

LA DEPRESIÓN DE TIRAJANA, GRAN CANARIA. UNA MACROFORMA EROSIVA PRODUCIDA POR GRANDES DESLIZAMIENTOS

A. LOMOSCHITZ (1) & J. COROMINAS (2)

(1) Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria,
35017 Las Palmas.

(2) Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica. Universitat
Politécnica de Catalunya, 08034 Barcelona.

Resumen: El origen de la depresión de Tirajana (Gran Canaria) ha sido objeto de debate desde el siglo pasado, si bien desde Fúster et al.(1968) han predominado las hipótesis erosivas y en la actualidad su génesis erosiva se considera un hecho contrastado. El complejo entramado de materiales, "depósitos de deslizamientos gravitacionales" (d.d.g.) según ITGE (1990), que se encuentra en el interior de la depresión, no ha sido estudiado hasta fechas recientes. A partir de los trabajos de Lomoschitz (1995) y Lomoschitz & Corominas (1996a) se establece una clara diferenciación entre los d.d.g. y los materiales del substrato; y en estos materiales, a su vez, se distinguen 28 grandes cuerpos deslizados, principalmente producidos por movimientos traslacionales. La caracterización de los deslizamientos, su clasificación y el establecimiento de una secuencia espacio-temporal en su desarrollo han permitido conocer como evolucionó la depresión desde el Pleistoceno medio hasta la actualidad. Asimismo, se han establecido tres etapas principales y se ha elaborado un modelo evolutivo coherente con los datos obtenidos.

Palabras clave: deslizamientos, modelo evolutivo, Gran Canaria.

Abstract: The origin of the Depression of Tirajana has been discussed since the last century. Nowadays its erosive genesis is widely accepted. The large and complex formations, named by ITGE (1990) "depósitos de deslizamientos gravitacionales", had been studied only very recently. Lomoschitz (1995) and Lomoschitz & Corominas (1996a) established a clear difference between the bedrock and the slided bodies and were distinguished 28 large landslides, basically translational slides. The Depresión de Tirajana evolution (middle Pleistocene - Holocene) has been established from the landslide characterisation and spatial relationships. Three main stages of evolution have been identified and an evolutive model is proposed.

Key words: landslides, evolutive model, Gran Canaria.

1. Introducción

La depresión de Tirajana se sitúa en el centro-sur de la isla de Gran Canaria. Su morfología está llena de contrastes pues su fondo presenta una topografía muy irregular y está casi cerrada por grandes escarpes rocosos de 200 a 350 m. de altura y desde el fondo de los barrancos hasta los cantiles superiores se alcanzan desniveles que alcanzan los 900 m. (Foto 1).

Esta macroforma tiene unos 5 km. de ancho y 12 km. de largo y está abierta hacia el sudeste mediante un único barranco, el de Tirajana; éste se estrecha al salir de la depresión y recorre 15 km. hasta desembocar en el mar atravesando una plataforma deltaica denominada los Llanos de Juan Grande. La cuenca de recepción superior del barranco de Tirajana, que corresponde a la depresión, tiene tres tributarios principales que en orden de importancia son: el propio barranco principal de Tirajana, que parte de Los Caïderos, al NO.; el barranco de La Culata de Tirajana, que surge del norte; y el barranco de Agualatente que está situado entre los dos anteriores y presenta mucho menos desarrollo. La Figura 1 representa en esquema la depresión de Tirajana y los contornos de los depósitos de deslizamientos que se encuentran en su interior. Cabe destacar la gran extensión en planta de los mismos y, por otro lado, que dichos contornos han sido redefinidos en campo a partir de una cartografía E. 1: 10.000 (Lomoschitz, 1995) y los contactos difieren de los establecidos previamente por ITGE (1990).



Foto 1. Representación en perspectiva del relieve de la isla de Gran Canaria. Aparece señalada la depresión de Tirajana en la zona centro-sur.
Oblique view of Gran Canaria island. The Depresión de Tirajana stands out in central-southeastern area.

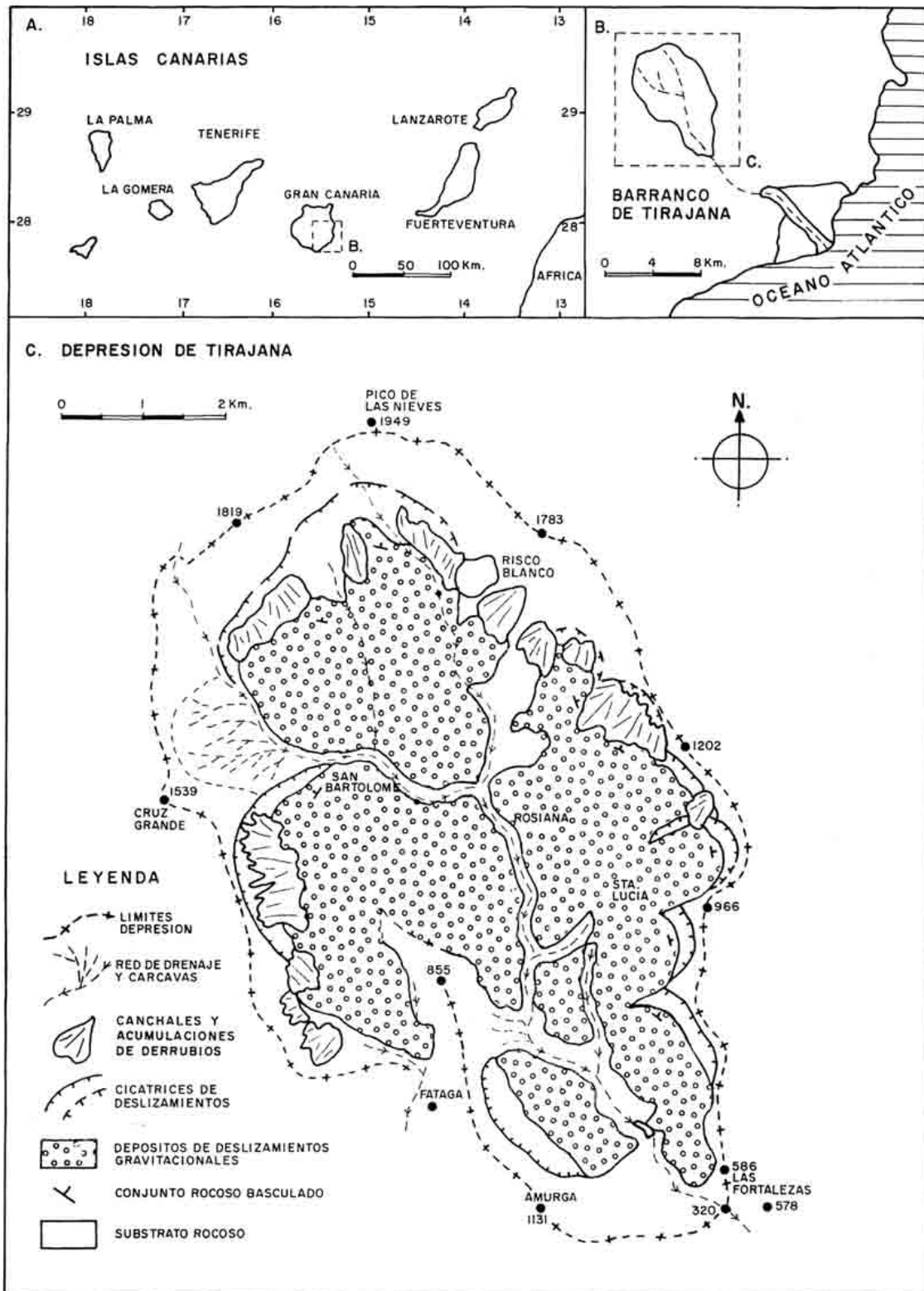


Fig. 1. Localización y esquema geomorfológico general de la depresión de Tirajana.
 Location and geomorphological sketch of the Depression of Tirajana.

Las formaciones geológicas que constituyen el substrato rocoso afloran en las paredes de la depresión y en algunos puntos del fondo de los barrancos e incluyen materiales de los tres ciclos magmáticos de la isla.

