

LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN EL SECTOR DE COLMENAR (MÁLAGA)

C.Irigaray (1) y J.Chacón (1)

(1) Departamento de Geodinámica. Área de Ingeniería del Terreno. Universidad de Granada. 18071 GRANADA).

RESUMEN

El sector de estudio está localizado al norte de Ríogordo y Colmenar (Málaga), en el contacto entre las Zonas Internas y Externas de la Cordillera Bética, donde la disposición estructural es extremadamente compleja. Las precipitaciones oscilan entre los 600 y más de 800 mm/año. El drenaje de los principales acuíferos se realiza, de forma difusa y casi continua, a través del contacto entre los materiales carbonatados que constituyen los acuíferos y los bordes impermeables (margas y arcillas). La pendiente media ponderada es elevada (21-50 %). La litología es muy variada, con frecuente alternancia de materiales de diferente comportamiento mecánico (calizas, areniscas, silixitas, brechas -arcillas, limos, margas).

En este contexto se han generado un gran número de movimientos de ladera, fundamentalmente flujos, deslizamientos y caídas de bloques, cuyos depósitos ocupan una superficie del orden del 11% de la superficie total estudiada. Se hace una primera distinción entre desprendimientos, fenómenos de reptación y resto de movimientos. La mayoría de estos últimos, según la clasificación de Brunsten (1973), corresponden a flujos más o menos estabilizados.

Los desprendimientos están asociados a los macizos rocosos (calizas, dolomías fundamentalmente), mientras que los flujos y deslizamientos se generan, sobre todo, en alternancias de materiales que muestran una resistencia muy contrastada (calizas margosas y margas; calizas, areniscas y margas). En los materiales arcillosos con pendientes suaves se generan, esencialmente, procesos de reptación.

El factor desencadenante de los distintos movimientos es el régimen de precipitaciones, mientras que los factores determinantes son, fundamentalmente, la pendiente, el régimen de filtración de agua, la resistencia de las distintas litologías y la complejidad tectónica.

Palabras clave: Flujos, deslizamientos, desprendimientos, parámetros de la ladera y masa movilizada, factores determinantes y factores desencadenantes, Ríogordo, Colmenar.

ABSTRACT

The field zone is located at the north side of Ríogordo and Colmenar (Málaga), in the boundary between the Inner and Outer Zones of the Betic Cordilleras, where a high structural complexity is observed. The annual rainfall amounts 600 to 800 mm. A continuous and diffuse drainage occurs along the lower boundaries of the limestone formations on the underlying impervious marly formations. The middle slope angle of the area is inclined to very inclined (21 to 50%) and the lithologies cropping out in the area show very variable strengths (limestone, sandstone, siliceite, breccia, clay, silt and marl).

In this context a great number of mass wasting movements are recorded in the study area, mainly flows, slides and rockfalls, with deposits attaining about the 11% of the whole surface. The bigger flows and landslides have been analysed and, according to Brunsten's classification (1973), most of these movements are more or less stabilized flows. Creeping processes are observed in gently inclined slopes on marls and clays.

The preparatory factors are related to the water flow from the aquifers, the strengths of the different lithologies, the tectonic complexity and the slope angle. The triggering factor is the rainfalls.

Key words: Flows, landslides, rockfalls, slope and mass parameters, determinant factors, triggering factors, Ríogordo, Colmenar.

Irigaray,C. y Chacón,J.(1991): Los movimientos de ladera en el sector de Colmenar (Málaga). *Rev. Soc. Geol. España*, 4: 203-214.

Irigaray,C. and Chacón,J.(1991): Slope movements at the Colmenar area (Málaga). *Rev. Soc. Geol. España*, 4: 203-214.

1. INTRODUCCIÓN: LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

El área de estudio está localizada en la región de la "Alta Cadena" (Blumenthal, 1931; Peyre, 1974; Mathis, 1974; Olivier, 1980; Martín-Algarra, 1987), al norte de Riogordo y Colmenar, en el extremo nororiental de la Provincia de Málaga (fig.1), donde existen un gran número de depósitos de deslizamientos, flujos y caídas de bloques (Chacón *et al.*, 1988).

Las precipitaciones, controladas fundamentalmente por la orografía que determina la distribución de las lluvias a escala local, están comprendidas entre 600 y más de 800 mm/año. A lo largo del año se pueden distinguir 2 períodos, uno seco (menos de 30 mm/mes) que abarca desde Junio a Agosto, y otro húmedo (más de 60 mm/mes) que varía, según zonas, entre Octubre y Abril.

La temperatura media anual está comprendida entre 12,6°C y 16,2°C, con unas oscilaciones de 24,9°C a 22°C en verano y de 5,7°C a 9,8°C en invierno. Las temperaturas extremas oscilan entre -2,2°C y 40°C. Las estaciones a partir de las cuales se han obtenido los datos son: Alfarnate, Antequera, cortijo Robledo y Riogordo (ver fig. 1).

Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona queda enmarcada en el acuífero carbonatado de la Sierra de las Cabras-Camarolos-San Jorge, condicionado por la intensa fracturación y karstificación de los materiales jurásicos. Cuenta con una superficie de 63 km² y unos recursos medios de 20 Hm³/año (Excm. Diputación de Málaga, 1988). Los bordes del conjunto están bastante bien limitados por el contacto con materiales margosos, cretácicos y terciarios, de baja permeabilidad que constituyen los límites laterales y basal del acuífero. La descarga se realiza a través del contacto con el borde impermeable. La mayor parte del drenaje se hace hacia la vertiente septentrional de la cadena, donde se localizan los manantiales más caudalosos. El drenaje hacia la vertiente meridional es menor y mucho más difuso a través del mencionado contacto.

Las pendientes medias ponderadas están comprendidas entre el 47-50 % en la zona más septentrional (calizas y dolomías) y alrededor del 21% en las zonas localizadas más al Sur (margas y arcillas con areniscas de la Unidad de Colmenar) (Irigaray, 1990).

2. ENCUADRE GEOLÓGICO

El sector de estudio está situado en el contacto entre las Zonas Internas y Externas de la Cordillera Bética (fig. 2).

La estructura tectónica de esta región es bastante compleja. Peyre (1974) diferenció las siguientes unidades tectónicas: "Unidad de Ronda-Torcal" que ocupa la posición tectónica inferior y se corresponde con el Penibético de Martín-Algarra (1987). Superpuestas a ésta, distinguió un grupo de tres unidades que, de abajo arriba son: la del Gallo-Vilo, la de Ballesteros y la de

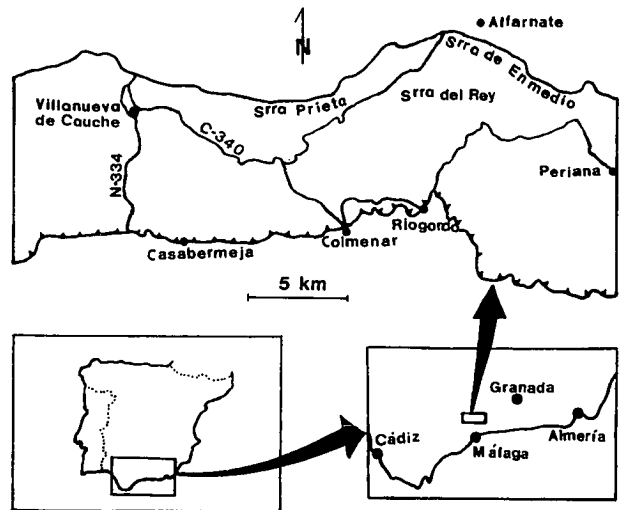


Fig. 1.-Localización geográfica del área estudiada.
Fig. 1.-Geographical localitation of the studied area.

la Venta de los Domajos; sobre ellas reposarían dos conjuntos tectónicos de estructura interna compleja, que denominó respectivamente, de la Prieta al inferior y de las Cabras al superior.

La unidad de Zafarraya que al sureste de Alfarnate reposa tectónicamente sobre el Gallo-Vilo y las unidades del Flysch de Colmenar (Blumenthal, 1931) sería, según Peyre (1974), afín al Conjunto de las Cabras y perteneciente al Conjunto de la Prieta según Delgado (1970).

