

## ACTIVIDAD HISTORICA Y CARACTERISTICAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA DE ROSIANA, GRAN CANARIA.

Por A. LOMOSCHITZ MORA-FIGUEROA (\*) y J. COROMINAS DULCET (\*\*)

### R E S U M E N

El deslizamiento de Rosiana de 1956 (Gran Canaria) ha sido el movimiento de ladera más importante de los conocidos en épocas históricas en el Archipiélago Canario. El contexto en el que se halla es complejo pues se trata del fondo de la depresión de Tirajana, donde a su vez se reconocen numerosas masas deslizadas más antiguas y que han sido recientemente estudiadas (Lomoschitz, 1995).

La recopilación de información histórica, el reconocimiento de campo y el análisis del movimiento han permitido concluir que se trata de un deslizamiento traslacional en suelos (coluviones arcillo-arenosos) que se ha activado cinco veces en fechas históricas.

Mediante un análisis retrospectivo del deslizamiento de 1956 se han estimado ángulos de fricción ( $\Phi'$ ) comprendidos entre  $17'7$  y  $21'6$  y una cohesión ( $c'$ ) nula en el momento de su activación. El análisis de la pluviometría muestra que para reactivar el movimiento son necesarios períodos de lluvias intensas y continuadas (lluvia acumulada superior a los 400 mm.). Por otro lado, el período de retorno resulta superior a los 100 años, valor obtenido a partir de las intensidades máximas de lluvia en 24 horas. Sin embargo, se ha llegado a la conclusión que la lluvia acumulada es un parámetro más indicativo que las  $I_{máx}$  en 24h.

*Palabras clave:* Deslizamientos de terreno, Terrenos volcánicos, Gran Canaria.

### A B S T R A C T

The Rosiana landslide of 1956 (Gran Canaria) is the largest historic movement known in Canary Islands. It is located at the bottom of the Tirajana Depression. This is a complex site where many old landslides are present and it has been studied recently (Lomoschitz, 1995).

From historical information, field work and the analysis of the movement we conclude that it is a translational earth slide, that has been reactivated five times in historical dates.

From back-analysis a friction angle ( $\Phi'$ ) of  $17'7 - 21'6$  and cohesion ( $c'$ ) zero has been estimated. Rainfall analysis shows that intense and continuous precipitation periods (more than 400 mm. accumulate rainfall) are needed to reactivate the landslide. On the other hand, a return period upper than 100 years has been calculated from the maximum rainfall intensity in 24 hours.

*Key words:* Landslides, Volcanic terrains, Gran Canaria.

### 1. INTRODUCCION Y CONTEXTO GENERAL

En la historia geológica de las Islas Canarias han estado presentes con frecuencia los movimientos

de terreno. La construcción de las islas, de origen volcánico, ha sido relativamente rápida frente a la acción erosiva que, aunque intensa, en muy pocos casos llega a concluir su función niveladora.

(\*) Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Las Palmas de G. C.

(\*\*) E.T.S.I. de Caminos, C. y P. de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.

En una primera aproximación podría considerarse que los desprendimientos son el tipo de movimiento más característico y exclusivo de las

Islas Canarias, debido a su constitución esencialmente rocosa; sin embargo, también están presentes, incluso en tiempos recientes, los grandes deslizamientos. Son representativos, por ejemplo, el deslizamiento de Hermigua (IGME, 1987) en la isla de La Gomera, los movimientos que se produjeron en Tenerife (WATTS & MASSON, 1995), La Palma (ANCOCHEA et al., 1994) y en la isla de Hierro (URGELES et al., 1996) y los deslizamientos de Rosiana (Gran Canaria), cuyo estudio presentamos aquí.

De los movimientos de ladera de cierta envergadura es sin duda el ocurrido en Rosiana en febrero de 1956 el que mayor trascendencia ha tenido, en fechas recientes, en la isla de Gran Canaria. Es frecuente encontrar referencias aisladas de éste suceso en la literatura científica (MACAU, 1956; HAUSEN, 1960 y 1970; FUSTER et al., 1968; ARAÑA y CARRACEDO, 1980; ITGE, 1990 y 1992) y también fue fielmente recogido por la prensa local en su momento (Diario de Las Palmas, 18 de febrero y 3 de marzo de 1956).

La gran envergadura del movimiento, que superó los  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de materiales movilizados, provocó el desalojo de más de 250 personas y destruyó numerosas construcciones. Todo esto, junto al carácter relativamente reciente de su activación, justifica realizar un estudio específico del fenómeno que, una vez caracterizado, pueda servir de pauta para estudios tanto científicos como técnicos, en ésta o en otras zonas similares.

En la actualidad Rosiana (figura 1) está constituida por unas doscientas construcciones dispersas, situadas entre los pueblos de San Bartolomé de Tirajana y Santa Lucía, en la zona central-sur de la Isla de Gran Canaria, a aproximadamente 5 km. al Sureste del punto más alto de la isla (Pico de las Nieves, 1949 m.) y entre los puntos kilométricos 52 y 54 de la carretera C-815.

Su situación dentro de la isla de Gran Canaria es peculiar, tanto geográfica como geológicamente, pues se encuentra en la parte baja de la gran depresión de Tirajana que con una extensión en planta de 35 km<sup>2</sup> presenta desniveles de más de 900 m., aspecto que queda más resaltado por su proximidad al centro de la isla.

El pensamiento común de numerosos científicos,

que han estudiado la geología y geomorfología de Gran Canaria, es considerar el deslizamiento de Rosiana como uno más de los movimientos de gran envergadura que se han producido en la depresión de Tirajana, desde épocas geológicas pasadas. La denominación "depósitos de deslizamientos gravitacionales" (ITGE 1990 y 1992) hace referencia directa a las grandes acumulaciones caóticas de materiales que en gran parte tapizan el fondo de la depresión y cuyo origen y mecanismos últimos no están aún del todo explicados.

El estudio de los d.d.g. ("depósitos de deslizamiento gravitacionales") en su conjunto presenta cierta complejidad, ya que su tipología y los mecanismos que los originan son diversos (LOMOSCHITZ y COROMINAS, 1992 y 1996); por tanto, pensamos que el estudio de un movimiento reciente, como es el caso del deslizamiento de Rosiana, y por eso más fácilmente caracterizable, puede aportar una valiosa información sobre el comportamiento de los deslizamientos y que permite entender mejor el resto de los movimientos que se produjeron en la depresión.

## 2. DESCRIPCION DE LOS DESLIZAMIENTOS.

### 2.1. Sucesión de los acontecimientos.

Del deslizamiento de Rosiana existen diferentes referencias. Sin embargo, una vez revisadas las distintas publicaciones, para reconstruir como se produjeron los movimientos ha sido clave acudir a tres fuentes principales: MACAU VILAR (1956), la información de la prensa local (Diario de Las Palmas, 18 de febrero y 3 de marzo de 1956) y encuestas puntuales, realizadas para este trabajo, a personas del lugar que recuerdan detalles significativos de los deslizamientos.

De la información obtenida, una vez ponderada y contrastada con el reconocimiento de campo, se muestra a continuación el siguiente resumen de hechos significativos:

#### a) Antes de 1956.

\* diciembre de 1879. Fuertes temporales en la isla producen en Rosiana el movimiento de la ladera, se desplaza lateralmente el cauce del barranco.