2. Hipótesis sobre el origen

Esta macroforma ha llamado la atención de numerosos científicos y ha sido objeto de diversas interpretaciones. Las hipótesis planteadas sobre la génesis son de tres tipos. Un primer conjunto de autores atribuyen a la depresión una génesis volcánica; Buch (1825), Fernández Navarro (1925) y Benítez Padilla (1945) la denominan "caldera de colapso", "cráter de explosión" y "caldera de hundimiento", respectivamente. Otros sugieren un origen mixto, volcano-tectónico, como Boucart & Jeremine (1937), o principalmente tectónico como Hausen (1960) que emplea el término "valle-fosa".

Un tercer conjunto de autores hacen constar que su origen es erosivo puesto que no existe constancia, en las formaciones y estructuras geológicas, de su relación con emisiones volcánicas o con fenómenos tectónicos. No se han encontrado signos de movimientos tectónicos en la zona, a escala local o general. Las formaciones del substrato son concordantes unas con otras y no aparecen deformadas, ni por fallas ni por pliegues.

En un principio son Fúster et al. (1968) y Araña & Carracedo (1980) los partidarios de ésta hipótesis y, más recientemente, los autores de la cartografía geológica 1: 25.000 de la Serie Magna (ITGE, 1990) y Lomoschitz & Corominas (1992a y b) plantean el papel fundamental de los deslizamientos en el desarrollo de la depresión.

Además, teniendo en cuenta la disposición y cronología de las formaciones volcánicas del entorno, las únicas erupciones que se produjeron durante el desarrollo de la depresión corresponden a las emisiones de lavas basáníticas-nefeliníticas del Ciclo III (Pleistoceno medio - Holoceno), que en ningún caso se dirigen o invaden la depresión. Por otro lado, el reducido volumen de las coladas emitidas y su origen magmático profundo, pues se trata de magmas básicos, no pueden justificar el vaciado y hundimiento de una cámara magmática cercana.

A partir de los datos apuntados, no sólo las hipótesis tectónicas y tecto-volcánicas, sino también las volcánicas aparecen hoy sin fundamento cuando se estudia con cierto detalle la depresión de Tirajana. En éste sentido, resulta adecuado emplear los términos "depresión" o "cuenca superior" para denominar la cabecera del barranco de Tirajana, cuando se tiene en cuenta su génesis erosiva; mientras que el término "caldera" puede dar lugar a confusión pues en general se asigna a depresiones del terreno en las cuales han intervenido fenómenos volcánicos en su origen o evolución.

3. Características de los deslizamientos

3.1. Aspectos generales

En una primera aproximación al estudio de las masas deslizadas del barranco de Tirajana se puede concluir que éstas no siguen esquemas fijos, ni en su litología y estructura, ni tampoco en su morfología externa. De hecho, la característica más común de estos depósitos es la falta de ordenamiento interno y a ésta se suma la presencia de un relieve muy variado, difícil de analizar a escalas pequeñas.

Ésta es la razón por la cual los autores de la cartografía geológica 1: 25.000 (ITGE, 1990) consideran el conjunto como una formación geológica compleja. Éstos afirman que fueron deslizamientos de gran envergadura, confirman la existencia de depósitos similares en otras zonas de la isla y hacen una descripción general de los mismos, apoyada en observaciones puntuales.

Por otro lado, éstos autores además de acuñar el término "depósitos de deslizamientos gravitacionales" (en adelante d.d.g.) diferencian estos depósitos, de génesis erosiva, de las facies deslizadas de brecha Roque Nublo producidos por episodios volcánicos explosivos durante el Plioceno.

Por su parte, Lomoschitz & Corominas (1992a y b) destacan la existencia de un entramado amplio y complejo de cuerpos deslizados en la depresión de Tirajana y establecen un esquema inicial de la cronología relativa entre los diferentes movimientos. Con posterioridad, estos mismos autores (Lomoschitz & Corominas, 1996a) aluden a la importancia del cambio de planteamiento en el estudio de los d.d.g.; en trabajos anteriores constituyen una formación geológica con características más o menos variables, mientras que ahora se puede subdividir en diferentes deslizamientos que corresponden a eventos que se han sucedido en el tiempo y que son distinguibles espacialmente.

Para estudiar los deslizamientos se ha dividido la depresión en siete sectores y cada uno de ellos incluye al menos un cuerpo principal de deslizamiento y varias generaciones de movimientos secundarios (Figuras 2 y 3). La base cartográfica que se ha utilizado para representar los deslizamientos es de escala 1: 10.000 y la fotointerpretación de apoyo de escala 1: 18.000.

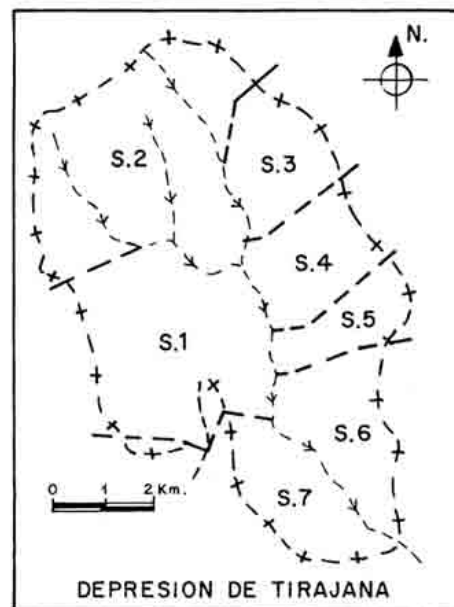


Fig. 2. División en sectores de la depresión de Tirajana.
Study areas of the Depresión de Tirajana.

Se han distinguido 28 deslizamientos diferentes y a su vez han sufrido varias reactivaciones globales o parciales. Se ha indicado de 1 (más antiguo) a 4 (más reciente) la secuencia de reactivaciones que se han identificado. La enumeración realizada, por tanto, corresponde a generaciones de movimientos diferenciados por sectores. Conviene advertir que en ésta fase de caracterización, de los cuerpos deslizados, el número de orden entre generaciones de movimientos que se ha empleado (Figura 3) no es sincrónico con los demás deslizamientos, sino que se trata de un orden establecido internamente para cada movimiento.

3.2. Características

Las dimensiones de los deslizamientos son muy variables, pero todos entran en la categoría de grandes deslizamientos pues superan los 150m. de extensión longitudinal (UNESCO, 1976). Las características y dimensiones de los deslizamientos se indican en la Tabla 1. Se concluye que los deslizamientos principales son de dimensiones extraordinarias y son profundos, mientras que los cuerpos secundarios son de dimensiones menores y mucho más variables en sus proporciones.