El Complejo del Campo de Gibraltar (Fallot, 1948) está constituido por materiales cretácicos, paleógenos y, sobre todo, del Mioceno inferior, que muestran un desarrollo predominante de facies flysch. A pesar de su aloctonía y de presentar, en general, la posición tectónica más superior, aparece profundamente enraizado entre las Zonas Internas y las Externas con una estructura extraordinariamente compleja (Martín-Algarra, 1987).

Discordante sobre las unidades descritas anteriormente, se sitúa un conjunto de materiales pliocuaternarios y cuaternarios, producto del desmantelamiento de los relieves circundantes (coluviones, canchales, conos de deyección, arcillas de descalcificación y aluviales) y de la dinámica de las vertientes (depósitos de deslizamientos, flujos, soliflucción etc.) (Barba Martín *et al.*, 1979).

3. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Se pueden diferenciar dos tipos de materiales geotécnicos netamente diferentes: macizos rocosos y suelos en sentido geotécnico. Los macizos rocosos (calizas y dolomías) presentan según la clasificación de Selby (1980) valores de resistencia del macizo moderado-débil. Los suelos en sentido geotécnico corresponden, en general, a limos y arcillas de baja plasticidad (fig. 3). La

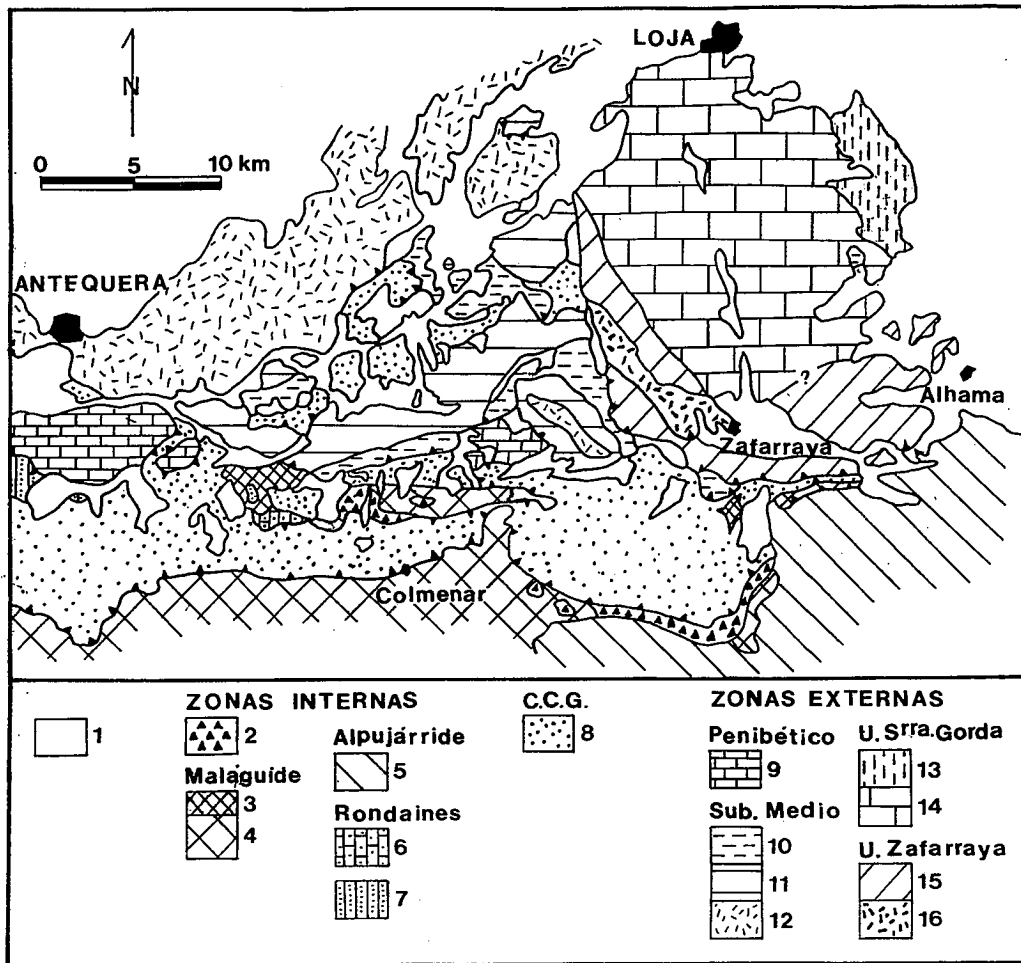


Fig. 2.-Contexto geológico (Martín Algarra, 1987). 1: Postorogénicos. 2: Grupo de la Viñuela. 3: Cobertera. 4: Grupo Piar. 5: Alpujarride. 6: U. tipo lentiscar. 7: U. tipo Argüelles. 8: Complejo del Campo de Gibraltar. 9: Penibético. 10 y 13: Cretácico y Terciario. 11, 14 y 15: Jurásico. 12 y 16: Triás.

Fig. 2.-Geological context (Martín Algarra, 1987). 1: Postorogenics. 2: Viñuela Group. 3: Cover. 4: Piar Group. 5: Alpujarride complex. 6: Lentiscar like-unit. 7: Argüelles like-unit. 8: Campo de Gibraltar complex. 9: Penibetic. 10 and 13: Cretaceous and Tertiary. 11, 14 and 15: Jurassic. 12 and 16: Triassic.

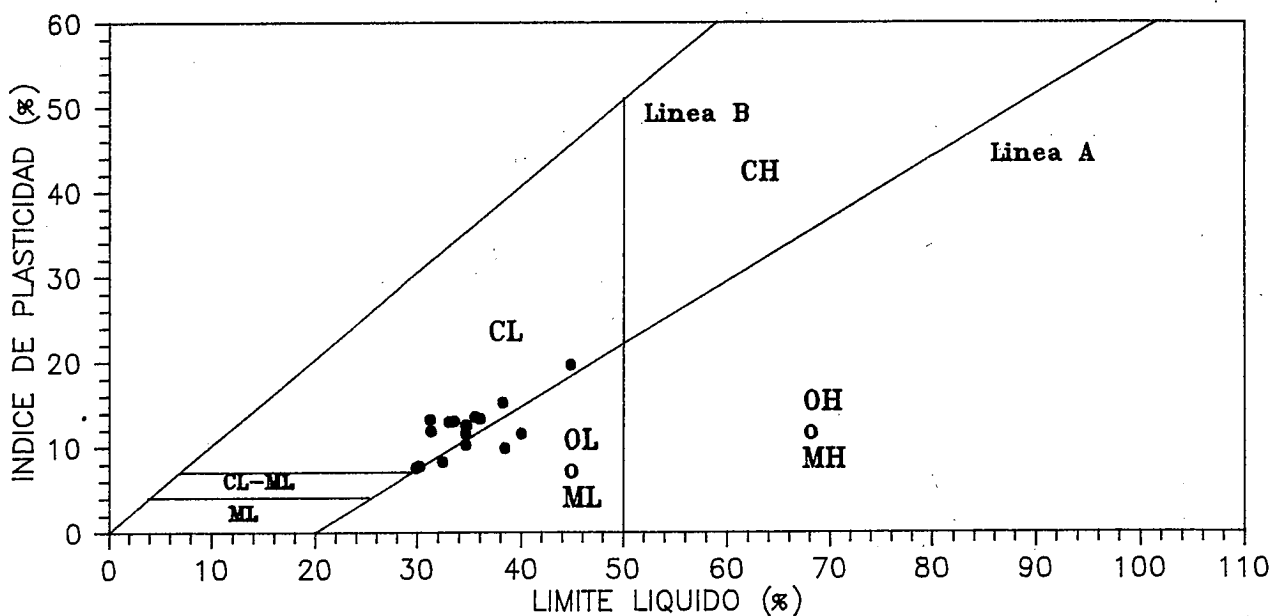


Fig. 3.-Representación en la carta de plasticidad de Casagrande de las muestras analizadas.

