

# Movimientos de ladera en Canarias. El caso del Macizo de Anaga en el temporal de febrero de 2010

A. López Díez<sup>1</sup>, P. Dorta Antequera<sup>1</sup>, M<sup>a</sup>.C. Romero Ruiz<sup>1</sup>, J. Díaz Pacheco<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geografía e Historia, Universidad de La Laguna. Cátedra Universitaria “La Reducción del Riesgo de Desastre. Ciudades Resilientes”.

alopezd@ull.edu.es, pdorta@ull.es, mcromero@ull.es, jdiazpac@ull.edu.es

**RESUMEN:** En los últimos años, el archipiélago Canario se ha visto afectado por numerosos episodios de precipitaciones intensas y torrenciales que han generado importantes daños y algunas víctimas mortales. Uno de los efectos menos evaluados de estos eventos de lluvias de alta intensidad horaria, son los deslizamientos de ladera. Pese a que muchos pueden ser los factores que provoquen este tipo de fenómenos, la acción de la lluvia es el principal agente desencadenante.

En este trabajo se expone uno de estos eventos registrados en la isla de Tenerife, el temporal del 1 de febrero de 2010. La complejidad del relieve y las elevadas pendientes que caracterizan a la mayor parte de las islas Canarias junto con un régimen de precipitaciones con fuerte intensidad horaria y con la mayor irregularidad de todo el estado, determinan una alta vulnerabilidad de determinados espacios como es el Macizo de Anaga, con un alto valor paisajístico y biogeográfico, en el municipio de Santa Cruz de Tenerife. Por sus características morfoestructurales es una de las áreas insulares con una mayor susceptibilidad ante el desencadenamiento de este tipo de procesos.

Se realiza un estudio de las condiciones meteorológicas del temporal en el contexto climático de las islas. Se expone una cartografía detallada de algunas de las áreas en las que se concentraron los numerosos movimientos de ladera generados durante el episodio de lluvias torrenciales de febrero de 2010. Se incorporan en el análisis las principales características morfométricas de estos movimientos de ladera, sus causas y se establece una clasificación tipológica de estos fenómenos dentro del Macizo de Anaga, en función de los datos observados.

Por último se plantea la situación en un contexto de calentamiento global con repercusiones ya medidas sobre las islas canarias.

**Palabras-clave:** Tenerife, Anaga, movimiento de ladera, desprendimiento, precipitación.

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En este trabajo se aborda un proceso severo de lluvias torrenciales que generó un gran número de movimientos de ladera en el Noreste de la isla de Tenerife, concretamente en el Macizo de Anaga. Para su estudio presentamos, en primer lugar, algunas cuestiones de los antecedentes, luego se abordan las fuentes utilizadas y el método para evaluar los movimientos de ladera, tanto en cuanto a rasgos morfométricos como tipología. Posteriormente se muestran las características del episodio de precipitaciones y de los citados movimientos de ladera. Por último se analizan los principales resultados de la investigación, cuyo principal exponente es la cartografía.

El objetivo principal de este trabajo es la elaboración de una metodología para determinar el grado de susceptibilidad de un macizo antiguo de origen volcánico, frente al fenómeno de movimientos de ladera, desencadenados por episodios de precipitaciones de alta intensidad horaria. A partir de esta metodología se obtienen resultados sobre la caracterización morfométrica y la tipología de este tipo de inestabilidad de laderas.

## 2. ANTECEDENTES

La geomorfología de laderas en España se empezó a desarrollar a finales de la década de los sesenta, hasta entonces los movimientos de ladera eran un tema con escaso interés en publicaciones científicas. No obstante, los primeros trabajos se orientaron a la identificación de áreas inestables, especialmente en el

Pirineo, la cordillera Cantábrica y las Béticas (Corominas y Vilaplana, 2001).

En Canarias el interés de los riesgos vinculados a los movimientos de ladera se ha centrado en la determinación de los grandes deslizamientos relacionados con el vulcanismo, identificándose al menos diez grandes deslizamientos gravitacionales. Sin embargo, apenas se cuenta con referencias bibliográficas sobre pequeños y medianos movimientos de ladera. Los escasos estudios de peligrosidad, vulnerabilidad o riesgos de este tipo, son tratados por tres autores H. Hausen, A. Lomoschitz y J. Yepes. Hausen fue el pionero en Canarias en estudiar los fenómenos asociados a movimientos de ladera. En 1970 publicó un artículo sobre los desprendimientos en Canarias, donde recoge las particularidades de este fenómeno para cada una de las islas. El segundo de los autores, Lomoschitz, ha analizado, fundamentalmente, los deslizamientos que se producen en Gran Canaria en el ámbito de la depresión de Tirajana, (Lomoschitz y Corominas, 1997; Lomoschitz, 1999; Lomoschitz y Quintana, 2000; Lomoschitz et al., 2002), mientras que Yepes ha centrado sus trabajos desde una perspectiva geotécnica de estos procesos (Yepes et al., 2011 y Yepes et al., 2012).