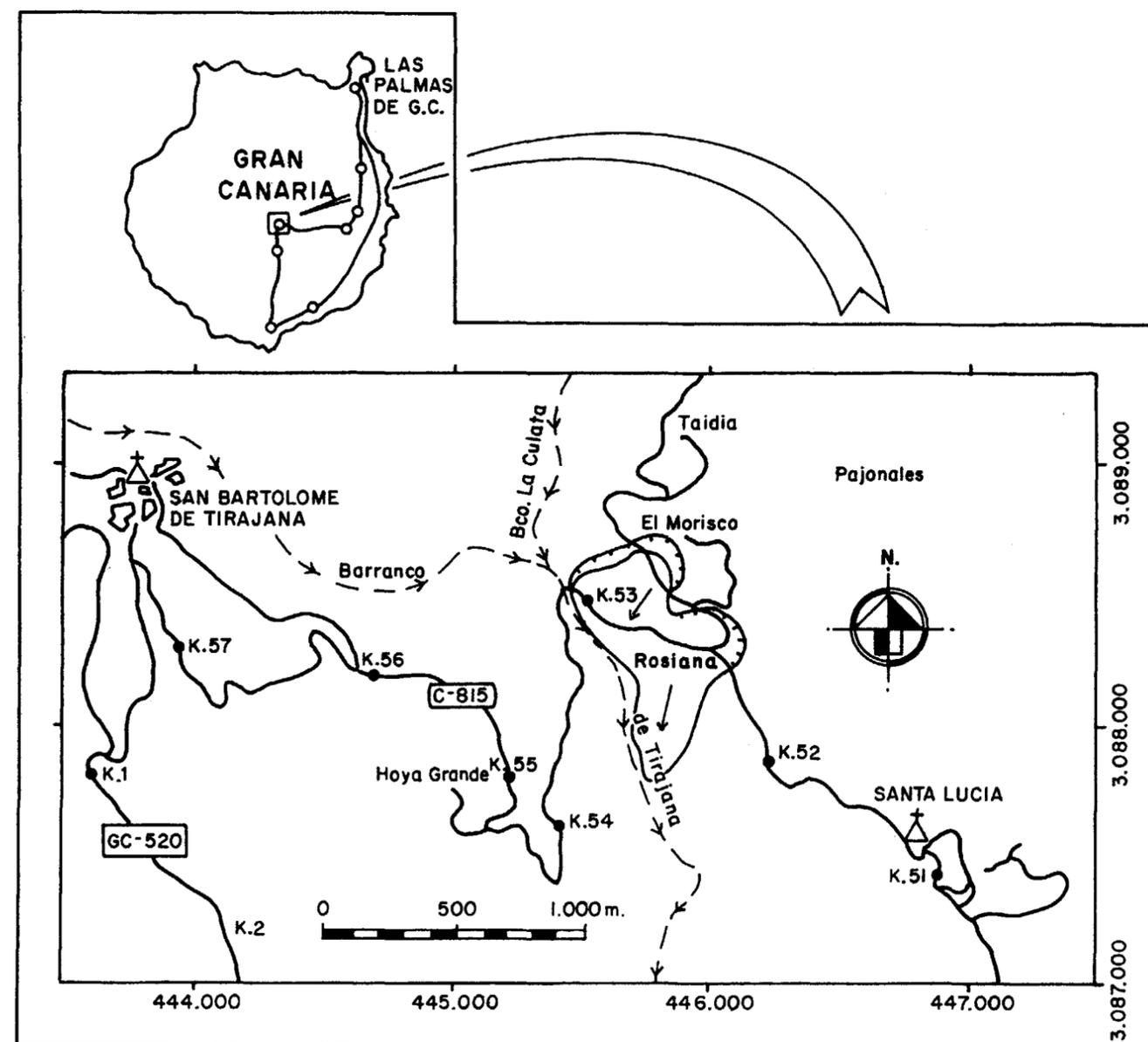


Figura 1. Plano de situación de Rosiana y de los deslizamientos históricos ocurridos en la zona.

\* mayo de 1896. Se proyecta el último tramo de carretera de Las Palmas a San Bartolomé de Tirajana y el proyecto incluye la construcción de un puente, previsto para cruzar el barranco de Tirajana. El 30 de septiembre de 1920 se hizo la liquidación definitiva de la obra que ya llevaba en servicio varios años.

\* en 1921, a consecuencia de los empujes late-

rales sobre el estribo del puente en la margen izquierda del barranco debidos a un movimiento de tierras, originado por fuertes lluvias, el puente se agrietó en clave. Se procedió a una reparación de poca eficacia.

\* en 1923, debido a causas análogas, se reprodujo el mismo mal, quedando el puente definitivamente fuera de servicio. Se abre un paso

provisional y más tarde se construye 200 m. aguas arriba un nuevo puente con vigas de hormigón armado.

#### b) Deslizamiento de Rosiana de 1956.

\* El deslizamiento de Rosiana de 1956 tuvo lugar en el mes de febrero y coincidió con precipitaciones excepcionales en la zona (272 mm. en 24h.), afectó a toda la ladera situada entre El Morisco y el barranco de Tirajana; y se llevó consigo numerosas construcciones y un tramo de carretera que quedaron destruidas y desplazadas de su posición original. Un total de  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de materiales se movilizaron durante 10 días, afectando a una superficie de unos 330.000 m<sup>2</sup> y provocando el desalojo de unas 250 personas.

MACAU VILAR (1956) describe el movimiento y cómo se produjo la rotura definitiva del puente de Rosiana; realiza además medidas de desplazamientos en algunos puntos, plantea la rotura según un deslizamiento circular e intenta buscar causas extrínsecas al fenómeno, que en su día lo atribuye a un proceso de hundimiento regional. Este mismo autor obtiene datos sobre la rotura y traslación de la carretera en el cruce del ramal que daba acceso al puente viejo: "la cuneta izquierda a las 24 horas de iniciarse el movimiento se había desplazado 1.90 m. (1.80 en horizontal y 0.60 en vertical); a los tres días el movimiento había sido de 4.80 m. (4.65 en h. y 1.25 en v.) y a los ocho días 7.21 m. ( 7.0 en h. y 1.75 en v.).

Otros datos de interés son:

\* Los empujes laterales sobre el puente provocaron que la clave del arco se abriese hacia arriba, derrumbándose y quedando tan sólo los dos estribos aislados. Una vez arruinado el arco, el estribo de la margen izquierda del barranco continuó moviéndose y su distancia al otro estribo, adosado a la ladera en roca firme, llegó a ser de 16,19 m. (la luz inicial del puente era de 17 m.).

\* Todas las casas de la carretera fueron afectadas, desde el puente hasta el barranquillo frente a la carretera de Taidía.

\* La masa deslizada alcanzó el barranco de Tirajana y fue posteriormente erosionada por el curso del río.

\* Las palmeras de los llanos se inclinaron con el deslizamiento, el resto de las palmeras se movieron con el terreno pero permanecieron verticales.

\* Los barranquillos corrían con barro, y las casas se rompían al moverse lentamente con el terreno hacia el barranco.

\* Las construcciones más alejadas de la carretera que se rompieron tomaron el nombre de "las casas corridas".

\* La gente que se quedó sin casa fue acogida en la ladera de Rosiana más cercana a Santa Lucía, allí no se registraron movimientos.

\* En toda la zona surgieron nuevos escarpes naturales que dividieron las antiguas parcelas tras el movimiento; por ejemplo, el risco que se sitúa entre la carretera C-815 y el Camino de Taidía sufrió un hundimiento de unos 5 m. con los movimientos, produciendo una importante acumulación de bloques a su pie.

\* El estanque de los Betancores que estaba al lado de la carretera se deslizó ladera abajo rompiéndose en varios trozos y el pozo del que se surtía se partió a unos 12 m. de profundidad.

#### c) Después de 1956.

\* Los numerosos escarpes naturales creados por el movimiento, sobre todo en la zona superior (cicatrices secundarias), periódicamente sufren pequeños reajustes. La carretera que va a El Morisco (camino de Taidía) se construye con posterioridad.

\* La actividad constructiva en la zona ha vuelto a sembrar de pequeñas casas toda el área deslizada en 1956, sobre todo en su parte inferior, no registrándose roturas de importancia desde entonces.

\* Medidas topográficas realizadas para este trabajo en 1990 y en 1996 entre los estribos del

puente roto indican que desde 1956 el estribo ha continuado desplazándose por el deslizamiento.

Atendiendo a los daños y desplazamientos sufridos por el puente viejo de Rosiana se pueden obtener una serie de conclusiones (tabla I y figura 2).

FECHA	DISTANCIA MEDIA (m.)	ERROR	DESPLAZAMIENTO	INSTRUMENTO	OBSERVACIONES
1913	17,00	5 cm		CINTA METRICA	CONSTRUCCION DEL PUENTE DE ROSIANA
1921 1923	- -	- -	SI SI	- -	EL PUENTE SE AGRIETA EN LA CLAVE Y QUEDA FUERA DE SERVICIO
1956 16 FEB. 20 FEB. 26 FEB.	16,45 16,25 16,19	±2 cm ±2 cm ±2 cm	(Acumul.) 55 cm. 20 cm. 6 cm.	TEODOLITO Y CINTA METRICA	ROTURA Y CAIDA DE LA CLAVE DEL ARCO CONTINUA EL MOVIMIENTO FIN DEL MOVIMIENTO
1990 15 ABRIL	16,097	± 0,5 cm.	9,3 cm.	ESTACION TOTAL SOKKIA SET-3B	CAMPAÑA 1
1996 3 OCT.	15,979	± 0,5 cm.	11,8 cm.	ESTACION TOTAL WILD TC-1010	CAMPAÑA 2

Tabla I. Resumen de las medidas topográficas realizadas entre los estribos del puente viejo de Rosiana.

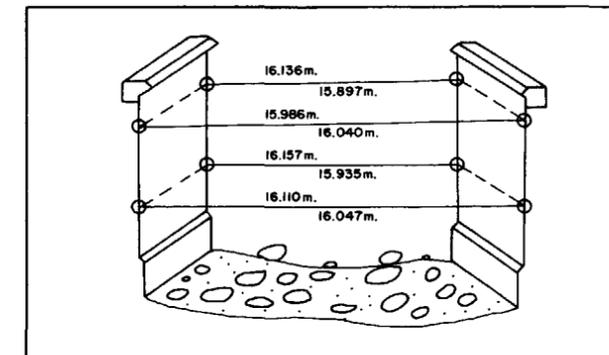


Figura 2. Croquis de los estribos del puente (vistas desde aguas abajo) y datos de las dos campañas posteriores a 1956, realizadas el 15 de abril de 1990 y el 3 de octubre de 1996.

En el período comprendido entre 1913, fecha de construcción del puente, y el 16 de febrero de 1956, fecha en que se derrumba la clave, el estribo sufrió un desplazamiento de 55 cm. Desde el 16 de febrero hasta el 26 del mismo mes, fecha en que cesa el movimiento, se desplaza 26 cm.; y desde esa fecha hasta octubre de 1996 se ha movido 21 cm.

A la vista de estos datos se concluye que el deslizamiento de Rosiana de 1956 no consistió en un

evento aislado sino que en fechas históricas ha sufrido movilizations al menos en 4 ocasiones conocidas (1879, 1921, 1923 y 1956) y desplazamientos menores con posterioridad a la última fecha. Por otro lado, Rosiana es sólo el pie de un conjunto de deslizamientos de mayores dimensiones que se movilizaron con anterioridad y que se extienden desde el fondo del barranco hasta la base de los escarpes rocosos superiores.