Fig. 3.-Casagrande's plasticity chart plotting of the samples.

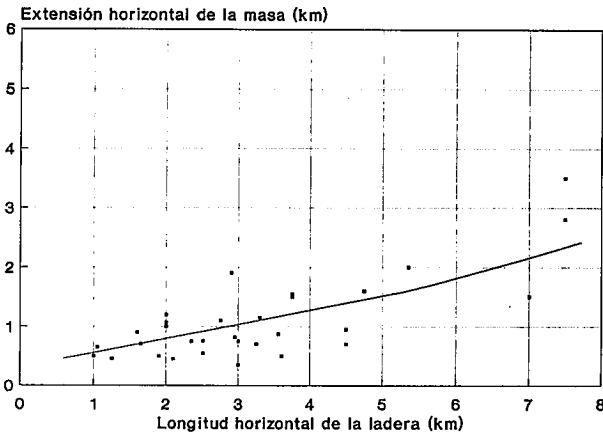


Fig. 4.-Relación entre la extensión horizontal de la masa y la extensión horizontal de la ladera.

Fig. 4.-Mass horizontal length versus slope horizontal extension.

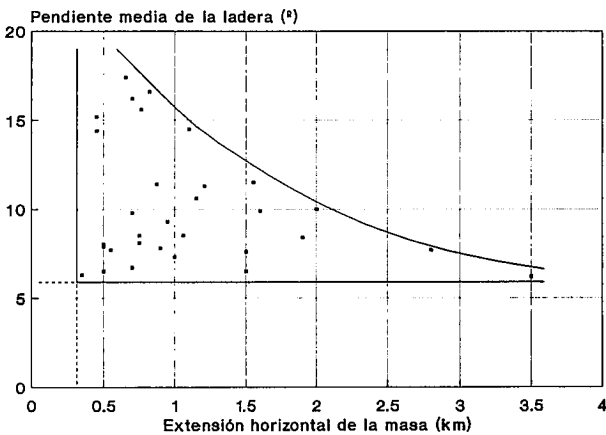


Fig. 5.-Relación entre la extensión horizontal de la masa y la pendiente media de la ladera.

Fig. 5.-Mass horizontal length versus average slope-angle.

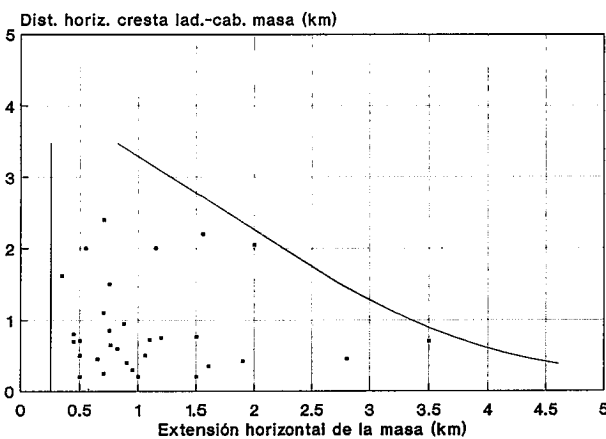


Fig. 6.-Relación entre la extensión horizontal de la masa y la distancia horizontal cresta de la ladera-cabecera de la masa.

Fig. 6.-Mass horizontal length versus the horizontal distance between the slope top and the main scarp.

cohesión y el ángulo de rozamiento interno en condiciones CU están comprendidos en los intervalos 0,05-0,4 kg/cm² y 15-25° respectivamente. La actividad es baja (0,2-0,5) y el índice de dispersión varía entre 0,1 y 0,6 (Irigaray, 1990).

4. LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

En un estudio sistemático de los criterios de clasificación de movimientos de ladera, Hansen (1984) concluye que existe un número muy elevado de sistemas de clasificación, determinados según los factores discriminantes utilizados por sus autores y sin que ninguno de ellos sea aceptado de forma generalizada.

Los factores discriminantes más utilizados son el tipo de proceso (Flageollet, 1988), velocidad del movimiento (Varnes, 1958; Varnes, 1978), agente de transporte (Flageollet, 1988), agente desencadenante (Terzaghi, 1950; Brunsten, 1979; Hansen, 1984) y factores del terreno. Entre éstos últimos cabe destacar las características geotécnicas (Hutchinson, 1978), características y orientación de las superficies de discontinuidad (Millies-Lacroix, 1981; Szabo, 1985), aspecto morfológico (vegetación, clima, inclinación) (Rapp, 1960), y la morfometría de los materiales depositados y de la propia superficie de rotura (Skempton, 1953; Brunsten, 1973; Crozier, 1973; Blong, 1973; Hansen, 1984).

La clasificación utilizada en este trabajo está basada en Varnes (1978). Algunos de los términos castellanos son propuestos por Corominas (1989).

Según esta clasificación se diferencian 3 tipos básicos de movimientos de masa: Flujos (fluidos o viscosos), deslizamientos rotacionales ó traslacionales y desprendimientos de rocas.

Las definiciones de estos tres tipos básicos son las siguientes:

Flujos.- Son movimientos de masas de suelos o rocas tales que, tanto por la forma adoptada por el depósito como por la distribución aparente de velocidades y desplazamientos relativos, recuerdan a los fluidos viscosos (en el caso de suelos). Las superficies de deslizamiento, si es que se forman, no son netas y apenas son visibles. Los límites entre la masa móvil y la estable puede ser una superficie neta y abrupta ó una zona de cizalla progresiva. La velocidad varía de extremadamente rápida a extremadamente lenta (Varnes, 1978). La masa movilizada pierde completamente la forma original.

El término "reptación" hace referencia a cualquier movimiento extremadamente lento, prácticamente imperceptible y que provocan la deformación permanente de los taludes. Desarrolla velocidades inferiores a 1 cm/año.

La soliflucción es un fenómeno complejo que hace que el suelo fluya deformándose a la vez que aparecen superficies de cizalla. Los factores determinantes son el contenido en agua y la plasticidad. El tránsito entre reptación y soliflucción es gradual. Igualmente los fe-

nómenos de solifluxión pueden derivar en coladas sin solución de continuidad.

Deslizamientos.- Son movimientos descendentes y relativamente rápidos de una masa de suelo ó roca que suponen el desplazamiento por cizalla bien a lo largo de una o varias superficies netas, visibles ó que pueden ser inferidas razonablemente, o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. La masa desplazada lo hace de forma rígida y aunque puede fragmentarse, se considera que lo hace como un bloque único (Varnes, 1978). Se pueden dividir en dos grandes grupos (rotacionales y traslacionales) en función de que la superficie de rotura sea curva o plana.

Desprendimientos.- Son aquellos movimientos de una porción de suelo ó roca, en forma de bloques individualizados o masivamente, que en gran parte de su trayectoria descienden por caída libre. El material se deposita a cotas más bajas o al pie del talud. Normalmente este mecanismo requiere unas condiciones de relieve específicas como son la presencia de taludes escarpados que permita la caída libre, la presencia previa de discontinuidades (estratificación, diaclasas, juntas etc.), degradación de la resistencia de la roca por efecto de los agentes de meteorización y erosión hídrica superficial. Las causas que provocan este mecanismo son numerosas y variadas. Así podemos tener desprendimientos por gelifracción, por reblandecimiento del pie ó por descalce (Corominas, 1989).

En la zona de estudio se ha hecho una primera distinción entre desprendimientos, asociados a los macizos rocosos y resto de movimientos de ladera. De entre estos últimos se han analizado los de mayores dimensiones, cuantificando, para cada uno de ellos los parámetros de la ladera y de la propia masa movilizada. Los parámetros analizados han sido: longitud horizontal de la ladera, cota de la cresta de la ladera, cota del pie de la ladera, desnivel entre la cota y el pie de la ladera, pendiente media de la ladera, extensión horizontal de la masa movilizada, cota de la cabecera de la masa, cota del pie de la masa, intervalo vertical entre cota y pie de la masa, pendiente media de la masa y distancia, en horizontal, entre la cota de la cresta de la ladera y la cota de la cabecera de la masa, área, perímetro, anchura máxima y longitud máxima de la masa movilizada, posición de la cabecera del movimiento respecto a la ladera (valores del 0% significan que coincide la cabecera del movimiento con la de la ladera; valores próximos al 100% indicarían una génesis al pie de la ladera) y extensión horizontal de la masa respecto la ladera (indica el % de ladera cubierta por depósitos) (tabla 1).