Por otro lado, la cartografía de peligrosidad por movimientos de ladera ha sufrido una significativa evolución. Los primeros mapas estaban fundamentados en análisis geomorfológicos clásicos, que contaban con una visión cualitativa y subjetiva y cuya precisión dependía, en cierta medida, del autor. El empleo de técnicas estadísticas permitió superar estas limitaciones y aumentar la precisión (Baeza y Corominas, 1996). Finalmente, con la llegada de los SIG se han mejorado tanto los procedimientos, como la efectividad y precisión de los resultados.

### **3. MARCO GEOGRÁFICO**

El Macizo de Anaga se encuentra en el Noreste de la isla de Tenerife. Se trata de un macizo antiguo con fuertes pendientes que, en algunos casos, se convierten en escarpes casi verticales. Dentro del contexto canario es un territorio relativamente húmedo, especialmente en su vertiente norte y en las cumbres, que rondan los 1000 m.s.n.m. Dentro de este sector el estudio que aquí se presenta se centra en los deslizamientos producidos en tres cuencas principales: Afur, Tahodio y Valle Jiménez. La elección de estas tres cuencas se debe a que en estos sectores se produjeron los mayores efectos del temporal de febrero de 2010, constituyendo las áreas donde se localizó un mayor número de movimientos de ladera.

### **4. FUENTES Y MÉTODO**

#### **4.1. Fuentes**

La información con la que se ha contado para la elaboración de este trabajo esta vinculada a las labores realizadas en el campo, las fuentes bibliográficas que se detallan en el presente estudio y los datos meteorológicos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología. En última instancia contamos con la información geográfica para la realización de la cartografía. Estas últimas corresponden al uso de las Ortofotos PNOA del 2009 y 2010 y diferentes capas temáticas de GRAFCAN<sup>1</sup> (Usos de Suelo, Cultivos, Vegetación y Geológico) que intervienen en el análisis final de susceptibilidad. Toda esta información geográfica tiene una escala original de 1:25000, convertida a información ráster de 25x25m. de resolución.

El trabajo de campo es una fuente de información fundamental para un estudio de este tipo. En este sentido, las lluvias de febrero de 2010, ocasionaron más de un centenar de movimientos de ladera que se georreferenciaron tras varias salidas de campo. La localización de los diferentes movimientos de ladera, ha permitido medir superficies, pendientes, altitudes, etc., facilitando de esta forma el establecimiento de pautas generales de comportamiento.

#### **4.2. Método: evaluación de la susceptibilidad por movimientos de ladera**

El análisis de susceptibilidad realizado en este trabajo entra dentro de lo que comúnmente se denomina sistema de Evaluación de la Susceptibilidad frente a los Movimientos de Ladera. La susceptibilidad representa la correlación entre los movimientos observables y un conjunto de factores geográficos tales como pendiente o litología. De este modo se busca realizar una primera aproximación cartográfico-estadística de los movimientos de ladera en el Macizo de Anaga.

En el desencadenamiento de un movimiento de ladera intervienen cuantiosos factores tanto naturales como vinculados a la acción del ser humano. Referente a los factores de inestabilidad, una de las

---

<sup>1</sup> Cartográfica de Canarias, empresa pública del gobierno canario que dispone de la cartografía de las islas.

clasificaciones más sencillas y empleadas es la indicada por Ayala (Ayala y Olcina, 2002), que diferencia entre factores condicionantes y desencadenantes. Los factores condicionantes son aquellos que evolucionan lentamente en el tiempo, mientras que los desencadenantes varían mucho más rápido, incluso instantáneamente, como puede ser un sismo. No obstante, la clasificación de Ayala no contempla todos los factores que pueden derivar en un movimiento de ladera, por lo que es necesario tomarla como referencia para iniciar un posterior análisis. Mediante el estudio del temporal de febrero de 2010 ha sido posible el tratamiento de gran parte de estos factores, los cuales han sido incorporados en la elaboración posterior del mapa de susceptibilidad.

Existen multitud de modelos de análisis de la susceptibilidad, agrupados en los métodos deterministas y los modelos no deterministas (Irigay y Chacón, 2002). Los primeros se basan en leyes físicas y mecánicas universales de conservación de masas, energía y equilibrio de fuerzas, por lo que se pueden utilizar tanto en la predicción espacial como temporal, sin embargo, están dirigidos a estudios concretos de casos o laderas de pequeñas dimensiones. Tienen el inconveniente de que son procedimientos largos temporalmente y costosos por lo cual no son apropiados para el ámbito del presente trabajo. Los modelos no deterministas se basan en parámetros empíricos relacionados siempre con el principio del actualismo. Estas técnicas tienen una gran utilidad en grandes regiones, donde mediante los SIG se integran aquellos factores que determinan la susceptibilidad, siendo este modelo no determinista el que se aplica en este estudio.