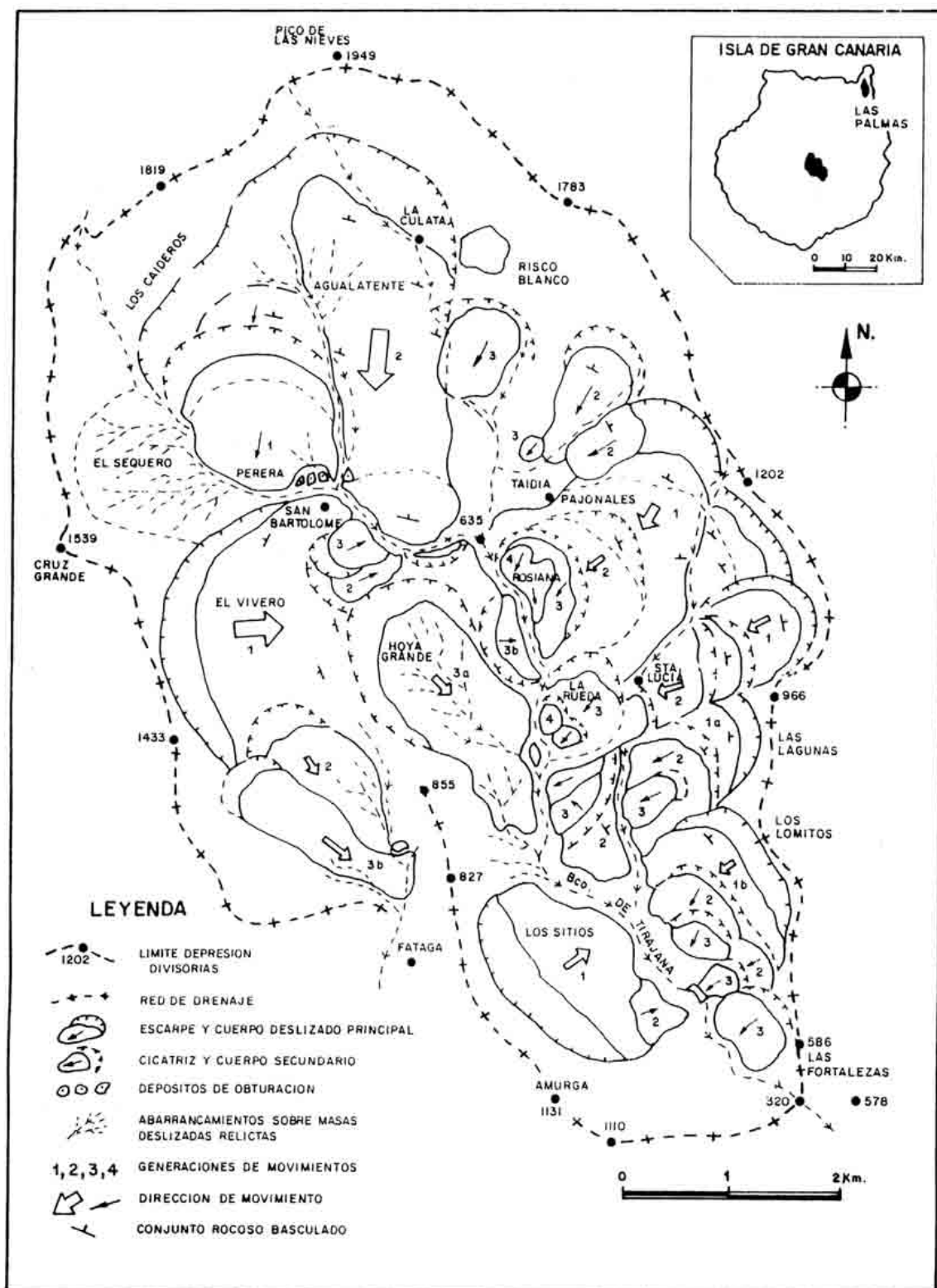


Fig. 3. Distribución en planta y generaciones de deslizamientos por sectores.
Spatial distribution of the different landslides.

Tabla 1. Características y dimensiones de los deslizamientos.
Features and dimension of the landslides.

Características \ Deslizamientos	Cuerpos principales	Cuerpos secundarios
Superficies afectadas	1.5 - 6.5 km ² (3.03)	0.15 - 2.5 km ²
Extensión longitudinal	1 - 3.5 km (2.33)	0.4 - 2.3 km
Espesor depósitos	120 - 300 m. (185)	20 - 200 m.
Volumen depósitos	0.18 - 1.35 km ³ (0.63)	0.5x10 ⁶ m ³ - 0.3 km ³

() entre paréntesis se indican los valores medios.

Respecto a los sentidos de avance de los movimientos en conjunto cubren un espectro amplio, sin un sentido preferente; sin embargo: 1) todos los deslizamientos tienen un sentido de movimiento hacia el barranco de Tirajana y esto permite postular que la disposición espacial de la red fluvial cuando se produjeron los movimientos no podía ser muy distinta a la actual; y 2) si bien los deslizamientos de mayores dimensiones tienen sentidos de avance bastante perpendiculares a la red de drenaje, los de menores dimensiones con cierta frecuencia se orientan oblicuamente a la misma.

Los materiales que constituyen los deslizamientos pertenecen a la casi totalidad de las formaciones geológicas que afloran en la depresión. Una vez separados del substrato por la primera rotura, los materiales sufrieron una degradación progresiva de su estructura y textura por las sucesivas reactivaciones; tanto es así que a partir del segunda o tercera generación de movimientos la textura aparece rota y desorganizada y la masa deslizada presenta un aspecto muy diferente al de la roca original. El conjunto de los signos morfológicos (incluyendo el desgaste de las formas) y texturales observados ha permitido relacionar los deslizamientos entre sí y ha servido para asignar una antigüedad relativa a cada deslizamiento.

En lo referente a las superficies de deslizamiento existen dos cuestiones de importancia: 1) las superficies de deslizamiento dentro de cada sector suelen ser las mismas, pues una vez producida una superficie de rotura inicial los posteriores deslizamientos vuelven a aprovecharla; y 2) los materiales que con más frecuencia contienen las superficies de rotura pertenecen a la Formación Traquítico-Riolítica, a la Formación Fonolítica, ambas del Ciclo-I (Mioceno), y a la Formación Basáltica del Ciclo Roque Nublo (Plioceno); en concreto se trata de niveles de tobas volcánicas y cenizas, paquetes de ignimbritas y mantos de piroclastos basálticos; aunque también intervinieron las superficies de contacto entre paquetes de roca, que en ocasiones incluyen depósitos epiclásticos entre coladas volcánicas.

3.3. Clasificación de los movimientos

De acuerdo con la clasificación de Varnes (1978) se han podido distinguir varios tipos de movimientos. Una primera división permite diferenciar dos grupos principales: desprendimientos de rocas (rock falls) y deslizamientos (slides).

a) **Desprendimientos de rocas.** En la depresión de Tirajana los desprendimientos han sido fenómenos frecuentes, bien reflejados por la existencia de potentes acumulaciones de derrubios y extensos canchales de bloques que, de manera casi sistemática, cubren los pies de los cantiles rocosos.

Una primera apreciación sobre estos depósitos es que se han ocasionado en estrecha dependencia con los grandes deslizamientos. En otras palabras, la posición y extensión de estos depósitos sólo es justificable por que previamente los deslizamientos han dejado tras de sí enormes escarpes rocosos (siempre superan los 200m. de altura), que corresponden a la cicatriz superior de estos movimientos

que son muy pendientes (con ángulos de 60 a 85°). Efectivamente, la cabecera de los cuerpos de deslizamiento aparece tapizada por enormes canchales, con una extensión longitudinal media de 500 m. en planta y que en ocasiones alcanza los 800 m. Además, los depósitos más extensos marcan la dirección de avance de los deslizamientos a los que están asociados y se puede seguir la cabecera de los deslizamientos por la distribución en planta que presentan los canchales.

En sentido amplio los movimientos que originan estos depósitos son desprendimientos de rocas (rock falls), sin embargo en sentido estricto estos movimientos han ido acompañados del vuelco previo de columnas de roca (rock topple). La disposición subhorizontal de las coladas de materiales volcánicos (fonolitas, ignimbritas, brechas volcánicas, etc.) y su diaclasado vertical permiten que queden aisladas enormes columnas de roca que una vez inestabilizadas, sufren primero un vuelco, después se desprenden y tras la caída se parten en varios bloques.

Según las observaciones realizadas, éstos se produjeron con mayor intensidad en el pasado y sólo corresponden a canchales activos en la actualidad una pequeña proporción de ellos.

b) **Deslizamientos.** Como muestra la Figura 3 se han distinguido 28 grandes deslizamientos. A partir de las características de los mismos se obtiene que 12 son tipo "rock slide", deslizamientos traslacionales en roca; 5 son de tipo "debris slide", deslizamientos traslacionales de derrubios; dos son "debris slump", deslizamientos rotacionales de derrubios; otros dos son "earth slide", deslizamientos traslacionales de tierras; y otros dos "rock avalanche", avalanchas de rocas; por último, uno es un "debris flow", flujo de derrubios, y el resto han sido considerados movimientos compuestos.

De los 4 movimientos compuestos, 3 han sido considerados "debris slide - debris flow", es decir, deslizamiento y flujo de derrubios; y uno "rock slide-debris slide", deslizamiento traslacional en roca y de derrubios. La tabla 2 recoge el número y porcentaje de los distintos tipos de deslizamientos así como la extensión que ocupan en planta.