En las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 se han representado la relación entre algunos de los parámetros morfométricos analizados. De estas figuras se pueden inferir algunas conclusiones:

1. A medida que aumenta la extensión horizontal de la ladera, la frecuencia de los grandes movimientos es mayor (fig. 4).
2. Las masas de mayor extensión horizontal se sitúan en vertientes cuya pendiente media actual es

comparativamente menor. Existe una pendiente mínima (alrededor de 7°) por debajo de la cual no se generan movimientos de dimensiones importantes (más de 300 m) (fig. 5).

3. Cuanto más cerca de la cresta de la ladera se genere un movimiento más espacio tendrá la masa para deslizarse y, por tanto, tendrá más probabilidades de que su extensión sea mayor. Existe una extensión horizontal mínima, independientemente de su posición en la ladera. Esto último se debe, posiblemente, al hecho de que solamente se han considerado los movimientos de mayores dimensiones (HEm más de 300 m.) (figs. 6, 7 y 8).

La relación entre la extensión horizontal de la masa y el intervalo vertical de la misma (fig. 9) se ha utili-

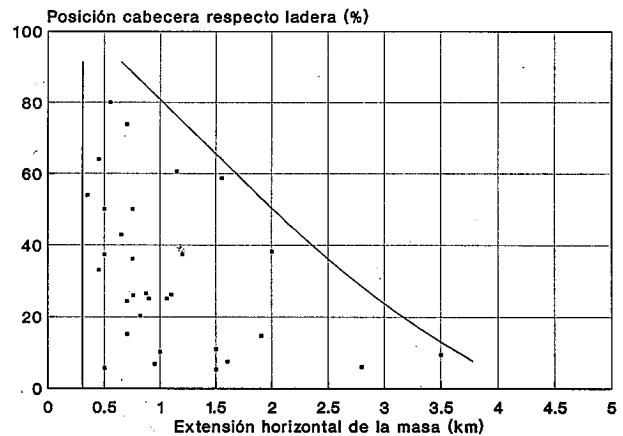


Fig. 7.-Relación entre la extensión horizontal de la masa y la posición de la cabecera respecto de la ladera.

Fig.7.- Mass horizontal length versus the position of the main scarp in the slope.

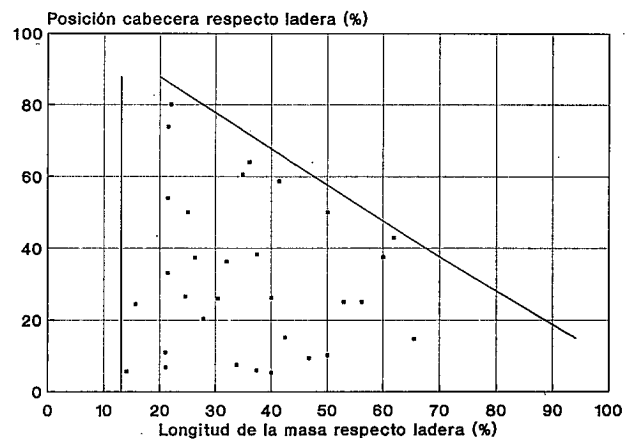


Fig. 8.-Relación entre la extensión horizontal de la masa respecto de la ladera y la posición de la cabecera respecto de la ladera.

Fig. 8.-Plot of the absolute values of the mass horizontal length as referred to the horizontal extension of the slope versus the position of the main scarp in the slope.

Mov.	LADERA					DATOS DE LA MASA MOVILIZADA												
	Lt	A	B	A-B	β_m	HEm	C	D	VIm	im	La-c	Lmt%	Lact%	Lm	Wm	P	A	VIm/HEm
1	3000	940	515	430	8,1	750	745	600	145	10,9	1500	25	50	767	90	1800	7,6	0,193
2	2500	940	600	340	7,7	550	700	600	100	10,3	2000	22	80	559	400	1750	10,7	0,182
3	3750	940	440	500	7,6	1500	850	510	340	12,8	200	40	5,3	1535	900	7800	118	0,227
4	2900	940	510	430	8,4	1900	860	570	290	8,7	425	65,5	14,7	1917	1250	7000	195	0,153
5	3600	1078	580	498	7,9	500	670	490	180	19,8	200	14	5,6	531	200	1620	8,6	0,360
6	7000	1290	495	795	6,5	1500	1140	800	340	12,8	760	21	10,9	1535	400	3150	35,2	0,227
7	3000	960	630	330	6,3	350	740	700	40	6,5	1620	21,4	54	353	500	1460	14,8	0,114
8	7500	1340	520	820	6,2	3500	1080	620	460	7,5	700	46,7	9,3	3524	500	15250	202	0,130
9	4500	1300	520	780	9,8	700	990	870	220	17,4	1100	15,6	24,4	736	400	1750	16,6	0,310
10	4750	1340	510	830	9,9	1600	1280	890	390	13,7	350	33,7	7,4	1647	200	3900	27,6	0,244
11	5350	1380	440	940	10,0	2000	900	670	230	6,6	2050	37,4	38,3	2000	650	5000	92,5	0,115
12	7500	1380	370	1010	7,7	2800	1100	580	620	12,5	450	37,3	6	2865	550	8500	75,4	0,221
13	2000	920	520	400	11,3	1200	800	540	260	12,2	750	60	37,5	1230	400	3600	39,5	0,217
14	3560	1360	640	720	11,4	875	990	810	180	11,6	950	24,6	26,7	895	350	2350	19,0	0,206
15	3300	1320	700	620	10,6	1150	820	650	170	8,4	2000	34,8	60,6	1164	400	3000	39,9	0,148
16	4500	1320	580	740	9,3	950	700	510	190	11,3	300	21,1	6,7	970	350	2500	30,4	0,200
17	2500	1540	840	700	15,6	760	1150	870	280	20,2	650	30,4	26	811	150	1700	10,4	0,368
18	2950	1415	560	855	16,6	820	1180	840	340	22,5	600	27,8	20,3	889	250	2450	19,1	0,415
19	3250	1415	420	955	16,2	700	590	450	140	11,3	2400	21,5	73,8	715	220	2120	11,8	0,200
20	2000	710	410	300	8,5	1060	590	420	170	9,1	500	53	25	1075	340	2480	27,5	0,160
21	1250	750	410	340	15,2	450	480	410	70	8,8	800	36	64	458	90	1000	5,0	0,155
22	2750	1310	600	710	14,5	1100	900	700	200	10,3	720	40	26,2	1120	400	3000	29,0	0,182
23	2350	800	450	350	8,5	750	660	520	140	10,6	850	31,9	36,2	760	250	1750	8,8	0,187
24	1600	495	275	220	7,8	900	460	300	160	10,1	400	56,2	25	912	200	2250	10,5	0,178
25	2000	495	240	255	7,3	1000	420	290	120	6,8	200	50	10	1015	250	2350	17,4	0,120
26	1650	495	300	195	6,7	700	440	320	120	9,7	250	42,4	15,1	907	150	1520	5,8	0,171
27	1900	495	280	215	6,5	500	400	320	80	9,1	710	26,3	37,4	1910	150	1250	4,7	0,160
28	2100	1260	720	540	14,4	450	900	830	70	8,8	700	21,4	33	2111	170	1300	5,7	0,155
29	1050	730	400	330	17,4	650	560	420	140	12,1	450	61,9	42,9	1059	150	1600	8,5	0,210
30	3750	1300	540	760	11,5	1550	810	600	210	7,7	2200	41,3	58,7	3762	1250	4900	91,4	0,135
31	1000	730	590	140	8,0	500	680	590	90	10,2	500	50	50	1013	150	1200	4,5	0,180

Tabla 1.- Parámetros morfométricos de las laderas y masas movilizadas. **LADERA**: Lt: Longitud horizontal de la ladera (m). A: Cota de la cresta de la ladera (m). B: Cota del pie de la ladera (m). A-B: Desnivel de la ladera (m). β_m : Pendiente media de la ladera ($^\circ$). **MASA MOVILIZADA**: HEm: Extensión horizontal de la masa (m). C: Cota de la cabecera de la masa (m). D: Cota del pie de la masa (m). VIm: Desnivel entre la cabecera y el pie de la masa (m) = C-D. im: Pendiente media de la masa ($^\circ$). La-c: Distancia en horizontal entre los puntos A y C (m). Lmt%: Longitud horizontal de la masa respecto a la ladera (%) = $100 \cdot (Lm/Lt)$. Lact%: Posición de la cabecera respecto a la ladera (%) = $100 \cdot (La-c/Lt)$. Lm: Longitud máxima de la masa (m). Wm: Anchura máxima de la masa (m). P: Perímetro de la masa (m). A: Área de la masa (Hm^2).