Para la obtención de la cartografía final de susceptibilidad, se han computado una serie de factores a través de la observación directa que se detallan a continuación. Cada uno de estos factores que intervendrá en el mapa final se ha clasificado en función de su contribución al proceso de desencadenamiento de un movimiento de ladera, asignándole una puntuación o valor. Es decir, un proceso de análisis cuantitativo multicriterio (Gómez y Barredo, 2006), donde los coeficientes de cada factor se determinaron de manera empírica.

Así, la pendiente es uno de los principales factores desencadenantes de los movimientos de ladera, se trata del principal parámetro que favorece la inestabilidad. Cuanto mayor es la pendiente más elevada es la componente de cizalla de las fuerzas que actúan en la superficie potencial de rotura (Jones et al., 1961). Definir los intervalos de pendiente por los cuales se va trabajar la susceptibilidad es, seguramente, el elemento que más determine la inestabilidad (Santacana et al., 2002). Los intervalos para definir la pendiente responden a muchas causas y factores, por tanto no existe una clasificación universal y aceptada por parte de la comunidad científica. En el caso de Canarias determinados estudios exponen como el umbral de referencia para el desencadenamiento de movimientos de ladera oscila entre los 45°-50° (Fernández et al, 2012). No obstante, para el ámbito de estudio (Tabla 1) este umbral es demasiado elevado. Como se verá, no son necesarias pendientes tan acusadas para el desencadenamiento de este tipo de procesos.

Las estructuras litológicas, también suponen uno de los factores más importantes dentro del mapa de susceptibilidad. Se ha establecido una clasificación de las principales unidades en función de la potencialidad de éstas a sufrir algún tipo de movimiento de ladera. Así pues, se han diferenciado entre potencialidad alta, media y baja (Tabla 1). Dentro de la primera se han agrupado aquellos materiales que presentan un escaso grado de compactación, tales como materiales piroclásticos, ignimbritas, materiales aluviales, conos de deyección y demás sedimentos que se localizan en Anaga. En el grupo intermedio aquellos materiales de naturaleza compacta pero que actualmente presentan cierto grado de transformación como las coladas basálticas con niveles piroclásticos subordinados. Por potencialidad baja se entienden como aquellos materiales con un fuerte nivel de compactación, tales como los diferentes tipos de coladas basálticas y fonolíticas.

En el Macizo de Anaga, existen diferencias espaciales en función de los suelos. Las dos principales formaciones edafológicas son los inceptisoles que corresponden a suelos más desarrollados y las formaciones de tipo entisol correspondientes a suelos menos desarrollados (Tabla 1). Como se constató durante el temporal, es posible clasificar estas formaciones en función de su peligrosidad, estando la mayor parte de los movimientos de ladera asociado a suelos de tipo inceptisol.

La acción de la lluvia constituye el principal agente de desencadenamiento inmediato de los deslizamientos en esta región. Para el mapa final, por tanto, se ha establecido la distribución de la precipitación, como un factor esencial (Tabla 1). El número de movimientos se incrementa con la precipitación media anual, asignándole un valor en función de estos totales.

La última información para la elaboración de la cartografía es la relacionada con las coberturas del suelo. Se parte de la fotointerpretación de dos capas base, vegetación y usos del suelo del Plan Insular de Ordenación de Tenerife (PIOT). Se han distinguido cinco categorías, Agrícola, Bosque Denso, Bosque

Abierto, Matorral y Urbano (Tabla 1). Las áreas de concentración de los campos de cultivo son las zonas con una mayor propensión a la inestabilidad de ladera, por lo que adquirirán el mayor valor de las categorías definidas. Respecto a las categorías vegetales se clasificarán todas con el mismo valor debido a que en el Macizo de Anaga la vegetación no juega un papel determinante a la hora del desencadenamiento de los procesos estudiados.

**Tabla 1.** Tabla de ponderaciones para el cálculo de la susceptibilidad.

<i>Pendiente</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Intervalos</i>	<i>Valor</i>
	Muy Fuerte	>28°	3
	Fuerte	10-28°	2
	Moderada	< 10°	1
<i>Estructuras litológicas</i>	<i>Potencialidad</i>		<i>Valor</i>
	Alta		3
	Media		2
	Baja		1
<i>Formaciones edáficas</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Potencialidad</i>	<i>Valor</i>
	Inceptisol	Alta	2
	Entisol	Baja	1
<i>Precipitación</i>	<i>Piso pluviométrico</i>	<i>Precipitación media anual</i>	<i>Valor</i>
	0-200m	Aprox. 300mm	1
	200-600m	Aprox. 700mm	2
	600-1024m	Aprox. 900mm	3
<i>Usos de suelo</i>	<i>Categoría</i>		<i>Valor</i>
	Agrícola		3
	Bosque denso		1
	Bosque abierto		1
	Matorral		1
	Urbano		0

