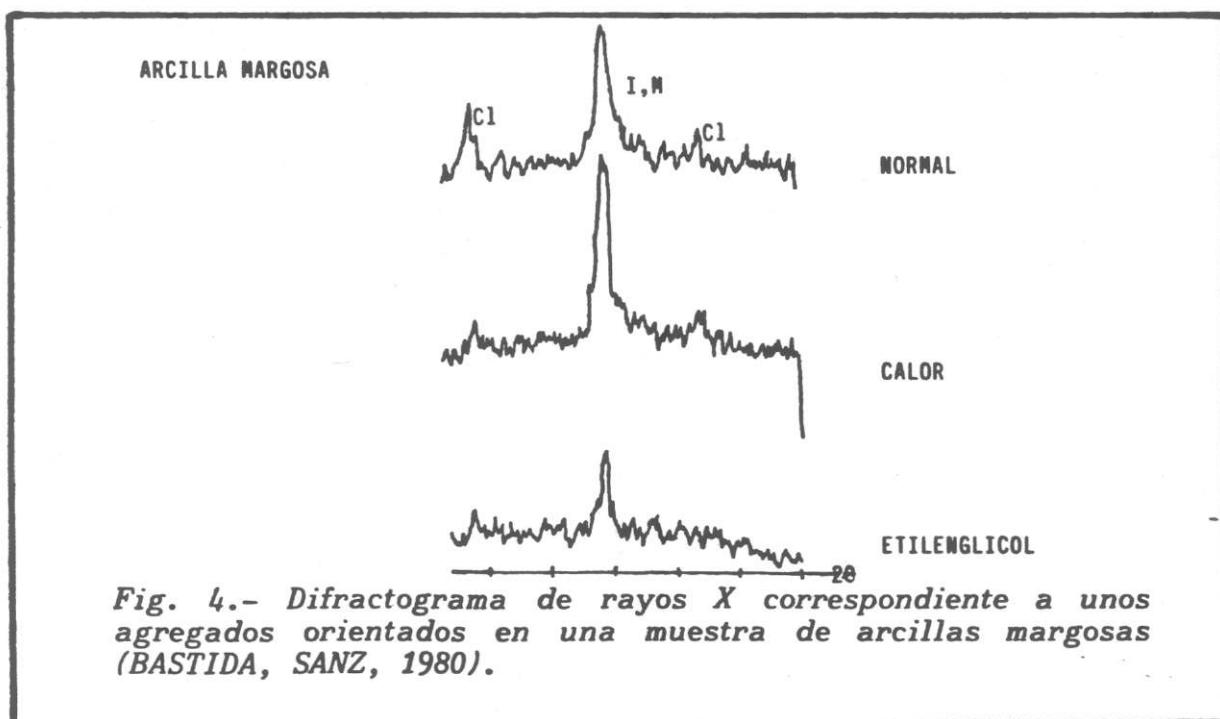
Las variables que influyen en mayor grado en la inestabilidad de las laderas pueden agruparse atendiendo a dos criterios de diferenciación:

a) *Factores autóctonos. Obecen a cuatro posibles condicionantes:*

* *Topográfico.* Según la hipótesis de deslizamientos planares en ladera infinita, para materiales flyshoides, puede afirmarse que las laderas con pendientes superiores a 30° presentan riesgos de rotura,

incluso en suelo seco, mientras que las inferiores a 15° son estables, aún en el caso de que el suelo se halle saturado. (VAN ASCH, 1980). Estudiadas las vertientes margo-arcillosas de la zona, de características mecánicas parecidas, se observan unos valores que oscilan entre los 18° y 27° , aunque ocasionalmente pueden superar los 45° . La estabilidad de estas laderas vendrá, por tanto, totalmente condicionada al grado de saturación a que se vean sometidas.

* *Litológico.* Los problemas de inestabilidad se centran en las arcillas margosas. Su composición mineralológica deducida de los difractogramas de rayos X correspondientes a unos agregados orientados -una muestra sin tratar y otras dos tratadas con calor y etilenglicol- revela la presencia de cloritas y arcillas expansivas del tipo illita-montmorillonita (BASTIDA y SANZ, 1980) (fig. 4). Sin embargo, y localmente, entre las arcillas margosas se intercalan niveles más carbonatados que confieren una mayor resistencia al conjunto. Este se presenta, en general, con una cierta alteración de superficie.