#### 2.2. Signos morfológicos y extensión de la masa deslizada.

A partir del reconocimiento de campo y la foto-interpretación se ha podido reconstruir el contorno y morfología del deslizamiento (figura 3 y fotos 1 y 2).

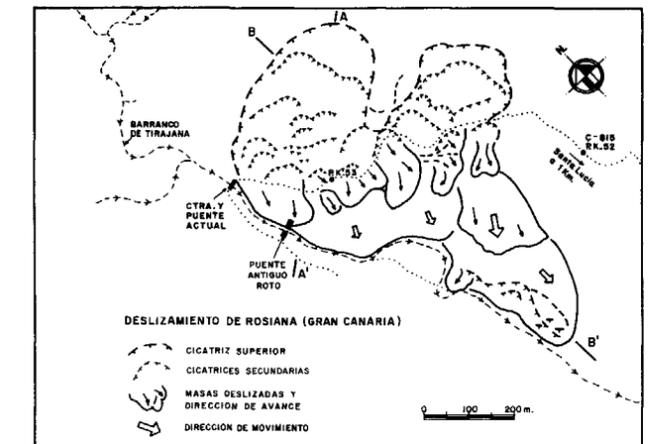


Figura 3. Disposición en planta de los límites y las formas principales del deslizamiento de Rosiana de 1956. Los perfiles A-A' y B-B' se representan en la figura 5.

El conjunto superior de escarpes de Rosiana marcan el inicio de las cicatrices principales de los deslizamientos de Rosiana. Se distingue un tramo Oeste más retrasado, confinado por la ladera opuesta, y un tramo Este algo más avanzado y entre ellos se pierde la traza, por la morfología externa irregular de las masas movidas. El tramo Oeste, marcado por un escarpe natural descarnado, se cierra bajando hacia la carretera a la altura del puente actual.

El tramo Este de la cicatriz, algo más dentro de la zona movilizada, viene definido por un desnivel



Foto 1. Efectos del deslizamiento de Rosiana de 1956; el puente definitivamente roto y palmeras inclinadas por el movimiento.

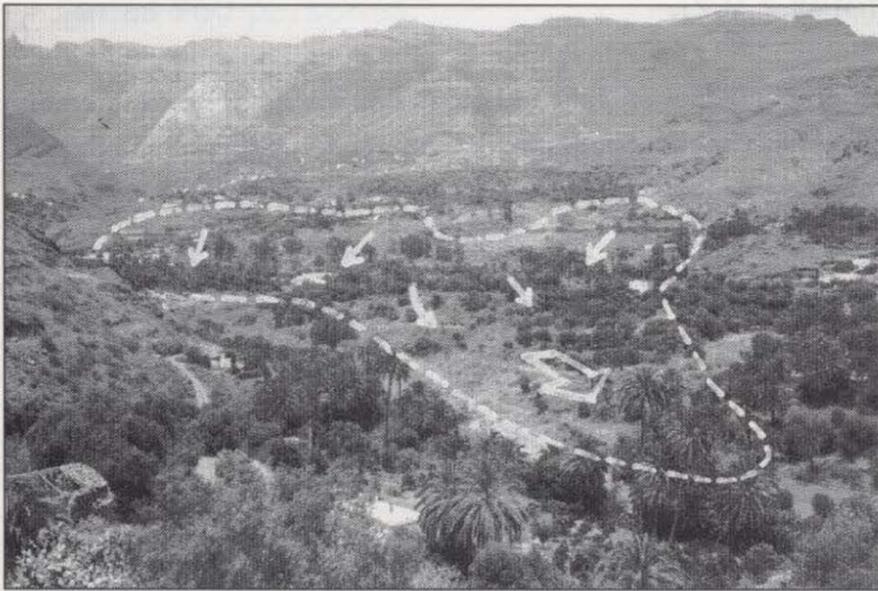


Foto 2. Vista panorámica desde el sur del conjunto deslizado de Rosiana. Tiene una anchura máxima de 450m. y una longitud de 855 m.

rocoso que sufrió un fuerte bajón, de unos 5 m., durante el deslizamiento que provocó la caída de grandes bloques. Esta cicatriz continúa hacia la derecha (según una vista frontal, desde el sur) y está marcada en el terreno por pequeños resaltes descarnados, hasta llegar al pie de dos construcciones antiguas, que quedaron al filo del movimiento sin ser afectadas.

El límite morfológico superior derecho (NE.) de la zona movilizada, coincide con un barranquillo, cuyo curso fue ligeramente desplazado por los materiales del deslizamiento; algo más abajo el pontón de la carretera marca de nuevo el límite del deslizamiento.

Por debajo de las cicatrices superiores y hasta la

carretera, la topografía es irregular y muestra escalones naturales que corresponden a cicatrices que limitan una sucesión de cuerpos deslizados (rellanos) y cuyo grosor disminuye en sentido descendente (figuras 3 y 5). La pendiente general de esta zona es de 20-35° y corresponde a la cabecera del deslizamiento.

La franja central de la masa deslizada, arriba y abajo de la carretera, tiene pendientes elevadas (unos 25° de media) pero se suaviza algo más abajo (ángulos de 8-14°), son los "Llanos de Rosiana". Allí los límites laterales del deslizamiento son claros; al oeste el curso del barranco de Tirajana y al este la base de la loma de Rosiana más cercana a Santa Lucía, que no se movió. El curso actual del barranco ha erosionado lateralmente la masa deslizada y ha dejado márgenes verticales de hasta 3 m.

El límite inferior (hacia el sur) del deslizamiento está igualmente marcado por su morfología, ya que éste avanzó a modo de lengua invadiendo bancales de cultivo; la forma de lengua en planta y la ruptura de pendiente frontal son pues los mejores indicadores del borde más avanzado del pie. La definición de los límites ha permitido determinar la extensión del área deslizada, teniendo una anchura máxima de 450 m., una longitud máxima de 855 m. y comprendiendo una superficie de aproximadamente 330.000 m<sup>2</sup>.

Existen otros signos externos, además de los morfológicos, y que en su mayoría tienen origen en los movimientos de 1956. Son construcciones agrietadas o rotas (casas, tramos de carretera, el puente, un estanque, etc.), palmeras inclinadas a favor y en contra del movimiento, y construcciones que no fueron afectadas, indicando de ésta manera una posición ajena al movimiento.

A partir de los diversos elementos que fueron afectados por los movimientos se ha podido deducir la dirección del desplazamiento que sufrió el terreno en diferentes puntos. Por ejemplo, se ha observado una clara alineación entre dos grupos de palmeras inclinadas que indican un vector de movimiento barranco abajo según una dirección N197°E. Son deducibles vectores de movimiento también a partir del análisis de las grietas y fisuras que presentan las construc-

ciones afectadas, así como de la inclinación de las paredes y la trayectoria de desplazamiento que muestran algunas de ellas, por ejemplo el llamado "estanque de los Betancores" o las "casas corridas" (fotos 3, 4 y 5).

### 2.3. Descripción de los materiales.

Es característica común en la depresión de Tirajana que al pie de movimientos reactivados se encuentren masas caóticas, que incluyen una auténtica mezcla de litologías. El caso extremo de degradación mecánica y química está representado por unos coluviones arcillo-arenosos, que entre otras zonas están presentes también en Rosiana. La cartografía geológica realizada por A. LOMOSCHITZ (1995) en esta zona debe ser interpretada en el contexto de la zona general de



Foto 3. Casas agrietadas y volcadas al lado de la carretera actual de Rosiana.



Foto 4. El "estanque de los Betancores", roto y desplazado de su posición inicial.

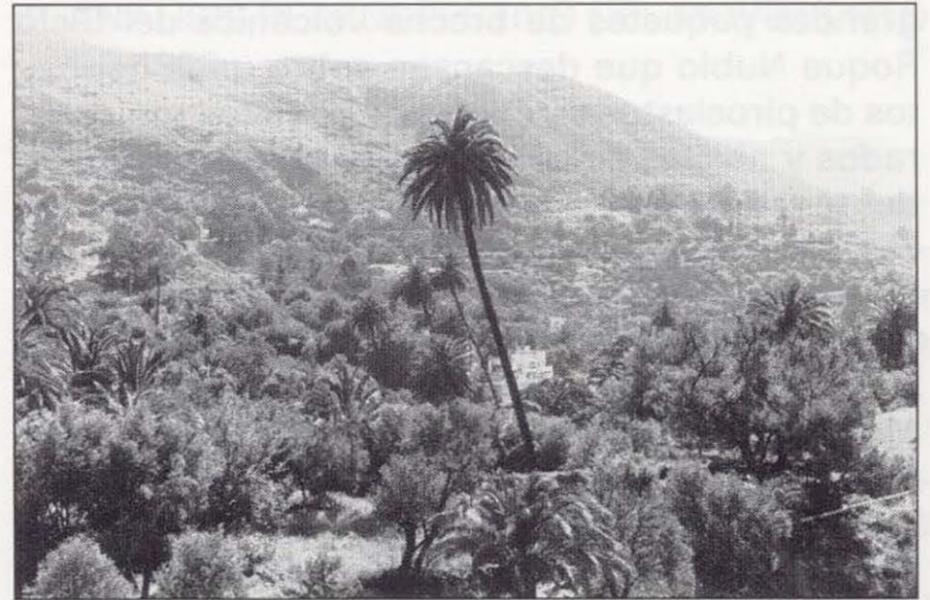


Foto 5. Alineación de palmeras inclinadas cerca del puente roto de Rosiana. El avance del movimiento es hacia la derecha de la foto (sur-suroeste).