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad, principal aportación y objetivo de este trabajo, se han llevado a cabo a través de algebra de mapas, operando con información ráster sobre los factores anteriormente expuestos (pendiente, litología, edafología precipitación y cobertura del suelo), del mismo modo que se han ponderado en base a 1 el conjunto de las mismas. De esta forma se obtiene la Ecuación con la ponderación aplicada a los diferentes factores para el cálculo de la Susceptibilidad frente a Movimientos de Ladera en el Macizo de Anaga:

$$S_{x,y,z} = P(0.30)_{x,y,z} + L(0.25)_{x,y,z} + Pr(0.20)_{x,y,z} + E(0.15)_{x,y,z} + C(0.10)_{x,y,z} \quad (1)$$

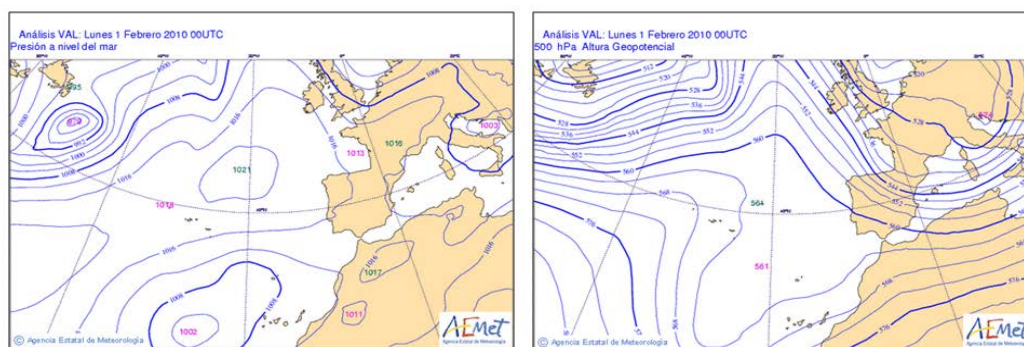
*S: Susceptibilidad P: Pendiente L: Litología Pr: Precipitación E: Edafológico C: Cobertura del Suelo*

## 5. EL TEMPORAL DE FEBRERO DE 2010

Los deslizamientos estudiados en este trabajo están asociados a un temporal ocurrido el 1 de febrero de 2010. Durante este evento se produjeron fuertes precipitaciones en la isla de Tenerife y concretamente en el Macizo de Anaga. En el ámbito canario este temporal puede enmarcarse dentro de las borrascas del suroeste. Este tipo de perturbación tiene su origen en el descenso en latitud de la circulación atmosférica general durante los meses fríos, dando lugar a que estas depresiones puedan descender anómalamente hacia latitudes subtropicales (Marzol, 1987) lo que origina un calentamiento de las capas bajas. La presencia, simultáneamente, de aire frío en capas medias y altas genera situaciones de marcada inestabilidad

El análisis de las situaciones sinópticas previas al 1 de febrero de 2010 refleja como a partir de los días 25 y 26 de enero se va formando una vaguada asociada a una potente ondulación de la corriente en chorro polar. Esta vaguada dio origen a una borrasca bien diferenciada en superficie el día 1 (Figura 1). La borrasca

con una dirección E-NE, en su movimiento hacia las Islas Canarias, durante los días precedentes al temporal fue adquiriendo ciertas características subtropicales (aumento de temperatura y humedad superficial) con una fuerte inestabilidad. La acusada diferencia térmica entre el aire superficial más cálido y húmedo y el frío de las capas medias de la atmósfera, acelera las tendencias convectivas y produce la formación de nubes de gran desarrollo vertical, que generan chubascos intensos. En el caso de Anaga, estas tendencias convectivas fueron acrecentadas, además, por el relieve, originando las mayores cantidades de lluvia en el interior de esta área montañosa. Tras su paso por Canarias esta perturbación ascendió en latitud hasta su entrada en la península ibérica por el Golfo de Cádiz donde volvió a dejar importantes precipitaciones.



**Figura 1.** Mapas de superficie (izq.) y de 500 hPa (Der.). Fuente AEMET.

En este sentido, hay que señalar que la precipitación en Canarias, se caracteriza por una alta concentración espacio-temporal, irregularidad interanual y torrencialidad. Por tanto la situación del 1 de febrero de 2010 supone una situación relativamente normal en el contexto canario. No obstante, en los últimos años estos escenarios se han repetido con cierta reincidencia: marzo de 2002, el citado de febrero de 2010, o octubre de 2014, en un contexto de cambio climático en el que es previsible que los patrones de precipitación estén incrementando la intensidad de la lluvia (Tarife Méndez et al., 2012).

En el episodios de 2010 llovió intensamente durante aproximadamente tres horas, entre las 15:00 y las 18:00 horas, hasta contabilizarse un máximo total de 270,5 mm en Jardina. La incidencia de esta lluvia torrencial fue especialmente severa en el Macizo de Anaga, presentando casi todas las estaciones analizadas precipitaciones superiores a los 100 mm, registrándose un valor medio entre las estaciones estudiadas de 181,9 mm (Tabla 6). El análisis de los observatorios estudiados muestra una serie de variaciones altitudinales muy relevantes que, como se verá, jugaron un papel muy importante en el desencadenamiento de los movimientos de ladera.