Tabla 2. Tipos, frecuencia y extensión en superficie de los deslizamientos.
Frequency and surface extension of the different landslide types.

TIPO DE DESLIZAMIENTO	Nº	%	S.(Km ²)	%S.
ROCK SLIDE	12	42'9	26'55	66'16
ROCK AVALANCHE	2	7'1	1	2'49
DEBRIS SLIDE	5	17'9	2'6	6'48
DEBRIS SLUMP	2	7'1	0'55	1'37
DEBRIS FLOW	1	3'6	1'2	2'99
EARTH SLIDE	2	7'1	0'48	1'2
DEBRIS SLIDE - DEBRIS FLOW	3	10'7	7	17'44
ROCK SLIDE - DEBRIS SLIDE	1	3'6	0'75	1'87

Con los datos aportados se obtienen otras conclusiones importantes: los movimientos principales de todos los sectores son tipo "rock slide", grandes deslizamientos en roca a partir del substrato. A medida que los bloques deslizados se fueron fracturando, por las reactivaciones posteriores, los deslizamientos pasaron a ser de derrubios, pero persistieron como prioritarios los desplazamientos traslacionales; sólo en dos casos los derrubios se han degradado aun más para considerar el movimiento del tipo "earth slide".

Con independencia del tipo de material, si se consideran los deslizamientos en conjunto se comprueba que predominan con mucho los desplazamientos traslacionales sobre los demás, pues constituyen el 67'9% como movimientos simples, e intervienen en todos los movimientos compuestos, es decir un 14'2% más. Es decir un 82'1% de los deslizamientos tienen una componente traslacional importante en su desplazamiento. La Figura 4 incluye algunos ejemplos de deslizamientos representados en sección.

Al revisar las obras de autores que describen las características de grandes deslizamientos de distintas regiones del mundo, por ejemplo Varnes (1978) y Zaruba & Mencl (1982) se llega a la conclusión que la depresión de Tirajana ofrece buenos ejemplos de deslizamientos tipo "rock slide", que se produjeron a partir del desplazamiento traslacional de porciones del substrato rocoso. Se trata de deslizamientos que se produjeron del Pleistoceno medio en adelante, su estado de conservación y las condiciones de afloramiento son relativamente buenas para su observación en campo (Foto 2) y esto permite comprender mejor cómo se producen este tipo de deslizamientos.

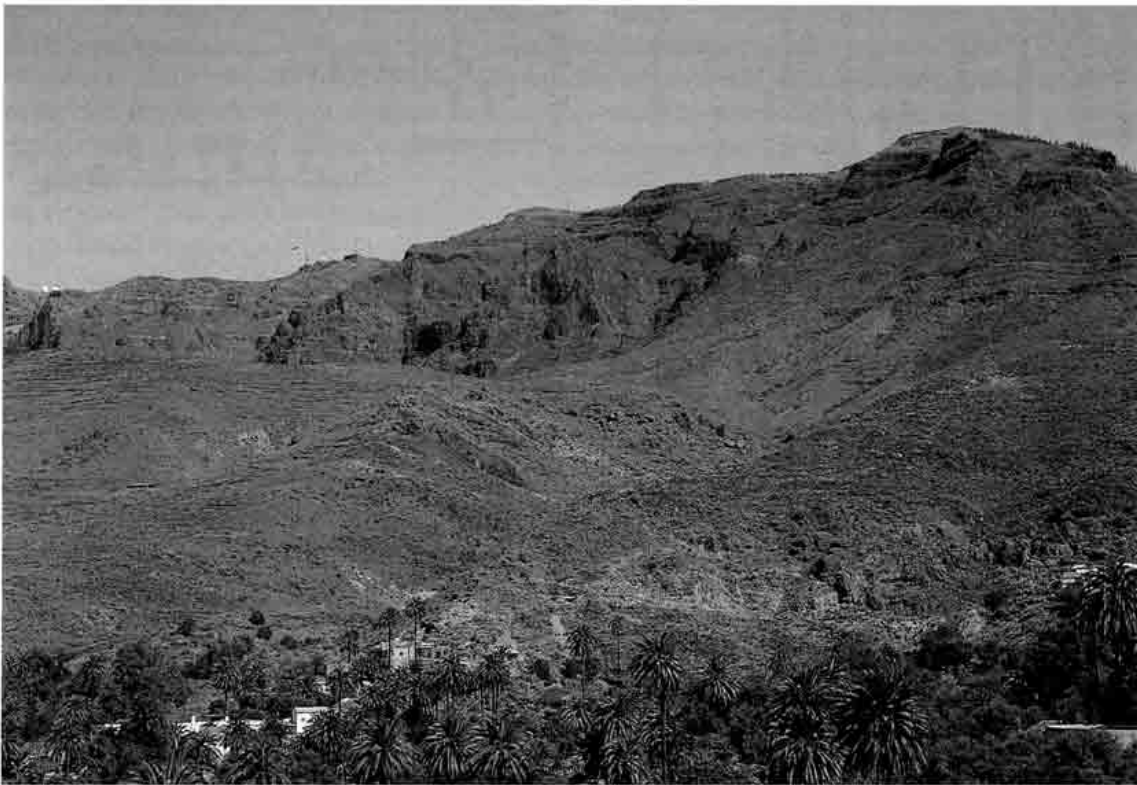
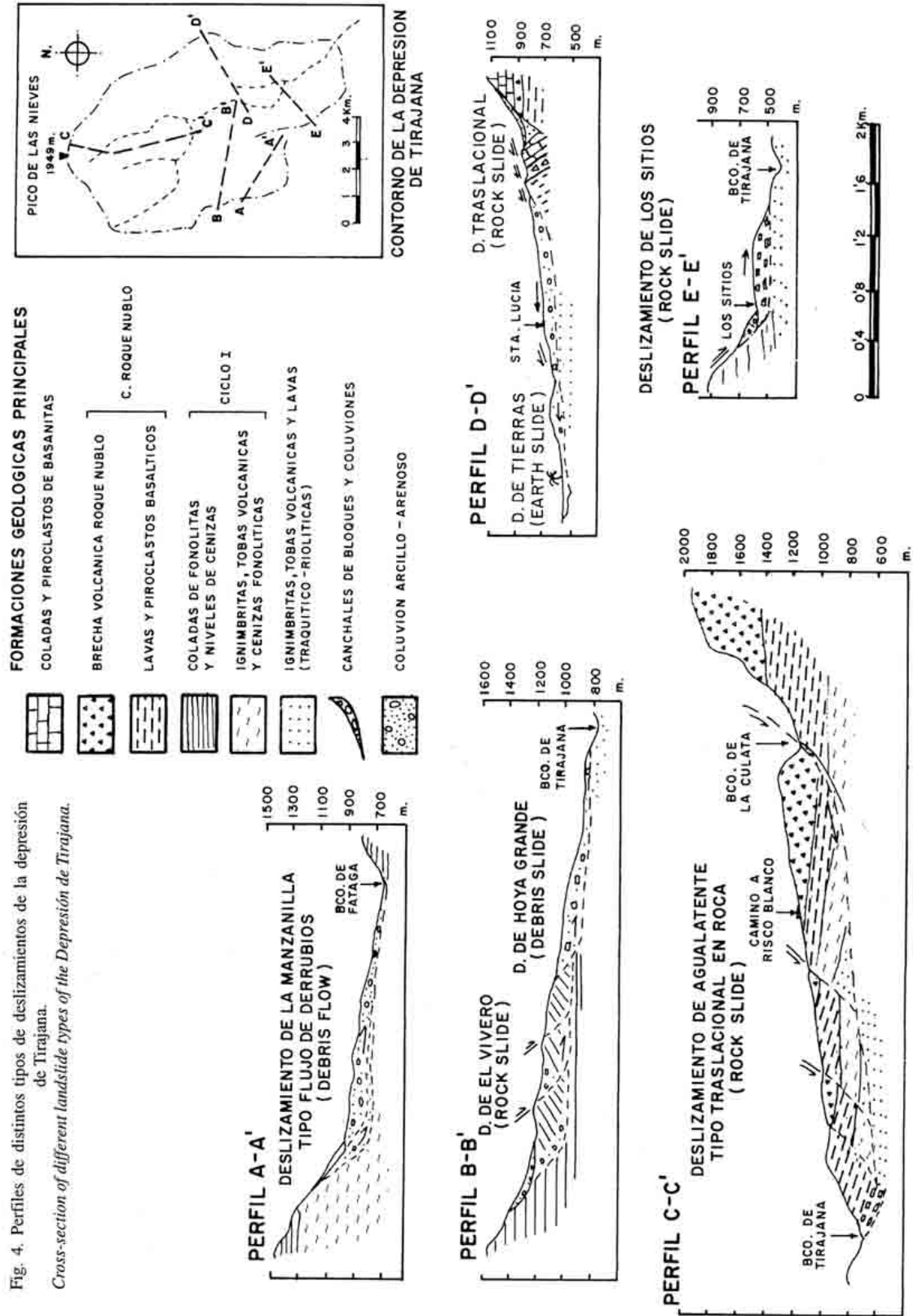