* *Estructural.* Por una parte la coincidencia entre el sentido de buzamiento de los materiales estratificados y la inclinación propia de la pendiente topográfica facilita, evidentemente, el desencadenamiento de todo tipo de inestabilidades. Se constata, por otro lado,

dez manifiesta, sólo pueden explicarse a partir de la liquefacción a favor de diaclasas. Estas constituyen vías preferenciales de circulación del agua de infiltración y actúan, durante los periodos lluviosos, como eficaces superficies de despegue.

* *Biológico.* La escasa vegetación de determinadas zonas, deforestadas debido a los incendios ocurridos en los últimos años, tiende a favorecer la inestabilidad gravitatoria al no cohesionar los materiales deleznable ya arrancados.

b) *Factores alóctonos.* Obedecen a tres tipos de condicionantes:

* *Alcance del limite liquido de las lutitas-margosas por infiltración del agua ce lluvia.* Se han calculado los limites de Atterberg para muestras de estos materiales con objeto de establecer sus características mecánicas y su incidencia en los procesos gravitatorios. (TABLA I).

MUESTRA	1	2	3
límite líquido	29	30	30
límite plástico	23	21	22
índice de plasticidad	6	9	8

Tabla I: Características mecánicas de los materiales margo-arcillosos.

Proyectados estos valores en el Diagrama de plasticidad de Casagrande se comprueba que se trata de materiales con bajo índice de plasticidad. Ello significa una elevada porosidad y una posibilidad de solifluxión si coexisten con un drenaje deficiente.

* *Saturación del acuífero.* Las areniscas suprayacentes se comportan

como niveles receptores de agua debido a su marcado diaclasamiento. Por ello pueden quedar totalmente saturados al estar en contacto con los niveles impermeables marga-arcillosos infrayacentes.

* *Tipo de lluvia.* En la región de Banyoles tienen lugar, con una periodicidad media de 30 años, lluvias de carácter extraordinario, generalmente en los meses de invierno. Así, en diciembre de 1932 para un periodo de cuatro días se contabilizaron 500 mm/m² y más recientemente, entre los días 15 y 17 de febrero de 1982, se registraron 200 mm/m². En esta ocasión, la intensidad de la lluvia fue de 35 mm/h, iniciándose la escorrentía superficial a partir de los primeros 60 mm. En ambos casos se produjeron importantes daños en la estructura viaria.

2.- Hundimientos

2.1.) Descripción

En el llano que forma la Depresión de Banyoles, y localizados en su sector más occidental, se dan, con relativa frecuencia, procesos de colapso de la superficie topográfica. Estos aparecen de un modo súbito generando depresiones de superficie subcircular y morfología troncocónica, gradada en profundidad. El material engullido en esta especie de embudos tiende a desmantelarse con rapidez al ser casi coetánea la formación de estos con una inyección hídrica subterránea que acaba por colmar la depresión y originar un lago. La toponimia local asigna, según un orden areal decreciente aunque sin unos límites precisos, distintas denominaciones a las formas generadas: "estany", "estanyol", "brollador".

A menudo, nuevos hundimientos pueden solaparse a otros ya existentes, dando lugar a formas lagunares mayores. El mismo lago de Banyoles, y el de Vilar -situado en el sector suroriental del anterior- con su batimetría en cubetas-embudo, son evidente prueba de ello.

La memoria de hechos históricos demuestra la continuidad de los hundimientos en la región. Algunos de ellos en fechas muy recientes (1978, 1982, 1983, 1985J. Se localizan en áreas de cultivo y zonas boscosas próximas al lago y llegan a afectar la red viaria (Cra. de Banyoles a Olot por BesalúJ. Ocasionalmente, estos hundimientos han tenido

lugar en el interior del mismo lago de Banyoles, originándose un rápido y repetido movimiento de descenso y ascenso de las aguas (27-X-1984 y 7-V-1920). En idéntico sentido cabe resaltar el hecho del emplazamiento de los primitivos asentamientos urbanos, todos ellos ubicados en zonas potencialmente seguras frente a estos procesos.

2.2.) Causas de los colapsos gravitacionales

Los hundimientos del terreno se producen en aquellos sectores en los que existen yesos infrayacentes a los materiales cuaternarios. Estas formaciones evaporíticas se hallan sometidas a un continuo proceso de disolución cárstica. Ello se debe al ascenso de agua a presión desde un acuífero situado en las calizas subyacentes a los yesos y cuyo techo se sitúa a una profundidad media de unos 250-300 m.