Además, durante el 1 de febrero de 2010 el viento también fue muy destacable. El análisis de los dos observatorios oficiales que registran esta variable del Macizo de Anaga muestran rachas máximas de 87 km/h (Las Mercedes) con dirección predominante S-SE. Estos valores para las áreas de mayor altitud de Anaga seguramente fueron superados en los sectores de cresta entre 800 y 1000 m.s.n.m., por el efecto venturi habitual en estas configuraciones topográficas.

## 6. ANÁLISIS DE FACTORES DE INESTABILIDAD DE LADERAS

En la estabilidad de una ladera intervienen diversos factores, tanto naturales como antrópicos, por lo que es difícil plantear que sólo uno de ellos sea la causa desencadenante del movimiento y siempre es resultado de la combinación de varios de ellos.

### 6.1. Factores Naturales

Para el caso de Anaga se han identificado cuatro factores de índole natural como los principales desencadenantes de los movimientos de ladera: pendiente, precipitación, condiciones geomorfológicas y tipo de sustrato.

La lluvia que propicia los cambios en la plasticidad de los materiales, junto a las fuertes pendientes existentes, constituyen uno de los principales factores desencadenantes de los movimientos de ladera. Las condiciones geomorfológicas en Anaga vienen determinadas por la existencia de grandes espesores de tobas piroclásticas y diques (materiales principalmente impermeables) sobre los cuales se desarrollan suelos de escasa potencia. Con el empapamiento de los suelos a consecuencia de las intensas lluvias, los diques y

piroclástos actúan como superficies de deslizamiento, favoreciendo los movimientos de ladera, sobre todo en aquellas áreas donde las pendientes son más acusadas. Otro elemento geomorfológico que juega un papel clave es la inclinación de las capas. Cuando las capas están buzando en el mismo sentido que la pendiente (cosa que sucede sólo en el área de recepción principal de las cuencas) los procesos de gravedad se ven acentuados de modo claro. Sin embargo, en las laderas de los márgenes laterales, el buzamiento de los estratos suele ser opuesto a la pendiente de las laderas, lo que, efectivamente, dificulta el desarrollo de estos procesos. Así que es en estas áreas, donde la presencia de diques juega un papel más determinante para el desarrollo de los movimientos de ladera. Los suelos suponen el último factor natural a considerar en nuestro estudio. Existen diferencias espaciales entre vertientes. La vertiente de barlovento a los húmedos vientos alisios, por sus condiciones climáticas, presenta el desarrollo de suelos de tipo inceptisol, mientras que la vertiente de sotavento, más seca, presenta suelos menos potentes y desarrollados de tipo entisol. Estas variaciones edafológicas provocan que se produzcan cambios espaciales en la distribución de cultivos lo que, como se verá, influirá en el desarrollo de los movimientos, siendo los suelos de tipo inceptisol los que mayor susceptibilidad presentan.

**Tabla 2.** Datos de precipitaciones en el Macizo de Anaga (1 de febrero de 2010). Fuente: Aemet.

<i>Código Estación</i>	<i>Nombre</i>	<i>Total mm</i>
C447F	Anaga-Jardina	270,5
C446G	Las Mercedes-Llano Los Loros	268,2
C447O	Anaga-Roque Negro Porquera	252,0
C448P	Anaga-Taganana Molinos	246,8
C448O	Anaga-Taganana Fajanetas	216,0
C449O	Anata-Taganana	169,5
C449M	Anaga-Taganana Azanos	167,5
C449N	Anaga-Taganana Cardonal	132,0
C448D	Anaga-Valle Jiménez	100,0
C448L	Anaga-Campanario	96,5
C449C	Santa Cruz de Tenerife	82,2
Total	Precipitación Media	181,9

## 6.2. Factores Antrópicos

La determinación de la intervención humana sobre el territorio es muy relevante para el análisis de las condiciones de estabilidad de laderas. Existen múltiples intervenciones que pueden aumentar el número y la importancia de los deslizamientos. Los cultivos y la alteración de taludes y laderas, ligado al trazado de vías de comunicación, son muy notables en ese sentido. El segundo elemento antrópico por importancia que se ha observado es la alteración de los taludes y laderas de las carreteras. El desalojo de los materiales hacia las vertientes provoca la acumulación de material inestable que puede ser fácilmente desalojado por la acción del agua. A este respecto, la alteración de los taludes de las carreteras del Macizo conlleva asociado otro tipo de fenómenos de dinámica de vertiente como son los desprendimientos o caídas.

## 7. CARACTERIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el trabajo, diferenciándose tres principales: la caracterización morfométrica, la tipología de movimientos observada en Anaga derivada del temporal del 1 de febrero y, finalmente, la cartografía de susceptibilidad.