Table 1.- Morphometric parameters of slopes and mass movement deposits. **SLOPE**: Lt: Horizontal length (m). A: Crown height (m). B: Slope foot height. A-B: Vertical length (m). β_m : Average slope angle ($^\circ$). **DISPLACED MASS**: HEm: Horizontal extension (m). C: Crown height (m). D: Foot height (m). VIm: Vertical interval (m) = C-D. im: Average slope angle ($^\circ$). La-c: Horizontal distance between A and C (m). Lmt%: Horizontal length versus horizontal slope length ratio (%) = $100 \cdot (Lm/Lt)$. Lact%: Crown position in the slope (%) = $100 \cdot (La-c/Lt)$. Lm: Maximum width (m). P: Perimeter (m). A: Surface (Hm^2).

GRUPO LITOL.	SUPERFICIES (Hm^2)				
	Sa	SOF	SOD	SRF	SRD
1	843,7	20,4	102,9	15,8	64,6
2	1923,1	90,0	391,8	51,1	228,2
3	351,8	-	6,1	-	3,2
4	1183,6	129,2	112,1	83,6	19,7
5	434,5	19,0	33,5	9,2	13,8
6	89,5	8,9	-	2,9	-
7	305,3	97,5	56,8	60,0	17,3
8	2513,9	173,9	29,6	0,7	6,9
9	10700,1	581,8	132,1	129,9	16,4
10	625,2	250,3	-	23,0	-
11	4225,1	251,5	7,9	66,9	-
12	125,1	-	-	-	-

Tabla 2.- Superficie de ruptura y superficie ocupada por los movimientos de ladera en cada grupo litológico. Sa: Superficie total. SOF: Superficie ocupada por flujos y deslizamientos. SOD: Superficie ocupada por desprendimientos. SRF: Superficie de ruptura de los flujos y deslizamientos. SRD: Superficie de ruptura de desprendimientos.

Table 2.- Surface of rupture and occupied surface of slope-movements on the litologic groups. Sa: Total surface. SOF: Surface occupied by flows and landslides. SOD: Surface occupied by rock-falls. SRF: Surface of rupture of flows and landslides. SRD: Surface of rupture of rock-falls.

zado como criterio diferenciador entre los movimientos analizados (Brunsdén, 1973). Se observa como sólo 3 movimientos caen claramente en el intervalo VIm/HEm correspondiente a deslizamientos rotacionales activos (17, 18 y parcialmente el 5); el resto son flujos y coladas más o menos estabilizadas (aunque a escala de detalle algunos presentan una cierta componente rotacional en cabecera).

Otro aspecto que se ha considerado en la clasificación de los movimientos ha sido la edad-actividad. Para ello se ha estimado un criterio cualitativo (Hansen, 1984) según el cual se diferencia entre movimientos *activos* (se observan claramente indicios de actividad, tales como grietas, empujes en muros, deformación de carreteras etc. y el terreno aparece descarnado de vegetación, ó bien la que existe está muy afectada por el movimiento), *dormidos* (son recientes pero inactivos y en ellos, se diferencian bastante bien los límites del movimiento, que suele estar colonizado por alguna vegetación) y *fossilizados* (antiguos e inactivos, erosionados en parte. Los límites del movimiento apenas se pueden distinguir y están casi totalmente cubiertos por vegetación ó tierras de labor).

RA= Rotacional activo
 RE= Rotacional estable
 FA= Flujo activo
 FE= Flujo estabilizado
 S= Soliflucción

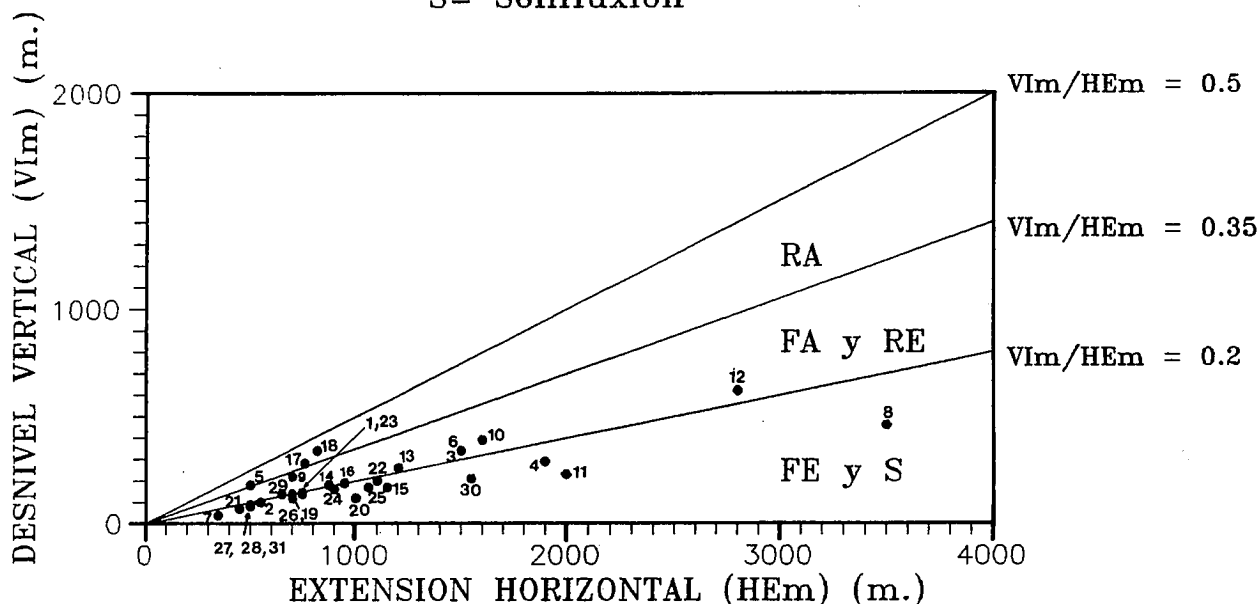


Fig. 9.-Relación entre el intervalo vertical (VIm) y la extensión horizontal (HEm) (Brunsden, 1973) de los movimientos del sector de Colmenar.
 Fig. 9.-The relationship between the vertical interval (VIm) and the horizontal equivalent (HEm) (Brunsden, 1973) of the landslides at the Colmenar area.

Los movimientos inventariados se han representado en el mapa de indicios de movimientos de ladera (fig. 10).

5. RELACIÓN ENTRE LA LITOLOGÍA Y LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

Además de las masas producto de los movimientos de ladera, los materiales que afloran en la zona de estudio se han agrupado, atendiendo exclusivamente a criterios litológicos, en 12 grupos: (fig. 11)

1. Dolomías.
2. Calizas.
3. Calizas y calizas margosas con intercalaciones de margas.
4. Calizas, calizas arenosas, arenas y margas abigarradas.
5. Calizas detríticas y margas.
6. Calizas margosas.
7. Calizas margosas y margas.
8. Brechas, conglomerados, areniscas y margas.
9. Flysch de margas y areniscas.
10. Flysch arcilloso-margoso con areniscas.
11. Margas.
12. Arenas, limos y arcillas de fondo de valle (aluvial).