Pajonales-Rosiana. En este sentido, son los escarpes rocosos situados por encima de Rosiana los que más información ofrecen sobre los materiales originales, aunque los paquetes rocosos estén ya muy descompuestos por formar parte del cuerpo deslizado de movimientos antiguos (figura 4).

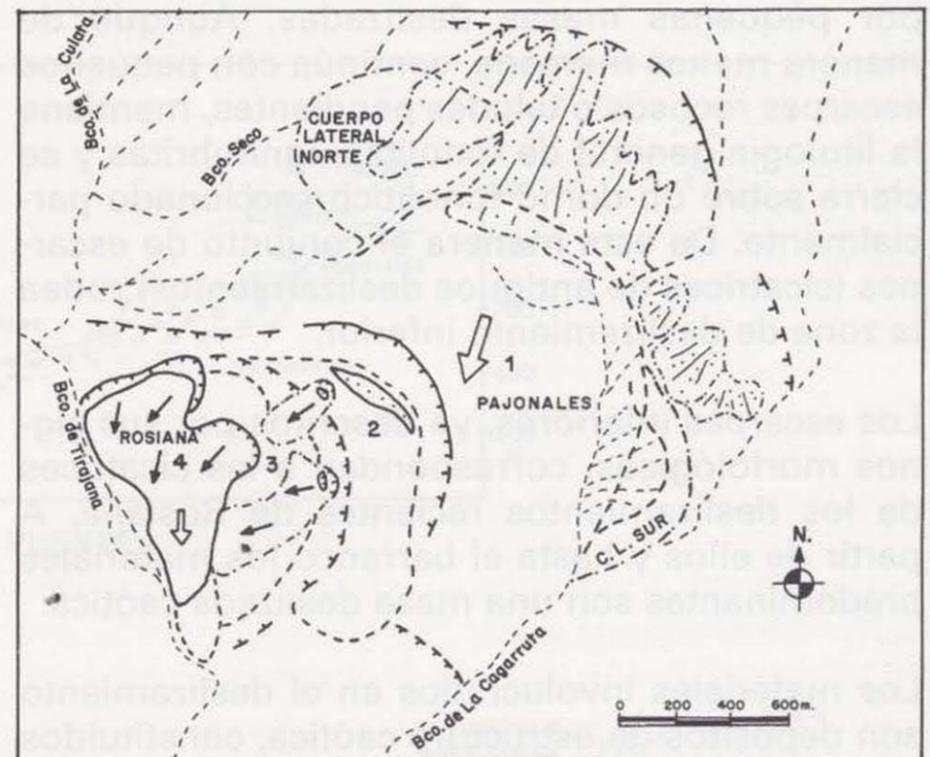


Figura 4. Esquema general de las cicatrices y cuerpos deslizados del sector de Pajonales-Rosiana. Los números indican distintas generaciones de movimientos (realizado sobre foto aérea E 1:18.000).

Pajonales es el monte más alto de la zona y hacia el SO. muestra una cicatriz semicircular continua de gran extensión; ésta es irregular en detalle por la naturaleza de los materiales que afloran. Son

grandes paquetes de brecha volcánica del Ciclo Roque Nublo que descansan sobre unos depósitos de piroclastos y coladas de basaltos muy alterados y niveles de cenizas ácidas. Al pie y procedente del escarpe hay una acumulación de bloques de igual composición.

El conjunto de escarpes que se observa a media ladera, se inicia por debajo del pueblo de El Morisco y se continúa hacia Santa Lucía, y presenta características diferentes. Muestra paquetes de lavas fonolíticas, traquitas e ignimbritas, levemente inclinados hacia el oeste y que parecen tener correspondencia con las fonolitas de la ladera opuesta, aunque estén deslizadas. Por encima del cantil, a la altura de El Morisco éstos materiales aparecen atravesados por numerosos diques subverticales de composición ácida (traquitas-fonolitas), muy descompuestos y que están dispuestos según direcciones variables, de E.-O. a NO.-SE. Estas superficies de debilidad marcadas por los diques son las que aprovecha el cantil rocoso en su evolución.

Este conjunto de escarpes se cierra hacia el sur, perdiendo definición por estar cubierto en parte por pequeñas masas deslizadas. Aunque de manera menos marcada, continúa con pequeños escarpes rocosos o taludes pendientes, mantiene la litología general de fonolitas, ignimbritas y se cierra sobre un domo fonolítico seccionado parcialmente. De esta manera el conjunto de escarpes (cicatrices de antiguos deslizamientos) rodea la zona de deslizamiento inferior.

Los escarpes inferiores, ya descritos por sus signos morfológicos, corresponden a las cicatrices de los deslizamientos recientes de Rosiana. A partir de ellos y hasta el barranco los materiales predominantes son una masa deslizada caótica.

Los materiales involucrados en el deslizamiento son depósitos de estructura caótica, constituidos por fragmentos angulosos a subangulosos, muy heterométricos, desde gravas a grandes bloques; dentro de una matriz arcillo-arenosa que representa por término medio el 40% del volumen total, aunque en ciertas zonas los fragmentos de roca son casi exclusivos. Son por tanto coluviones arcillo-arenosos, cuyo común denominador, además de su aspecto caótico característico, está en la fuerte alteración (física y química) que presentan sus componentes (foto 6).

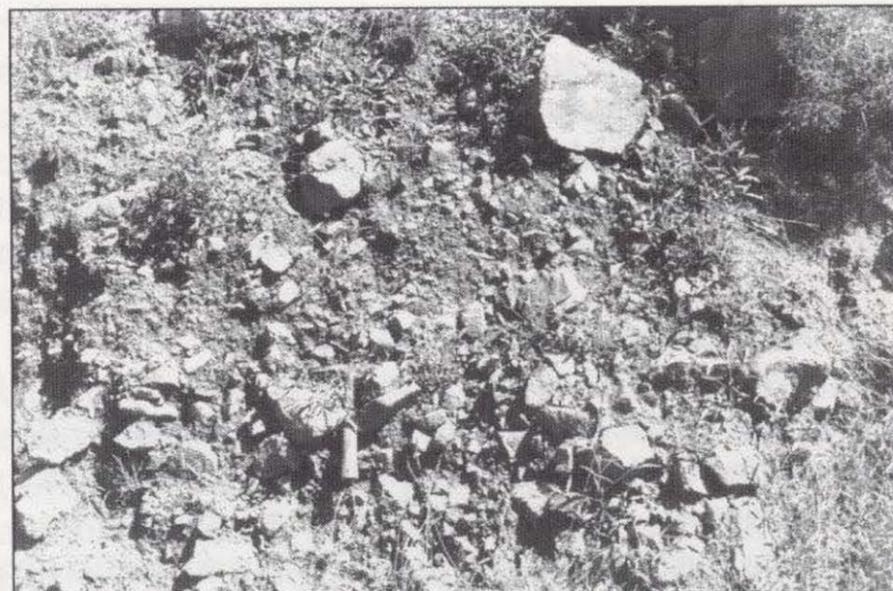


Foto 6. Aspecto de la estructura interna caótica que presentan los materiales que constituyen las masas deslizadas de Rosiana (coluviones arcillo-arenosos).

A partir del Sistema de Clasificación Unificada de Suelos U.S.C.S. estos materiales se pueden considerar como un suelo tipo GC (gravas arcillosas) mezcla de grava-arena-arcillas en proporciones variables; con una media de 58.5 % de fracción gruesa (gravas y bolos), 19.8 % de fracción arenosa y 21.7 % de finos (limos y arcillas); siendo la fracción fina de baja plasticidad, tipo CL (tabla II).

La composición de los fragmentos es variada; lavas fonolíticas, ignimbritas, tobas volcánicas, lavas basálticas y brechas volcánicas, estas últimas en pequeña proporción. En conjunto las rocas originales son todas volcánicas y corresponden a las formaciones traquítico-riolítica y fonolítica del Ciclo I (Mioceno medio y superior) y al Ciclo Roque Nublo (Plioceno).

MUESTRA	G	A	F	USCS	FF	LL	LP	IP
1	63.3	21.1	15.6	GC	CL	35	17.9	17.1
2	81.3	15.6	03.1	GP	CL	41.5	24.1	17.4
3	54.5	18.1	27.4	GC	CL	44.6	20.9	23.7
4	35.0	24.4	40.6	GC	CL	47.3	23.5	23.8
MEDIA %	58.5	19.8	21.7			42.1	21.6	20.5

G : % de gravas y bolos. FF: Clasificación de la fracción fina.  
 A : % de arenas. LL: Límite líquido.  
 F : % de limos y arcillas. LP: Límite plástico.  
 USCS : Clasificación unificada. IP: Índice de plasticidad.

Tabla II. Resumen de los ensayos de identificación de cuatro muestras de coluviones arcillo-arenosos, tomadas en las masas deslizadas de Rosiana.

grandes paquetes de brecha volcánica del Ciclo Roque Nublo que descansan sobre unos depósitos de piroclastos y coladas de basaltos muy alterados y niveles de cenizas ácidas. Al pie y procedente del escarpe hay una acumulación de bloques de igual composición.

El conjunto de escarpes que se observa a media ladera, se inicia por debajo del pueblo de El Morisco y se continúa hacia Santa Lucía, y presenta características diferentes. Muestra paquetes de lavas fonolíticas, traquitas e ignimbritas, levemente inclinados hacia el oeste y que parecen tener correspondencia con las fonolitas de la ladera opuesta, aunque estén deslizadas. Por encima del cantil, a la altura de El Morisco éstos materiales aparecen atravesados por numerosos diques subverticales de composición ácida (traquitas-fonolitas), muy descompuestos y que están dispuestos según direcciones variables, de E.-O. a NO.-SE. Estas superficies de debilidad marcadas por los diques son las que aprovecha el cantil rocoso en su evolución.