### 7.1. Caracterización morfométrica de los movimientos de ladera

Se han detectado un total de 175 eventos, de los que sólo 91 han podido ser cartografiados mediante la observación directa de la Ortofoto, lo cual representa el 52%. Esto nos permite afirmar que el 48% de los deslizamientos no tiene reflejo directo en la ortofoto debido a que se trata de pequeños movimientos de ladera que apenas presentan incidencia sobre el terreno.

El análisis de la superficie afectada por los deslizamientos cartografiados presenta una serie de particularidades. En primer lugar, se observa como la superficie media de afección es de 500 m<sup>2</sup>, oscilando

entre los 20 m<sup>2</sup> del deslizamiento más pequeño medido, hasta los 2500 m<sup>2</sup> del más grande. Aproximadamente el 87% de los casos presenta áreas de menos de 1000 m<sup>2</sup> y sólo el 13% se sitúan por encima de este valor, lo cual significa que, habitualmente, se trata de deslizamientos o movimientos de ladera pequeños (Tabla 7).

**Tabla 3.** Intervalos de superficies de los movimientos de ladera.

<i>Intervalo superficies m<sup>2</sup></i>	<i>Número de casos</i>
0-500	52
500-1000	27
1000-1500	5
1500-2000	4
2000-2500	3
Total	91

La altitud media de los eventos analizados es de 511 m.s.n.m. En general se observa que en los sectores de precipitaciones más cuantiosas se origina un mayor número de deslizamientos. Así, aproximadamente el 85% de los movimientos de ladera se sitúan a unas cotas altitudinales de entre los 400 y 800 m (Tabla 3), donde las precipitaciones superaron los 200 mm; mientras que, en los sectores medios y bajos apenas se registraron el 15% del total, con volúmenes de precipitación por debajo de los 100 mm. En estos sectores los movimientos de ladera no afectaron tanto a las laderas como a los fondos de los barrancos, donde la erosión torrencial del lecho pudo, eventualmente, ocasionar algún que otro movimiento en las laderas aledañas.

Uno de los parámetros que tiene notable influencia en la estabilidad de las laderas es la pendiente. Para los casos estudiados la pendiente media ronda los 28°, situándose el 57% de los deslizamientos por encima de este valor de referencia. El 35% de los deslizamientos oscilan entre los 10° y los 28°, mientras que únicamente el 9% presenta pendientes inferiores a 10° (Tabla 8).

**Tabla 4.** Intervalos de altitudes y pendientes de los movimientos de ladera.

<i>Altitud (m.s.n.m)</i>	<i>Número de casos</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Pendiente</i>	<i>Número de casos</i>	<i>Porcentaje</i>
0-200	10	5.7	< 10°	16	9.1
200-400	8	4.6	10°-20°	39	22.3
400-600	117	66.9	20°-30°	37	21.1
600-800	36	20.6	30°-40°	45	25.7
>800	4	2.3	40°-50°	38	21.7
Total	175	100	Total	175	100

## 7.2. Tipología de movimientos de ladera en Anaga

Una clasificación tipológica de los movimientos en masa es útil en la medida que nos permite descubrir cierto grado de orden sobre un aparente caos espacial. En este sentido, la adopción de medidas de corrección y estabilización depende fuertemente del tipo de movimiento y sus dimensiones. Por ello resulta crucial una buena categorización de los movimientos de ladera relacionados con temporal del 1 de febrero de 2010. En concreto se han diferenciado tres tipos de movimientos: asociados a diques, a sustratos poco desarrollados y, por último, a campos de cultivos.

### 7.1.1. Asociados a diques

Los diques, puestos en resalte por erosión diferencial, son uno de los elementos esenciales en la configuración del sector de cumbre del Macizo de Anaga. Sobre estos diques se desarrollan suelos de escaso espesor. Las intensas lluvias originaron la saturación del conjunto superior y éste aprovechó como superficie de deslizamiento el propio dique, dando lugar a un movimiento (Figura 5, A).



### 7.1.2. Asociados a sustratos poco desarrollados

Presentan ciertas similitudes con los movimientos de ladera asociados a diques. La diferencia fundamental radica en la superficie de deslizamiento; en este caso son los materiales de tobas piroclásticas los que actúan como superficie de deslizamiento y los sustratos de escasa potencia con el empapamiento provocado por las lluvias basculan sobre los materiales piroclásticos (Figura 5, B).

### 7.1.3. Asociados a campos de cultivos

Los deslizamientos vinculados a campos de cultivos constituyen el tipo más importante, aproximadamente el 65% de los casos estudiados. Los cultivos se sitúan fundamentalmente en la cuenca de Afur donde las condiciones climáticas han favorecido el desarrollo de los suelos y, posteriormente, la instalación de cultivos en terrazas o bancales. Por ello, se aprecia que es en la vertiente de barlovento donde se encuentra un mayor número de deslizamientos, el 55% del total. Las áreas de cultivo suponen sectores de gran debilidad estructural incrementando así el riesgo de deslizamiento. Las intensas lluvias al encontrarse con materiales de menos consistencia provocan un desencadenamiento de pequeños movimientos de ladera. La erosión por escorrentía al converger con las áreas de cultivo puede evolucionar a una erosión por arrastre a través del aporte de materiales de los campos de cultivos o de los bancales de los mismos, incrementándose de esta manera el flujo de materiales movilizados. (Figura 5, C y D).