Se ha cuantificado (mediante conteo de puntos y planímetro "Placon KP-90") la superficie de ruptura

(IAEG, 1990) y superficie ocupada por los distintos movimientos en cada una de las litologías, así como la superficie ocupada por cada una de ellas (tabla 2). La litología con mayor representación areal es la 9 que, con alrededor de 107 Km², ocupa algo más del 45% de la región estudiada. A continuación le siguen la 11 (18,1%), la 8 (10,8%), la 2 (8,2%) y la 4 (5,1%). El resto tienen extensiones inferiores al 5% de la superficie total.

Las litologías que presentan un porcentaje más elevado de superficie de ruptura debida a flujos y deslizamientos son la 7 con algo menos del 20% y la 4 con el 7,1%. El resto tienen un porcentaje inferior al 5% (fig. 12a). Son las litologías 2, 1 y 7, con más del 5%, donde se generan una mayor proporción de desprendimientos (fig. 12b).

Si consideramos la superficie de ruptura generada por fenómenos de inestabilidad (deslizamientos, flujos y desprendimientos), sólo dos litologías presentan más del 10% y cinco más del 5% de superficie de ruptura; el resto tienen un porcentaje inferior al 5% (fig. 12c).

Los porcentajes se disparan si consideramos la superficie ocupada por depósitos de movimientos de ladera: hay cuatro litologías con más del 20%, siete con más del 10% y, prácticamente todas (diez) con más del 5% (fig. 13).

La superficie de ruptura representa el 3,5% de la superficie total estudiada, mientras que la superficie ocupada por depósitos de movimientos de ladera cons-

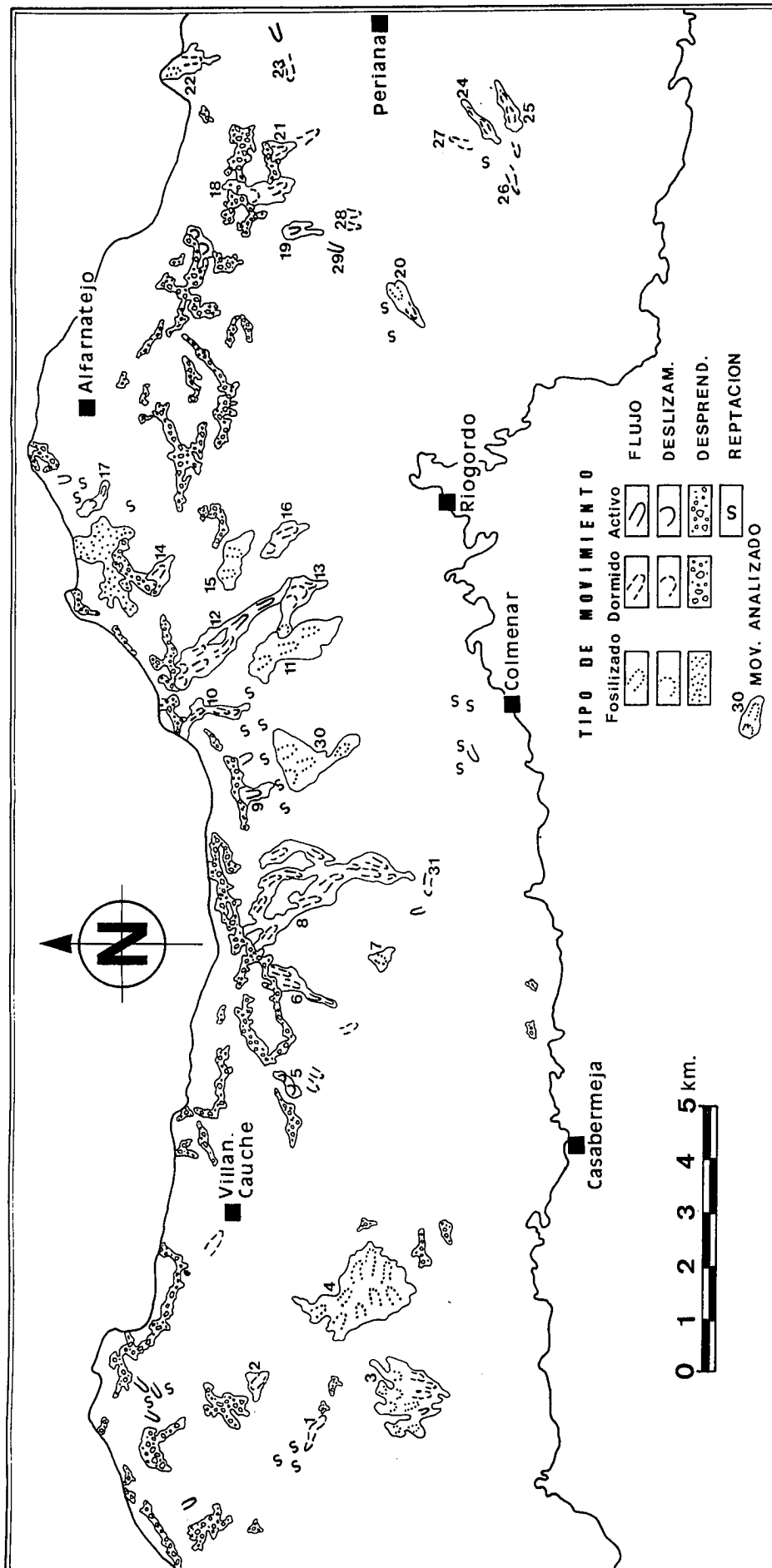


Fig. 10.- Mapa de movimientos de ladera.
Fig. 10.- Slope-movements map.

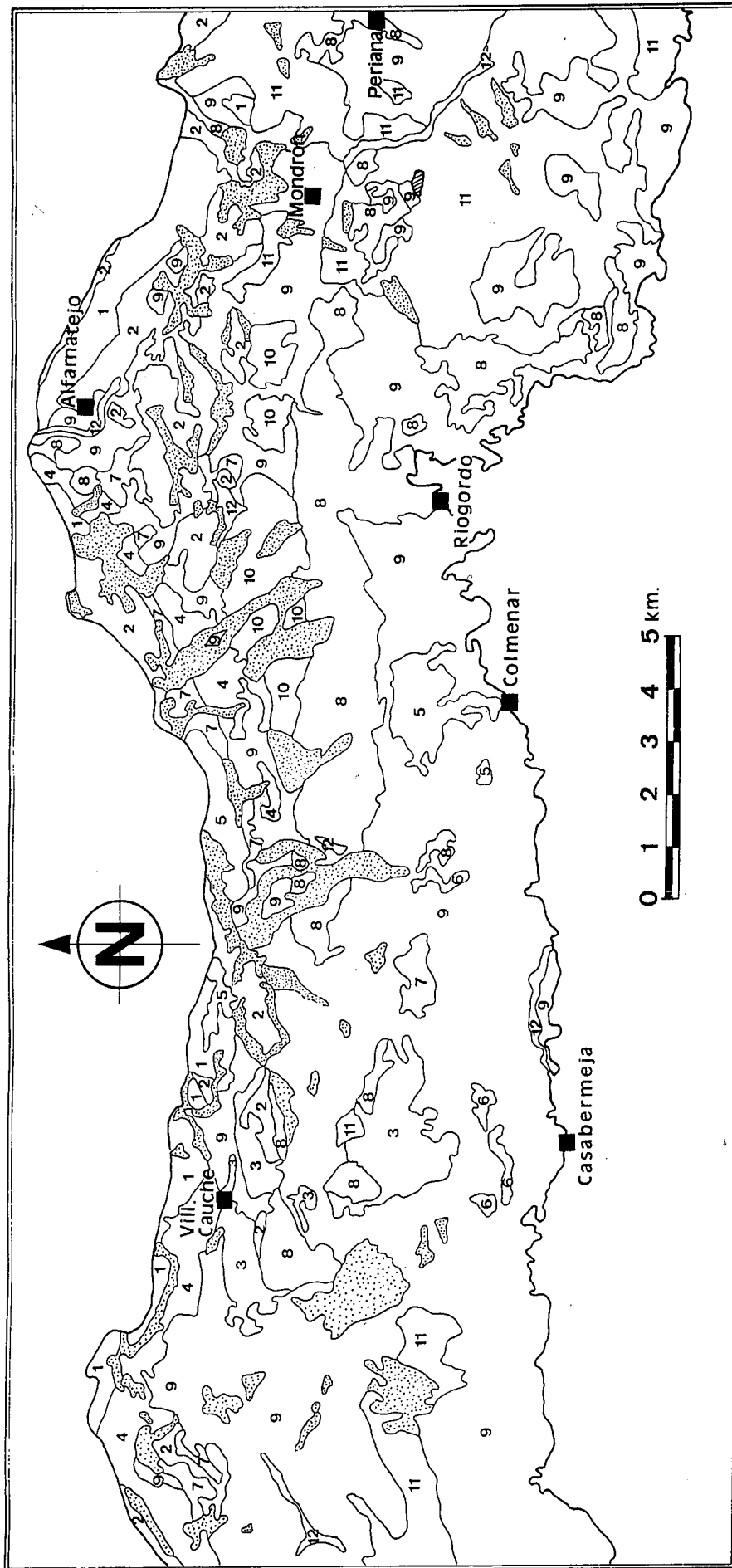
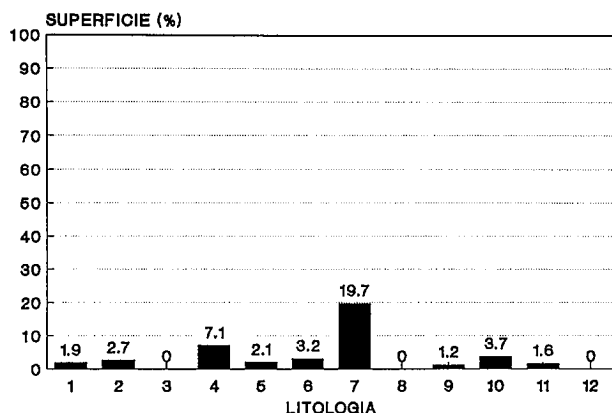


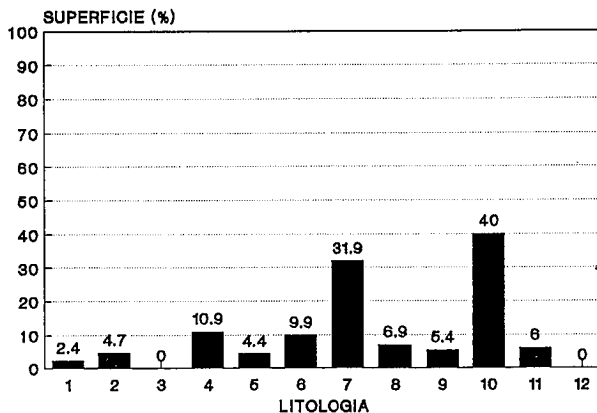
Fig. 11.- Mapa litológico. 1: Dolomías. 2: Calizas. 3: Calizas y calizas margosas con intercalaciones de margas. 4: Calizas, calizas arenosas, areniscas y margas. 5: Calizas detríticas y margas. 6: Calizas margosas. 7: Calizas margosas y margas. 8: Brechas, conglomerados, areniscas y margas. 9: Flysch de margas y areniscas. 10: Flysch arcilloso-margoso con areniscas. 11: Margas. 12: Aluvial (arenas, limos y arcillas). **Punteado:** Depósitos de movimientos de ladera.

Fig. 11.- Litological map. 1: Dolostones. 2: Limestones and marly limestones with interbedded marls. 4: Limestones, sandy limestones, sandstones and marls. 5: detrital limestones and marls. 6: marly limestones. 7: marly limestones and marls. 8: Breccias, conglomerates, sandstones and marls. 9: Flysch of marls and sandstones. 10: Marly-argillaceous flysch with sandstones. 11: Marls. 12: Aluvial (sand, silt and clay). **Dashed:** mass-movement deposits.

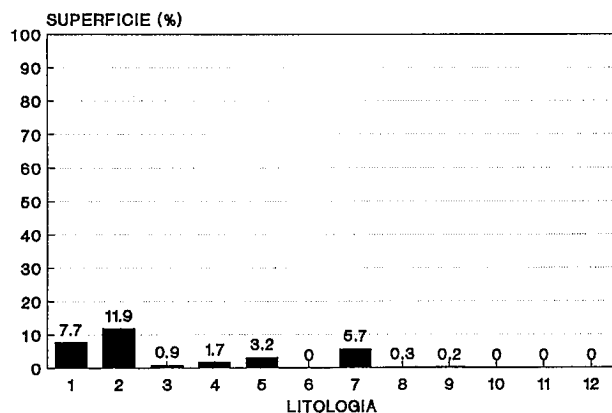
A) SUPERFICIE DE RUPTURA DE FLUJOS Y DESLIZAMIENTOS



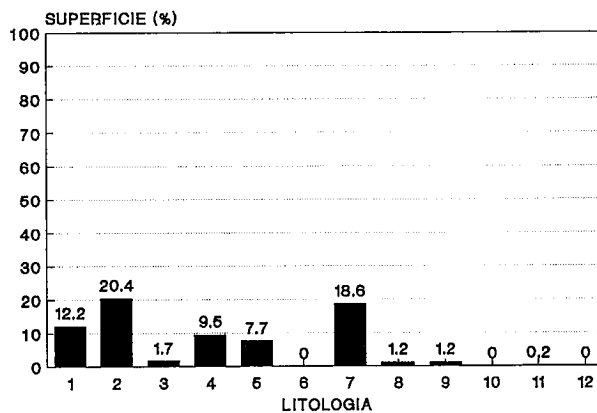
A) SUPERFICIE OCUPADA POR FLUJOS Y DESLIZAMIENTOS



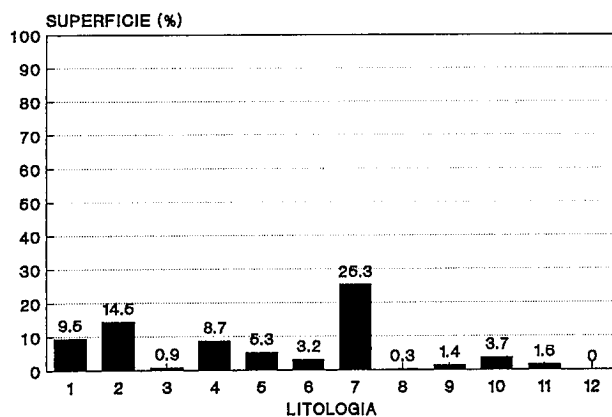
B) SUPERFICIE DE RUPTURA DE DESPRENDIMIENTOS



B) SUPERFICIE OCUPADA POR DESPRENDIMIENTOS



C) SUPERFICIE DE RUPTURA DE FLUJOS DESLIZAMIENTOS Y DESPRENDIMIENTOS



C) SUPERFICIE OCUPADA POR FLUJOS DESLIZAMIENTOS Y DESPRENDIMIENTOS

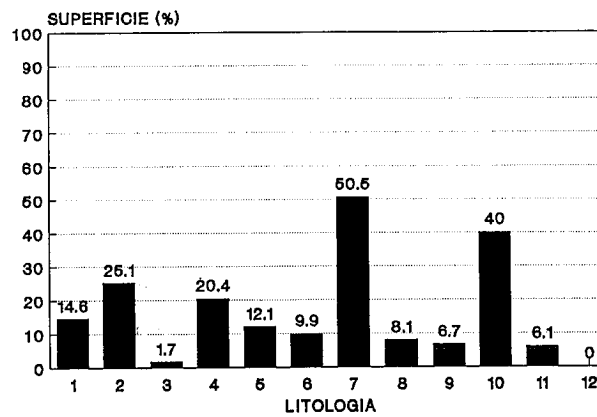


Fig. 12.- Superficie de ruptura para cada grupo litológico.
Fig. 12.- Surface of rupture in the lithological groups.