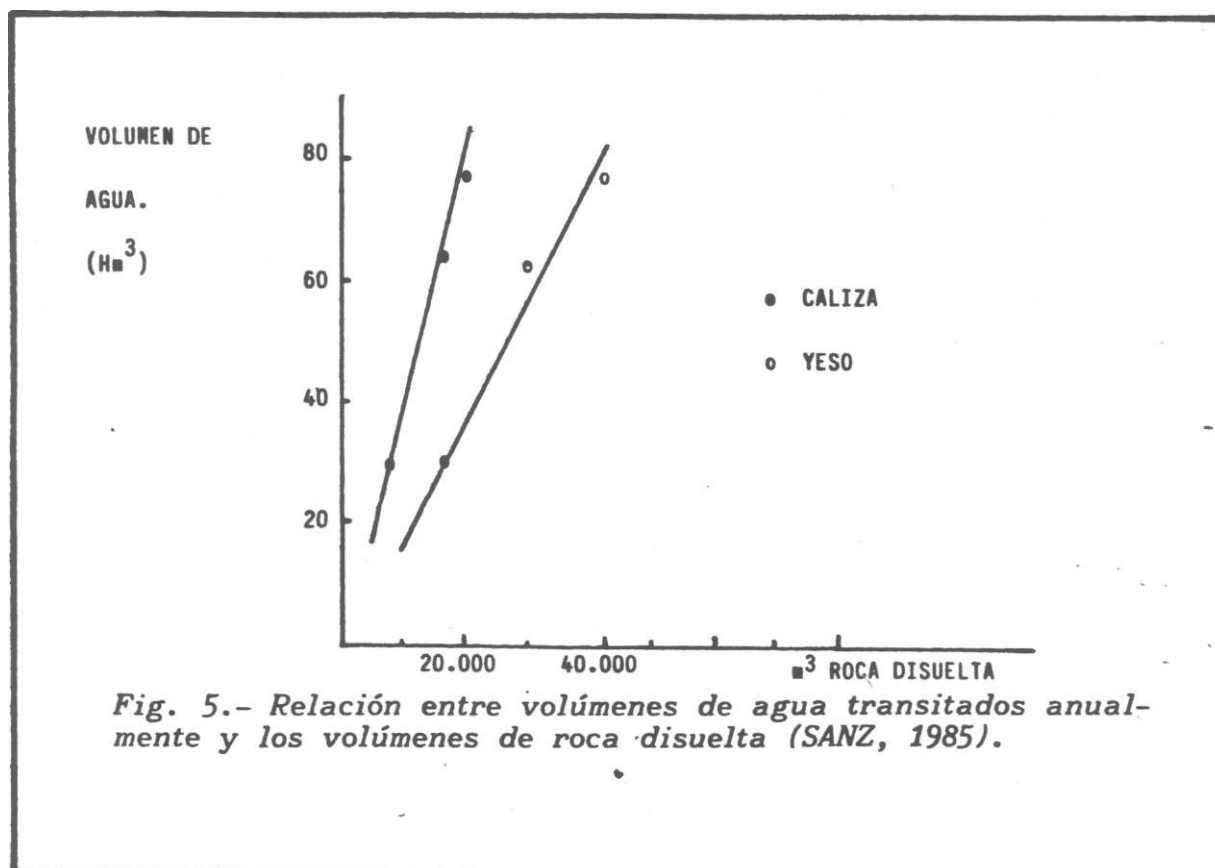
El contenido en tritio del agua procedente del último socavón formado en el sector de Ca'n Ordis es de 25 U.T.. Este valor coincide, en un mismo orden de magnitud, con el registrado, para la misma fecha, en el agua de uno de los sondeos surgentes, situado en las proximidades y que explota directamente el acuífero en calizas (29 U.T.). Las captaciones artificiales que se abastecen de este acuífero pueden llegar a medir presiones de surgencia del agua superiores a las 3,5 atmósferas en períodos lluviosos. Estos resultados explican que las causas genéticas haya que buscarlas en un marco mucho más amplio que las inscritas en una circulación hídrica de infiltración local. Por ello entendemos que pueden constituir parte integrante de un macrosistema que comprendiera como áreas de desguace la propia región de Banyoles y los valles de St. Miquel de Campmajor y del curso medio del río Fluvià; y como zonas de recarga las del macizo de la Alta Garrotxa (SANZ, 1981).