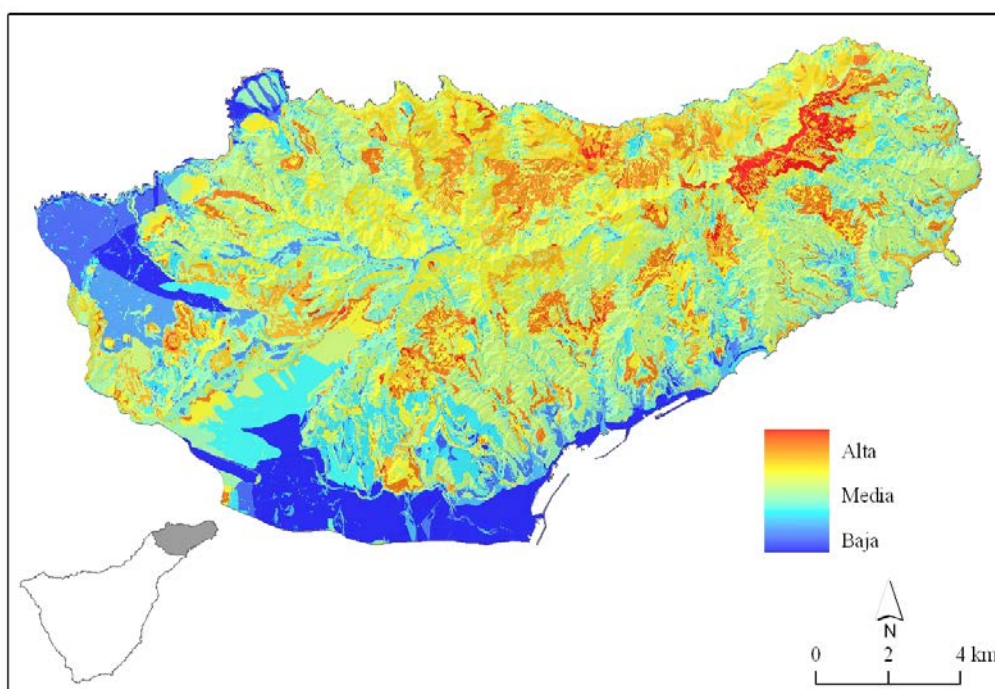


**Figura 5.** (A) Deslizamiento asociado a campo de cultivos. (B) Sector de deslizamiento asociado a un dique. (C) Suelo poco desarrollado tipo entisol sobre tobas piroclásticas. (D). Deslizamiento tipo de suelos poco desarrollado.

## 7.3. Mapa de Susceptibilidad

La cartografía de susceptibilidad supone la principal aportación de este trabajo. El estudio de un caso concreto como el temporal del 1 de febrero de 2010 resulta de enorme interés para conocer aquellos factores que intervienen en el desencadenamiento de los movimientos de ladera. Los factores observados y que intervienen en el análisis son los detallados en la metodología. El cálculo de la función planteada, con los valores correspondientes de ponderación para cada uno de los factores, dieron como resultado unos extremos de susceptibilidad de movimiento de ladera comprendidos entre 0.6 como la más baja y 2.65 como aquellos sectores donde la peligrosidad es más elevada. La susceptibilidad se presenta en tres clases (alta, media y baja) (Figura 6), definidas por intervalos iguales de la probabilidad de ocurrencia de movimientos de ladera en Anaga.





**Figura 6.** Mapa de susceptibilidad del Macizo de Anaga.

## 8. CONCLUSIONES

El análisis del temporal del 1 de febrero de 2010 ha puesto de manifiesto que el Macizo de Anaga presenta graves problemas de inestabilidad de laderas, lo que se pone de manifiesto con el paso de cada temporal de precipitaciones intensas.

Los movimientos de ladera en Anaga están claramente definidos por los condicionantes morfoestructurales, pendiente y litología. Estos constituyen los principales factores condicionantes del sector. Aunque la precipitación conforma el factor desencadenante, pueden darse, puntualmente, otros factores significativos como temporales de viento o incluso procesos de termoclastia, que originan cambios bruscos de temperaturas como ocurrió en mayo de 2012. Por tanto la concomitancia de circunstancias desfavorables para la generación de movimientos de ladera en Anaga, es relativamente habitual.

El paisaje agrario tradicional constituye la principal tipología que genera los deslizamientos. Las terrazas de cultivos características del Macizo de Anaga, acumulan gran cantidad de materiales y suelos. Los procesos de erosión, principalmente ligados a las lluvias intensas, dan lugar a que en estos sectores se produzcan, con bastante frecuencia, pequeños y medianos deslizamientos, movilizándolo parte del material acumulado en el interior del bancal como los materiales propios de los muros de contención del bancal.