Este conjunto de escarpes se cierra hacia el sur, perdiendo definición por estar cubierto en parte por pequeñas masas deslizadas. Aunque de manera menos marcada, continúa con pequeños escarpes rocosos o taludes pendientes, mantiene la litología general de fonolitas, ignimbritas y se cierra sobre un domo fonolítico seccionado parcialmente. De esta manera el conjunto de escarpes (cicatrices de antiguos deslizamientos) rodea la zona de deslizamiento inferior.

Los escarpes inferiores, ya descritos por sus signos morfológicos, corresponden a las cicatrices de los deslizamientos recientes de Rosiana. A partir de ellos y hasta el barranco los materiales predominantes son una masa deslizada caótica.

Los materiales involucrados en el deslizamiento son depósitos de estructura caótica, constituidos por fragmentos angulosos a subangulosos, muy heterométricos, desde gravas a grandes bloques; dentro de una matriz arcillo-arenosa que representa por término medio el 40% del volumen total, aunque en ciertas zonas los fragmentos de roca son casi exclusivos. Son por tanto coluviones arcillo-arenosos, cuyo común denominador, además de su aspecto caótico característico, está en la fuerte alteración (física y química) que presentan sus componentes (foto 6).

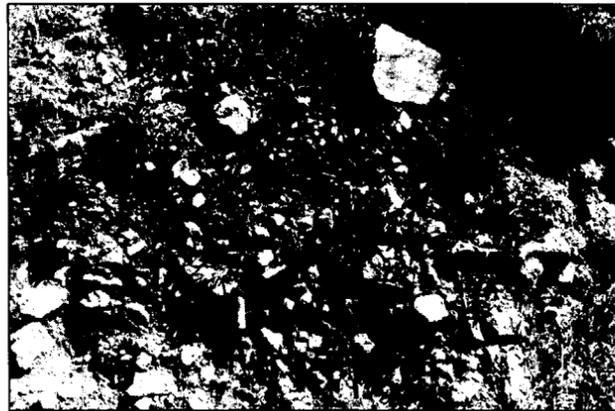


Foto 6. Aspecto de la estructura interna caótica que presentan los materiales que constituyen las masas deslizadas de Rosiana (coluviones arcillo-arenosos).

A partir del Sistema de Clasificación Unificada de Suelos U.S.C.S. estos materiales se pueden considerar como un suelo tipo GC (gravas arcillosas) mezcla de grava-arena-arcillas en proporciones variables; con una media de 58.5 % de fracción gruesa (gravas y bolos), 19.8 % de fracción arenosa y 21.7 % de finos (limos y arcillas); siendo la fracción fina de baja plasticidad, tipo CL (tabla II).

La composición de los fragmentos es variada; lavas fonolíticas, ignimbritas, tobas volcánicas, lavas basálticas y brechas volcánicas, estas últimas en pequeña proporción. En conjunto las rocas originales son todas volcánicas y corresponden a las formaciones traquítico-riolítica y fonolítica del Ciclo I (Mioceno medio y superior) y al Ciclo Roque Nublo (Plioceno).

MUESTRA	G	A	F	USCS	FF	LL	LP	IP
1	63.3	21.1	15.6	GC	CL	35	17.9	17.1
2	81.3	15.6	03.1	GP	CL	41.5	24.1	17.4
3	54.5	18.1	27.4	GC	CL	44.6	20.9	23.7
4	35.0	24.4	40.6	GC	CL	47.3	23.5	23.8
MEDIA %	58.5	19.8	21.7			42.1	21.6	20.5

G : % de gravas y bolos. FF: Clasificación de la fracción fina.  
 A : % de arenas. LL: Límite líquido.  
 F : % de limos y arcillas. LP: Límite plástico.  
 USCS : Clasificación unificada. IP: Índice de plasticidad.

Tabla II. Resumen de los ensayos de identificación de cuatro muestras de coluviones arcillo-arenosos, tomadas en las masas deslizadas de Rosiana.

2.4. Tipología de los movimientos.

El movimiento dominante se identifica con un deslizamiento plano en suelos, con una pendiente del plano de rotura aproximadamente paralela a la superficie (8-14°) y cuya profundidad debe estar comprendida entre los 12 m. (cizallamiento y rotura de un pozo) y el contacto con el substrato impermeable que no sobrepasa los 30 m. (figura 5).

El hecho de que la zona haya sufrido desplazamientos importantes en repetidas ocasiones (1879, 1921, 1923 y 1956) permite tratar al movimiento como un deslizamiento reactivado. Este movimiento muestra además dos condiciones que con frecuencia son las dos causas principales de los deslizamientos de este tipo: 1º) presencia de eventos lluviosos de gran intensidad con la correspondiente elevación de los niveles piezométricos y aumento de las presiones intersticiales; y 2º) la erosión del pie, por las aguas del barranco que han ido desalojando los frentes del deslizamiento, que llegaban a él intentando taparlo.

3. ANALISIS RETROSPECTIVO DEL MOVIMIENTO DE 1956.

3.1. Condiciones principales.

En gran parte ya han sido descritas en los apartados anteriores algunas de las condiciones que permitieron el movimiento; de forma resumida serían:

- \* Lluvias fuertes como elemento desencadenante con la correspondiente elevación del nivel freático.
- \* Erosión del pie durante el movimiento.
- \* Existencia de superficies de rotura producidas en eventos anteriores que dejaban al conjunto en condiciones de resistencia residual.

En los apartados siguientes se realizan algunas consideraciones acerca del movimiento: su relación con las precipitaciones, una estimación de los parámetros resistentes del terreno durante la rotura, y se evalúa la estabilidad futura.

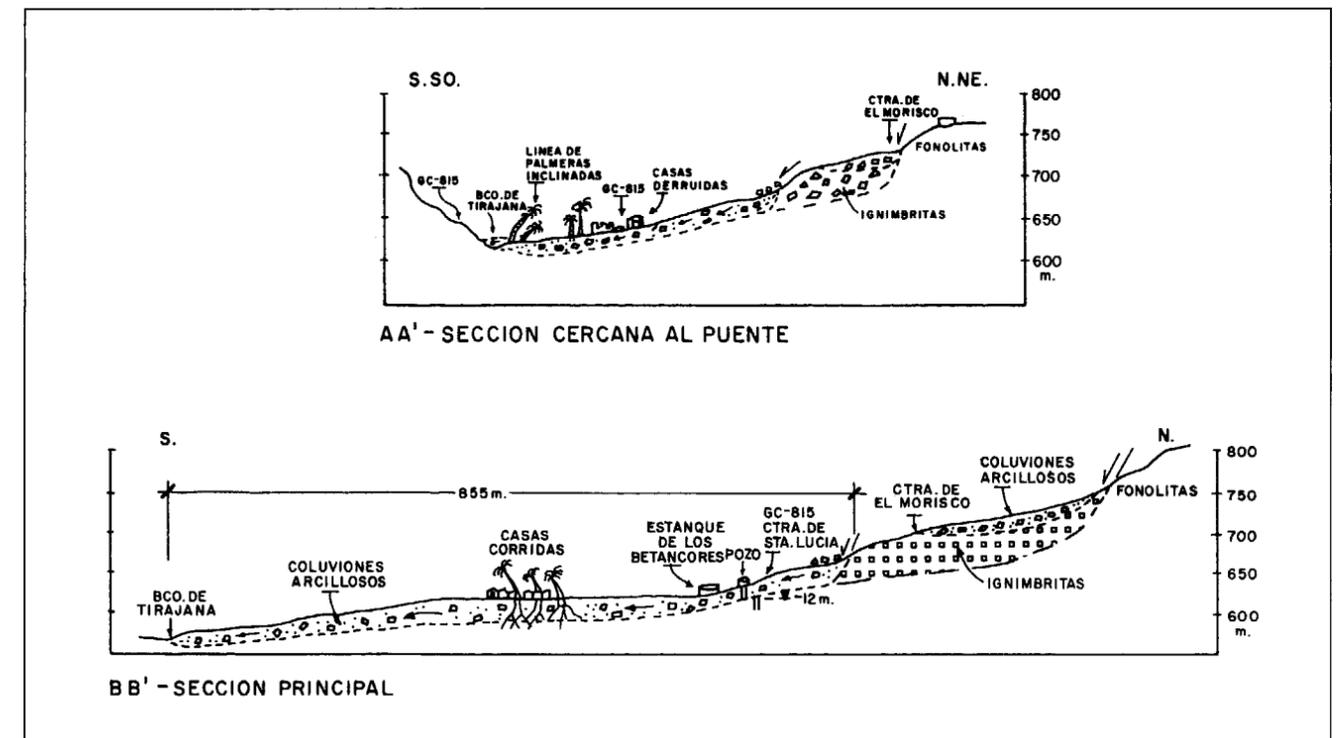


Figura 5. Secciones longitudinales del deslizamiento de Rosiana (indicadas en la figura 3).

### 3.2. Relación con las precipitaciones.

Las precipitaciones de febrero de 1956 en ésta y otras zonas de la isla fueron claramente excepcionales dentro del régimen atmosférico normal. Si bien la estación pluviométrica de Taidía (nº 100) está muy cercana y caracteriza bien la zona de Rosiana, la morfología de la cuenca y los materiales, masas rocosas muy fracturadas, indican que el agua de escorrentía proveniente de las zonas superiores influyó notablemente en la recarga del terreno; por esta razón se deben tener en cuenta también los datos de otras dos estaciones, Culata de Risco Blanco (nº 082) y Cuevas Blancas (nº 033), situadas a 2.5 y 4 km., respectivamente, al N. de Rosiana (tabla III).