Foto 2. Escarpe superior y cabecera de deslizamiento de Pajonales. El pie del escarpe está cubierto por depósitos de derrubios y bajo ellos se descubre una serie de materiales basculados de 317m. de potencia.
Main scarpment of the Pajonales landslide. The toe of the scarpment is covered by scree deposits and underneath them outcrops a sequence of tilted rocks, 317m. thick.



4. Evolución de la depresión de Tirajana.

4.1. Edad de la depresión

La edad de la depresión ha sido estimada a partir de dos aspectos diferentes: a) la geocronología de las formaciones geológicas del substrato y b) las edades radiocarbónicas obtenidas de depósitos de obturación.

Gran parte de las formaciones rocosas del substrato aparecen incluidas en las masas deslizadas: parte de las formaciones del Mioceno (formación Traquítico-Riolítica); el conjunto del Ciclo Roque Nublo (la formación basáltica, la formación de brecha volcánica Roque Nublo y los pitones de fonolitas haüynicas) que corresponde al Plioceno inferior; y también las coladas de basanitas-nefelinitas y piroclastos del Ciclo post Roque Nublo que tienen entre 2.9 y 0.6 m.a. (ITGE, 1992). Por tanto, se ha fijado el límite inferior para el inicio de la depresión en 0.6 m.a.

Por otro lado, en el sector de Agualatente han sido encontrados dos conjuntos sedimentarios que corresponden a depósitos de obturación y que han permitido la obtención de edades mínimas radiocarbónicas a partir de unos fragmentos carbonosos que están incluidos en diferentes niveles de los depósitos. A partir de 5 dataciones por C^{14} se ha obtenido una edad mínima superior a los 51.700 años BP. (Beta—68165 y CAMS-10273). Hay que tener en cuenta que el deslizamiento de Agualatente no pertenece, por su morfología, al grupo de deslizamientos más antiguos de la depresión, por lo que se deduce que esta edad mínima es posterior a los deslizamientos primitivos de la depresión.

Por los datos obtenidos hasta el momento la edad de los primeros deslizamientos en la depresión de Tirajana ha quedado comprendida dentro del intervalo 600.000 años - 51.700 años BP., que corresponde al Pleistoceno medio y superior. Este intervalo sirve para fijar, con carácter general, el inicio de los deslizamientos y la edad de la depresión de Tirajana, aunque cabe esperar que dataciones posteriores permitan ajustar más los valores.

4.2. Morfología y estructura previas

La gran extensión de los depósitos de deslizamiento y de la propia depresión no permiten por el momento una reconstrucción paleogeográfica de detalle de la misma. Sin embargo, existen diversos datos que permiten hacer una reconstrucción aproximada: primero, la información que se obtiene de las formaciones del substrato rocoso, y segundo, los datos que podemos obtener de los paquetes rocosos incluidos en las masas deslizadas al devolverlos a su posición original.

El relieve en esta zona centro-sur de la isla, antes de iniciarse los deslizamientos, contaba con dos dominios diferentes, desde un punto de vista litológico y morfoestructural. El primer dominio lo constituían los macizos rocosos del Mioceno no cubiertos por los materiales del grupo Roque Nublo, que ocupaban los sectores NO.-SO. y S. de la actual depresión y cuyas zonas elevadas actuaron de barreras topográficas de las emisiones posteriores. Y el segundo dominio estaba constituido por las formaciones de los ciclos Roque Nublo, post Roque Nublo y Reciente, que recubrían el substrato mioceno y que rellenaron los sectores central, N. y NE.-SE.

El contacto en superficie entre estos dos dominios daba necesariamente una vaguada que discurría desde el N.-NO. hacia el S.-SE. En el período posterior (menos de 0.6 m.a.) la erosión remontrante del barranco de Tirajana empezó a dismantelar las formaciones post Roque Nublo y Roque Nublo. La erosión progresó hacia el norte de Las Fortalezas y avanzó de forma preferente por esa vaguada. Cuando la erosión alcanzó los niveles de tobas, cenizas e ignimbritas se produjeron los deslizamientos de terreno hacia el barranco. La reconstrucción paleogeográfica realizada es acorde con la paleotopografía propuesta por otros autores (Pérez Torrado, 1992; y Pérez Torrado et al., 1995) para el período anterior al ciclo Roque Nublo y para el inmediatamente posterior.

4.3. *Etapas principales*

En un principio hemos establecido una secuencia relativa de movimientos dentro de cada sector (Figura 3). Posteriormente hemos podido determinar tres etapas principales en la generación de los deslizamientos y, finalmente, hemos ordenado los movimientos dentro de cada etapa con el objeto de establecer una secuencia espacio-temporal conjunta de los mismos.

La etapa I, de movimientos primitivos, incluye aquellos deslizamientos cuya superficie de rotura ha quedado abandonada por encima del cauce actual del barranco y muestran el substrato por debajo de ellos. Corresponden a zonas alomadas y en general muy erosionadas, presentan extensos grabens rellenos de sedimentos y las masas rocosas que incluyen aparecen muy meteorizadas, con un alto contenido de arcillas y limos en la matriz.

A la etapa II pertenecen los movimientos antiguos, las superficies de rotura enlazan con el nivel de barranco actual, los cuerpos deslizados se extienden por la mitad superior de la depresión y presentan un estado de conservación mejor que los anteriores. También son característicos de esta etapa las cicatrices bien desarrolladas, los cuerpos rocosos basculados y los grabens parcialmente cubiertos por depósitos de canchal.

La etapa III corresponde a los movimientos modernos y recientes, que presentan morfologías bien preservadas y con límites bien definidos. Aparecen muy interrelacionados con el desarrollo de la red de drenaje actual pues los pies de los deslizamientos aparecen invadiendo el fondo del barranco y el importante aporte de carga sólida ha provocado la formación de canales múltiples tipo anastomosado. Los cuerpos deslizados son menores en general que los de la etapa anterior y ocupan la mitad inferior de la depresión. Los deslizamientos históricos de Rosiana se incluyen en ésta etapa.

El ordenamiento de los movimientos dentro de cada etapa se ha realizado teniendo en cuenta distintos criterios, principalmente geomorfológicos, basados en la antigüedad relativa de las formas y depósitos y tras considerar como unos deslizamientos han sido modificados por otros posteriores.

4.4. *Modelo evolutivo*

En los apartados precedentes se han expuesto diversos aspectos sobre la evolución de la depresión de Tirajana. No obstante, es necesario presentar un modelo que resulte coherente con los datos obtenidos y, por otro lado, que explique los distintos eventos acaecidos en esta zona durante el Cuaternario. En este sentido, se precisa realizar un encuadre cronológico de los eventos y, por otro lado, mostrar un modelo gráfico que represente la evolución geomorfológica de la depresión.

En el trabajo realizado por Lomoschitz (1995) se discuten los distintos fenómenos que justifican la activación de los movimientos. La importante acción erosiva es una cuestión probada; la intervención de sacudidas sísmicas no se puede descartar, ligadas probablemente al volcanismo cuaternario, si bien no existen pruebas directas de esta dependencia. Otras posibilidades, como las deformaciones del substrato (abombamientos) o el basculamiento de la isla hacia el sur, son cuestiones poco estudiadas y que pueden ser cuestionadas si se circunscriben en el Cuaternario.

Por esta razón el análisis se ha orientado hacia la dependencia de los deslizamientos con la erosión del barranco de Tirajana, que pudo ser más intensa en épocas pasadas (Lomoschitz y Corominas, 1996b).

La Figura 5 resume diversos datos sobre las etapas de deslizamiento y los cambios paleoclimáticos producidos en la región durante el Cuaternario. Se parte de la siguiente hipótesis: "podría existir una correspondencia entre las diferentes etapas en que se produjeron los deslizamientos de la depresión de Tirajana y los períodos pluviales registrados en Canarias y en el Sahara".

La hipótesis enunciada se sustenta, por un lado, en el planteamiento que hacen diversos autores sobre la migración de las zonas climáticas que se produjo en períodos determinados del Cuaternario; por ejemplo Goudie (1983) y Selby (1985). Por otro lado, fueron necesarias condiciones climáticas

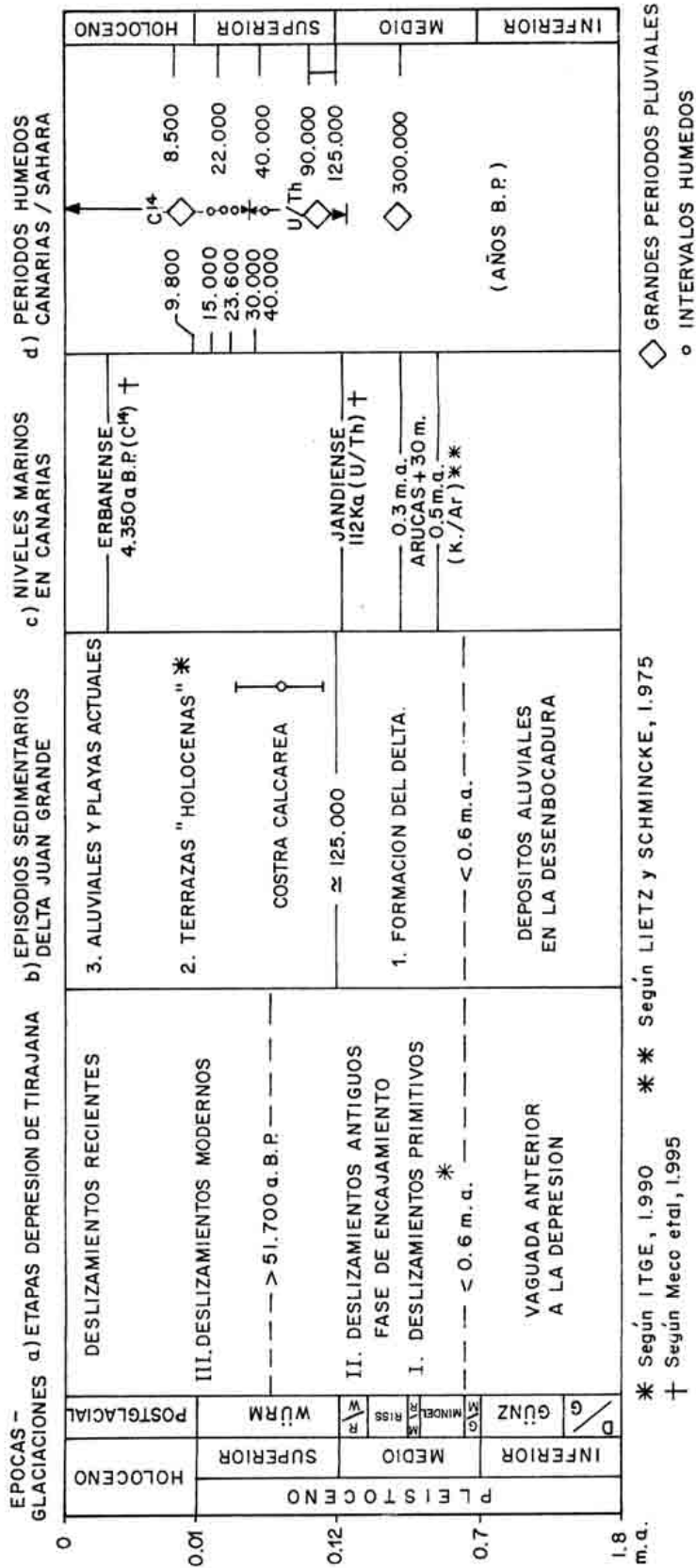


Fig. 5. Propuesta de correlación entre las etapas de deslizamientos en la depresión de Tirajana y los cambios paleoclimáticos durante el Cuaternario. *Proposal correlation between landslide stages and paleoclimatic changes in the region during the Quaternary.*

diferentes a las actuales para que se produjeran los grandes deslizamientos de la depresión de Tirajana; ya que el clima actual en la zona es cálido y seco (subtropical seco) la mayor parte del año y su precipitación media es de 390 mm/año (Marzol, 1988); en definitiva, la escasa capacidad erosiva del régimen actual de lluvias no puede justificar ni la producción de grandes deslizamientos ni la evacuación de los depósitos hasta la desembocadura.

A continuación se explican las ideas principales que se pueden extraer de la Figura 5.

En la evolución de la depresión de Tirajana se han podido distinguir por lo menos tres etapas de deslizamientos y se ha justificado la presencia de una vaguada que existía previamente al menos hasta el Pleistoceno inferior (menos de 0.6 m.a.). La etapa I de deslizamientos primitivos y la etapa II de deslizamientos antiguos están separadas por una importante fase erosiva de encajamiento en los barrancos y, por otro lado, estas dos etapas ocurrieron durante el Pleistoceno medio pues tienen al menos 51.700 a. BP. de edad. Con posterioridad se desarrolla la etapa III que se produce durante el Pleistoceno superior y el Holoceno.

Los episodios sedimentarios reconocidos en el delta de Juan Grande tienen relación con los materiales evacuados de la cuenca superior del barranco de Tirajana. El volumen de sedimentos acumulados en el delta (unos 7.18 km³) corresponde al 50% del volumen desaparecido de la depresión (Lomoschitz & Corominas, 1996b). Estos sedimentos son el resultado de la erosión de los deslizamientos como lo demuestra el hecho de que en la isla de Gran Canaria sólo los barrancos que presentan deslizamientos han dado lugar a deltas. Antes de crearse la depresión el barranco ya existía y se supone que aportaría depósitos aluviales a la desembocadura. Sin embargo, la formación principal del delta corresponde a un episodio 1 posterior que se encuadra entre los 0.6 m.a. y los 125.000 años; esta última edad es el valor medio de los depósitos marinos del Jandiense que se depositaron por encima de la formación deltaica.

El mayor volumen de material aportado por la depresión corresponde a este intervalo de tiempo; por lo tanto, es muy probable que las etapas I y II que incluyen los mayores deslizamientos se ajusten también a ese período, es decir al Pleistoceno medio. Con posterioridad, sin poder precisar su edad, se desarrolla una costra calcárea que afecta a los depósitos anteriores.

El siguiente depósito que se reconoce en la zona de desembocadura son las "terrazas holocenas" según ITGE (1990); constituyen el episodio 2 del delta de Juan Grande, con un volumen muy inferior al anterior y estos materiales pudieron proceder del desalojo de los depósitos de deslizamiento modernos por su aspecto reciente. Por otro lado el episodio 3 está constituido por los aluviales del fondo del barranco y las playas actuales que se pueden asignar al Holoceno reciente.

En lo que respecta a los niveles marinos cuaternarios registrados en Canarias se cuenta con tres. Un primer nivel registrado en Arucas y datado entre los 0.5 y 0.3 m.a. por K/Ar (Lietz & Schmincke, 1975) se ajusta al interglacial Mindel/Riss. El segundo nivel marino es el "Jandiense", que por U/Th ha dado el valor de 112 ka. y corresponde, al interglacial Riss/Würm. El nivel marino más reciente es el "Erbanense", datado en 4.350 a. BP. por C¹⁴ y que corresponde al nivel máximo del mar del interglacial actual según Meco et al.(1995).