Fig. 13.- Superficie ocupada por depósitos de movimientos de ladera en cada grupo litológico.
Fig. 13.- Occupied surface by mass-movement deposits in the lithological groups.

tituyen casi el 11%. Como vemos, a pesar de que son relativamente pocas las litologías donde se generan los movimientos de ladera y con porcentajes relativamente bajos de superficie de ruptura, éstos tienen un gran

desarrollo areal que hace que un elevado porcentaje de la superficie estudiada esté afectada por fenómenos de inestabilidad de laderas.

6. FACTORES DETERMINANTES Y DESENCADENANTES.

El modelado de los relieves más abruptos, condicionado por la intensa tectonización, orientación de las discontinuidades (Selby, 1980) y el efecto de los factores meteorológicos, se produce a base de desprendimientos que dan lugar a depósitos de brechas de ladera, conos de deyección y canchales. Las altas pendientes del sector, las intensas precipitaciones junto a la descarga difusa y continua del acuífero a través del contacto entre materiales competentes (calizas y dolomías del Jurásico) e incompetentes (margas y arcillas cretácicas y terciarias) que saturan completamente estos materiales, condicionan la generación de flujos que evolucionan a gran velocidad hasta grandes distancias. En las laderas de pendientes suaves y naturaleza arcillosa se produce un proceso generalizado de "reptación" que constituye un fenómeno importante en el movimiento total de las laderas.

El factor desencadenante de los distintos movimientos de ladera es el régimen de precipitaciones.

7. CONCLUSIONES

En la zona de estudio hay un gran número de movimientos de ladera, cuyos depósitos ocupan una extensión del orden del 11% de la superficie total estudiada. Se pueden diferenciar los siguientes tipos:

- Desprendimientos, asociados a los macizos rocosos.
- Flujos. Junto con los desprendimientos constituyen

el tipo de movimiento más abundante en el sector. La mayoría de ellos presentan, a escala de detalle, una tipología compleja con una cierta componente rotacional en cabecera.

- Deslizamiento rotacionales, son de pequeñas dimensiones y muy localizados.
- Movimientos de reptación, asociados a pendientes suaves en materiales margosos y arcillosos.

La existencia de movimientos activos, dormidos y fosilizados nos indican que la zona es especialmente susceptible a los movimientos de ladera, tanto en el pasado como en el presente y, por tanto, previsiblemente en el futuro.

Las litologías que aparecen como más susceptibles a la generación de movimientos son las calizas y dolomías (desprendimientos), alternancia de calizas margosas, margas y areniscas (flujos y deslizamientos) y margas y arcillas (reptación).

Los factores determinantes en la génesis de estos movimientos son la pendiente, el régimen de filtración del agua, la resistencia de las diferentes litologías y la complejidad tectónica. El factor desencadenante es el régimen de precipitaciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación "Riesgos geológicos y planificación territorial" financiado por la Junta de Andalucía.

BIBLIOGRAFÍA

- Barba-Martín, A., Martín-Serrano, A., Piles, E., Pérez-Rojas, A., García, A., Hernando, S., Rincón, R., Granados, L. y Ruiz, P. (1979): *Mapa y memoria explicativa de la Hoja 1039 (Colmenar) a escala 1/50.000*. Mapa Geológico Nacional. IGME, 88 p.
- Blong, R.J. (1973): A numerical classification of selected landslides of the debris slide-avalanche-flow type. *Engineering Geology*, 7: 99-114.
- Blumenthal, M. (1931): Géologie des chaînes pènbétiques et sub-bétiques entre Antequera et Loja et des zones limitrophes (Andalousie). *Bull. Soc. Geol. France* (5), 1: 23-94.
- Brunsdén, D. (1973): The application of a system theory to the study of mass movement. *Geologica Applicata e Idrologica*. Univ. Bari, 8 (1): 185-207.
- Brunsdén, D. (1979): Mass Movements. *Progress in Geomorphology*, Arnold, 130-186.
- Corominas, J. (1989): Estabilidad de taludes y laderas naturales. *Sociedad Española de Geomorfología*, 3: 249 pp.
- Crozier, M. J. (1973): Techniques for the morphometric analysis of landslides. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 17 (1): 78-101.
- Chacón, J., Irigaray, C., López Galindo, A., Rodríguez Moreno, I. y Romero, E. (1988): *Excursión B5: Deslizamientos de ladera en el Dominio Subbético*, II Congr. Geol. España, 35 p.
- Delgado, F. (1970): *Estudio geológico de la Sierra del Gíbalto y sectores adyacentes*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Granada (inérita), 95 p.
- Exma. Diputación de Málaga (L. Machuca, director de proyecto), Instituto Geológico y Minero de España (M. Del Valle Cardenete, supervisor general) y Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A. (L. Linares Girela, responsable de proyecto) (1988): Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. Diputación de Málaga. 151 p.
- Flageollet, J.C. (1988): Les mouvements de terrain et leur prévention. Ed. Masson, París. 222 p.
- Hansen, M.J. (1984): Strategies for Classification of landslides. In: *Slope Instability* (D. Brunsdén y D.B. Prior Eds.) John Wiley & Sons: 1-25.
- Hutchinson, J.N. (1978): A geotechnical classification of landslides, (After A.W. Skempton and J.N. Hutchinson). *Imperial College*, London.
- IAEG (International Association of Engineering Geology) (1990): Suggested nomenclature for landslides. *Bull. International Association of Engineering Geology*, París, 41: 13-16.
- Irigaray, C. (1990): *Cartografía de Riesgos geológicos asociados a movimientos de ladera en el Sector de Colmenar (Málaga)*. Tesis de Licenciatura. Univ. Granada. 386 p. (inérita).
- Martín-Algarra, A. (1987): *Evolución geológica alpina del con-*

- tacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral, Univ. Granada. 1171 p.
- Mathis,V. (1974): *Etude géologique de l'extrémité orientale de la Zone de Colmenar (Province de Málaga, Espagne)*. Tesis Univ. Besancon. 201 p.
- Millies-Lacroix,A. (1981): Classification des talus et versants instables. Risques géologiques, Mouvements de terrain. 26^e *Congrès Géologique International*. Bull. liaison labo. Ponts & Chaussées, Paris, 17: 55-62.
- Olivier,P. (1984): *Evolution de la limite entre Zones Internes et Zones Externes dans l'arc de Gibraltar (Maroc-Espagne)*. Tesis Univ. Paul-Sabatier, Toulouse. 229 p.
- Peyre,Y. (1974): *Geologie d'Antequera et de sa région (Cordillères Bétiques, Espagne)*. Tesis Univ. Paris. (Publ. Institut. National Agronomique, Paris. 528 p.).
- Rapp,A. (1960): Literature on slope denudation in Finland, Iceland, Nordway, Spitsbergen and Sweden. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1: 33-48.
- Selby,M.J. (1980): A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 24: 31-51.
- Skempton,A.W. (1953): Soils mechanics in relation to geology. *Proceedings of Yorkshire Geological Society*, 1 (3): 33-62.
- Szabo,J. (1985): Landslide typology in hilly regions of northern Hungary. In: M. Pecsí (Ed.) *Environmental and Dynamic geomorphology*, Academial Kiado, Budapest. 171-180.
- Terzaghi,K. (1950): Mechanism of landslides. *Geological Society of America Berkeley*, Volume: 83-123.
- Varnes,D.J. (1958): Landslide types and processes. In: *Landslides and Engineerring Parctice* (E.B. Eckel, Ed.), Washington, 29: 20-47.
- Varnes,D.J. (1978): Slope movement and types and processes. In: *Landslides: Analysis and Control* (R.L. Schuster y R.J.Krizek, Eds.). National Academy of Sciencies, Washington DC, 176: 11-33.

Recibido el 8 de enero de 1991
Aceptado el 9 de junio de 1991