Se puede afirmar que el mayor volumen de roca disuelta es directamente proporcional a la mayor disponibilidad de aguas de circulación cárstica. En la Tabla II y en la Figura 5 se aprecia la relación existente entre los volúmenes de agua de tránsito anual que circula por el sistema y los volúmenes teóricos de roca disuelta (SANZ, 1981). La formación de socavones se temporaliza, sin embargo, preferentemente en los periodos prolongados de ausencia de lluvias (Tabla III). En consecuencia, se opina que, si bien el factor desencadenante del pro-

ceso es la disolución de los yesos, el efecto hidráulico que ejerce la compresión del agua ascendente sobre los materiales superiores impide el hundimiento de las cavidades. La descompresión que se produce en los periodos secos posibilita, por tanto, el colapso, al desaparecer la componente mecánica que les da soporte.

Año	Volúmen agua (Hm ³)	Roca disuelta (m ³)		Disolución específica (m ³ /Km ² /año)	
		Caliza	Yeso	Caliza	Yeso
1977	87,6	19.770	41.950	36,6	130
1978	73,6	14.820	29.550	27,4	91,5
1979	39,7	7.420	16.400	13,7	50,7

Tabla II.- Volumen total de roca disuelta y disolución específica en relación con los volúmenes transitados (SANZ, 1985).



	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sector Banyoles	2				2		3	1		1	2	
Sector St. Miquel de Campmajor		2			2	1	2	1	1		2	

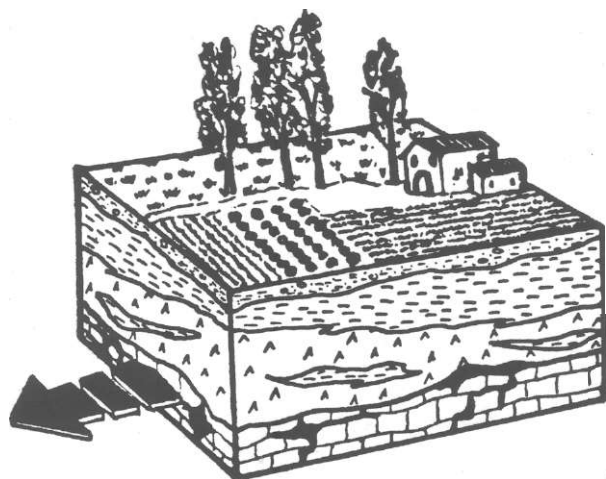
Tabla III.- Temporación mensual de los socavones producidos en los últimos 100 años.

En una visión sintética del proceso (Fig. 6) es posible establecer un esquema seriado de los distintos episodios. Así a partir de un substrato yesífero y un flujo hídrico en profundidad se suceden distintas etapas de carstificación creciente hasta culminar en un colapso gravitacional, coincidente a menudo con un déficit en la pluviometría del sistema. El restablecimiento de un tránsito hídrico mayor aporta, en una fase inmediata o subsiguiente, un flujo surgente que colmata la depresión y origina un "estanyol".

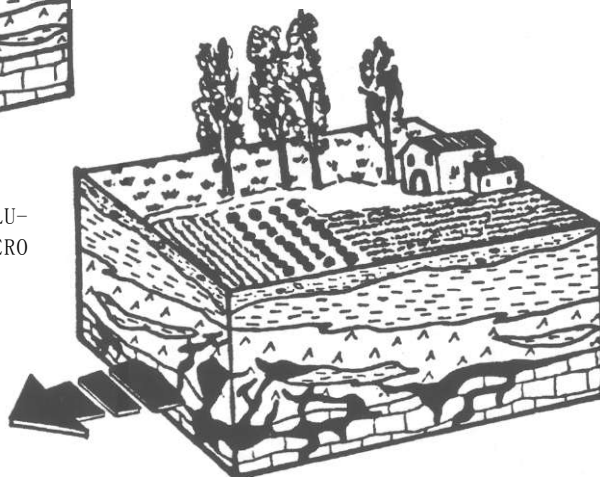
CONCLUSIONES

Los problemas de inestabilidad gravitacional que afectan a los alrededores del lago de Banyoles, limitan considerablemente su espacio útil, al quedar expuesto al riesgo de deslizamientos de las vertientes y a los posibles hundimientos de la superficie. En ambos casos, la lluvia es el factor desencadenante de los procesos gravitatorios que allí se dan, posibilitando el alcance del límite líquido de las lutitas-margosas que constituyen las laderas, y contribuyendo a la disolución del material yesífero infrayacente.

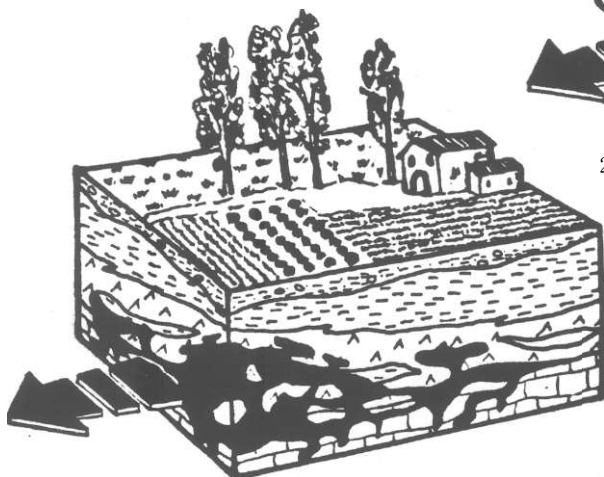
Los movimientos debidos a la inestabilidad de las laderas son esporádicos; tienen lugar en conexión directa con períodos lluviosos de gran intensidad. Los colapsos son procesos relativamente frecuentes; se producen después de que la circulación subterránea disuelva el material evaporítico y dé lugar a una carstificación creciente, hasta



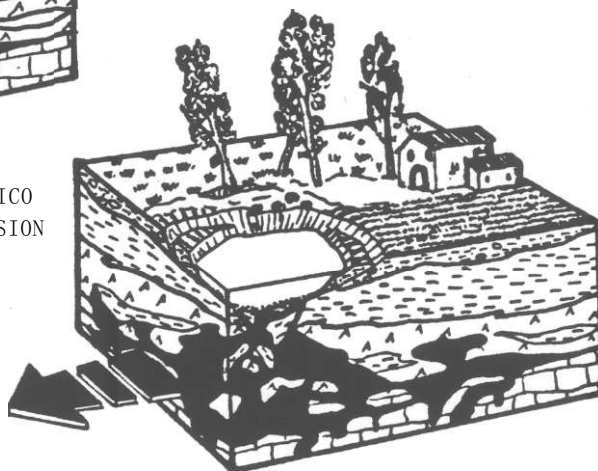
1. INICIO DEL PROCESO CARSTICO POR FLUJO DE AGUA A PRESION EN EL ACUIFERO EN CALIZAS.



2. CARSTIFICACION CRECIENTE QUE DISUELVE LOS MATERIALES EVAPORITICOS.



3. SE SOBREPASA EL EQUILIBRIO MECANICO DE LAS CAVIDADES, PERO LA COMPRESION HIDRAULICA LAS MANTIENE.



4. LA DESCOMPRESION DEL SISTEMA CULMINA EN EL COLAPSO GRAVITACIONAL. UNA NUEVA INYECCION HIDRICA GENERARA UN "ESTANYOL"

Fig. 6.- Esquema seriado de los distintos episodios en la formación de un socavón.

sobrepasar el equilibrio mecánico del techo de las cavidades. Una descompresión hidráulica del sistema, debida a la disminución del caudal subterráneo circulante, puede dar lugar al colapso gravitacional

BIBLIOGRAFIA

- BASTIDA, J., SANZ, M. (1980): *"Contribución al estudio de la dinámica y sedimentación del lago de Banyoles"* Jornadas Científicas sobre Cerámica y Vidrio. Barcelona.
- BRUSI, D. (1985): *"El Plà de Sta. Maria dins del sistema hidrogeològic de Banyoles"*. Tesina de licenciatura U.A.B. (Inédito).
- I.R.Y.D.A. (1984): *"Datos del sondeo de reconocimiento hidrogeológico al N del lago de Banyoles"*. (Inédito).
- PALLI, L. (1972): *Estratigrafía del Paleógeno del Empordà y zonas limítrofes"*. Publicaciones de Geología, nº 1. U.A.B.
- SANZ, M. (1985): *"El sistema hidrogeológico de Banyoles-La Garrotxa"*. Centre d'Estudis Comarcals de Banyoles. Banyoles.
- VAN ASCH, Th. (1980): *"Water erosion on slopes and landsliding in a mediterranean landscape"*. Utr.Geogr.Stud. 20:1-238. Utrecht.
- VARNES, D.J. (1978): *"slope movements types and processes en landslides"*. Analysis and Control. Special Report 176. Transportation Research Board, pp. 11-33.