Según Petit-Maire et al. (1987) y Petit-Maire (1992) dentro del clima tropical seco característico del Sahara occidental, se han registrado tres grandes períodos pluviales y diversos intervalos húmedos en el Cuaternario. Estos, a su vez, están relacionados con los intervalos húmedos registrados en Canarias, cuyo clima resulta más atemperado que el de las regiones próximas africanas. Por ejemplo, el período pluvial de comienzos del Holoceno registrado en el Sahara Occidental con 8500 años BP. está relacionado con los períodos húmedos registrados en Gran Canaria de 9530 años BP. por Criado y Hansen (1994) y en Fuerteventura con 9800 años BP.(Petit Maire et al., 1987).

Los tres grandes pluviales se produjeron a los 300.000, de 125.000 a 90.000 y hacia los 8.500 años BP respectivamente, y corresponden a cambios climáticos importantes. Por otro lado, los intervalos húmedos se produjeron desde los 40.000 a los 10.000 años BP y equivalen a cortas fluctuaciones del clima. Fuera de estos episodios el clima en el Sahara y en Canarias era parecido al actual, es decir tropical seco en uno y subtropical seco - subtropical húmedo en las islas.

Según los datos anteriores si se busca una correspondencia entre las variaciones climáticas y las etapas de deslizamientos se obtienen conclusiones interesantes. El grueso de los depósitos del delta de Juan Grande se emplazaron gracias a los materiales aportados por los deslizamientos de las etapas I y II, los movimientos más voluminosos, coincidiendo con un máximo del nivel del mar en el estadio 5 de O¹⁸/O¹⁶ (hace 125.000 a. BP); aunque también el delta pudo formarse parcialmente en otros máximos, por ejemplo, en los estadios 9 u 11 de O¹⁸/O¹⁶ (el estadio 9 finaliza hace unos 300.000 años BP).

La fase III de deslizamientos moviliza un menor volumen de materiales y los arrastres de sedimentos relacionados con esta fase darían lugar a las terrazas holocenas del delta, que son menos voluminosas. Es decir, la fase III parece más relacionada con las fases húmedas, entre 40.000 y 10.000 años BP.

En cualquier caso, y dejando al margen otras consideraciones, las etapas de deslizamientos quedan acotadas en el tiempo. Las etapas I y II, de deslizamientos primitivos y antiguos, se produjeron en el Pleistoceno medio; los deslizamientos modernos de la Etapa III en el Pleistoceno superior y los deslizamientos recientes muy próximos a la actualidad, en el Holoceno reciente.

La Figura 6 muestra una secuencia de perfiles a partir de una reconstrucción paleogeográfica de la zona y corresponde a una sección SO.-NE. de la depresión. Esta sección y otras similares fueron confeccionados por Lomoschitz (1995) tras restituir los distintos cuerpos deslizados a su posición original, teniendo en cuenta la litología y potencia de los materiales que afloran en el substrato. A la vista de la secuencia de gráficos se obtiene una idea de cómo se sucedieron los deslizamientos y, en consecuencia, cómo debió ser la evolución geomorfológica de la depresión.

5. Conclusiones

La depresión de Tirajana ha resultado ser una macroforma singular dentro de la geología regional del Archipiélago Canario. Sus dimensiones, más de 35 km de superficie, y la gran extensión de depósitos de deslizamientos gravitacionales (ITGE, 1990 y Lomoschitz & Corominas, 1996a) ofrecen un buen ejemplo de depresión erosiva en terreno volcánico, en cuyo origen y evolución han intervenido grandes deslizamientos de terreno.

El estudio de los distintos cuerpos deslizados permitió elaborar una cartografía geomorfológica a escala 1:10.000 y confeccionar diversas secciones de los deslizamientos (Lomoschitz, 1995). Se han distinguido 28 cuerpos deslizados, 7 de los cuales son cuerpos principales, y a partir de ellos se produjeron varias reactivaciones globales y parciales, interfiriéndose con frecuencia unos cuerpos con otros en su movimiento.

La caracterización de los deslizamientos -dimensiones y clasificación- permite concluir que los movimientos iniciales dentro de cada sector (cuerpos principales) fueron de dimensiones extraordinarias (1 a 3.5 km de extensión longitudinal, 120 a 300 m. de espesor en los depósitos y superficies afectadas de 1.5 a 6.5 km²). A esto se suma que, dentro de los 6 tipos de movimientos dominantes, destacan los movimientos tipo "rock slide" (deslizamientos traslacionales en roca) que representan el 43 % del total y, en conjunto, un 82 % de los deslizamientos tiene una componente traslacional importante en su movimiento.

Respecto al origen de la depresión se destacan los aspectos siguientes: 1) La edad de los primeros deslizamientos ha quedado comprendida entre los 0.6 m.a. y 51.700 años BP. (Pleistoceno medio - superior). 2) La génesis erosiva ha sido confirmada al comprobar que las lavas basaníticas-nefeliniticas, emitidas a partir de los 0.6 m.a., en ningún caso se dirigen o invaden la depresión y, por otro lado, su origen magmático profundo -pues se trata de magmas básicos- no puede justificar el vaciado y hundimiento de una cámara magmática cercana. De ahí la conveniencia de emplear el término genérico de "depresión" en vez del de "caldera". 3) El origen de la depresión se atribuye a grandes deslizamientos de tipo "rock slide" que desgajaron importantes porciones de roca del substrato. Esta cuestión se justifica por que: a) los movimientos más antiguos de todos los sectores son de ese tipo;

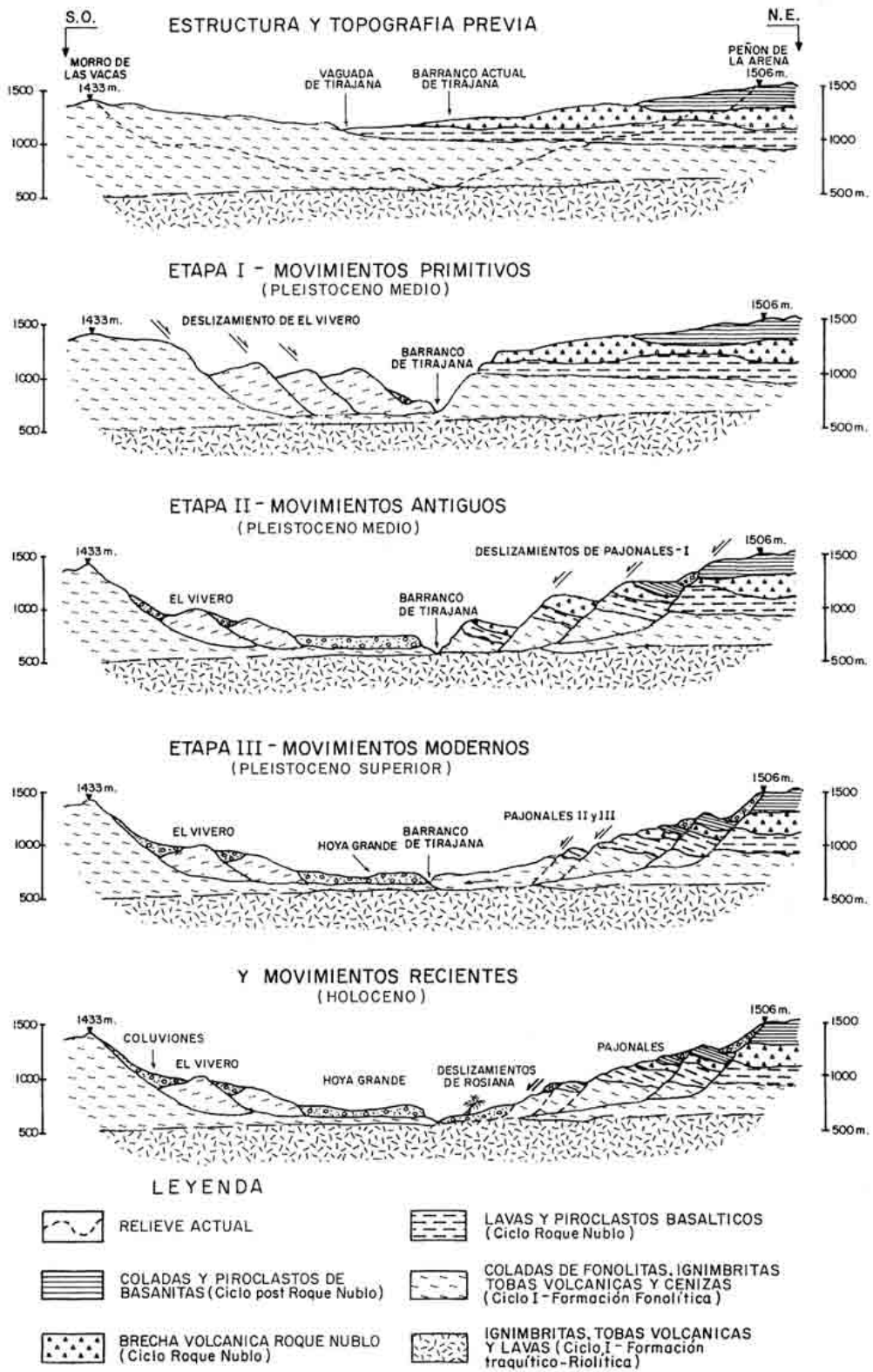


Fig. 6. Perfil interpretativo de la evolución de la depresión de Tirajana según una sección SO.-NE.
Idealized cross-section of the Depresión de Tirajana evolution, following a SW.-NE. profile.

b) las superficies de deslizamiento dentro de cada sector suelen ser las mismas, de manera que la superficie de rotura inicial es aprovechada por los deslizamientos posteriores; y c) el movimiento de los cuerpos principales sólo es justificable geoméricamente si existe esa continuidad entre las superficies de rotura, desde la base de los escarpes superiores hasta el barranco de Tirajana. Y 4) La reconstrucción paleogeográfica realizada para el Pleistoceno inferior justifica que existía una vaguada previa que separaba dos dominios morfoestructurales y que el barranco de Tirajana progresó aguas arriba incidiendo esa vaguada.

En lo referente a la evolución de la depresión, una vez establecida la secuencia relativa de movimientos dentro de cada sector se han determinado tres etapas principales de generación de deslizamientos. Por último se ha hecho una propuesta de modelo evolutivo para la depresión y se ha enunciado una hipótesis que relaciona las etapas de deslizamientos con las etapas climáticas a lo largo del Cuaternario.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer las ayudas económicas recibidas de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y del Excmo. Cabildo de Gran Canaria para la consecución de los trabajos. Asimismo, agradecemos la colaboración de los doctores Francisco Pérez Torrado, Joaquín Meco Cabrera y Joan Martí en el transcurso de la investigación y en la discusión de resultados.

Referencias Bibliográficas

- Araña, V. & Carracedo, J.C.** (1980): *Los volcanes de las Islas Canarias, III. Gran Canaria*. Ed. Rueda, Madrid; 175 pp.
- Benítez Padilla, S.** (1945): Síntesis geológica del Archipiélago Canario. *Estudios Geológicos* 3. Inst. Est. Geol. "Lucas Mallada", C.S.I.C. Madrid. pp. 3-19.
- Bourcart, J. & Jeremine, E.** (1937): La Grande Canarie. Etude géologique et lithologique. *Bull. Volcanol.*, s. 2; vol. 2; pp. 3-77.
- Buch, L. Von** (1825): *Physikalische Beschreibung der Kanarischen Inseln*. Berlín. 201 pp.
- Criado, C. & Hansen, A.** (1994): Morfodinámica litoral, torrencial y volcánica durante el Pleistoceno final y Holoceno en Jinamar (Gran Canaria, Islas Canarias). II Reunión Nacional de Geomorfología, Logroño, pp. 369-389.
- Fernández Navarro, L.** (1925): Datos sobre el volcanismo canario. *Bull. Volcanologique*, vol. 2, 129-155.
- Fúster, J.M., Hernández Pacheco, A., Muñoz, M., Rodríguez Badiola, E. & García Cacho, L.** (1968): *Geología y volcanología de las Islas Canarias. Gran Canaria*. Ed. Instituto Lucas Mallada; 243 pp.
- Goudie, A.S.** (1983): *Environmental change*. Clarendon, Oxford.
- Hausen, H.** (1960): Las Calderas Canarias. *An. Est. Atlánticos*, 6; pp. 133-194.
- Instituto Tecnológico y Geominero de España -ITGE-** (1990): *Mapa Geológico de España a escala 1: 25.000*. Proyecto MAGNA. Hojas 1109-III (San Bartolomé de Tirajana) y 1114-IV (Santa Lucía).
- Instituto Tecnológico y Geominero de España -ITGE-** (1992): *Mapa Geológico de España a escala 1: 100.000. Gran Canaria*.
- Lietz, J. & Schmincke, H.U.** (1975): Miocene-Pliocene sea level changes and volcanic episodes on Gran Canaria (Canary Islands) in the light of new K-Ar ages. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*; vol. 18; pp. 213-239.
- Lomoschitz, A.** (1995): *Análisis del origen y evolución de la depresión de Tirajana, Gran Canaria*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña. Inédita, 203 pp. memoria y 500 pp. apéndices.

- Lomoschitz, A. & Corominas, J.** (1992a): Cronología relativa de los deslizamientos de la depresión de Tirajana (isla de Gran Canaria) en *Estudios de Geomorfología en España*, II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia 23-25 de septiembre, 1992, pp. 455-463.
- Lomoschitz, A. & Corominas, J.** (1992b): 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. & Corominas, J.** (1996a): Los depósitos de deslizamientos gravitacionales del centro-sur de Gran Canaria. *Geogaceta*, 20(6), pp. 1346-1348.
- Lomoschitz, A. & Corominas, J.** (1996b): Evolución durante el Cuaternario del barranco de Tirajana, Gran Canaria. IV Reunión Nacional de Geomorfología, La Coruña, 18-20 de septiembre, 1996: 417-429.
- Marzol Jaén, V.** (1988): *La lluvia, un recurso natural para Canarias*. Ed. Confederación de Cajas de Ahorros, Caja Canarias, 220 p.
- Meco, J., Fontugne, M. & Onrubia, J.** (1995): *Evolución paleoclimática y poblamiento prehistórico de Fuerteventura*. Ed. Cabildo Insular de Fuerteventura, Las Palmas de Gran Canaria.
- Pérez Torrado, F.J.** (1992): Volcanoestratigrafía del Grupo Roque Nublo (Gran Canaria). Tesis Doctoral, Univ. de Las Palmas de Gran Canaria, Inédita, 510 pp.
- Petit-Maire, N., Delibrias, G., Meco, J., Pomel, S. & Rosso, J.C.** (1987): *Paleoclimats de l'île de Fuerteventura (Archipel Canarien) Paleocology of Africa 18*, pp. 351-356.
- Petit-Maire, N.** (1992): Environnements et climats de la ceinture tropicale nord-africaine de puis 140000 ans. *Mém. Soc. Géol. France*, n° 160, pp. 27-34.
- Schmincke, H.U.** (1987): *Geological field guide of Gran Canaria*. Pluto Press, F.R.G., 179 pp.
- Selby, M.J.** (1985): Landforms of the Subtropics and Tropics. En *Earth's Changing Surface*, Clarendon, Oxford: 547-575.
- Unesco** (1976): *Engineering geological maps*. The Unesco Press, Paris, 79 pp.
- Varnes, D.J.** (1978). "Slope Movements, Types and Processes", in: *Landslides: Analysis and Control*, cap. 2. Transportations Research Board, National Acad. of Sci., Special Report 176, Washington, D.C., pp 11-33.
- Zaruba, Q. & Mencl, V.** (1982): Methods of landslide investigation, in: *Landslides and their control*, Developments in Geotechnical Engineering, vol. 31, Elsevier, Amsterdam, pp. 144-186.