Estaciones pluviométricas	Taidía (100)	Culata R.B. (082)	Cuevas Blancas (033)
Precip. media anual 1951-90 (mm.)	375.0	453.6	890.6
Precipitación 1955-56 (mm.)	1302.9	1634.0	2417.3
Precip. media de febrero 1951-1990 (mm.)	75.0	89.7	139.5
Precip. febrero 1956.	621.7	644.8	1134.3
Precip. Máx. 24h. 1951-1990 (mm.)	272.6 14 feb.'56	253.8 15 feb.'56	334.7 15 feb.'56
Período de retorno. Ley de distribución de Gumbel.	250 años	100 años	250 años

Tabla III. Análisis de las precipitaciones en la zona de Rosiana.

De los datos expuestos en la tabla III se pueden extraer tres conclusiones generales sobre el único deslizamiento que cuenta con un registro de lluvias; el deslizamiento de Rosiana de febrero de 1956. En primer lugar, tanto el año de 1956 como su mes de febrero superan en mucho las medias de lluvias para la zona, considerando el período de 1951-90; segundo, más de 1/3 de la lluvia de febrero de 1956 cayó en un día y representa el máximo de todas las intensidades máximas en 24h. del período 1951-90; y tercero, el análisis de los períodos con Imáx. 24h. según la ley de Gumbel ofrece un período de retorno de 100-250 años para las lluvias de Rosiana de febrero de 1956.

Aunque sea de forma resumida conviene comentar en que consiste el régimen atmosférico normal en la isla de Gran Canaria, que tipo de precipitaciones afectan habitualmente a este sector de la isla (San Bartolomé de Tirajana) y que tipo de clima es el característico; de esta manera se llega a apreciar mejor que las lluvias de febrero de 1956 fueron realmente excepcionales en Rosiana.

En primer lugar, el comportamiento de las lluvias en las islas Canarias depende principalmente del relieve; de tal manera que los vientos principales que son los alisios, provenientes del N.-NE., en las islas montañosas (por ejemplo Gran Canaria y Tenerife) generan el característico "mar de nubes" entre los 800 y 1500 m. de altitud, que se concentra en las vertientes que dan al norte (MARZOL JAEN, 1988). En condiciones de inestabilidad atmosférica se originan nubes de gran desarrollo vertical que en el caso de Gran Canaria llegan a sobrepasar la zona de cumbres (1949 m., Pico de las Nieves) y desbordan ligeramente por la fachada sur, provocando ténues precipitaciones. Estas condiciones corresponden a una situación normal en la isla, las lluvias se producen entre noviembre y febrero (o por extensión octubre-marzo) y el resto del año las lluvias en la zona son realmente escasas en intensidad y frecuencia. De esta manera se justifica que la depresión de Tirajana tenga un clima subtropical seco como el más característico.

Las precipitaciones importantes en Tirajana corresponden a situaciones atmosféricas distintas a las ya aludidas y son en general menos frecuentes; se producen una a tres veces al año y existen años que no se registran eventos de este tipo. Consisten en la formación de estrato-cúmulos que provienen del S.-SE. y que se originan cuando una borrasca general del Atlántico baja hacia el Sur, hacia las islas Azores, provocando una corriente de retorno sobre la costa africana y las islas Canarias de componente S-SE., chocando las nubes eventualmente con las islas. Cuando estos estrato-cúmulos impactan con el sur de Gran Canaria, penetran por los barrancos y en el caso de Tirajana van desarrollándose hasta chocar con las paredes del norte de la depresión, provocando una precipitación importante, de gran intensidad. Estas condiciones atmosféricas anómalas, provocan lluvias violentas, con series cortas y son las que dan las mayo-

res intensidades máximas en 24 h. del año, a pesar de su carácter aislado.

El tipo de precipitaciones anteriormente descrito es el que mayor influencia tiene en los desprendimientos y deslizamientos actuales de la depresión de Tirajana; aunque en el caso de los deslizamientos se requieren además lluvias más prolongadas de lo normal, pues sin una recarga previa del terreno no llegan a activarse este tipo de movimientos.

Atendiendo ahora a la figura 6 se obtiene que el movimiento se inició el día 16 (con 544 mm. de lluvia acumulada), dos días después de la máxima precipitación, y aunque las lluvias posteriores no fueron excesivas, sí fueron bastante continuadas para lo normal en la zona; lo que permitió el aumento de la presión de agua intersticial y que el terreno sufriera desplazamientos durante 10 días.

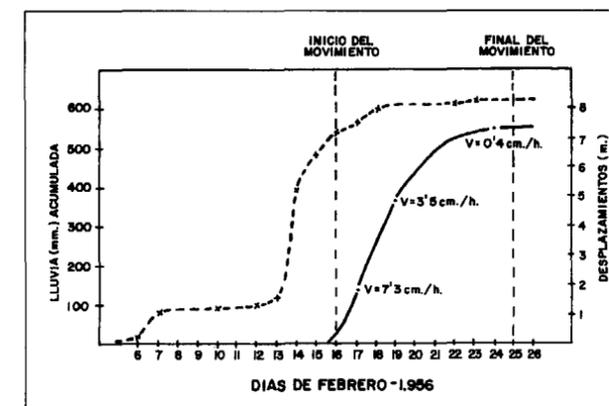


Figura 6. Relación precipitación acumulada-desplazamientos del deslizamiento de Rosiana. Obtenida a partir de las medidas realizadas por MACAU VILAR (1956) en un tramo de carretera deslizado y de datos del Servicio Hidráulico de Las Palmas.

Se cuenta con un registro diario de lluvias desde el año agrícola 1951-52 hasta la actualidad pero, por otro lado, los últimos movimientos históricos registrados corresponden a los años 1879, 1921, 1923 y 1956. En consecuencia, sólo el deslizamiento de 1956 ha sido posible relacionarlo con las precipitaciones. Por otro lado, se han producido desplazamientos del estribo izquierdo del puente antiguo entre 1956-1990 y 1990-1996 (ver figura 2), lo que significa que ha habido lluvias que han reactivado, aunque sea parcialmente, el movimiento.

A partir de los datos obtenidos es difícil establecer de manera clara una lluvia umbral que, una vez sobrepasada, permita nuevos movimientos.

No obstante, se han analizado los períodos con mayores valores de lluvia acumulada del período 1951-95 que se han registrado en la estación pluviométrica de Taidía (nº 100), muy próxima a Rosiana (figura 7). En los casos que han sobrepasado los 400 mm. se han representado también los datos de las estaciones nº 82 y 33, que están por encima de la anterior, para comprobar la influencia de las aguas provenientes de la parte alta de la cuenca.

De los gráficos de la figura 7 se obtiene que:

- \* A pesar de la gran amplitud del período considerado sólo en 12 ocasiones las precipitaciones han sobrepasado los 200 mm. de lluvia acumulada, habiéndose producido ésta durante 4 a 8 días consecutivos.
- \* El período de lluvias del 11 al 18 de febrero de 1956 (458'7 mm. en 7 días) destaca sin duda sobre el conjunto de los intervalos lluviosos y en este sentido justifica que el día 16 se activase el deslizamiento.
- \* No obstante más recientemente, del 2 al 8 de diciembre de 1991, se alcanzaron también valores significativos (591'8 mm. en 6 días) y que podrían ser responsables de los desplazamientos sufridos entre 1990 y 1996.

Relacionando ahora los datos expuestos con anterioridad (ver tabla I y figura 7) se obtienen conclusiones de interés. Mientras que entre 1956 y 1990 (34 años) el estribo del puente se desplazó 9'3 cm., en sólo 6 años, entre 1990 y 1996 se ha desplazado 11'8 cm. Esto permite plantear que la mayor parte de los 11'8 cm. del desplazamiento se produjeron a causa de las lluvias de diciembre de 1991 y que, antes de 1990, las lluvias de enero de 1979 fueron responsables de buena parte de los desplazamientos anteriores.

En consecuencia, se puede afirmar que el umbral de precipitaciones que causan la reactivación de los deslizamientos se encuentra entorno a los 400 mm. de lluvia acumulada y a partir de los 4 días de precipitación. Este planteamiento justifica, por

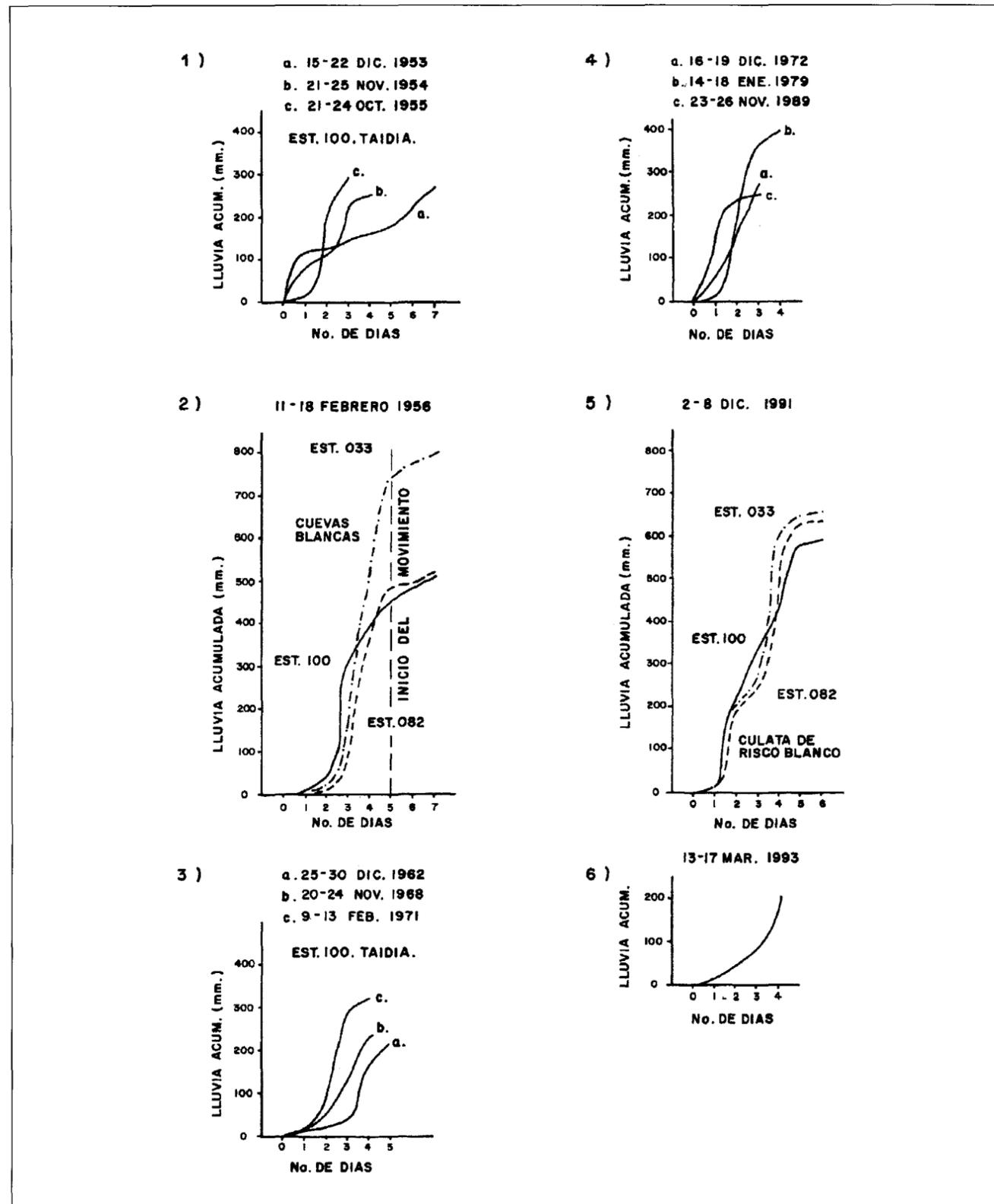


Figura 7. Precipitaciones con mayor lluvia acumulada del periodo 1951 - 1995 en Rosiana.

otro lado, que los valores de intensidades máximas en 24 h. no sean definitivos a la hora de provocar el movimiento, ya que los períodos de retorno obtenidos (100-250 años) no resultan coherentes con la recurrencia de los movimientos producidos en los últimos 100 años.

3.3. Estimación de las condiciones de rotura.

Según la descripción realizada hasta el momento del deslizamiento de Rosiana y su geometría, podemos asimilar el tipo de rotura que afectó principalmente al talud a una rotura plana; con la superficie de deslizamiento paralela al talud, a una profundidad pequeña (12 m.) comparada con la longitud (855 m.) y con ángulos de 8-14°.

Hemos procedido al análisis retrospectivo de las condiciones de estabilidad considerando un talud indefinido, con flujo de agua paralelo al talud. Al tratarse de un movimiento reactivado se ha tomado una cohesión  $c=0$  y un factor de seguridad  $F=1$  para el momento de la rotura. El cálculo realizado se ha basado en el procedimiento expuesto por LAMBE y WHITMAN (1972).

Estos autores consideran un elemento de suelo donde las presiones intersticiales sobre las caras laterales se anulan y la resultante  $U$  sobre la cara inferior adopta la expresión:

$$U = a \cdot m \cdot h \cdot \gamma_w \cdot \cos \Psi_t \quad (1)$$

$\alpha$  es el ancho del elemento de suelo,  $m$  está comprendido entre 0 y 1 según la posición del nivel freático,  $h$  es la profundidad de la superficie de deslizamiento,  $\gamma_w$  el peso específico del agua y  $\Psi_t$  la inclinación del plano de rotura (figuras 8 y 9).

Del equilibrio de fuerzas en el elemento de suelo se obtiene:

$$T = \gamma \cdot a \cdot h \cdot \sin \Psi_t \quad (2)$$

$$N' = \gamma \cdot a \cdot h \cdot \cos \Psi_t - U = (\gamma - m \cdot \gamma_w) a \cdot h \cdot \cos \Psi_t \quad (3)$$

En este caso el peso específico  $\gamma$  no es constante en toda la masa deslizante, dado que ésta se encuentra parcialmente saturada. El valor de  $\gamma$  que se ha de emplear es por consiguiente un valor intermedio. El factor de seguridad es:

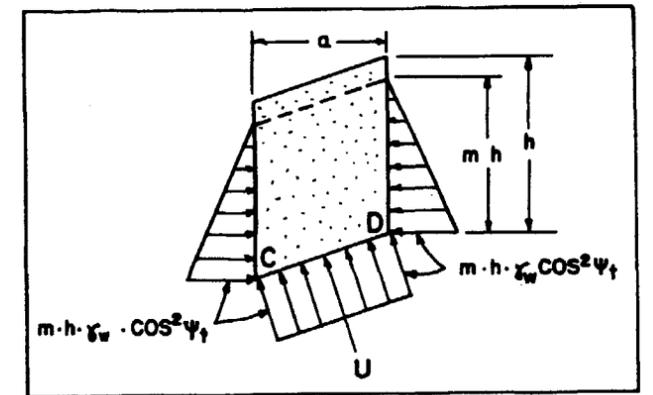


Figura 8. Talud indefinido con flujo paralelo. Presiones intersticiales periféricas.

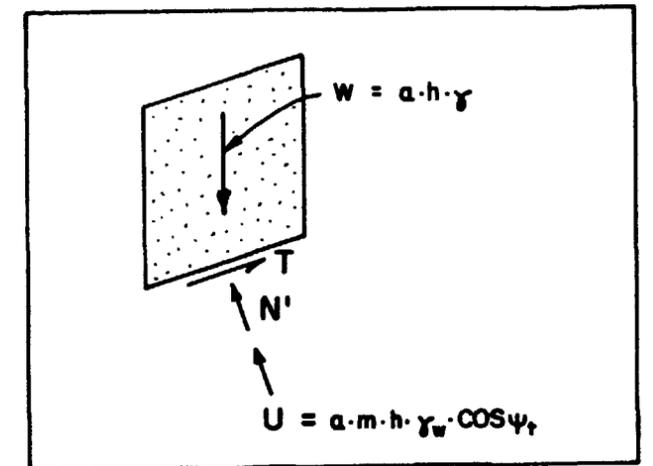


Figura 9. Talud indefinido con flujo paralelo, planteamiento del equilibrio.

$$FS = \frac{c' / h \cdot \cos^2 \Psi_t + \text{tg} \phi' (\gamma - m \cdot \gamma_w)}{\gamma \cdot \text{tg} \Psi_t} \quad (4)$$

Si el nivel freático se encuentra en la superficie del terreno  $m=1$  y entonces:

$$\gamma = \gamma - m \cdot \gamma_w = \gamma_{sat} - \gamma_w = \gamma_{sum}$$

Para suelo no cohesivo la expresión (4) queda:

$$FS = \frac{\text{tg} \phi (\gamma - m \cdot \gamma_w)}{\gamma \cdot \text{tg} \Psi_t} \quad (5)$$

El planteamiento particular para el deslizamiento de Rosiana tiene como datos de partida:

$h = 12$  m. profundidad de la superficie de deslizamiento.

$\Psi = 11^\circ$  ángulo de la superficie de rotura, valor medio entre  $8^\circ$  y  $14^\circ$ .

$c' = 0$  t/m<sup>2</sup> cohesión en la superficie de rotura.

$FS = 1$  factor de seguridad durante el deslizamiento.

Nivel freático entre 0 y 12 m. de profundidad.

$\gamma_s = 2.6$  t/m<sup>3</sup> peso específico de las partículas sólidas.

$\gamma_{sup} = 1.76$  t/m<sup>3</sup> peso específico del suelo seco.

$H = 12$  % humedad por encima del nivel freático.

$\gamma_{sat} = 1.96$  t/m<sup>3</sup> peso específico del suelo saturado.

$e = 0.65$  índice de poros.

En función de la posición del nivel freático el peso específico medio ( $\gamma_m$ ) adoptará distintos valores, según:

$$\gamma_m = \gamma_{sup} + m (\gamma_{sat} - \gamma_{sup})$$

$m =$	0	0.25	0.50	0.75	1
$m_h =$	0	3m.	6m.	9m.	12m.
$\gamma_m =$	1.76	1.81	1.86	1.91	1.96

En nuestro caso para obtener  $\Phi'$ , según las distintas situaciones del nivel freático, se puede emplear directamente la expresión (5), que sustituyendo los datos queda en:

$$\gamma_m \cdot \operatorname{tg} 11^\circ = \operatorname{tg} \Phi' (\gamma_m - m \cdot \gamma_{sat}) \quad , \text{ o bien:}$$

$$\operatorname{tg} \Phi' = \frac{\gamma_m}{\gamma_m - m \cdot \gamma_{sat}} \operatorname{tg} 11^\circ \quad (6)$$

y según los valores de  $\gamma_m$  y  $m$  se obtienen los valores de la tabla 4.

$\gamma_m$	$m$	$\operatorname{tg} \Phi'$	$\Phi'$
1.81	0.25	0.225	$12.7^\circ$
1.86	0.50	0.266	$14.9^\circ$
1.91	0.75	0.320	$17.7^\circ$
1.96	1	0.397	$21.6^\circ$

TABLA IV

Los valores del ángulo de fricción obtenidos se pueden contrastar con las relaciones establecidas por diversos autores. En concreto MESRI y CEPEDA-DIAZ (1986) relacionan el límite líquido con el ángulo de fricción residual y LUPINI, SKINNER y VAUGHAN (1981) relacionan el índice de plasticidad también con ese ángulo.

Los ensayos de identificación realizados tienen valores de 35 a 47% de humedad para el límite líquido y de 17.1 a 23.8 % para el índice de plasticidad. La representación de estos valores en las gráficas de los autores citados ofrecen valores del ángulo de fricción residual siempre superiores a  $20^\circ$ , por tanto en el caso de Rosiana resultan más acordes los valores más altos ( $17.7^\circ$  -  $21.6^\circ$ ), que corresponden a situaciones del nivel freático cercano a la superficie, entre 9 y 12 m. sobre la superficie de rotura.

Por otro lado, teniendo en cuenta la gran extensión y continuidad del movimiento no se deben descartar condiciones variables en la distribución de presiones de agua en los poros o en el ángulo de fricción a lo largo de la superficie de rotura.

En este sentido, se considera aceptable tomar los valores comprendidos entre  $17.7^\circ$  y  $21.6^\circ$  para el ángulo de fricción residual; habiendo considerado un ángulo medio de talud de  $11^\circ$  y condiciones próximas a la saturación completa. Lógicamente esta estimación no consiste más que en un tanteo a partir de la geometría y valores geotécnicos medios, ya que no hemos tenido medios para muestrear la superficie de rotura.

### 3.4. Estabilidad futura.

Se debe partir del hecho que el deslizamiento de Rosiana es un movimiento que se ha reactivado en fechas históricas (1879, 1921, 1923, 1956 y

posiblemente 1991). También hay que considerar que las condiciones morfológicas del terreno no han variado sensiblemente desde el último movimiento, teniendo en cuenta las dimensiones del mismo; incluso el pie se encuentra libre pues la erosión del barranco ha ido dejando una margen vertical en la masa deslizada de unos 3 m. de altura.

Los datos obtenidos de los desplazamientos relativos entre los estribos del antiguo puente de Rosiana permiten concluir que con posterioridad al importante deslizamiento de 1956 las masas de terreno se han seguido moviendo (9.3 cm. hasta 1990 y 11.8 cm. entre 1990 y 1996).

A partir del análisis de los períodos de lluvias con  $Im_{\max}$  en 24h. y aplicando la ley de Gumbel se ha obtenido un período de retorno de 100-250 años para las lluvias de Rosiana de 1956. No obstante, al relacionar las precipitaciones con el deslizamiento se ha llegado a la conclusión que son necesarios períodos de varios días consecutivos con lluvia, de manera que la lluvia acumulada es un parámetro más indicativo que las  $Im_{\max}$  en 24h.

A la vista de las sucesivas reactivaciones (por lo menos 4 en los últimos 100 años), el deslizamiento es bastante susceptible a sufrir futuros movimientos y la zona constituye así un área de riesgo elevado.

Aunque los datos disponibles son insuficientes para establecer estadísticamente una lluvia umbral para los movimientos, sí resulta definitivo que a los períodos de lluvias intensas y continuadas se debe sumar el aporte de aguas desde las zonas superiores de la cuenca. El análisis de las precipitaciones indica que es necesario superar los 400 mm. de lluvia acumulada y esto se produce a partir de 4-5 días de lluvia intensa.

Desde el punto de vista geotécnico, entre las causas más importantes del movimiento está la elevación de los niveles piezométricos y la erosión del pie del deslizamiento. Los parámetros estimados para la rotura corresponden a una cohesión nula, a ángulos de fricción comprendidos entre  $17.7^\circ$  y  $21.6^\circ$  y condiciones próximas a la saturación completa del talud.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren hacer constar la ayuda de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria por la concesión del proyecto "Estudio de taludes y laderas inestables de la isla de Gran Canaria", curso 1989-90, gracias al cual se iniciaron los trabajos. En lo referente a la obtención de los datos pluviométricos y su interpretación agradecemos la ayuda de D. José Antonio Núñez Llado, del Servicio Hidráulico de Las Palmas, y de Ana María Afonso López. Asimismo, dirigimos nuestro reconocimiento a D. Francisco J. Ayala Carcedo y a Mercedes Ferrer Gijón, de la División de Ingeniería Geoambiental del ITGE, por el ánimo constante recibido para abordar el estudio de grandes deslizamientos en el centro-sur de Gran Canaria.

### REFERENCIAS:

- ALONSO, E. (1987). Riesgos geológicos asociados a las avenidas y su previsión. En: Avenidas, sistemas de previsión y alarma. Bergay Dolz Ed.: 37-58. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid.
- ANCOCHEA, E.; HERNAN, F.; CENDREDO, A.; CANTAGREL, J.M.; FUSTER, J.M.; IBARROLA, E. Y COELLO, J. (1994). Constructive and destructive episodes in the building of a young Oceanic Island, La Palma, Canary Islands, and genesis of the Caldera de Taburiente. Jour. Volcanol. Geoth. Res. 60(1994) 243-262.
- ARAÑA, V. Y CARRACEDO, J.C. (1980). Los volcanes de las Islas Canarias, III. Gran Canaria. Ed. Rueda, Madrid; 175 pp.
- FUSTER, J.M.; HERNANDEZ PACHECO, A.; MUÑOZ, M.; RODRIGUEZ BADIOLA, E. Y GARCIA CACHO, L. (1968). Geología y volcanología de las Islas Canarias. Gran Canaria. Ed. Instituto Lucas Mallada; 243 pp.
- HAUSEN, H. (1960). Las Calderas Canarias. Anuario de Estudios Atlánticos, 6; pp. 133-194.
- HAUSEN, H. (1970). Desprendimientos en las Islas Canarias. Anuario de Estudios Atlánticos 16:531-559.
- IGME (1987). Estudio sobre el deslizamiento en la localidad de Hermigua en la isla de la Gomera (Canarias). Informe inédito.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA - ITGE- (1990). Mapa Geológico de España a escala 1: 25.000. Proyecto MAGNA. Hojas 1100-I-II a 114-IV (Gran Canaria).
- INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA - ITGE- (1992). Mapa Geológico de España a escala 1: 100.000. Gran Canaria.

LAMBE, T.W. Y WHITMAN, R.V. (1972). *Mecánica de Suelos*. Ed. Limusa, 582 pp.

LOMOSCHITZ, A. (1995). Análisis del origen y evolución de la depresión de Tirajana (Gran Canaria). Tesis Doctoral, Univ. Politécnica de Cataluña. Inédita, 203 pp. memoria y 500 pp. apéndices.

LOMOSCHITZ, A. Y COROMINAS, J. (1992). Los fenómenos de deslizamiento gravitacional de la depresión de Tirajana (isla de Gran Canaria). En: *II Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, La Coruña, 20-23 de Octubre, 1992: 183-194.

LOMOSCHITZ, A. Y COROMINAS, J. (1996). Los depósitos de deslizamientos gravitacionales del centro-sur de Gran Canaria. *Geogaceta*, 20(6): 1346-1348.

LUPINI, J.F.; SKINNER, A.E. & VAUGHAN, P.R. (1981). The drained residual strength of cohesive soils. *Geotechnique* 31, No. 2, 181-213.

MACAU, F. (1956). La muerte de un joven enfermo. Análisis de las causas de la destrucción del puente Rosiana en la carretera de Las Palmas a San Bartolomé de Tirajana (Gran Canaria). *Revista de Obras Públicas*, Nov. 1956, pp. 584-594, Madrid.

MACAU, F. (1959). Las "calderas" de Gran Canaria. *An. Est. Atlánticos*, núm. 5; pp. 9-36.

MARZOL JAEN, V. (1988). La lluvia, un recurso natural para Canarias. Ed. Confederación de Cajas de Ahorros, Caja Canarias, 220 p.

MESRI, G. & CEPEDA-DIAZ, A.F. (1986). Residual shear strength of clays and shales. *Geotechnique* 36, No. 2, 269-274.

URGELES, R.; CANALS, M.; BARAZA, J. & ALONSO, B. (1996). The submarine "El Golfo" debris avalanche and the Canary debris flow, West Hierro Island: the last major slides in the Canary archipelago. *Geogaceta* 20(2): 320-393.

UNESCO (1976). *Engineering geological maps*. The Unesco Press, Paris, 79 pp.

UNESCO (1993). A suggested method for describing the activity of a landsli-de. *Bull. Int. Assoc. Engineering Geology* No.47, pp.53-57, Paris.

WATTS, A.B. & MASSON, D.G (1995). A giant landslide on the north flank of Tenerife, Canary Islands. *Jour. Geophys. Res.* Vol.100, No. B12, pp. 24, 487-498.

Original recibido: Septiembre 1997.

Original aceptado: Octubre 1997.