La metodología para el cálculo del grado de susceptibilidad entraña ciertos trabajos de comprobación en campo, no obstante, los resultados son muy aceptables, teniendo en cuenta que el método empleado, siendo bastante simple (ecuación parametrizada), deriva un producto que puede contribuir no sólo a resolver cuestiones de ámbito científico, sino que además tiene gran utilidad dentro de los ejercicios técnicos del campo de la prevención de riesgos. Es, precisamente en la prevención de riesgos en lo que este estudio muestra una gran aplicabilidad, puesto que, como se ha visto estos eventos apenas han sido tratados en la literatura científica y suponen una amenaza poco conocida. Mucho más teniendo en cuenta la tendencia a la concentración de la precipitación en episodios de fuerte intensidad horaria.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de la Unidad de Montes del Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife por su desinteresada colaboración. También agradecer a Juan Antonio Marco Molina, catedrático en Geografía Física de la Universidad de Alicante y tutor del Trabajo Fin de Máster sobre Movimientos de Ladera en Anaga, origen del presente trabajo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Ayala-Carcedo, F., Olcina, J. (2002): Riesgos Naturales. Barcelona, Ariel.
- Baeza, C., Corominas, J. (1996): "Assesment of shallow landslide susceptibility by means of statistical techniques. 7th International Symposium on Landslides. Trondheim. Balkema. 1. 147-152.
- Corominas, J., Vilaplana, J. (2001): "Aportación reciente de la Geomorfología a los riesgos naturales en España". En: Gómez-Ortíz, A., Pérez-González, A. (eds). Evolución reciente de la geomorfología española (1980-2000). Sociedad Española de Geomorfología y Servei de Gestió i Evolució del Paisatge (UB). 353-372.
- Fernández, M., Paredes, C., Castedo, R., Llorente, M., Vega-Panizo, R. (2012): "Rockfall detachment susceptibility map in El Hierro Island, Canary Island, Spain". *Natural hazard*, 64, 1247-1271.
- Gómez, M., Barredo, J. (2006): Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Ra-Ma, Madrid.
- Hausen, H. (1970): "Desprendimientos en las Islas Canarias". *Anuario de Estudios Atlánticos*, 16, 531-559.
- Irigay, C., Chacón, J. (2003): "Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G." En: Ayala-Carcedo, F., Corominas, J. (eds). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España, Instituto Geológico y Minero de España. 21-36.
- Jones, F., Embody, R., Peterson, C. (1961): "Landslides along the Columbia river valley, Northeastern Washington, U.S". *Geological Survey Professional*, 367, 1-98.
- Lomoschitz, A., Corominas, J. (1997): "La depresión de Tirajana, Gran Canaria. Una macroforma erosiva producida por grandes deslizamientos". *Cuaternario y Geomorfología*, 11(3-4), 75-92.
- Lomoschitz, A. (1999): Old and recent landslides of the Barranco de Tirajana basin, Gran Canaria, Spain.
- Lomoschitz, A., Quintana, A., (2000): "Landslides as a determining geomorphologic factor of the Barranco de Tirajana basin, Gran Canaria". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2(1), 3-8.
- Lomoschitz, A., Pallí i Buxó, L., Roqué i Pau, C., Brusi i Belmonte, D., Linares Santiago, R. (2002): "Reconocimiento geofísico del deslizamiento de Rosiana (depresión de Tirajana, Gran Canaria)". *Scientia gerundensis*, 25, 35-50.
- Marzol, M.V. (1987): "El régimen anual de las lluvias en el archipiélago Canario". *Ería*, 14, 187-194.
- Tarife Méndez, R., Hernández Barrera, S., Gámiz-Fortis, S.R., Castro-Díez, Y. Esteban-Parra, M<sup>a</sup>.J. (2012): "Análisis de los extremos pluviométricos en las islas Canarias y su relación con el índice NAO", VIII Congreso Internacional AEC, Salamanca.
- Santacana, N., Baeza, C., Corominas, J., de Paz, A., Marturià, J. (2002): "Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales mediante el uso de un sistema de información geográfica. Aplicación a la Poble de Lillet (Pirineo Oriental)" En: Ayala-Carcedo, F., Corominas, J. (eds). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España. 55-82.
- Yepes, J., Rodríguez-Peces, M. J., Lentini, J. P. (2012): Interpretación geomorfológica de las inestabilidades de ladera en el Macizo de Anaga (Tenerife, Islas Canarias).
- Yepes, J., Rodríguez-Peces, M., Marchesini, S., Leyva, S., Díaz-Hernández, J. L. (2011). Amplificación del efecto destructivo de los desprendimientos rocosos por deslizamiento sobre suelos volcánicos (Tenerife y Madeira). En: El cuaternario en España y áreas afines, avances en 2011: actas de la XIII Reunión Nacional de Cuaternario. Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA).